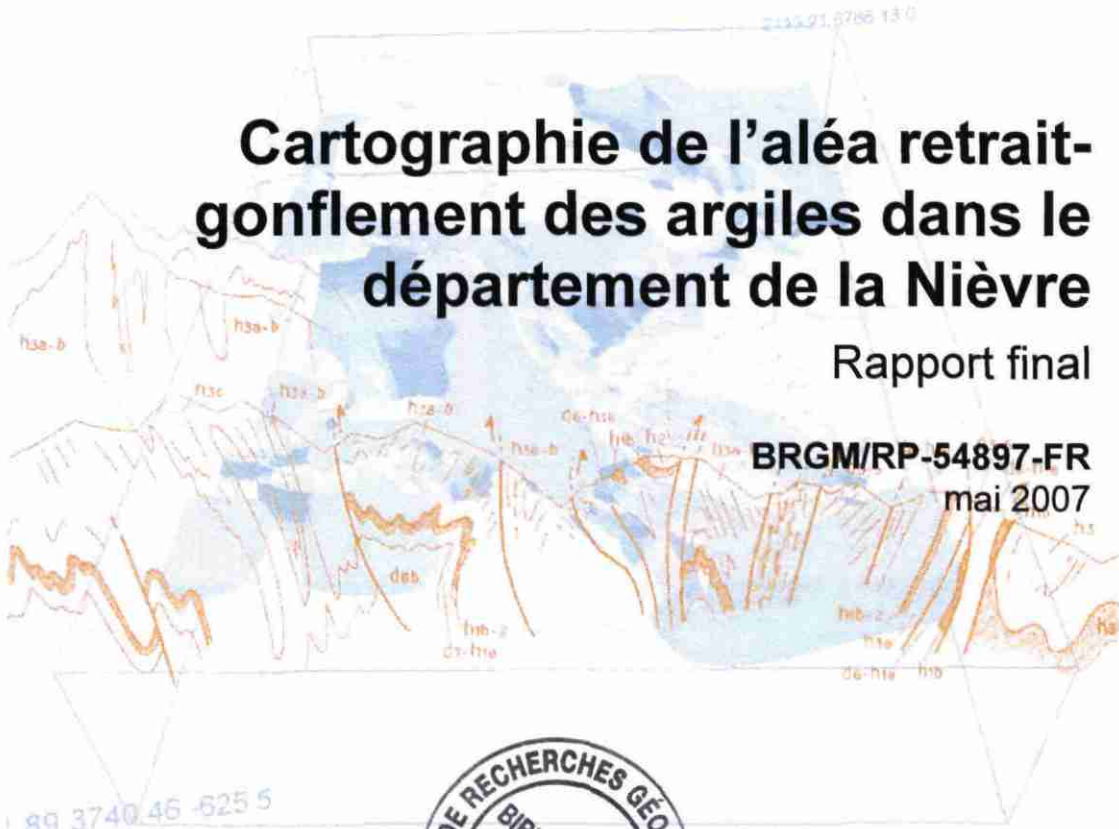
Document public

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

Rapport final

BRGM/RP-54897-FR
mai 2007



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES & MINIÈRES
BIBLIOTHEQUE CENTRALE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
direction départementale de l'Équipement Nièvre

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES & MINIÈRES - BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

Rapport final

BRGM/RP-54897-FR
mai 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2005 05RISD05

B.E. Odent et S. Le Roy
avec la collaboration de **Y. Bousquet** et **A. Lustgarten**

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : M. Vincent	Nom : D. Dessandier
Date : 21 mai 2007	Date : 29 mai 2007

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
direction départementale de l'Équipement Nièvre

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : aléa, argiles, argiles gonflantes, cartographie, catastrophe naturelle, géotechnique, marnes, minéraux argileux, Nièvre, retrait-gonflement, risque naturel, sinistre sécheresse, smectites.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Odent B.E. et Le Roy S. avec la collaboration de **Bousquet Y.** et **Lustgarten A.** (2007) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre. Rapport final – Rapport BRGM/RP-54897-FR. 157 p., 40 ill., 5 ann., 3 pl. h.-t.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les phénomènes de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes, mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976, ont pris une réelle ampleur lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97, puis dernièrement au cours de l'été 2003.

La Nièvre fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 798 sinistres déclarés (dont 25 non localisés) liés à la sécheresse y ont été recensés à la date de présentation de ce rapport. Sur les 312 communes que compte le département, 84 soit 26,9 % d'entre elles, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2003 et ceci à la date du 1er octobre 2006. D'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance, la Nièvre est situé en 52ème position des départements français en terme de coût d'indemnisation pour ce phénomène (données février 2005). D'après les données du site Internet prim.net, ce département est à la 36ème place en terme d'occurrence de reconnaissance de catastrophe naturelle (en distinguant par commune et par période – extraction du 10 août 2006). Ces chiffres montrent que le département de la Nièvre est relativement affecté par le phénomène, surtout si l'on considère qu'il n'arrive qu'au 81ème rang des départements français en terme de population.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département de la Nièvre, dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Cette étude, réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux, qui devrait concerner progressivement l'ensemble du territoire métropolitain.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional de Bourgogne et Franche-Comté en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré pour une moitié par la dotation de service public du BRGM, l'autre moitié ayant été financée par le Fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de la Nièvre.

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations argileuses et marneuses affleurantes à subaffleurantes, à partir de l'harmonisation de 23 cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Les formations ainsi identifiées, au nombre de 31, ont ensuite fait l'objet d'une hiérarchisation quant à leur susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a

été établie sur la base de trois critères principaux : la caractérisation lithologique de la formation, la composition minéralogique de sa phase argileuse et son comportement géotechnique. La collecte de ces données ainsi que la carte départementale des formations argileuses et marneuses ont permis d'établir une **carte départementale de susceptibilité** des formations géologiques vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Suite à l'élaboration de cette carte, la probabilité d'occurrence du phénomène a été évaluée en calculant pour chacune des 31 formations argileuses une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée, afin de permettre des comparaisons fiables entre les formations. Sur la base cartographique des formations argileuses, la **carte départementale d'aléa** a été alors établie en tenant compte à la fois de la susceptibilité des formations identifiées et de la sinistralité observée sur une quinzaine d'années.

Trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) sont classiquement distingués afin de hiérarchiser les formations argileuses et marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur les 6 856 km² de superficie du département :

- aucune formation n'est classée en aléa fort ;
- 9,4 % (576 km²) sont classés en aléa moyen ;
- 63,8 % (4 442 km²) sont classés en aléa faible ;
- 26,8 % (1 839 km²) sont considérés comme présentant un aléa *a priori* nul (y compris le réseau hydrographique).

La carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux du département de la Nièvre, présentée sous format papier A0 à l'échelle 1/135 000, servira de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène.

Elle constituera également la base cartographique pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci.

Sommaire

1. Introduction 13

2. Méthodologie 15

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES 15
2.1.1. Facteurs de prédisposition 16
2.1.2. Facteurs de déclenchement 19

2.2. METHODOLOGIE 20
2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses 21
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations 21
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement 22
2.2.4. Carte de susceptibilité 22
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres 22
2.2.6. Détermination des densités de sinistres 23
2.2.7. Carte d'aléa 23

3. Présentation de département de la Nièvre 25

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE 25

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE 27
3.2.1. Généralités 27
3.2.2. Conditions météorologiques durant l'année 2003 28

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL 31

3.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL 33
3.4.1. Généralités 33
3.4.2. Le contexte hydrogéologique du département de la Nièvre 34

4. Identification et cartographie des formations argileuses et marneuses 37

4.1. DOCUMENTS UTILISES ET METHODOLOGIE 37
4.1.1. Les cartes 37
4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses et marneuses 39

4.2. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES 40
4.2.1. Les dépôts du Quaternaire : les formations superficielles. 42
4.2.2. Formations tertiaires ou quaternaires 45
4.2.3. Les formations du Tertiaire 47
4.2.4. Les formations du Crétacé 48
4.2.5. Les formations du substratum du Jurassique 50
4.2.6. Les formations du Lias et du Trias 54
4.2.7. Les formations du Primaire 57

4.3. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES 57

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses – Élaboration de la carte de susceptibilité 59

5.1. GENERALITES SUR L'ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE 59
5.1.1. Critères retenus 59
5.1.2. Méthode de classification 59

5.2. CRITERE LITHOLOGIQUE 60
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème 60
5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre 61

5.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES 63
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème 63
5.3.2. Source des données 63
5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre 64

5.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES. 69
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème 69
5.4.2. Source des données 73
5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre 75

5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE 77
5.5.1. Détermination du degré de susceptibilité 77
5.5.2. Susceptibilité des formations argileuses et marneuses 77
5.5.3. Carte de susceptibilité 80

6. Inventaires des sinistres "sécheresse" et détermination du critère de sinistralité 83

6.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE 83

6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES 84

6.2.1. Localisation des communes sinistrées 84

6.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle 87

6.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES 90

6.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES 95

6.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE 99

6.5.1. Détermination de la densité de sinistres par formation 99

6.5.2. Détermination du critère densité de sinistres 102

7. Carte d'aléa 105

7.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA 105

7.2. CARTE D'ALEA 108

7.3. COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES DEPARTEMENTS VOISINS DEJA CARTOGRAPHIES 111

7.4. SYNTHESE DE L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE DEPARTEMENT DE LA NIÈVRE 112

8. Conclusion 113

9. Bibliographie 115

Liste des illustrations

Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche 15

Illustration 2 - Carte de présentation des régions naturelles de la Bourgogne (d'après les données BRGM et © Corine Land Cover) 25

Illustration 3 - Présentation du département de la Nièvre (Source : Office du Tourisme) 26

Illustration 4 - Relief du département de la Nièvre (IGN via DIREN). Données météorologiques à Nevers (Météo France). 27

Illustration 5 - Précipitations mensuelles à Nevers de 2002 à 2004 et comparaison avec les normales trentenaires (météo France). 28

Illustration 6 - Températures à Nevers d'avril 2002 à juin 2006 (source météo France et Météociel modifiée) 29

Illustration 7 - Carte géologique simplifiée du département de la Nièvre (extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000) 32

Illustration 8 - Représentation schématique des aquifères de la Nièvre. 35

Illustration 9 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 de la Nièvre 37

Illustration 10 - Liste des formations argileuses et marneuses de la Nièvre. 40

Illustration 11 - Carte de synthèse des formations géologiques à composante argileuse ou marneuse dans le département de la Nièvre. 41

Illustration 12 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la roche 61

Illustration 13 - Note lithologique des formations argileuses et marneuses 62

Illustration 14 - Hiérarchisation des roches en fonction du pourcentage de minéraux gonflants 63

Illustration 15 - Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre 68

Illustration 16 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur au bleu de méthylène 71

Illustration 17 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles en fonction de leur indice de plasticité 71

Illustration 18 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur du retrait linéaire 72

Illustration 19 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur du coefficient de gonflement. 73

Ilustration 20 - Source des données géotechniques 74

Illustration 21 - Bureaux d'études ayant réalisé les essais sur échantillons 74

Illustration 22 - Synthèse des données géotechniques et note géotechnique de la Nièvre 76

Illustration 23 - Détermination du degré de susceptibilité 77

Illustration 24 - Degré de susceptibilité des formations 78

Illustration 25 - Classement des formations par niveau de susceptibilité décroissant et surfaces d'affleurement correspondantes 79

Illustration 26 – Proportions de la superficie des terrains en fonction de leur degré de susceptibilité 80

Illustration 27 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre 81

Illustration 28 - Carte des durées de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse dans le département de la Nièvre à la date du 1er octobre 2006. 86

Illustration 29 - Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour les communes reconnues en état de catastrophe naturelle "sécheresse" 88

Illustration 30 - Evolution du nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle 89

Illustration 31 - Nombres de sinistres recensés par commune et arrêtés cat. nat. correspondants 93

Illustration 32 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés 94

Illustration 33 - Carte des formations argileuses sensibles au retrait-gonflement et répartition des sinistres 97

Illustration 34 - Répartition des sinistres par formation géologique 98

Illustration 35 - Carte des zones urbanisées 100

Illustration 36 - Classement des formations par densité de sinistres ramenée à la surface urbanisée et rappel de la susceptibilité 101

Illustration 37 - Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses..... 106

Illustration 38 - Carte de l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses dans le département de la Nièvre 109

Illustration 39 - Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa 110

Illustration 40 - Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur niveau d'aléa .. 110

Liste des annexes

Annexe 1 Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles 127

Annexe 2 Liste des 84 communes de la Nièvre reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et dates des périodes de reconnaissance..... 133

Annexe 3 Liste des sinistres « sécheresse » recensés et localisés dans le cadre de cette étude..... 137

Annexe 4 Liste et coordonnées des bureaux d'études ayant fournis des données géotechniques 151

Annexe 5 Résultats des analyses minéralogiques et géotechniques réalisées au cours de cette étude..... 155

Liste des planches hors-textes

Planche 1 - Carte départementale synthétique des formations argileuses et marneuses à l'échelle du 1/135 000.

Planche 2 - Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles à l'échelle du 1/135 000.

Planche 3 - Carte départementale d'aléa retrait-gonflement des argiles à l'échelle du 1/135 000.

1. Introduction

Soumis à des cycles d'humidification-assèchement, certains sols argileux sont à l'origine de phénomènes de retrait-gonflement qui se traduisent, à l'échelle macroscopique, par des variations de volume du sol.

Plus ou moins important selon la nature et l'état initial du sol, ce phénomène se manifeste, en période de sécheresse, par des tassements de sol dont l'amplitude peut atteindre plusieurs centimètres. Les désordres occasionnés au niveau du bâti individuel dont les fondations reposent sur la tranche de sol superficielle, sont alors facilement imaginables.

En France métropolitaine, ces phénomènes ont été mis en évidence à la suite de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976. Ils ont pris depuis une ampleur importante lors des sécheresses des années 1989-91 et 1996-97 et, dernièrement, au cours de l'été 2003.

Ces problèmes de retrait-gonflement sont étroitement liés, d'une part, au type de terrain concerné (nature argileuse), et d'autre part aux apports d'eau du milieu extérieur ou environnant. En effet, ce sont les interactions eau/solide, tant à l'échelle microscopique que macroscopique, accompagnées par la variation de l'état de contrainte en présence d'eau, qui influent directement sur les modifications de volume du sol.

Ainsi, les types de sols impliqués dans ces phénomènes sont des matériaux argileux contenant des minéraux dits « gonflants ». Les principaux appartiennent au groupe des smectites dont font notamment partie la montmorillonite, la beidellite, la nontronite, la saponite et la vermiculite.

En France métropolitaine, les argiles superficielles sont généralement bien humidifiées et elles ont épuisé leur potentiel naturel de gonflement. En revanche, elles sont souvent éloignées de leur limite de retrait (teneur en eau minimum avant fissuration du matériau argileux par dessiccation) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue notablement. Ainsi, les sinistres observés surviennent principalement lorsqu'une période de sécheresse, suffisamment intense ou prolongée, provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol soumise à l'évapotranspiration.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles.

Depuis 1989, année de mise en application de la procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutif à la sécheresse et réhydratation des sols, plus de 7 000 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. Ce chiffre n'est pas définitif

puisque à la suite de l'été particulièrement sec de 2003, certaines communes sont encore en attente d'une réponse quant à leur demande de reconnaissance de catastrophe naturelle.

A fin 2002, le coût des sinistres imputés à la sécheresse a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 3,3 milliards d'Euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation de catastrophes naturelles derrière les inondations.

D'après les estimations de la CCR datées de novembre 2006, la Nièvre était classée en 44ème position des départements français en termes de coût d'indemnisation avant la sécheresse 2003, et serait désormais à la 52ème place en intégrant les effets de l'année 2003, avec un coût total de sinistres indemnisés évalué à 5,9 millions d'euros depuis 1989.

Afin d'établir un constat scientifique à l'échelle de tout le département et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable a souhaité réaliser une carte de l'aléa retrait-gonflement dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène. Cette étude a été confiée au BRGM qui, dans le cadre de sa mission de Service public sur les risques naturels, a élaboré une méthodologie de cartographie de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle départementale. L'intérêt d'une telle étude est multiple :

- compréhension de la corrélation entre la nature géologique des terrains et la répartition statistique des sinistres, à l'échelle départementale, puis régionale quand les départements limitrophes seront tous étudiés ;
- élaboration d'un document de prévention, en matière d'aménagement du territoire, destiné à la fois aux Pouvoirs Publics (pour l'établissement ultérieurs de Plans de Prévention des Risques), aux particuliers et surtout aux maîtres d'ouvrage désireux de construire en zone sensible ;
- élaboration d'un outil à l'usage des experts pour le diagnostic des futures déclarations de sinistres.

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional de Bourgogne & Franche Comté en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 50 % par la dotation de service public du BRGM, le complément provenant du Fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention signée avec la préfecture de la Nièvre.

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la mission de service public du BRGM sur les risques naturels et s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

Les phénomènes de retrait-gonflement sont dus pour l'essentiel à des variations de volume de formations argileuses sous l'effet de l'évolution de leur teneur en eau, comme rappelé en annexe 1 et schématisé sur l'Illustration 1. Ces variations de volume se traduisent par des mouvements différentiels de terrain, susceptibles de provoquer des désordres au niveau du bâti.

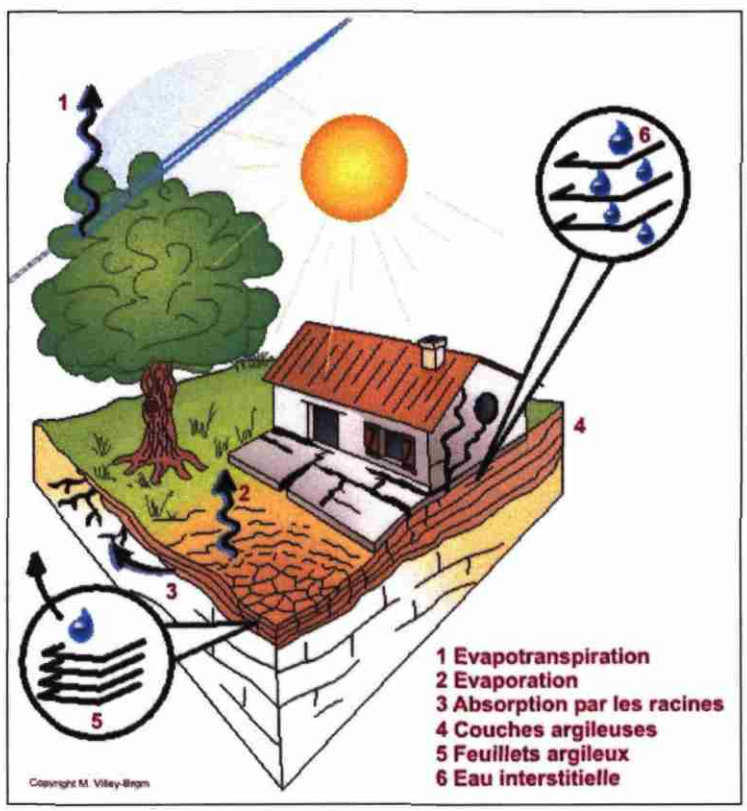


Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

Par définition, l'aléa retrait-gonflement est la probabilité d'occurrence spatiale et temporelle des conditions nécessaires à la réalisation d'un tel phénomène. Parmi les facteurs de causalité, on distingue classiquement des facteurs de prédisposition et des facteurs de déclenchement.

Les facteurs de prédisposition sont ceux dont la présence induit le phénomène de retrait-gonflement, mais ne suffit pas à elle seule à le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. On distingue les facteurs internes, qui

sont liés à la nature du sol, et des facteurs d'environnement qui caractérisent plutôt le site. Les facteurs de prédisposition permanents conditionnent en fait la répartition spatiale du phénomène. Ils permettent de caractériser la susceptibilité du milieu vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement, mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. La connaissance des facteurs déclenchants permet de déterminer l'occurrence du phénomène (autrement dit l'aléa et non plus seulement la susceptibilité).

2.1.1. Facteurs de prédisposition

Nature du sol

La nature du sol constitue un facteur de prédisposition prédominant dans le mécanisme de retrait-gonflement : seules les formations géologiques présentant des minéraux argileux sont sujettes au phénomène et leur susceptibilité dépend de leur lithologie, de leur géométrie, de leur minéralogie et de leur comportement géotechnique.

La procédure d'étude de la nature du sol, basée sur l'exploitation des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 éditées par le BRGM, comporte un inventaire des formations affleurantes à sub-affleurantes, à composante argileuse ou marneuse, puis leur cartographie.

La majorité des dossiers consultés montre que les sinistres sont corrélés à la présence d'une formation argileuse ou marneuse bien définie, ce qui conforte le concept adopté. Cependant, il est important de signaler qu'une carte géologique en tant que telle ne suffit pas à déterminer la répartition des sols argileux sujets au retrait-gonflement. En effet, de telles cartes ne prennent pas toujours en compte les éventuelles transformations locales du sol (principalement sous l'effet de l'altération de la roche), et les différents faciès des formations les plus superficielles ne sont pas toujours cartographiées avec précision.

En particulier, dans le département de la Nièvre, certaines formations principalement calcaires sont susceptibles de s'altérer localement sous l'effet de phénomènes de karstification qui peuvent se traduire par la présence en surface de poches argileuses qui, généralement, ne sont pas identifiées sur les cartes géologiques, mais dont la seule présence suffit à expliquer certains sinistres ponctuels. De même, des formations essentiellement sableuses ou graveleuses peuvent contenir des lentilles argileuses non cartographiées.

Concernant la nature des formations géologiques, les éléments qui influent sur la susceptibilité au retrait-gonflement sont en premier lieu la lithologie de la formation (c'est-à-dire principalement la proportion de matériau argileux, autrement dit d'éléments fins inférieurs à 2 µm).

En moindre proportion mais non négligeable, la géométrie de la formation argileuse influe sur la susceptibilité au retrait-gonflement. Les effets du phénomène seront d'autant plus importants que la formation sera en position superficielle et que les niveaux argileux en son sein seront épais et continus. Une alternance de niveaux argileux et de lits plus perméables (sableux, par exemple), sièges de circulations d'eau temporaires, constitue également une configuration défavorable, car à l'origine de fréquentes variations de teneur en eau dans les parties argileuses.

Un facteur prépondérant qui détermine le degré de susceptibilité d'une formation argileuse au phénomène de retrait-gonflement, est sa composition minéralogique. Une formation sera d'autant plus susceptible au phénomène que sa fraction argileuse (au sens granulométrique) contiendra une forte proportion de minéraux argileux dits "gonflants". En effet, certains minéraux argileux présentent, par rapport aux autres, une aptitude nettement supérieure vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Il s'agit essentiellement des **smectites** (dont font partie les montmorillonites), de certains minéraux argileux **interstratifiés**, de la vermiculite et de certaines chlorites.

Cette composition minéralogique dépend étroitement des conditions de dépôt et d'évolution diagénétique (ensemble des processus qui affectent un dépôt sédimentaire initial pour le transformer en roche). On peut donc approcher cette connaissance par une reconstitution des conditions paléogéographiques ayant présidé à la mise en place des différentes formations (dépôt sédimentaire initial). De façon plus quantitative, mais dont la valeur n'est que ponctuelle, la connaissance de la composition minéralogique d'une formation argileuse se détermine directement par des analyses diffractométriques aux rayons X. On peut enfin caractériser, par des essais géotechniques en laboratoire, l'aptitude du matériau à absorber de l'eau, voire mesurer directement sa capacité de retrait ou de gonflement. Ces deux dernières approches (caractérisation minéralogique et évaluation du comportement géotechnique du matériau) présentent l'avantage majeur de fournir des résultats quantitatifs rigoureux, mais exigent un grand nombre de mesures pour caractériser de manière statistique le comportement de chacune des formations, qui peuvent être par nature hétérogènes.

Contexte hydrogéologique

Parmi les facteurs de prédisposition, les conditions hydrogéologiques constituent un des facteurs environnementaux régissant les conditions hydrauliques in situ. Or la présence d'une nappe phréatique rend plus complexe le phénomène de retrait-gonflement. En effet, les conditions hydrauliques in situ (teneur en eau et degré de saturation) varient dans le temps non seulement en fonction de l'évapotranspiration (dont l'action est prépondérante sur une tranche très superficielle de l'ordre de 1 à 2 m d'épaisseur) mais aussi en fonction des fluctuations de la nappe éventuelle (dont l'action devient prépondérante en profondeur).

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche superficielle de sol. Inversement, un rabattement de cette nappe (sous l'effet de pompages ou d'un abaissement généralisé du niveau), ou le tarissement naturel des circulations d'eau superficielles en période de sécheresse, aggrave la dessiccation de la tranche de sol soumise à l'évaporation.

Ainsi, dans le cas d'une formation argileuse surmontant une couche sablo-graveleuse, un éventuel dénoyage de cette dernière provoque l'arrêt des remontées capillaires dans le terrain argileux et contribue à sa dessiccation.

Géomorphologie

La topographie constitue un facteur permanent de prédisposition et d'environnement qui peut conditionner la répartition spatiale du phénomène de retrait-gonflement.

La présence d'une pente favorise le ruissellement et le drainage par phénomène gravitaire, tandis qu'une morphologie plate sera d'avantage susceptible de recueillir des eaux stagnantes qui ralentiront la dessiccation du sol. Par ailleurs, un terrain en pente exposé au sud sera plus sensible à l'évaporation du fait de l'ensoleillement, qu'un terrain plat ou exposé différemment. En outre, les formations argileuses et marneuses qui affleurent sur le flanc des vallées peuvent occasionner, localement, un fluage lent du versant et la formation de loupes argileuses. Ce phénomène vient s'additionner aux désordres consécutifs à la seule dessiccation du sol.

D'autre part, il arrive souvent qu'une maison construite sur un terrain en pente soit plus sujette au problème de retrait-gonflement, en raison d'une dissymétrie des fondations lorsque celles-ci sont ancrées à une cote identique à l'amont et à l'aval. Le bâtiment se trouve alors enterré plus profondément du côté amont. De ce fait, les fondations situées à l'aval, étant en position plus superficielle, seront davantage sensibles aux variations de teneur en eau du sol. Cet effet est même parfois renforcé par une différence de nature du sol situé à la base des formations amont et aval, la couche d'altération superficielle suivant généralement plus ou moins la topographie.

Par ailleurs, les zones de plateau ont pu être soumises à des phénomènes de karstification. Ils présentent alors des cavités karstiques formées aux dépens de formations calcaires et remplies d'argiles.

Végétation

Il est avéré que la présence de végétation arborée à proximité d'une maison peut constituer un facteur déclenchant du phénomène de retrait-gonflement, même s'il n'est souvent qu'un facteur aggravant de prédisposition. En effet, les racines soutirent par succion (mécanisme d'osmose) l'eau du sol. Cette succion crée un gradient de la teneur en eau du sol, qui peut se traduire par un tassement localisé du sol autour de l'arbre. Si la distance au bâtiment n'est pas suffisante, cela entraînera des désordres dans les fondations. On considère en général que l'influence d'un arbre adulte se fait sentir jusqu'à une distance égale à une fois ou une fois et demie sa hauteur, mais ceci est variable selon les espèces arborées.

Il est à noter que les racines seront naturellement incitées à se développer en direction de la maison, puisque celle-ci s'oppose à l'évaporation et qu'elle maintient donc une zone de sol plus humide sous sa surface. Contrairement au processus d'évaporation, qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines d'arbres peuvent avoir une influence jusqu'à 4 voire 5 m de profondeur. Le phénomène

sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a, de ce fait, davantage besoin d'eau.

Ainsi, on considère qu'un peuplier ou un saule adulte a besoin de 300 litres d'eau par jour en été (Habib, 1992). En France, les arbres considérés comme les plus dangereux du fait de leur influence sur les phénomènes de retrait seraient les chênes, les peupliers, les saules, les cyprès et les cèdres. Des massifs de buissons ou d'arbustes situés près des façades (et notamment la vigne vierge) peuvent cependant aussi causer des dégâts.

Défauts de construction

Ce facteur de prédisposition, dont l'existence peut être révélée à l'occasion d'une sécheresse exceptionnelle, se traduit par la survenance ou l'aggravation des désordres. L'importance de ce facteur avait déjà été mise en évidence par les études menées en 1990 par l'Agence Qualité Construction et en 1991 par le CEBTP, lesquelles montraient que la plupart des sinistres concernaient des maisons individuelles dépourvues de chaînage horizontal et fondées sur semelles continues peu ou non armées et peu profondes (40 à 80 cm).

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans le département de la Nièvre confirme que de nombreuses maisons déclarées sinistrées présentent des défauts de conception ou de réalisation des fondations (souvent trop superficielles, hétérogènes ou fondées dans des niveaux différents) et il est probable que des fondations réalisées dans les règles de l'art auraient pu, dans de tels cas, suffire à limiter fortement, voire à éviter l'apparition de ces désordres.

2.1.2. Facteurs de déclenchement

Phénomènes climatiques

Les phénomènes météorologiques exceptionnels constituent le principal facteur de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement. Les variations de teneur en eau du sol sont dues à des variations climatiques saisonnières. La profondeur de terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau ne dépasse guère 1 à 2 m en climat tempéré, mais peut atteindre 3 à 5 m lors d'une sécheresse exceptionnelle, ou dans un environnement défavorable (végétation proche).

Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration. En l'absence de nappe phréatique, ces deux paramètres contrôlent en effet les variations de teneur en eau dans la tranche superficielle des sols. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation (liée aux conditions de température, de vent et d'ensoleillement) et de la transpiration (eau absorbée par la végétation). Ce paramètre est mesuré dans certaines stations météorologiques mais sa répartition spatiale est difficile à appréhender car sa valeur dépend étroitement des conditions locales de végétation. On raisonne en général sur les hauteurs de pluies efficaces qui correspondent aux précipitations diminuées de l'évapotranspiration.

Malheureusement, il est difficile de relier la répartition, dans le temps, des hauteurs de pluies efficaces avec l'évolution des teneurs en eau dans le sol. On observe évidemment qu'après une période de sécheresse prolongée la teneur en eau dans la tranche superficielle de sol a tendance à diminuer, et ceci d'autant plus que cette période se prolonge. On peut établir des bilans hydriques en prenant en compte la quantité d'eau réellement infiltrée, ce qui suppose d'estimer, non seulement l'évapotranspiration, mais aussi le ruissellement. Mais toute la difficulté est de connaître la réserve utile des sols, c'est-à-dire leur capacité d'emmagasiner de l'eau et de la restituer ensuite (par évaporation ou en la transférant à la végétation par son système racinaire). Le volume de cette réserve utile n'est généralement connu que ponctuellement et l'état de son remplissage ne peut être estimé que moyennant certaines hypothèses (on considère généralement qu'elle est pleine en fin d'hiver), ce qui rend extrêmement délicate toute analyse de ce paramètre à une échelle départementale. Un autre paramètre difficile à estimer de façon systématique est le volume d'eau transféré de la zone non saturée à la nappe phréatique, ainsi que le rythme de ce transfert.

Facteurs anthropiques

Il s'agit de facteurs de déclenchement qui ne sont pas liés à un phénomène climatique, par nature imprévisible, mais à une action humaine. En effet, les travaux d'aménagement, en modifiant la répartition des écoulements superficiels et souterrains, ainsi que les possibilités d'évaporation naturelle, sont susceptibles d'entraîner des modifications dans l'évolution des teneurs en eau de la tranche superficielle de sol. En particulier, des travaux de drainage réalisés à proximité immédiate d'une maison peuvent provoquer des mouvements différentiels du terrain dans le voisinage. Inversement, une fuite dans un réseau enterré ou une infiltration des eaux pluviales en pied de façade peut entraîner un mouvement consécutif à un gonflement des argiles. Ainsi, une étude menée par CEBTP-Solen à partir de l'analyse de 994 dossiers de maisons sinistrées a montré que la fuite de réseaux enterrés, attribuée à des erreurs de conceptions ou à des défauts de réalisation, notamment au niveau des raccordements avec le bâti, pouvait être évoquée comme cause de déclenchement ou d'aggravation dans un tiers des cas étudiés (Vincent et al., 2006).

Par ailleurs, la présence de sources de chaleur en sous-sol (four ou chaudière) près d'un mur mal isolé peut, dans certains cas, aggraver voire déclencher la dessiccation du sol à proximité et entraîner l'apparition de désordres localisés.

2.2. METHODOLOGIE

La méthodologie de cartographie de l'aléa développée par le BRGM a été mise au point à partir d'études similaires menées d'abord dans le département des Alpes de Haute-Provence (1995-96) et des Deux-Sèvres (1998), puis dans l'Essonne (2000) et en Seine-Saint-Denis (2001). Cette méthodologie a été validée par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concernera au moins 64 départements français, ce qui permettra d'obtenir des résultats homogènes au niveau national.

2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM et des coupes de forage de la Banque des données du Sous Sol (BSS) gérée par le BRGM, complétées et actualisées par quelques données ponctuelles issues des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée sous format papier à l'échelle 1/135 000.

Dans une première étape, toutes les formations géologiques du département ont été cartographiées, y compris les formations superficielles d'extension locale, pour en dresser un inventaire et synthétiser les différentes cartes géologiques prises en compte. La présence ou non d'une composante argileuse ou marneuse a ensuite été évaluée pour chaque formation. En raison du nombre élevé de ces formations, des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, en considérant que des natures lithologiques voisines laissaient supposer des comportements semblables vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Cela a permis d'aboutir à la carte de synthèse des formations argileuses et marneuses.

2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations

L'étude des formations argileuses et marneuses a amené à qualifier, pour chacune d'entre elles, la proportion de matériau argileux présent dans la formation, ce qui constitue sa caractérisation lithologique.

L'analyse des notices des cartes géologiques a permis de définir les caractéristiques minéralogiques des formations argileuses et marneuses, et en particulier de répertorier la présence et la proportion des minéraux gonflants (smectites, interstratifiés...) dans la fraction argileuse. Ces données ont été complétées par une revue bibliographique.

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses et marneuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de rapports d'expertise de sinistres réalisés par différents bureaux d'études. Ceux-ci nous ont été transmis soit par les communes, soit par des mutuelles ou des experts d'assurance, soit directement par des bureaux d'études, soit par l'Unité "Travaux Nouveaux" de la DDE 58.

Pour des formations géologiques qui s'étendent au-delà du département et qui ne sont pas sujettes à des variations latérales de faciès trop importantes, les données ont été complétées par celles recueillies dans le cadre d'études similaires menées dans les départements voisins (Loiret, Cher, Allier, ainsi que des données partielles de la Côte d'Or).

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

Les facteurs ponctuels de prédisposition ou de déclenchement que sont notamment la végétation arborée, les actions anthropiques ou les défauts de construction, n'ont pas été pris en compte dans la mesure où leur impact est purement local et ne peut être cartographié à une échelle départementale.

L'analyse des conditions météorologiques et de la répartition spatiale des déficits pluviométriques n'est pas apparue comme un élément discriminant à l'échelle d'un département comme la Nièvre. Ce critère n'a donc pas été pris en compte dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa.

Le contexte hydrogéologique a fait l'objet d'une analyse spécifique sur la base d'éléments issus des notices de cartes géologiques et de rapports du BRGM sur le sujet. L'influence des nappes est cependant difficile à mettre en évidence à une échelle départementale dans la mesure où elle dépend souvent de conditions très locales. C'est pourquoi, ce critère n'a pas non plus été retenu dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa.

Le facteur géomorphologique n'a pas non plus été pris en compte dans la cartographie, même s'il s'agit d'un élément pouvant conditionner la survenance d'un sinistre, dans la mesure où des défauts de réalisation et de conception de fondations sont plus fréquents sur des terrains en pente et s'ajoutent à de fortes variations de teneur en eau entre l'aval et l'amont de la construction. Cependant, il faut remarquer que le relief du département est peu marqué et que les zones de fortes pentes sont peu nombreuses. Ainsi, il a été jugé préférable d'établir la cartographie en partant des contours des formations lithologiques plutôt que de se baser sur un découpage en unités géomorphologiques homogènes.

2.2.4. Carte de susceptibilité

En définitive, la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, après évaluation du degré de sensibilité de ces formations. Les critères utilisés pour établir cette hiérarchisation sont les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique de ces formations.

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

Afin d'approcher la cartographie de l'aléa retrait-gonflement (qui correspond, rappelons-le, à la probabilité d'occurrence du phénomène), la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été croisée avec la localisation des sinistres qui se sont déjà produits.

Pour ce faire, un recensement des sinistres "sécheresse" a été effectué par le BRGM auprès des **312 communes** du département. A la fin septembre 2006, seules

84 communes du département avaient été reconnues en état de catastrophe naturelle par arrêté interministériel, au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Ces données ont été recoupées et complétées par celles recueillies auprès de la Caisse Centrale de Réassurance, des bureaux d'études, des mutuelles et des experts d'assurance. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), c'est un total de 798 sinistres répartis dans 118 communes qui a été recensé, mais seuls 773 sinistres ont pu être localisés avec précision sur des cartes topographiques à l'échelle 1/25 000 de l'IGN. Ce panel de 773 sinistres peut être considéré comme représentatif de l'occurrence du phénomène dans le département de la Nièvre.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

Pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée a été déterminée par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuses du département. Ceci a permis de déterminer le nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques susceptibles et, par suite, de calculer une densité de sinistres par formation (en pondérant par la surface d'affleurement de chacune des formations, afin d'obtenir des chiffres comparables entre eux).

Dans un souci de rigueur et conformément à la méthodologie retenue au niveau national, étant donnée la grande diversité du taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, ces densités de sinistres ont été pondérées en tenant compte du taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé après numérisation du contour des zones urbanisées du département (à partir des cartes topographiques Scan25© de l'IGN).

Ainsi, une hiérarchisation des formations géologiques argileuses a été réalisée en fonction du taux de sinistres ramené à 100 km² de formation géologique réellement urbanisée.

2.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa a été établie à partir des contours de la carte de synthèse des formations argileuses et marneuses : le niveau d'aléa vis à vis du phénomène de retrait-gonflement a été établi en combinant, pour chaque formation argileuse, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km² de formation argileuse urbanisée, en donnant toutefois un poids deux fois plus important à la susceptibilité. La carte obtenue est numérisée et son échelle de validité est le 1/50 000. Elle est présentée en carte hors-texte sur support papier à l'échelle 1/135 000.

3. Présentation de département de la Nièvre

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE

Illustration 2 - Carte de présentation des régions naturelles de la Bourgogne (d'après les données BRGM et © Corine Land Cover)

Le département de la Nièvre se situe au sud-ouest de la Bourgogne (Illustration 2) et il est limité à l'ouest par la Loire et à l'est par le Morvan où l'Yonne prend sa source. Cette rivière traverse le centre du département, du sud vers le nord.

On peut décompter, du nord au sud du département, les régions naturelles suivantes (Illustration 3) : les Collines du Nivernais au centre-ouest, une partie de la Puisaye au nord-ouest du département, le Bazois, au centre-est, la partie occidentale du Morvan et la Sologne bourbonnaise au sud-ouest.

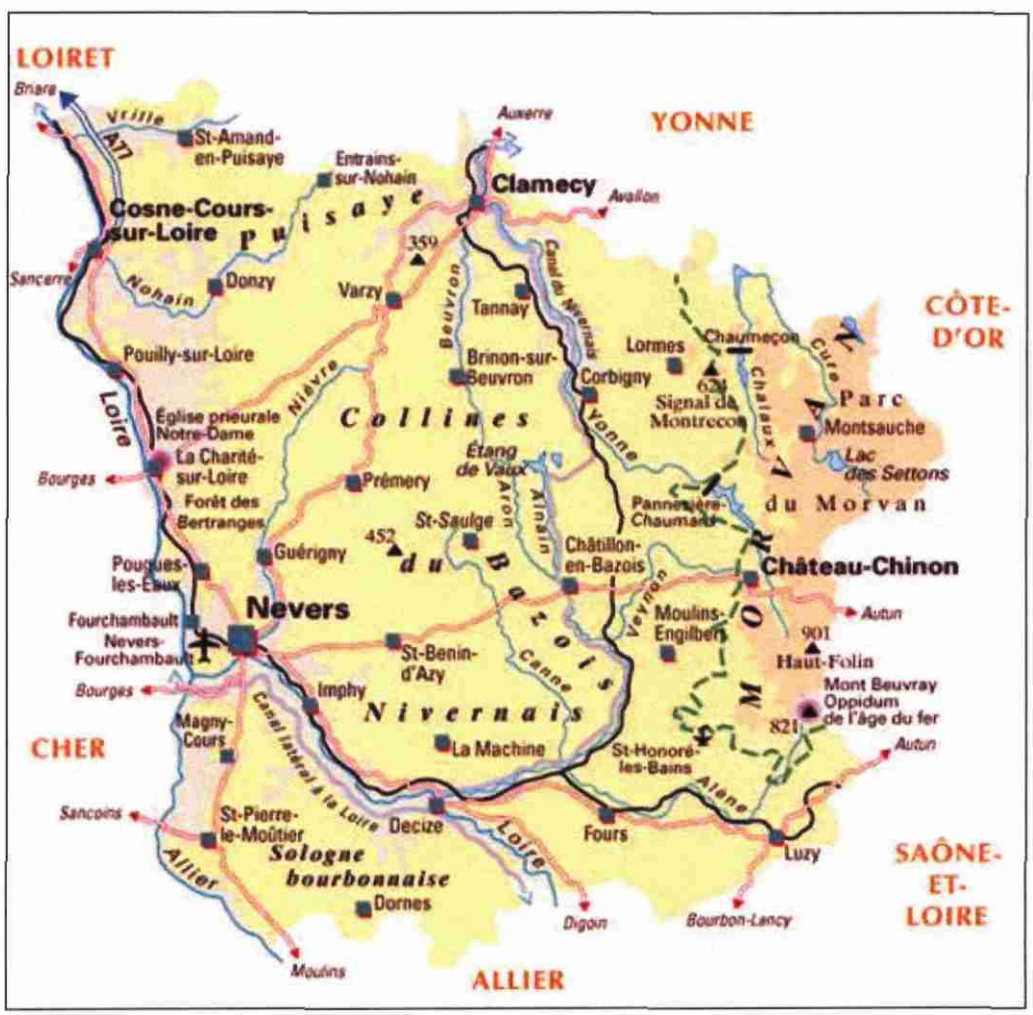


Illustration 3 - Présentation du département de la Nièvre (Source : Office du Tourisme)

Le département de la Nièvre possède une vocation agricole très marquée. L'élevage y est prospère (bovins, ovins, volaille). Les industries restent de type "léger" et elles sont très diversifiées (constructions mécaniques et électriques, agro-alimentaire…).

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

3.2.1. Généralités

Le département de la Nièvre présente des caractéristiques diverses au niveau du climat. Sous des influences climatiques différentes, deux régions peuvent être distinguées :

- à l'ouest, le Nivernais et le Val de Loire, où le climat est de type continental avec *vents d'ouest ou de sud-ouest dominants qui apportent des influences océaniques* ;
- à l'est, le Morvan, où le climat est de type montagnard, froid, avec une pluviosité et un enneigement abondants.

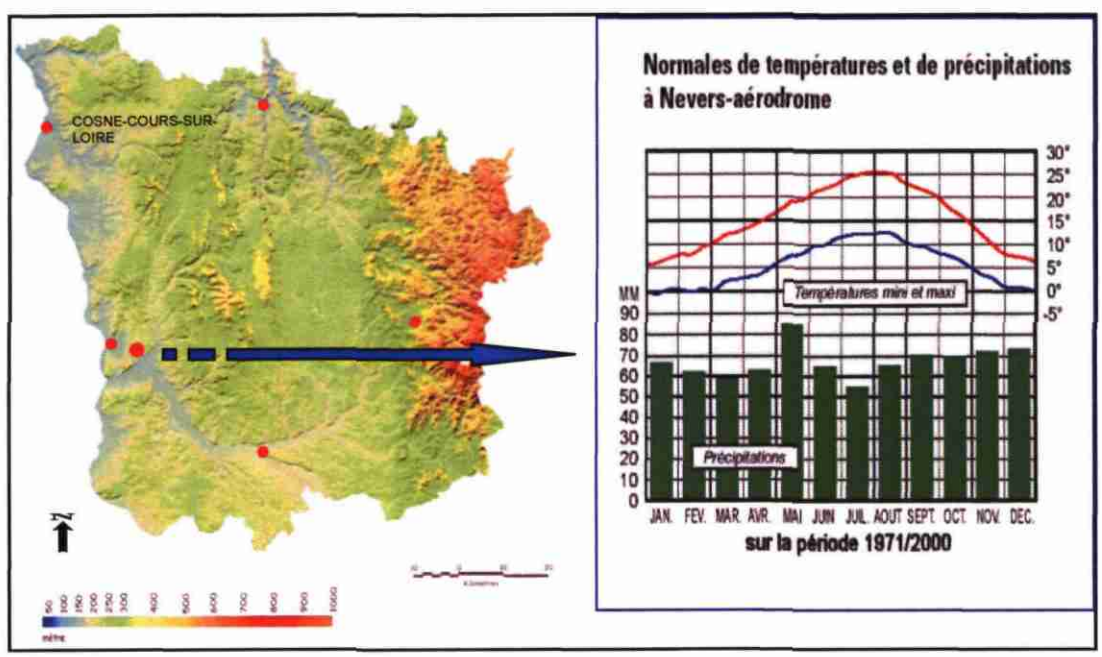


Illustration 4 - Relief du département de la Nièvre (IGN via DIREN). Données météorologiques à Nevers (Météo France).

Les normales mensuelles de températures et de précipitations à Nevers sur la période 1971-2000 sont présentées sur l'illustration 4. Les précipitations sont relativement régulières au cours de l'année, le mois de mai étant le plus humide et le mois de juillet le plus sec. La moyenne annuelle des précipitations est de 800 mm.

Depuis 1988, le département a connu trois principales périodes de sécheresse :

- la première, d'août 1988 à mai 1992, a été caractérisée par sa durée exceptionnellement longue et par le fait que, même les mois d'hivers ont été marqués par des faibles précipitations. Le déficit pluviométrique sur ces 4 années a atteint 785 mm ;

- après une période relativement pluvieuse qui a duré jusqu'en 1995, un nouvel épisode de sécheresse est apparu entre juin 1996 et mai 1997, marquant un déficit de précipitation de près de 230 mm par rapport aux normales (calculées sur la période 1971-2000) ;
- enfin, l'été 2003 a été caractérisé par une sécheresse brève mais intense qui a occasionné de nombreux sinistres dus au retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre. A la fin septembre 2006, 71 communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle suite à ce phénomène.

3.2.2. Conditions météorologiques durant l'année 2003

La sécheresse qui caractérise cette année se différencie des événements précédents par sa concentration sur une seule année (au lieu d'être répartie sur plusieurs années) et par son origine (elle est due non pas seulement au déficit pluviométrique mais aussi à des températures élevées qui ont engendré une forte évapotranspiration).

L'année 2003 a été marquée par :

Une pluviométrie en dessous de la moyenne : On constate un déficit significatif des précipitations entre février et septembre faisant suite à un automne 2002 très excédentaire (illustration 5). A Nevers, le cumul des précipitations sur l'année est inférieur à la moyenne annuelle d'environ 70 mm.

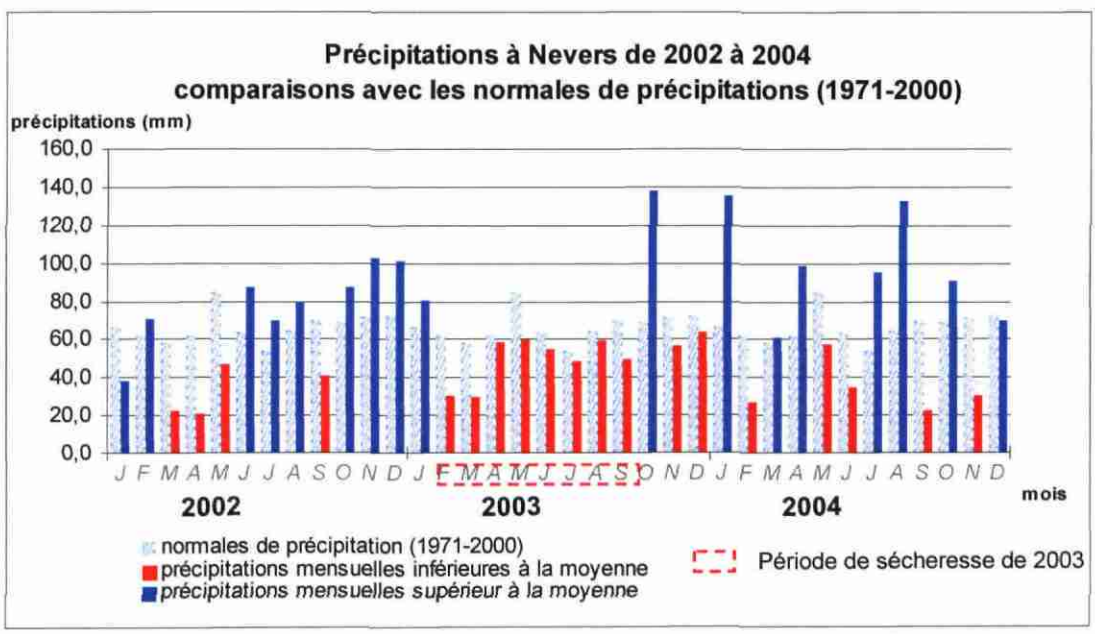


Illustration 5 - Précipitations mensuelles à Nevers de 2002 à 2004 et comparaison avec les normales trentenaires (météo France).

Des températures au dessus de la moyenne : une hausse significative des températures est aussi à noter durant cette période. Ainsi, on observe que les

maximales atteintes sur la période de février à septembre 2003 sont largement supérieures aux normales de température (moyennes trentenales). Cette période estivale plus chaude a donc renforcé l'évapotranspiration (Illustration 6).

L'association de ces deux phénomènes (forte évapotranspiration et déficit des précipitations) sur ce laps de temps très court a impliqué une sécheresse estivale brève mais particulièrement intense.

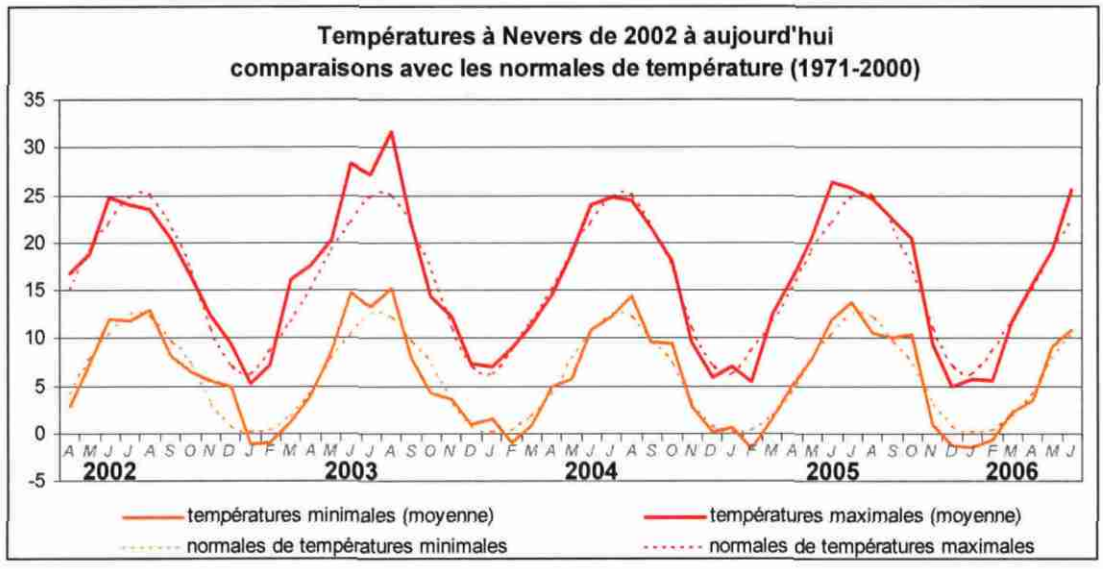


Illustration 6 - Températures à Nevers d'avril 2002 à juin 2006 (source météo France et Météociel modifiée)

L'analyse des données faite par Météo France permet de mieux comprendre le contexte particulier de l'année 2003 :

- **Janvier est un mois pluvieux, voire très pluvieux, frais et très bien ensoleillé.** 2003 débute par un mois de janvier normalement arrosé sur la Puisaye et très pluvieux sur le reste de la Nièvre avec un maximum sur La Charité-sur-Loire. Concernant les températures, le mois de janvier 2003 est *frais avec une seconde décade froide. La moyenne des températures* minimales est négative sur toute la Nièvre et la moyenne des températures maximales ne dépasse pas 6°. Pour l'insolation, le mois de janvier est le plus ensoleillé depuis 1952, au moins à Nevers avec plus 95 heures. Sur Château-Chinon, il a été mesuré 79 heures d'ensoleillement.

- **Février est un mois sec, frais et normalement ensoleillé.** Le mois de février est sec sur l'ensemble du département avec un déficit maximal sur la région de Châteauneuf-Val-de-Bargis et Varzy. Pour les températures, le mois de février 2003 est frais en raison du froid qui persiste les deux premières décades suivies d'une fin de mois chaude. Le mois de février est normalement ensoleillé avec 86 heures sur Nevers et 84 heures sur Château-Chinon.

- **Mars est un mois sec, très doux et très ensoleillé.** Le déficit hydrique de février perdure avec un mois de mars 2003 sec au cours duquel, en bien des endroits, pas une goutte d'eau n'est tombée pendant trois semaines. Les déficits les plus importants sont mesurés du Nivernais Central au Morvan avec des précipitations égales ou moyennes à 33% de la normale. Concernant les températures, après de nombreuses matinées froides, le mois de mars 2003 est très doux avec des après-midi chauds voir très chauds (du 19 à la fin de mois). Le mois de mars est très ensoleillé avec 234 heures sur Nevers et 209 heures sur Château-Chinon.

- **Avril 2003 est un mois sec, doux et très ensoleillé.** C'est un nouveau mois déficitaire bien que le nord de la Bourgogne Nivernaise, la Puisaye et la région de Marzy sont normalement arrosées. Le déficit hydrique le plus important touche Châteauneuf-Val-de-Bargis et Château-Chinon avec des précipitations égales à 50 % de la normale. Pour les températures, c'est un mois globalement doux avec de nombreux après-midi chauds voire très chauds. Il est aussi marqué par de fortes gelées les 8, 9 et 11. L'insolation est élevée avec 219 heures à Nevers et 210 heures à Château-Chinon.

- **Mai est un mois sec, globalement doux et normalement ensoleillé.** Le déficit hydrique persiste. Malgré tout, les régions de Dommartin et Varennes-Vauzelles sont normalement arrosées et St-Amand-en-Puisaye est excédentaire. Cet excédent est lié à une grande variabilité des précipitations en début de mois sous des situations orageuses. Le déficit le plus important touche le sud de la Nièvre de Decize à Luzy et sur Collancelle. Pour les températures, le mois de mai 2003 est très fluctuant avec un début de mois très chaud, une seconde décade fraîche avec de petites gelées sous abri le 15 et une fin de mois douce. Concernant l'insolation, le mois est normalement ensoleillé avec 199 heures à Nevers et 160 heures à Château-Chinon.

- **Juin est un mois sec, globalement doux et normalement ensoleillé.** Ce mois de juin 2003 accentue encore le déficit hydrique. Toute la Nièvre est touchée, excepté de Cosne-sur-Loire à St-Amand-en-Puisaye et la région de Decize qui sont excédentaires. Les déficits les plus importants touchent le Morvan, le nord-est de la Bourgogne nivernaise et la région d'Ourouër. Concernant les températures, c'est un mois très chaud et de tous les records à Nevers. Il a fait le 22 juin jusqu'à 40,6 °C à Decize. C'est un nouveau mois très ensoleillé avec 233 heures à Château-Chinon et 280 heures à Nevers.

- **Juillet est un mois sec, doux et normalement ensoleillé.** Une forte disparité se manifeste dans la répartition spatiale des pluies en raison d'un caractère souvent orageux. La répartition dans le temps est aussi très irrégulière. Pour les températures, le mois de juillet est assez chaud et il continue la série des mois chauds depuis mars après un mois de juin record. Le mois de juillet 2003 est tout à fait conforme à la normale avec 4 jours d'insolation continue.

- **Août 2003 est un mois très chaud et caniculaire au cours de la première quinzaine, très ensoleillé.** De grandes variations hydriques sont enregistrées en raison de nombreux orages et se retrouvent sur le total mensuel. Il n'a jamais fait aussi chaud pour un mois d'août et de nombreux records sont relevés. L'ensemble de la Nièvre a bénéficié d'un très bon ensoleillement avec 161 heures à Château-Chinon. Les 297 heures de Nevers se situent au 3ème rang depuis 1952 au moins.

- **Septembre est un mois sec, normalement tempéré et ensoleillé.** C'est un mois déficitaire sur l'ensemble du département, entre 42% de la normale à Dommartin à 80% de la normale sur Decize. Pour les températures, un équilibre thermique se produit entre une première décade fraîche et une seconde douce, la fin de mois étant saisonnière. L'ensemble de la Nièvre a bénéficié d'un bon ensoleillement avec 198 heures à Château-Chinon et 213 heures de Nevers.

- **Octobre est très pluvieux, frais et bien ensoleillé.** Il est tombé plus de 100 mm d'eau sur l'ensemble de la Nièvre, excepté sur Cosne-sur-Loire. De nouveau, c'est le Morvan le plus arrosé avec 220 mm de moyenne. Concernant les températures, la première décade est saisonnière, la seconde assez douce mais la fin de mois est très froide (gelées généralisées du 22 au 28) faisant ainsi chuter la moyenne mensuelle et donnant globalement un mois frais. Pour l'insolation, les deuxième et troisième décades rattrapent le léger déficit de la première, ce qui donne un mois bien ensoleillé.

- **Novembre est un mois sec, doux et normalement ensoleillé.** Malgré une troisième décade très pluvieuse sur l'ensemble du département, novembre 2003 est sec sur une grande partie de la Nièvre. C'est la douceur qui marque novembre 2003 en raison d'une troisième décade très chaude malgré beaucoup d'humidité. Avec 74 heures à Nevers, c'est un mois normalement ensoleillé grâce à une première décade très excédentaire qui compense le déficit du reste du mois.

- **Décembre est un mois sec à pluvieux du nord au sud, tempéré et ensoleillé.** Le nord de la Nièvre est sec, le sud pluvieux et le centre normalement arrosé. C'est un mois normalement tempéré entre une seconde décade douce et le reste du mois assez frais. Avec 77 heures à Nevers, c'est un mois bien ensoleillé malgré 11 jours d'insolation nulle. A Château-Chinon, 98 heures d'insolation sont enregistrées.

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le département de la Nièvre occupe le rebord sud-est du Bassin Parisien. On y observe la succession complète des couches, inclinées vers le nord-ouest, depuis le Lias reposant sur le socle du Morvan à l'extrémité sud-est du département, jusqu'au Sénonien supérieur à son extrémité nord. Compte tenu de cette structure, les

différentes formations dessinent à l'affleurement des bandes parallèles et concentriques, de plus en plus récentes lorsqu'on va vers le nord-ouest, vers le centre du Bassin parisien (voir l'extrait de carte géologique au 1/1 000 000 de la France présenté sur l'illustration 7).

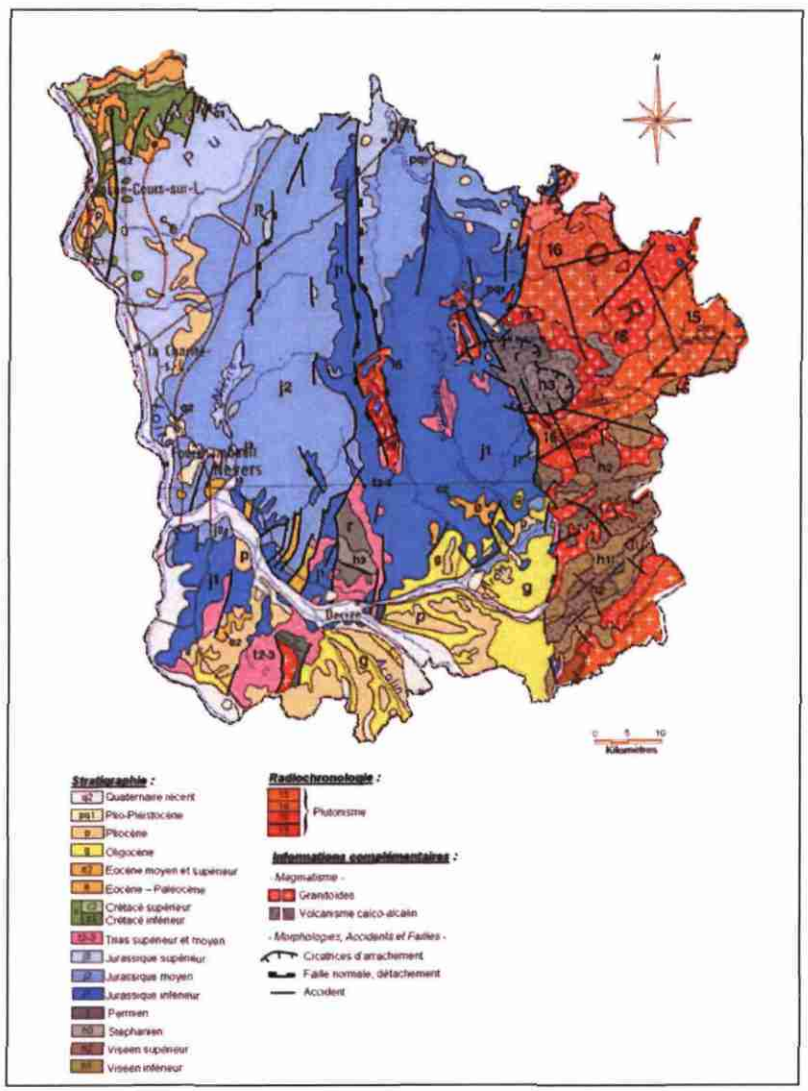


Illustration 7 - Carte géologique simplifiée du département de la Nièvre (extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000)

On rencontre ainsi, successivement du sud-est vers le nord-ouest :

- **le socle du Morvan** (granites et roches métamorphiques) à l'est de Château-Chinon, accompagné des pointements de socle de St-Saulge et de Neuville-les-Decize,

- **le Lias** essentiellement argileux (avec cependant quelques niveaux calcaires) largement représenté dans le Bazois, et dans une moindre mesure, à l'ouest de la Sologne bourbonnaise,
- **le Jurassique moyen et supérieur,** essentiellement calcaire et marneux, formant la partie ouest des collines du Nivernais et le sud-ouest de la Puisaye,
- **le Crétacé inférieur et supérieur,** lithologiquement varié, mais où dominent des formations sableuses et argileuses, qui constitue, au nord-est du département, une partie de la Puisaye (St-Amand-en-Puisaye),
- **les formations superficielles** d'altération (Limons des plateaux, argiles à silexites, formations résiduelles, argiles et sables du Bourbonnais), souvent épaisses (1 à plus de 10 mètres d'épaisseur) et continues, qui recouvrent les plateaux à l'ouest du cours de l'Yonne, masquant les formations géologiques en place.

Cette présentation, très simplifiée, résume uniquement les grands ensembles géologiques de la Nièvre. Les formations argileuses seront détaillées plus précisément par la suite.

3.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL

3.4.1. Généralités

Les différentes formations géologiques du département de la Nièvre renferment plusieurs nappes qui, suivant leurs caractéristiques (profondeur et fluctuations saisonnières notamment), peuvent avoir une incidence sur le phénomène de retrait-gonflement des argiles. En effet, dans le cas d'une nappe à faible profondeur, les phénomènes de remontées capillaires atténueront la dessiccation de la zone non saturée. Cependant, en cas de baisse généralisée du niveau de la nappe, la dessiccation de la zone non saturée sera d'autant plus importante. Par ailleurs, dans le cas d'une alternance de couches argileuses et sableuses, les niveaux sableux seront sujets à des fluctuations rapides de teneur en eau, qui influeront directement sur la teneur en eau des argiles sus-jacentes, donc sur le retrait ou le gonflement de ces dernières.

Vis à vis de la problématique du retrait-gonflement des argiles, les nappes de la Nièvre peuvent être classées en deux grands ensembles. D'une part, les nappes « profondes et continues » (comme celles des calcaires du Jurassique et celle de la craie du Crétacé), et d'autre part les nappes plus « superficielles » des formations alluviales et des formations altérées du Morvan.

3.4.2. Le contexte hydrogéologique du département de la Nièvre

Les grandes zones hydrogéologiques du département sont présentées sur l'illustration 8 et décrites ci-après.

L'Est du département est occupé par **le socle primaire du Morvan**. Bien que plus généreusement arrosé que le reste du département à cause de son altitude, il ne constitue pas un château d'eau providentiel, à cause de sa nature géologique. Principalement granitique, il présente un potentiel aquifère limité à sa couverture d'altération constituée d'arènes granitiques. Ces dernières alimentent de nombreuses sources, mouillères et suintements diffus, dont les faibles débits témoignent de l'intérêt uniquement local de ce type de réservoir.

En bordure occidentale du Morvan, les **marnes du Jurassique inférieur** (Lias) affleurent largement en Bazois ; elles ne sont pas aquifères et seuls quelques horizons calcaires interstratifiés ou gréseux au contact du socle constituent des réservoirs d'intérêt local. Seul est assez productif l'aquifère du « Silicifié », contenu dans des formations silicifiées du socle granitique au contact de la couverture sédimentaire. Au cœur du Bazois, des failles font réapparaitre le socle granitique (horst de Saint-Saulge) ainsi que des formations houillères (horst de Decize – La Machine) ; leur hydrogéologie s'apparente à celle du Morvan.

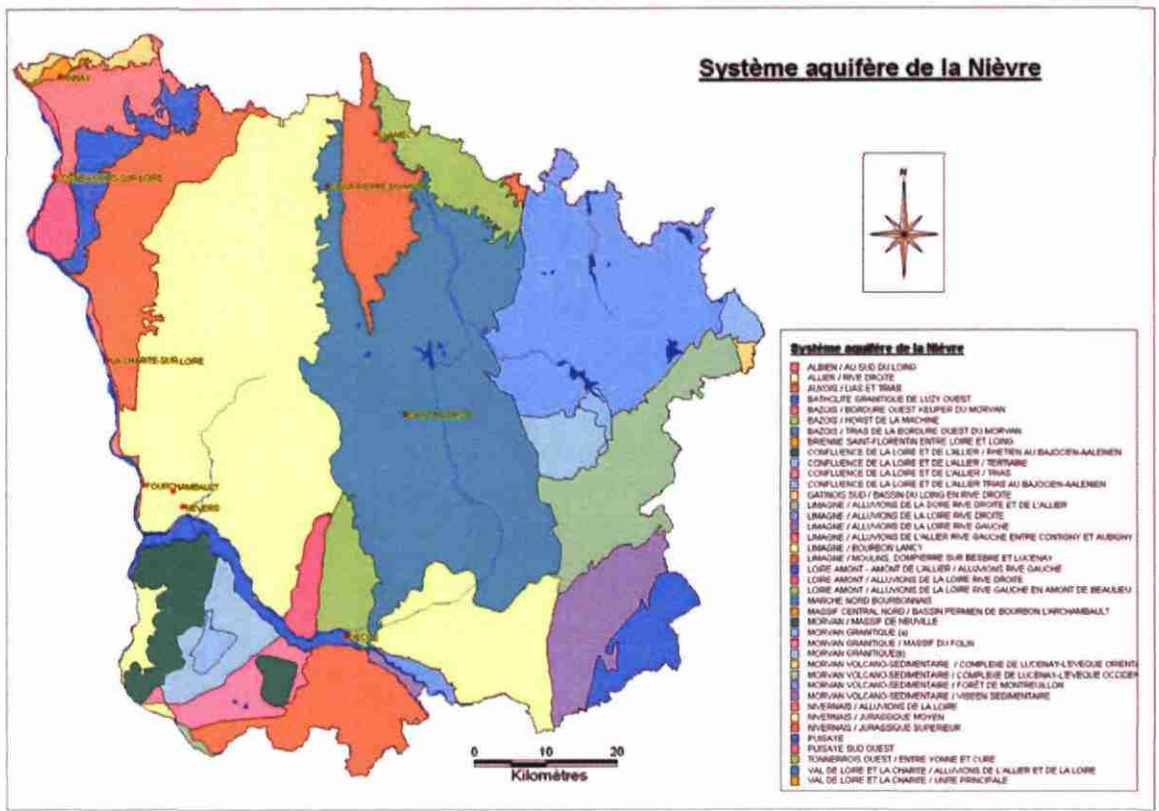


Illustration 8 - Représentation schématique des aquifères de la Nièvre. (Données DIREN, modifiée BRGM)

La partie sud-est du département est occupée par le fossé tectonique d'effondrement tertiaire de la Loire, prolongement des fossés tectoniques des Limagnes du Massif central. Dans la Nièvre, son remplissage est essentiellement argileux et ne contient pas de ressources aquifères notables. Ces formations sont recouvertes en surface par les *Sables et argiles du Bourbonnais*, formation aussi essentiellement argileuse mais qui peut contenir des niveaux de graviers donnant une ressource en eau souterraine mais d'intérêt seulement local.

A l'ouest du Bazois et jusqu'à la Loire affleurent les **calcaires jurassiques** qui contiennent des aquifères plus ou moins karstiques et qui constituent les plateaux du Nivernais. Le potentiel aquifère des calcaires est important, mais dans la Nièvre la série des calcaires du Jurassique est souvent entrecoupée de niveaux marneux parfois assez épais, ce qui limite les potentialités aquifères de l'ensemble. Enfin, particularité des plateaux calcaires du Nivernais, les calcaires y sont recouverts d'une couche parfois épaisse (5 à 20 m) d'argile à chaille, mais qui ne protège pas des pollutions l'aquifère des calcaires sous-jacent du fait des nombreux effondrements karstiques qui se transmettent jusqu'à la surface à travers la couverture argileuse.

Les sables du Crétacé moyen, en particulier ceux de l'**Albien**, affleurent à l'extrême nord-ouest du département. Ils constituent la partie libre de la nappe des « Sables verts » du Bassin parisien. Ils s'ennoient progressivement vers le Nord-ouest sous des formations plus récentes et la nappe qu'ils contiennent devient alors captive. Qualifiée de ressource stratégique dans le SDAGE Seine-Normandie, la nappe captive est réservée à l'alimentation de secours en eau potable de l'Ile de France et classée en zone de répartition des eaux. Le volume total annuel des prélèvements est fixé à 18 millions de m^3 (plus 2 millions de m^3 pour la nappe du Néocomien qui lui est associée).

Enfin **les alluvions récentes** se rencontrent dans les plaines alluviales des principales rivières du département de la Nièvre, c'est-à-dire essentiellement la Loire, l'Allier et l'Yonne, accessoirement la Nièvre et l'Aron (affluents de la Loire) et le Beuvron (affluent de l'Yonne). Les nappes alluviales qu'elles renferment sont peu profondes et en étroite relation avec les rivières qu'elles drainent et/ou alimentent selon les saisons et les conditions hydrodynamiques locales, mais elles sont aussi en relation étroite avec les aquifères qu'elles surmontent et/ou qu'elles longent et qu'elles drainent dans la plupart des cas. Les alluvions de la Loire et de l'Allier constituent l'aquifère le plus productif et le plus utilisé du département.

4. Identification et cartographie des formations argileuses et marneuses

4.1. DOCUMENTS UTILISES ET METHODOLOGIE

4.1.1. Les cartes

L'objectif visé est de disposer d'une carte des formations géologiques argileuses et marneuses du département de la Nièvre, afin d'identifier les zones de susceptibilité au retrait-gonflement.

Ce travail a été réalisé à partir de 25 cartes géologiques à 1/50 000 couvrant la totalité du département (illustration 9).

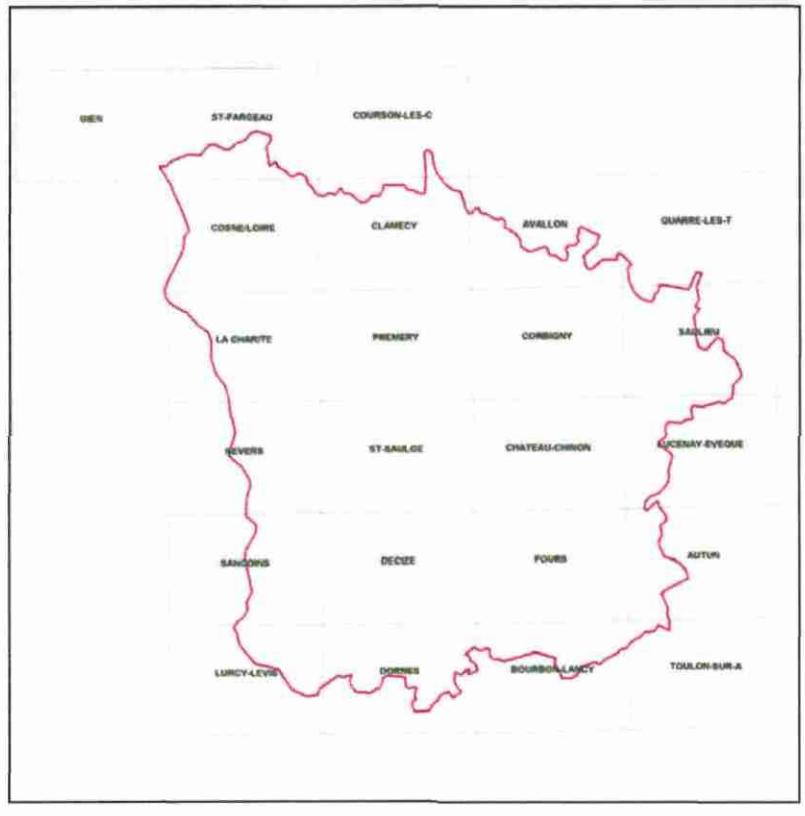


Illustration 9 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 de la Nièvre

Ces cartes sont les suivantes :

- Avallon (466) - O. Horon, Cl. Mégnien et A. Lefavrais-Raymond (1966),
- Autun (551) - J. Delfour, J. Arène, L.Clozier, J.P. Carrouet et al. (1991),
- Bourbon-Lancy (576) - J. Delfour, L. Clozier, H.G. Carrat et al. (1990),
- Château-Chinon (523) - H.G. Carrat et A. Lefavrais-Raymond (1986),
- Clamecy (465) - S. Debrand-Passard, A. Lefavrais-Raymond et J. Cornet (1990),
- Corbigny (496) - J. Delfour, B. Alabouvette et J. Cornet (1997),
- Cosne-sur-Loire (464) - J.C. Menot, L. Clozier, D. Bonijoly et J. Cornet (2001),
- Courson-les-Carrières (434) - C. et F. Mégnien, M. Turland et P. Villalard (1972),
- Decize (549) – En fin de levé (sortie 2007 ?),
- Dornes (575) - L. Clozier et M. Turland (1982),
- Fours (550) - J. Delfour, L. Clozier, B. Alabouvette et J. Cornet (1992),
- Gien (432) - M. Gigout et N. Desprez (1977),
- La Charité (494) - J.C. Menot, S. Debrand-Passard, L. Clozier et Y. Gros (1997),
- Lucenay-Evêque (524) - J Delfour, L. Clozier, J. Cornet, G. Lablanche et R. Feys (1995),
- Lurcy-Levis (574) - R. Fleury, G. Lablanche et al. (1989),
- Nevers (521) - J.H. Delance, G. Lablanche, L. Clozier et al. (1988),
- Premery (495) - G. Lablanche, J. Delfour (1998),
- Quarré-les-Tombes (467) - O. Horon, A. Lefavrais-Raymond et J. Rouire (1968),
- Saint-Fargeau (433) - M. Gigout, J.P. Michaud et C. Monciardini (1982),
- Saint-Saulge (522) – J. Roger, J. Delfour, Fl. Quesnel et F. Gaudry (2006),
- Sancoins (548), L. Clozier, S. Debrand-Passard and al. (1983),
- Saulieu (497) - S. Caillère et J. Lorenz (1973),
- Toulon-sur-Arroux (577) – P. Chévremont, P. Marteau et M. Donzeau (2006).

Les cartes géologiques à 1/50 000 ont tout d'abord été numérisées en mode vecteur, dans un système commun de coordonnées géographiques (Système Lambert II étendu). Chaque formation géologique a été distinguée et indexée ainsi que toutes les indications structurales et notations ponctuelles portées sur les cartes.

Entre toutes les cartes géologiques couvrant le département, l'harmonisation a été réalisée sur la base de la synthèse de toutes les formations géologiques, après rassemblement des formations identiques et regroupement des formations de compositions lithologiques très voisines, et mise en place d'un système d'indexage commun. Par exemple, les colluvions ont été regroupées en grands ensembles, suivant leur composition lithologique et les principales formations mères dont elles sont issues, ceci afin d'obtenir une homogénéité d'interprétation sur l'ensemble du département. La perte d'information qui résulte des regroupements ainsi effectués est surtout sensible au niveau des processus de mise en place et de l'âge des formations, mais elle est négligeable pour l'objectif visé, les matériaux concernés étant très proches.

Une première mosaïque des cartes a été ensuite établie : elle faisait apparaître les discontinuités de contours aux limites des feuilles et des discontinuités liées à des divergences d'interprétations de la part des différents auteurs. La continuité des contours géologiques a été assurée aux limites de chaque feuille par des corrections de détail basées sur une analyse géomorphologique.

4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses et marneuses

A partir de la carte géologique harmonisée du département de la Nièvre, nous avons sélectionné les formations argileuses et marneuses pouvant être sujettes au phénomène de retrait-gonflement.

Il a été identifié 31 niveaux présentant ce caractère sur le département.

Dans certains cas, les argiles ou marnes constituent la majeure partie de la formation retenue. Mais, dans la majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département de la Nièvre sont très hétérogènes ; il peut s'agir :

- soit de formations intrinsèquement hétérogènes, qui sont constituées d'un mélange de différents matériaux dont des argiles ou des marnes, mais également des éléments plus grossiers (limons, sables, graves...). C'est notamment le cas des formations alluviales, des sables et argiles panachés, des argiles, sables et grès de l'Yprésien, des argiles noires et sables glauconieux verts. L'argile est soit mélangée avec les autres constituants, soit présente sous forme de niveaux individualisés, séparés les uns des autres par des lits intercalaires non argileux, répartis selon une séquence complexe et qui peut présenter des variations spatiales. Dans ces conditions, il n'est pas possible, à l'échelle départementale, de distinguer précisément les zones contenant de l'argile de celles où elle est totalement absente, et l'ensemble de ces formations par nature hétérogènes a été considéré comme argileux ;
- soit de formations à la base peu argileuses, mais qui, du fait de leur altération, présentent en de nombreux secteurs des faciès argileux, notamment dans les premiers mètres de sol. Là encore, du fait de

l'impossibilité de distinguer à l'échelle départementale les contours des zones argileuses de ceux des zones indurées (calcaires notamment), il a été décidé de considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses, notamment en raison des nombreux sinistres qu'elles ont occasionnés.

L'hétérogénéité de ces formations est bien sûr prise en considération lors de la caractérisation de leur susceptibilité vis à vis du retrait-gonflement, notamment dans la note lithologique.

4.2. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

L'illustration 9 ci-après regroupe les 31 formations géologiques sélectionnées dans le département de la Nièvre en raison d'une composante argileuse ou marneuse les rendant potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement.

N°	Notation	Formation argileuse	Age
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	Holocène
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	Quaternaire
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	Quaternaire
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	Quaternaire
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	Pliocène supérieur
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex	Oligocène à Pliocène
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	Quaternaire
8	p	Sables et argiles bariolées	Pliocène
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	Éocène à Oligocène
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	Éocène à Pliocène
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites.	Cénomanien
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux.	Albien supérieur
13	n6M	Argiles de Myennes	Albien moyen
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	Albien inférieur
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	Barrémien
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	Kimméndgien à Tithonien inférieur
17	j6c	Marnes et calcaires à *Exogyra virgula*	Kimméndgien sup.
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	Kimméridgien inférieur
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	Oxfordien sup.
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	Oxfordien moy. à inf.
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	Bathonien à Callovien
22	J3a-4a	Marnes et calcaires argileux	Bathonien à Callovien
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	Aalénien à Bathonien
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	Toarcien
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	Domérien
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	Carixien à Domérien
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	Sinémurien
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	Hettangien à Rhétien
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	Trias
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	Saxonien
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	Viséen

Illustration 10 - Liste des formations argileuses et marneuses de la Nièvre.

L'illustration 11 ainsi que la carte présentée en planche 1 hors texte au format A0 représentent la carte synthétique des 31 formations géologiques argileuses et marneuses dans le département de la Nièvre, après harmonisation de leurs contours géologiques.

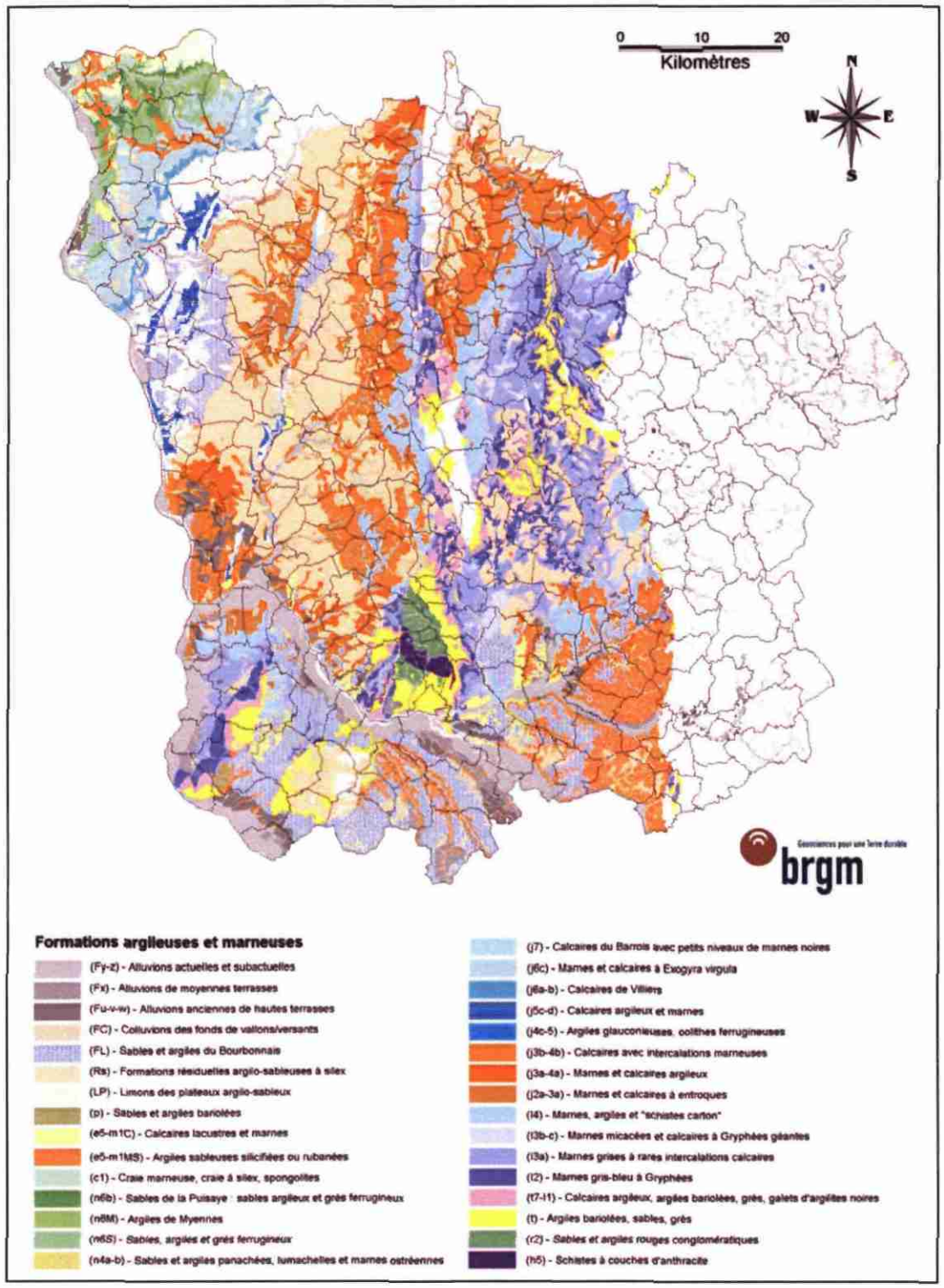


Illustration 11 - Carte de synthèse des formations géologiques à composante argileuse ou marneuse dans le département de la Nièvre.

4.2.1. Les dépôts du Quaternaire : les formations superficielles.

Les dépôts alluviaux :

Les formations alluviales sont essentiellement constituées de dépôts calcaires et siliceux (quartz et silex) mêlés à d'autres composants en quantités variables : minéraux lourds, micas, feldspaths, argiles et matière organique accumulée sous forme de poches tourbeuses. Ces dépôts sont répertoriés selon leurs positions altimétriques relatives. Les dépôts les plus anciens sont situés sur les hauts des versants et les dépôts plus récents s'emboîtent au fur et à mesure du surcreusement fluviatile. La notation des terrasses est généralement comprise entre Fu et Fz : Fu correspond à la terrasse la plus ancienne et Fz aux dépôts actuels, concentrés dans les lits majeurs des cours d'eau. D'un point de vue lithologique, les différences sont faibles entre deux terrasses successives, ce qui explique que des regroupements aient été réalisés dans la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, afin de ne conserver que trois niveaux d'alluvions différenciés.

Alluvions actuelles et subactuelles, Holocène (Fy-z)

Les alluvions modernes, qui correspondent au lit majeur des cours d'eau, et les alluvions récentes des basses terrasses sont datées de l'Holocène. Elles ont été regroupées dans la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Ces dépôts occupent les fonds des vallées de la Loire, de l'Allier, de l'Yonne et de leurs affluents (Nohain, Cure, Cousin). Ils sont présents sur l'ensemble des cartes géologiques.

Leurs caractéristiques lithologiques varient en fonction des cours d'eau, des bassins versants et de leurs positions relatives par rapport au cours d'eau (dépôts de bordure de méandres ou situés au cœur des chenaux). La plupart des auteurs des cartes géologiques du département décrivent des formations argilo-limoneuses et argilo-sableuses, où s'intercalent des horizons d'argiles grises ou noires. Des accumulations de dépôts argilo-tourbeux sont signalées de façon très localisée dans des anciens méandres. L'extrême variabilité des faciès et le caractère aléatoire des zones argileuses, conduit à retenir l'ensemble des *Alluvions modernes et récentes* parmi les formations argileuses, bien que les argiles soient minoritaires.

Les alluvions sont constituées de sables et graviers, généralement gris à beiges, et peuvent contenir des galets décimétriques de silex, de roches calcaires, métamorphiques ou volcaniques. Les sables sont essentiellement des grains de quartz blancs, accompagnés dans des proportions variables par des feldspaths, des micas et des minéraux lourds.

A proximité du lit majeur, les basses terrasses sont situées entre 3 et 10 m au-dessus du lit majeur.

L'épaisseur des *Alluvions modernes et récentes* varie selon les cours d'eau : souvent réduite à quelques mètres au dessus du lit mineur, elle peut atteindre et même dépasser la dizaine de mètres localement à proximité de la Loire et de l'Allier.

Les *Alluvions modernes et récentes* sont caractérisées le plus souvent par la présence d'un aquifère à faible profondeur, alimenté par le cours d'eau.

Alluvions de moyennes terrasses, Quaternaire (Fx)

Les *Alluvions de moyennes terrasses* sont surtout développées le long de la Loire et de l'Allier, à l'ouest et au sud-ouest du département.

Les observations de surface montrent que des dépôts fins de limons très argileux surmontent des sables fins ou grossiers gris à gris-verdâtre quartzo-feldspathiques, à galets composés de roches cristallines, métamorphiques ou volcaniques, de quartz et de silex.

Par exemple sur la carte de Sancoins, le long de la vallée de l'Allier, les *Alluvions des moyennes terrasses* se présentent sous la forme de sables fins, sables et graviers, de galets (4 m d'épaisseur) recouvrant du limon très sableux, brunâtre à noirâtre (0,5 m) surmontant des sables fins à grossiers, quartzo-feldpathiques, avec des galets de silex remaniés des formations du Bourbonnais. Ils surplombent l'Allier de 4 à 6 m. Concernant la vallée de la Loire, cette formation présente à la base des galets de silex, de quartz d'origine granitique ou rhyolithique et de chailles dans une matrice sableuse quartzo-feldpathique, le sommet étant constitué de limons ou de sables fins à moyen.

L'épaisseur des *Alluvions de moyennes terrasses* varie de 0 à 10 m mais la moyenne se situe entre 4 et 6 m.

Alluvions anciennes de hautes terrasses, Quaternaire (Fu-v-w)

Les *Alluvions anciennes des hautes terrasses et des très hautes terrasses* sont très proches d'un point de vue lithofaciès et granulométrie, et elles ont donc été regroupées dans la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Elles affleurent surtout à l'ouest du département, le long de la Loire et aussi au sud, dans la vallée de l'Allier.

Ces alluvions sont constituées par des sables, graviers, galets et argiles. Elles peuvent être emboîtées dans les sables et argiles du Bourbonnais et une bonne part de leurs constituants est empruntée à cette formation. Ce sont, pour l'essentiel, des matériaux siliceux mélangés à des argiles rougeâtres plus ou moins abondantes formant la matrice du sédiment.

Dans la notice de la feuille de Nevers, cette formation est décrite comme des " limons argileux surmontant localement des sables granitiques à galets". Le cortège des minéraux lourds est dominé par le volcanisme : augite et hornblendes vertes et brunes, sphène ; la biotite est abondante. Les minéraux argileux sont représentés par des proportions équivalentes d'illite et de kaolinite, le pourcentage d'illite croissant légèrement vers la base.

Une altération forte se traduit par une rubéfaction des sables et parfois des niveaux d'argiles brun à rouges. La fraction argileuse peut être importante suivant les zones d'alimentation et le degré d'altération.

Les galets sont granitiques et proviennent du Morvan, le sable est quartzo-feldspathique, et parmi les minéraux lourds, on rencontre notamment du zircon et de l'hornblende. Les calcaires sont abondants localement au voisinage des versants en forte pente taillés dans la craie, et tendent à donner aux alluvions une teinte grisâtre. Le degré d'usure est variable d'une vallée à l'autre, mais les silex sont généralement fragmentés et bien calibrés.

La stratification est horizontale, parfois oblique, plus rarement entrecroisée. L'épaisseur de ces dépôts, dont une partie a été reprise par l'érosion, est faible (quelques décimètres à quelques mètres en général).

Les formations remaniées

Colluvions des fonds de vallons/versants, Quaternaire (FC)

Les colluvions qui comblent les fonds de vallons et, dans certains cas les bas de versants, sont hétérogènes. Suivant la nature des formations qui les alimentent, il s'agit d'argiles, de sables ou de galets emballés dans une matrice argilo-sableuse. Elles se concentrent dans les vallons secs ou secondaires, alimentés latéralement par des phénomènes de solifluxion et des ruissellements.

L'épaisseur des colluvions peut atteindre plusieurs mètres dans l'axe des thalwegs.

Cette formation présente une particularité en rive droite de la Loire. L'espace compris entre Nevers et Pougues-les-Eaux supporte des sables fins à moyens gris, bruns, ou roux plus ou moins argileux, en plaquages discontinus, dominant de quelques mètres jusqu'à 110 mètres le niveau de la Loire actuelle.

Une notation différente CF est donnée aux dépôts qui assurent la transition entre les colluvions et les alluvions proprement dites. Les matériaux observés sont essentiellement des argiles plus ou moins sableuses, de couleur grisâtre, fréquemment oxydées. Disséminés dans l'argile, les débris végétaux y sont abondants.

Sables et argiles du Bourbonnais, Pliocène supérieur (FL)

Ce sont pour l'essentiel des formations superficielles comprenant des argiles, des silts ou des sables avec ou sans galets, mais aussi des colluvions qui en dérivent plus ou moins directement.

Sur le territoire de la Nièvre, en rive droite de la Loire la formation est connue sur les feuilles de Fours, Dornes, Decize, Nevers, la Charité-sur-Loire, sur une zone comprise entre Cosne-Cours-sur-Loire et La Charité-sur-Loire et une autre au sud de Decize.

Sur le département de la Nièvre, il est possible de différencier, de haut en bas, plusieurs sous ensembles dont l'épaisseur peut atteindre 50 mètres :

- *une formation argileuse sommitale (FL4),* argiles à tendance évolutive aux limons de surface (2 à 5 mètre d'épaisseur) : les formations argileuses des plateaux terminent la série fluvio-lacustre. Il s'agit d'argiles parfois sableuses, très compactes ;
- *une formation sableuse médiane à galets (FL3)* : sables grossiers à galets, et alternances d'argiles et de sables argileux (entre 5 à 25 mètres d'épaisseur). Des cailloutis apparaissent dispersés dans la matrice argilo-sableuse ;
- *une formation sablo-argileuse médiane (FL2)* : sables fins, silts, argiles, comprenant localement un niveau-repère d'argiles noires à bois fossiles (entre 6 à 12 mètres d'épaisseur) ;
- *une formation sableuse basale à galets (FL1)* d'une épaisseur qui varie de 5 à 20 mètres : les galets y sont disposés en cordons alternant avec des sables plus ou moins argileux. Des boules argileuses micacées de quelques centimètres à plusieurs décimètres, sont emballées dans les sables à galets. Des bancs argileux se rencontrent à divers niveaux dans la masse sableuse.

Les formations du Bourbonnais ont constitué longtemps une matière première très favorable à la fabrication de tuiles et de briques. Les horizons d'argiles plus "nobles" ont été utilisés pour la fabrication de porcelaine et de faïence. La région de Lucenay-les-Aix (tuileries) était autrefois le siège d'une activité de carrière relativement importante.

4.2.2. Formations tertiaires ou quaternaires

Formations résiduelles argilo-sableuses à silex, Éocène à Pliocène (Rs)

Il s'agit de formations résiduelles d'altération, essentiellement représentées par des argiles d'altération à silexites, développées aux dépends de formations géologiques variées couvrant une large période allant du Trias au Crétacé. Elles sont bien représentées au centre et à l'ouest du département. Ce sont :

- Rc : Argiles à silex (quelques mètres à plus de 20 m d'épaisseur) issues des formations crétacées (Éocène). Plusieurs témoins de dépôts crétacés entièrement décalcifiés par lessivage intense subsistent en couverture sur des terrains allant du Jurassique supérieur au Crétacé. Ayant préservé leur substrat de l'érosion, ils occupent généralement des points hauts et de ce fait, colluvionnent sur les pentes. Des observations ponctuelles (fondations de maison ou creusement de fossé) montrent que ces paléoaltérations sont formées d'argiles blanches à brunes, parfois lie-de-vin, verdâtres, parfois renfermant des lentilles de sables brun-rouge qui emballent des silex très irrégulièrement répartis dans la masse. Les silex ont de 5 à 20 cm de diamètre. Ils sont profondément corrodés et ils ont un cortex friable blanc. Des silicifications affectent la couverture d'altérites, pouvant atteindre de 2 à 4 m d'épaisseur. Elles se sont développées au détriment des argiles à silex in situ, ainsi qu'à partir des formations remaniées (poudingues, conglomérats).

- Rj : Argiles à silexites issues des formations jurassiques (quelques mètres à quelques décamètres d'épaisseur). Cette formation est connue sous le nom ancien "d'Argiles à chailles". Elle forme le substratum superficiel de plateaux essentiellement boisés et colluvionne sur les versants des vallons qui les entaillent. Il s'agit d'argiles, plus ou moins sableuses, de teinte ocre à rougeâtre, emballant des galets très siliceux qui localement peuvent abonder à la surface du sol. Ceux-ci sont fréquemment anguleux et leur taille varie de quelques centimètres à 20 cm. Ces éléments ont issus de la décarbonatation-silicification des calcaires jurassiques, avec conservation des structures et notamment des fossiles. D'après G. Lucotte (1978), dans la matrice argilo-silto-sableuse (80 à 90 % de la masse), la fraction argileuse est constituée à 90 % de kaolinite, le reste se répartissant entre l'illite et la montmorillonite. L'épaisseur de ces formations est difficile à appréhender, mais sur les plateaux d'altitude supérieure à 205 m au sud de Donzy, elle peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Limons des plateaux argilo-sableux, argiles sablo-limoneuses, couverture argilo-sableuse, Quaternaire (LP)

Les dépôts limoneux, étendus à la surface des plateaux, sont formés d'argiles, de sables granitiques, de lits de cailloutis et de galets siliceux. Certains de ces limons sont appelés "complexes lœssiques" en raison de l'importance des limons éoliens.

Leur composition dépend étroitement de la nature du substrat. Ils ont pu ainsi s'enrichir en sables ou débris de silex, en récupérant de la même façon la signature argileuse des formations sous-jacentes.

Selon la nature des éléments, on distingue ainsi plusieurs familles :

- *limons à silex* (LPs) : le plus souvent cette formation superficielle comporte en profondeur un cailloutis de silex concassés et jaunis, dans une matrice argileuse. Ailleurs, on peut avoir un sable argileux jaune à éclats de silex dispersés. Cette variante existe notamment sur l'Éocène surtout argileux. Ce type de formation présente une épaisseur variable dépassant localement 2 mètres.
- *limons éoliens* (OE) : cette couverture est constituée de limons plus ou moins argilo-sableux. Son épaisseur varie de 0,4 à 1 mètres. Elle se caractérise par la rareté des éléments de taille supérieure à 2 mm et la richesse en argile.
- *limon et argile de décalcification* : cette formation se définit par un manteau limoneux beige à jaune épais de 1 à 2 mètres. Il semble que ces limons et argiles dérivent pour l'essentiel des matériaux du substratum décalcifié.

En général, les pourcentages de sables, grossiers ou fins, diminuent en profondeur, où corrélativement, il existe un accroissement de la fraction argileuse ou limoneuse. Cette couverture limoneuse dépend de la nature du sous-sol remanié et de la quantité d'apports éoliens.

4.2.3. Les formations du Tertiaire

Sables et argiles bariolées, Pliocène (p)

Sur la rive droite de l'Allier (feuille Lurcy-Lévis), à proximité de Saint-Pierre-le-Moutier, l'importante épaisseur de matériaux détritiques (atteignant 37 m en forêt de Chabet) qui reposent sur les calcaires lacustres, indique à l'évidence que les failles de Saint-Parize-le-Châtel et d'Azy-le-Vif, scellées à l'Éocène supérieur par les calcaires ludiens, ont rejoué postérieurement, créant ainsi un nouveau piège pour la formation déposée au Pliocène.

A la base, on observe des sables grossiers, quartzo-feldspathiques sur lesquels repose un ensemble argileux, finement sableux, micacé, épais de 5 à 8 m. Après un niveau d'argile lenticulaire brunâtre, riche en matières organiques, on observe des argiles sableuses, micacées, qui prennent des teintes saumon à violacé. Au dessus, le matériel détritique devient prépondérant, plus ou moins grossier, ocre à rougeâtre, très micacé et contient des niveaux pluridécimétriques d'argile compacte grisâtre. Vers l'ouest, les éléments détritiques se raréfient et sont remplacés par des argiles compactes, bariolées, mauve violacé et bleu verdâtre vers la base.

Cette formation est également visible dans l'angle nord-ouest de la carte géologique de Prémery, présente à l'ouest de cette ville et s'étendant jusqu'à Varzy au nord, apparaissant par endroit sur une vingtaine de kilomètres. Un sondage à Saint-Malo-en-Donziois a montré que cette formation peut atteindre une épaisseur de 18 m. Il s'agit d'une formation argilo-sableuse beige à ocre caractérisée par des niveaux d'argile rouge brique, probablement empruntée aux argiles à silexites. Des niveaux pluricentimétriques de silexites, dont la plus grande dimension n'excède pas 5 cm, peu ou pas roulées, empruntées aux argiles à silexites voisines, s'observent localement.

Calcaires lacustres et marnes du Nivernais, Eocène à Oligocène (e5-m1C)

Cette formation se rencontre essentiellement au sud et à l'ouest du département (Feuilles de Sancoins, Decize, Fours, Nevers et Cosne-sur-Loire). Ces dépôts tertiaires apparaissent en contrebas de faisceaux de failles subméridiennes. Il s'agit de lambeaux conservés sur des panneaux abaissés et on ne peut donc préjuger de leur extension originelle qui pouvait être plus ou moins continue. L'épaisseur visible de ces dépôts est de l'ordre de 10 à 30 mètres.

Généralement, on observe des calcaires durs et noduleux, plus ou moins caverneux, associés à des marnes blanchâtres à verdâtres. Le calcaire peut être meuliérisé, ce qui lui donne une couleur brun-roux.

A la partie inférieure de la formation, on peut observer une argile à minerai de fer pisolithique (quelques mètres d'épaisseur) dont les pisolithes ont été intensément exploitées dans le passé.

Argiles sableuses silicifiées ou rubanées, Éocène à Pliocène (e5-m1MS)

Si elle est peu représentée au nord ouest du département, cette formation s'étend sur de vastes surfaces dans le sud (cartes de Fours, Bourbon-Lancy et Dornes).

Elle est constituée d'une caillasse de silex plus ou moins usés, d'argiles plus ou moins sableuses, souvent bariolées et de silicifications. Les constituants sont essentiellement siliceux ou silico-alumineux : argiles, sables et silex. Les silex présentent tous les degrés d'usure, du silex branchu à cortex jusqu'aux galets imparfaitement arrondis, en passant par les silex concassés, à l'état d'esquilles emballées dans l'argile sableuse. L'abondance de galets caractérise l'Éocène mais ils ne constituent pas la phase la plus abondante en profondeur ; la formation étant surtout constituée d'un mélange d'argiles et de sables. L'argile de la matrice a parfois été remplacée par une silicification. La matrice argileuse est surtout constituée de kaolinite (60 %), mêlée de montmorillonite (30 %) et d'illite.

Cette formation est très répandue sur tout le Crétacé supérieur, beaucoup plus qu'il n'était précédemment admis car elle était confondue avec les "craies décalcifiées". Elle forme, avec des épaisseurs variables, métriques à décamétriques, le substratum de beaucoup de plateaux.

4.2.4. Les formations du Crétacé

Craie marneuse, craie à silex, spongolites, Cénomanien (c1)

Ce niveau est épais d'une vingtaine de mètres. A la base se présentent 8 à 10 m de marnes d'abord gris sombre, passant rapidement à des marnes crayeuses blanches, puis à la masse principale de la craie. On rencontre également des gaizes, roches siliceuses légères, très peu calcareuses, plus ou moins riches en spicules de spongiaires. Vu leur position proche de la surface, elles peuvent représenter le produit d'une importante altération (décalcification) de la craie sous-jacente.

Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux, Albien supérieur (n6b)

Uniquement représentée au nord-ouest du département, cette formation peut atteindre 25 m d'épaisseur. La série débute avec des alternances (8 m) de sable très fin, très argileux, noir, et de sable plus propre, vert. Elle se poursuit avec 15 m de sables fins à grossiers, plus ou moins glauconieux, dont certains horizons peuvent être grésifiés. Certains niveaux sont faiblement argileux. La série se termine par 2,50 m de sable argileux, bariolé, jaune-ocre à vert, aggloméré par un ciment phosphaté blanchâtre (niveau dit « Gravier à Opis »).

On notera que les *Sables de la Puisaye* n'avaient pas été retenus comme argileux dans le nord-ouest de l'Allier et dans l'Yonne, en raison de variations latérales de faciès.

Argiles de Myennes, Albien moyen (n6M)

Uniquement représenté au nord-ouest du département, cette formation est épaisse de 40 m à proximité de la centrale de Belleville, s'amenuisant à 35 m au sud et à 20 m à l'est. Le faciès principal est une argile noire, plastique, au sein de laquelle s'intercalent des niveaux de sables purs ou argileux.

La fraction argileuse comporte kaolinite, illite et smectite. La fraction sableuse est constituée de grains anguleux de quartz, de paillettes de mica et de glauconie. La pyrite est fréquente.

Sables, argiles et grès ferrugineux, Albien inférieur (n6S)

Cette formation est présente uniquement dans la partie nord-ouest du département (feuille de Cosne-sur-Loire) et elle n'affleure jamais en totalité. Seuls les forages ont permis de connaître sa constitution, les plus représentatifs étant ceux réalisés à proximité de Belleville et de Bitry. Dans cette zone, l'épaisseur varie de 28 m au nord à une quinzaine de mètres au sud.

Elle est formée de sables fins à moyens, de sables argileux et d'argiles sableuses au sein desquelles s'intercalent des horizons centimétriques de sables parfois indurés par un ciment ferrugineux. Le niveau supérieur (7 à 10 mètres) est un sable glauconieux, grossier, parfois grésifié, de teinte beige-grisâtre devenant plus vive au sud, blanc, rouge et violacé. Ce niveau supérieur est couronné par un horizon d'argile, ocre jaune à lie-de-vin, épais de 0,8 à 1,7 m qui a été jadis exploité.

Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes, Barrémien (n4a-b):

Cette formation affleure uniquement au nord-ouest du département. La base est constituée d'une formation calcaire, marneuse ou lumachellique, se débitant en larges dalles sonores peu épaisses qui sont le plus souvent gris foncé ; on y rencontre aussi des niveaux très rouges de *sanguines* (hématite). Certaines lumachelles sont au contraire très claires ou possèdent de la glauconie. On rencontre aussi des calcaires marneux à taches rougeâtres, mauves qu'on a désignés par le faciès « foie de veau ».

Sur cet ensemble de 15 m d'épaisseur moyenne repose un mélange d'argiles sableuses de différentes teintes allant du vert au gris sombre avec des passées de couleur sanguine. On y rencontre aussi des grès ferrugineux fins de couleur violacée, très denses. Ce second ensemble fait aussi une quinzaine de mètres et il n'est pas diiférencié du précédent sur les cartes géologiques.

4.2.5. Les formations du substratum du Jurassique

Les formations du Jurassique supérieur et moyen affleurent dans la partie nord-ouest du département, appartenant aux auréoles caractéristiques du Bassin Parisien.

Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires, Kimméridgien à Tithonien inférieur (j7)

L'épaisseur de cette formation, uniquement représentée dans la partie nord-ouest du département de la Nièvre, est évaluée à 30-35 m dans la région de Bouhy – Bitry et elle augmente progressivement en approchant de la Loire (55 m en sondage).

Bien que le calcaire massif soit dominant, il faut noter la présence de plusieurs niveaux plurimétriques d'une alternance marnes noires et calcaires micritiques, en particulier à la base de la formation (6,5 m), dans le prolongement direct du Kimméridgien sous-jacent.

Marnes et calcaires à Exogyra virgula, Kimméridgien supérieur (j6c)

Cette formation affleure dans la partie nord-ouest du département de la Nièvre, surtout apparente sur les cartes de Cosne-sur-Loire et de La Charité. Elle s'étale largement au sud de la cuesta tithonienne, entre Saint-Loup et Bouhy. Cependant les affleurements sont exceptionnels dans cette région de cultures.

Si la limite inférieure de la formation est nette, la supérieure est plus difficile à apprécier. Comme indiqué précédemment, il n'y a aucun changement tranché de faciès entre le Kimméridgien et le Tithonien, le seul critère de séparation étant l'enrichissement progressif de ce dernier en bancs calcaires. Il est donc difficile de donner une épaisseur précise à cette formation. Tout le long de la cuesta, l'épaisseur paraît être de 60 à 70 m. Elle semble augmenter assez vite vers le nord-ouest et vers le sud où des sondages ont montré qu'elle pouvait dépasser 95 m.

Les marnes gris bleuté à noirâtres, plus ou moins riches en *Nanogyra virgula* associées à des calcaires argileux souvent lumachelliques, constitue le faciès principal. Cependant quelques horizons de calcaire micritique s'intercalent dans la masse. La faune est caractérisée par l'abondance de petites huîtres (*Nanogyra virgula*) qui forment des lumachelles à certains niveaux. Les autres organismes sont plus rares.

Calcaires de Villiers, Oxfordien supérieur à Kimméridgien inférieur (j6a-b)

Cette formation est présente dans la partie nord-ouest du département (cartes géologiques de Cosne-sur-Loire et de La Charité).

La formation des calcaires de Villiers, anciennement dénommée Calcaires à astartes, n'affleure pratiquement jamais. Elle se manifeste à la surface du sol par des cailloux de petite taille et aplatis (débit en plaquettes). Son épaisseur croît du nord-est vers le sud-

ouest, passant de 25 à 35 m. Cette formation marque un retour à des faciès à dominante micritique, le faciès lumachellique pouvant parfois apparaître.

Bien que cette formation soit constituée dans son ensemble par des calcaires massifs et résistants, il est possible que les surfaces d'altération non lessivées par les intempéries soient le siège d'accumulation de matériaux argileux pouvant générer des désordres dans les constructions.

Calcaires argileux et marnes, Oxfordien supérieur (j5c-d)

Cet ensemble se retrouve dans la partie ouest du département, sur les cartes géologiques de Cosne-sur-Loire, La Charité et Nevers. Il regroupe trois formations non-récifales de l'Oxfordien supérieur :

- calcaires à grain fin et ammonites (12 à 15 m d'épaisseur) : Ils sont présents au NNW de Donzy, à l'ouest de La Charité, au nord de Guérigny et jusqu'à l'ouest de Nevers. Les faciès peuvent évoluer vers le sommet avec la présence de pelloïdes plus gros et des bioclastes plus abondants. Ainsi, sur la feuille de La Charité, ces calcaires à grain fin évoluent au sud vers les Calcaires fins à oolithes de bioclastes de Narcy ;
- marnes et calcaires argileux de Crezan-Les-Fontaines (7 m) : Affleurant entre ces deux lieux-dits, à l'ouest de Donzy, ils ont été recoupés en sondage entre 46 et 53 m. Vers l'est, ils passent latéralement aux Calcaires oolithiques de La Charité, en même temps qu'ils les surmontent. Un peu plus à l'ouest, ils surmontent les Calcaires de Vermenton. Il s'agit d'une alternance de marnes beige clair à l'affleurement, restant grises en profondeur et de calcaires micritiques plus ou moins argileux, gris clair. Le quartz silteux et la pyrite sont abondants. Cette formation est vraisemblablement l'équivalent des Marnes de Fougilet ;
- calcaires de Cravant (18 m) : Calcaires micritiques gris clair, compacts, en bancs décimétriques ou pluridécimétriques séparés par des horizons d'épaisseur variable de calcaires argileux ou marnes. Dans les données du sondage de Fontbout, il peut être distingué une masse inférieure de 7 m de calcaires micritiques à quartz silteux abondant, une partie médiane (7 m) constituée par une alternance de marnes noirâtres et de calcaires micritiques et une partie supérieure (4 m) de calcaires micritiques à quartz silteux.

Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses, Oxfordien moyen à inférieur (j4c-5)

Comme en d'autres régions du Bassin de Paris, les dépôts du Callovien supérieur et de l'Oxfordien inférieur sont lenticulaires et discontinus, ce qui rend les corrélations stratigraphiques délicates.

Dans la limite départementale, cette formation est essentiellement présente au niveau de l'agglomération de Nevers. A l'est de la Loire, l'oolithe ferrugineuse repose sur le banc calcaire terminal de la Pierre de Nevers soit directement, soit par l'intermédiaire

de quelques centimètres d'argile glauconieuse, de couleur vert sombre à noire, emballant des galets calcaires recouverts d'un enduit phosphaté. En quelques points, cette couche est elle-même surmontée par un petit niveau de calcaire argileux, brun à versicolore également glauconieux. Les oolithes ferrugineuses se rencontrent au sein de marnes verdâtres et de calcaires faiblement argileux. L'épaisseur de l'assise à oolithes ferrugineuses varie de 0,9 à 3 mètres. Dans le niveau des marnes vertes abondent les bélemnites et des bivalves assez corrodés.

Calcaires avec intercalations marneuses, Bathonien à Callovien (j3b-4b)

Cet ensemble j3b-4b affleure principalement sur une large partie centre-ouest du département, en particulier sur les cartes géologiques de Clamecy, Avallon, Prémery, Nevers et Saint-Saulge.

Les principaux facies rencontrés sont :

- alternance de marnes et calcaires argileux - Bathonien inférieur et moyen (60 à 70 m d'épaisseur sur la carte de Prémery) : la formation se présente comme une succession de calcaires fins, argileux, gris-blanc, en bancs décimétriques bien réglés (débit en plaquettes) alternant avec des niveaux marneux gris bleuté. La série s'épaissit vers le sud en même temps que des marnes apparaissent à son sommet ;
- calcaires peu argileux (parfois désignés sous le nom de « Pierre de Nevers ») – Callovien moyen (25 à 30 m) : affleurant sur la feuille de Nevers, la « Pierre de Nevers » se présente sous la forme de bancs de calcaire peu argileux, épais dans la partie supérieure, et séparés par des lits marneux. Longtemps utilisée comme pierre de taille à Nevers, elle se révèle cependant sensible au gel et friable à long terme, ce qui en fait un matériau médiocre pour la construction ;
- calcaires bioclastiques et oolithiques (parfois désignés sous le nom de « Dalle nacrée ») – Callovien (25 à 30 m). La « Dalle nacrée », principalement présente sur la feuille de Clamecy, présente trois facies différents : des calcaires bioclastiques et oolithiques gris-beige, durs, en bancs métriques (sur 7 à 8 m), des calcaires argileux et bioclastiques (sur moins de 10 m) et des calcaires oolithiques blancs, crayeux (sur une dizaine de mètres) ;

Marnes et calcaires argileux, Bathonien à Callovien (j3a-4a)

La formation j3a-4a est globalement présente dans les mêmes zones que la précédente (j3b-4b) : cartes géologiques de Clamecy, Prémery, Nevers et Saint-Saulge, mais aussi de Fours et de Decize.

Cet ensemble regroupe des formations de marnes et de calcaires argileux du Bathonien et du Callovien :

- calcaires bioclastiques et oolithiques – Bathonien supérieur (35 m sur la carte géologique de Clamecy, atteignant 60 m sur celle de Prémery). Aux environs de Clamecy, on distingue de bas en haut :

- des calcaires argileux (15 m) dont le nombre de bioclastes varie horizontalement et verticalement
- des calcaires oolithiques beiges, épais de 10 à 15 m, en bancs massifs se débitant en plaquettes sous l'effet du gel. Les oolithes, très fines et bien triées dans les premiers mètres, deviennent plus grossières et riches en bioclastes vers le sommet. Des stratifications entrecroisées sont fréquemment visibles.
- des calcaires micritiques beiges, massifs, épais de 4 à 6 m.

– calcaires blancs crayeux – Bajocien supérieur à Bathonien (50 m). Affleurant sur la carte de Fours, il s'agit d'un ensemble monotone de calcaires bien lités, un peu argileux, à intercalations de marnes ou de calcaires argileux.

– marnes et calcaires argileux – Callovien inférieur (5 à 10 m) : Cette formation n'est pas partout représentée. Sur la feuille de Clamecy, les marnes prédominent à la base mais cèdent rapidement la place à des calcaires argileux ;

– des calcaires et marnes sableux – Callovien inférieur et moyen : aux alentours de Nevers, différents faciès peuvent être rencontrés :

  - marnes sableuses entrecoupées d'horizons de calcaires fins argileux ou franchement biodétritiques, en lits discontinus ;
  - marnes sableuses avec 2 à 4 bancs de calcaire massif, des lits de calcaire argileux apparaissant au sommet ;
  - oolithes ferrugineuses dans une matrice de calcaire argileux ou biodétritique

Marnes et calcaires à entroques, Bajocien à Bathonien (j2a-3a)

Cet ensemble affleure en surfaces limitées sur la partie centre-ouest du département. Sur la carte de Saint-Saulge sont distingués les niveaux suivants :

– **Calcaires argileux perforés et marnes à oolites ferrugineuses et ammonites - Bajocien supérieur à Bathonien inférieur (1 m)** : Cette unité, pourtant peu épaisse, constitue un niveau repère remarquable. Cette unité, constituée d'une alternance de fins bancs décimétriques de marnes et de calcaire argileux de couleur beige-ocre, présente peu de variation de faciès, hormis un enrichissement en oolites ferrugineuses et aussi en fossiles. A l'ouest de Saint-Benin-d'Azy, l'unité débute par un banc de calcaire (0,40 m) à galets perforés, perforé à son toit, coiffé par un banc de calcaire argileux, très fossilifère, à nombreuses oolites ferrugineuses (0,40 m).

– **Marnes et calcaires argileux - Bajocien supérieur (20 m)** : Au-dessus des calcaires à entroques, se développe une puissante série marno-calcaire, encadrée par deux minces horizons à oolites ferrugineuses. Cette unité, condensée sur la feuille Prémery, se développe vers le sud, sur la feuille Saint-Saulge, où elle atteint une vingtaine de mètres de puissance. La série marno-calcaire bajocienne débute systématiquement par un fin niveau, riche en oolites ferrugineuses et macrofaune (ammonites, brachiopodes notamment), qui vient, le plus souvent, surmonter une

surface durcie installée au sommet des calcaires à entroques. Au-dessus de l'horizon oolitique basal, la série marno-calcaire, dont l'épaisseur atteint environ 20 mètres, détermine des talus couronnés par les calcaires à oolites ferrugineuses du Bathonien inférieur.

- **Calcaires à entroques - Bajocien inférieur (5 m)** : Le calcaire, de couleur beige-ocre, très grenu, présente parfois des litages obliques entrecroisés. A l'échelle du Nivernais, trois principaux faciès ont été reconnus :
  - des calcaires à entroques, riches en articles de crinoïdes parfois roulés et en bioclastes variés, à stratifications entrecroisées fréquentes ;
  - des calcaires à polypiers (isolés et coloniaux), reconnus surtout dans la région de Lurcy-le-Bourg,
  - des calcaires à nubéculaires, riches en bioclastes encroûtés par ce foraminifère agglutinant.

4.2.6. Les formations du Lias et du Trias

Marnes micacées, argiles et "schistes carton", Toarcien (l4)

Cette formation est surtout représentée au centre du département, formant deux alignements nord-sud de part et d'autre de Clamecy.

Avec une épaisseur variant de 60 à 100 m, cette formation débute par une série de 10 à 15 m d'argilites carbonatées et de calcaires, les uns et les autres très finement lités : ce sont les « schistes carton » qui constituent un bon repère cartographique.

Ils sont surmontés par une épaisse série de marnes gris bleuâtre, plus ou moins micacées, qui est interrompue, au niveau de la zone à ammonites *Hildoceras bifrons*, par des bancs décimétriques de calcaires bleus, à pâte fine, ou encore par des nodules qui renferment très souvent des *septarias*. Au-dessus de la zone à Bifrons apparaissent localement des calcaires jaunâtres, brun rouille, chargés d'oolithes ferrugineuses, qui se débitent en plaquettes

Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes, Domérien (l3b-c)

Cette formation affleure au centre du département, en continuité et de part et d'autre des "schistes carton".

Le Domérien supérieur, épais de 5 m, est constitué de calcaires bioclastiques faiblement argileux. Il est considéré comme l'équivalent des calcaires à gryphées géantes de Bourgogne. Le Domérien inférieur, beaucoup plus épais (environ 40 m) est constitué de marnes brun sombre, plus ou moins micacées, connues pour leur richesse en bélemnites et microfaunes.

Marnes grises à rares intercalations calcaires, Carixien à Domérien (l3a)

Cette formation occupe le centre du département ainsi qu'une petite partie de la carte de Sancoins. Bien que couvrant une grande superficie, elle affleure très mal et son épaisseur est de l'ordre de 30 à 40 mètres.

La base riche en niveaux fossilifères permet d'individualiser le Carixien riche en ammonites, bélemnites et brachiopodes, surmonté du Domérien beaucoup moins riche en faune.

Les faciès attribués au Carixien se composent de calcaires micritiques argileux et de marnes, se débitant en lits décimétriques, souvent riches en bélemnites. Les faciès, très gélifs, présentent à l'altération une couleur claire, beige à gris clair. Quelques affleurements dispersés autour du horst de Saint-Saulge, souvent riches en faune ont permis de relever le caractère monotone et très homogène de ces faciès.

Marnes gris-bleu à Gryphées, Sinémurien (l2)

L'épaisseur moyenne de cette formation est estimée à 14 m. Elle affleure sur les cartes du centre et du sud-ouest du département.

Le Sinémurien inférieur (8 à 10 m) est constitué de bancs ondulés de calcaires gris bleuté, bioclastiques, parfois riches en entroques et gryphées. Les bancs sont souvent séparés par des joints centimétriques de marnes noirâtres, parfois feuilletées. Dans le secteur de Parigny-la-Rose, les calcaires sinémuriens sont brunâtres à noirâtres, avec une cimentation argilo-ferrugineuse intense qui n'épargne que les gros bioclastes.

Le Sinémurien supérieur (environ 4 m) est représenté par des marnes noirâtres qui renferment quelques nodules de pyrites, alternant avec des calcaires grisâtres à petites gryphées et entroques.

Calcaires argileux, argiles bariolées, grès et galets d'argilites noires, Rhétien à Hettangien (t7-l1)

L'Hettangien, auquel est rattaché le Rhétien, affleure largement sur la bordure ouest, est et sud du horst de Saint-Saulge, formant des surfaces structurales bien développées, entaillées par les rivières.

Dans cette région, cette unité est classiquement subdivisée en deux principaux ensembles : un ensemble basal lumachellique, riche en lamellibranches (dit "Lumachelle") et un ensemble sommital carbonaté, micritique et marneux (dit "Foie de veau"). En sondage, la série peut être découpée en cinq membres : lumachelle inférieure, lumachelle supérieure, zone à nodules « à bords flous », calcaire rognonneux et, enfin, calcaire en dalles, les trois derniers membres étant souvent impossibles à distinguer à l'affleurement.

Sur le flanc occidental du horst de Saint-Saulge, l'Hettangien présente une puissance voisine de 29 m. En sondage, près de Crux-la-Ville et au sud de Rouy, l'Hettangien ne dépasse pas 25 m de puissance. A l'affleurement, en talus, à la sortie orientale de Rouy, l'Hettangien, qui vient coiffer les dépôts triasiques, est visible sur une épaisseur d'une vingtaine de mètres, son extrême sommet étant masqué.

Tant en sondage qu'à l'affleurement, la succession observée varie peu d'une coupe à l'autre. Mais le découpage adapté aux sondages s'applique difficilement aux observations de surface et la subdivision de la série a été ramenée à trois membres décrits ci-dessous :

• ***Lumachelle inférieure.*** C'est le membre le plus épais de la série (11,5 m dans le sondage de Saint-Franchy). De composition marno-carbonatée, ce membre débute par des faciès marno-sableux verts qui viennent relayer les faciès du Rhétien et rendent difficile la détermination de la limite Rhétien – Hettangien ; ce membre s'enrichit en bancs carbonatés vers le haut et admet de nombreuses intercalations marneuses vertes à beiges.

Dans la moitié inférieure du membre, les faciès carbonatés se présentent en fins lits décimétriques, alternant avec des horizons marneux de couleur vert à ocre, beaucoup plus épais. Ces faciès, enrichis en éléments détritiques et, dans certains lits, en dragées de quartz blanc (grès à ciment carbonaté), renferment souvent de fréquents à abondants lamellibranches.

Plus haut, la série prend un caractère plus franchement carbonaté, où dominent les faciès oolitiques, souvent grossiers, à éléments détritiques (quartz et fragments de quartzite), présentant des stratifications entrecroisées. Les faciès gréseux les plus grossiers, caractérisés par la présence de fines lentilles micro-conglomératiques, rappellent le conglomérat de Moussy observé sur la feuille Prémery.

• ***Lumachelle supérieure.*** Peu épais (4 à 6 m), ce membre constitue une récurrence des faciès précédents, plutôt marneux à la base et carbonatés au sommet. Cet ensemble débute par des marnes vertes à ocre, entrecoupées de bancs décimétriques de calcaire micritique, un peu gréseux, à rares lamellibranches ; à son sommet, il passe à des calcarénites à stratifications entrecroisées, organisées en plusieurs bancs intercalés de marnes vertes.

• ***Foie de veau.*** Ce membre sommital, d'épaisseur variable (14 m à Saint-Franchy au nord de la feuille Saint-Saulge, plus mince au sud : environ 5 m au Sud de Rouy) marque le net recul des faciès oocalcarénitiques grossiers et le passage à des faciès plus fins : marnes vertes à noires, à lits entrecoupées de calcaire micritique blanc (à patine brunâtre, couleur « foie de veau ») souvent peu fossilifère et à débit en nodules.

Argiles bariolées, sables et grès, Trias (t)

Cet ensemble affleure au centre et au sud-ouest du département. L'épaisseur maximale relevée en sondage est de 27 m (commune de Saint-Franchy). Vu la médiocrité des affleurements, seules les coupes de sondages permettent d'établir une succession des divers faciès. On distingue ainsi de bas en haut :

- argilites et grès (0 à 5,4 m) : argilites de teintes bariolées rouges ou vertes et grès fins à ciment siliceux, plus ou moins argileux ;
- marnes, dolomies et grès (0 à 14,5 m) : Des marnes dolomitiques verdâtres et des dolomies blanchâtres sont associées à des argilites verdâtres à rougeâtres. Les grès fins verdâtres, à ciment siliceux ou argilo-dolomitique, sont nettement prédominants .
- marnes bariolées (4,2 m à 15 m) : les marnes bariolées sont gris-verdâtre à rougeâtre avec des passées de grès fins à ciment siliceux. Quelques passées dolomitiques verdâtres sont également signalées.

4.2.7. Les formations du Primaire

Sables et argiles rouges conglomératiques, Saxonien (r2)

Cette formation affleure uniquement sur la carte de Decize. Elle est représentée par des sables, des argiles rouges conglomératiques et des grès.

Schistes à couches d'anthracite, Viséen (h5)

Cette formation affleure sur la carte de Decize. Il s'agit de petits lambeaux sédimentaires d'arkose et de débris de rhyolite intercalés dans les tufs de rhyolite. Ces lambeaux contiennent parfois des lentilles d'anthracite qui ont donné lieu autrefois à des travaux de recherche, voire même à de petites exploitations.

4.3. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES

Parmi les formations qui sont considérées comme non argileuses, certaines peuvent néanmoins contenir des lentilles ou des poches argileuses ou marneuses d'extension limitée. Elles n'ont pas été prises en compte à l'échelle de la cartographie départementale. Néanmoins, ces lentilles ou poches argileuses peuvent être localement à l'origine d'un certain nombre de sinistres, mais cela ne justifie pas qu'il faille considérer l'ensemble de la formation comme sujette au phénomène de retrait-gonflement.

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses – Élaboration de la carte de susceptibilité

5.1. GENERALITES SUR L'ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE

5.1.1. Critères retenus

Les critères retenus pour l'élaboration de la carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement sont la **nature lithologique** des formations affleurantes à subaffleurantes, la caractérisation de ces formations en fonction de la **nature minéralogique** des argiles présentes dans la phase argileuse et le **comportement géotechnique** du matériau. La carte de susceptibilité ainsi élaborée correspond donc à une hiérarchisation des formations géologiques identifiées, en prenant en compte uniquement ces trois critères.

En effet, d'autres critères de susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement, tels que le contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation des bâtis, n'ont pas été pris en compte, la plupart de ces facteurs n'intervenant que de manière très locale et ne pouvant par conséquent être cartographiés à l'échelle départementale.

5.1.2. Méthode de classification

Rappelons que le document de base utilisé pour élaborer la carte de susceptibilité est la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, laquelle a été établie en tenant compte essentiellement de la nature lithologique des formations.

La seconde étape de cette cartographie consiste à hiérarchiser les formations argileuses et marneuses ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 31 formations sélectionnées :

- la nature lithologique des terrains constituant en majorité la formation ;
- la composition minéralogique de sa phase argileuse, évaluée à partir de la proportion de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) ;
- le comportement géotechnique du matériau, évalué principalement à partir de la réactivité du sol vis à vis de l'eau (caractérisée par la valeur de bleu) et secondairement en intégrant l'importance du retrait en cas de dessèchement (caractérisée par les mesures de retrait linéaire), l'étendue de son domaine plastique (caractérisée par son indice de plasticité) et le potentiel de gonflement du sol (évalué par son coefficient de gonflement).

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les différentes formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des *valeurs seuils*, couramment admises dans la littérature, distinguant **quatre degrés de susceptibilité** (faible, moyenne, forte et très forte). Pour permettre la réalisation de calculs, les grandes classes lithologiques distinguées ont également été affectées d'une note. Pour les trois caractéristiques naturelles des terrains, cela permet d'attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations argileuses ou marneuses identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des 31 formations argileuses et marneuses du département sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

5.2. CRITERE LITHOLOGIQUE

5.2.1. Définition du critère lithologique et barème

Ce premier critère, de nature essentiellement qualitative, est utilisé pour caractériser la lithologie des matériaux dominants dans la formation. Il permet de distinguer les terrains essentiellement argileux, de ceux où l'argile est minoritaire. Ce critère intègre donc l'hétérogénéité des formations. L'épaisseur de la formation entre également en ligne de compte, puisque les formations argileuses peu épaisses présentent un potentiel de retrait ou de gonflement moindre que les formations puissantes.

Par convention, la note maximale est attribuée à une argile ou une marne épaisse et continue et la note minimale à une formation hétérogène, présentant des termes argileux non prédominants et discontinus, par exemple sous forme de poches ou de lentilles.

Il faut noter que cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et qu'elle ne peut être totalement dépourvue d'une certaine subjectivité dans son appréciation. Sa valeur relative en vue d'une hiérarchisation des formations argileuses est cependant

difficilement contestable. Le barème utilisé pour distinguer les différentes classes lithologiques est le suivant :

Type de formation	Susceptibilité	Note lithologique
Formation non argileuse mais contenant localement des passées ou des poches argileuses (ex : alluvions avec lentilles argileuses, calcaire avec poches karstiques, ...)	**faible**	**1**
Formation présentant un terme argileux non prédominant de type calcaire argileux ou sable argileux	**moyenne**	**2**
Formation à dominante argileuse, présentant un terme ou une passée non argileuse (ex : alternance marno-calcaire ou sablo-argileuse) ou très mince (moins de 3 m)	**forte**	**3**
Formation essentiellement argileuse ou marneuse, d'épaisseur supérieure à 3 m et continue	**très forte**	**4**

Illustration 12 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la roche

5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre

Les principaux éléments ayant permis la caractérisation lithologique des formations ont été détaillés lors de la description de ces formations. Les notes lithologiques attribuées à chacune des formations sont présentées ci-dessous.

N°	Notation	Formation géologique	Note lithologique
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	1
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	1
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	1
4	FC	Colluvions de fonds de vallons/vallées	2
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	2
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex.	3
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	2
8	p	Sables et argiles bariolées	2
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	2
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	3
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites.	2
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux.	2
13	n6M	Argiles de Myennes	4
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	2
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	2
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	1
17	j6c	Marnes et calcaires à *Exogyra virgula*	3
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	1
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	2
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	3
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	2
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	3
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	2
24	l4	Marnes, argiles et « schistes carton »	4
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	3
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	3
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	2
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	2
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	3
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	2
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	1

Illustration 13 - Note lithologique des formations argileuses et marneuses

La classification suivant la note lithologique met en évidence le fait que, parmi les 31 formations géologiques argileuses ou marneuses du département :

- **2 obtiennent une note de 4**, qui correspond aux formations essentiellement argileuses de plus de 3 m d'épaisseur ;
- **8 formations obtiennent une note de 3**, ce qui signifie que leur composante argileuse est dominante ;
- **15 formations obtiennent une note de 2**, ce qui signifie que le terme argileux n'y est pas prédominant ;
- **6 formations obtiennent une note de 1**, ce qui indique que les termes argileux n'y sont présents que très localement.

5.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES

5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement dans les minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et, dans une moindre mesure, au groupe des interstratifiés, alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, lorsque ceux-ci comportent des smectites au sein de leur structure, par exemple smectite/illite ou illite/smectite. La vermiculite est aussi connue pour sa sensibilité au phénomène de retrait-gonflement. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Le critère minéralogique est basé sur le **pourcentage moyen de minéraux gonflants** (essentiellement smectites et interstratifiés) présents dans la phase argileuse. Les notes de 1 à 4 sont attribuées en fonction des coupures suivantes :

% moyen de minéraux gonflants	Susceptibilité	Note minéralogique
< 25 %	**faible**	**1**
25 à 50 %	**moyenne**	**2**
50 à 80 %	**forte**	**3**
> 80 %	**très forte**	**4**

Illustration 14 - Hiérarchisation des roches en fonction du pourcentage de minéraux gonflants

5.3.2. Source des données

De manière générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, ne contiennent jamais de caractérisation des minéraux argileux composant les formations géologiques identifiées comme susceptibles. De même, les expertises de sinistres se basent assez rarement, pour effectuer leur diagnostic, sur des analyses aux rayons X qui sont relativement coûteuses.

La caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre a donc été réalisée essentiellement à partir de données issues de l'examen des notices des cartes géologiques.

Plusieurs notices de cartes, et notamment les plus récentes d'entre elles, fournissent en effet des résultats qualitatifs sur la composition minéralogique de la phase argileuse, en mentionnant au moins les minéraux dominants, sous forme de plages de valeurs, voire en indiquant directement des résultats d'analyses (effectuées sur des échantillons prélevés lors du levé de la carte ou par d'autres organismes tels que l'INRA).

Une même étude a été effectuée sur les notices des cartes de département limitrophes de la Nièvre (Allier, Cher, Côte d'Or, Loiret et Yonne) dont certaines formations affleurantes sont sensiblement identiques.

Dans le cadre de la présente étude, 8 échantillons ont été prélevés. Chacun a fait l'objet d'un essai au bleu de méthylène et d'une analyse de diffractométrie aux rayons X.

Ces données ont été par ailleurs complétées par celles issues d'études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement en cours ou déjà réalisées par le BRGM dans ces départements voisins. Ceci concerne en particulier les départements limitrophes de l'Allier, du Cher, du Loiret et de l'Yonne. La prise en compte de ces données acquises hors département nécessite bien entendu une extrême prudence mais peut permettre d'orienter le jugement en cas d'absence totale de données locales.

Il est à noter que les données recueillies sont pour l'essentiel des résultats d'analyse diffractométrique aux rayons X, valeurs factuelles qui permettent une hiérarchisation des matériaux selon un critère quantitatif objectif. Mais ils présentent l'inconvénient de n'avoir qu'un intérêt purement local, pas nécessairement représentatif de l'ensemble de la formation géologique, surtout lorsque celle-ci présente de fortes variations spatiales. C'est pourquoi la prise en compte de ces valeurs a été complétée par une analyse plus qualitative, basée sur l'expertise du géologue et qui permet d'évaluer la composition probable de la phase argileuse des formations en fonction de ses conditions de mise en place et d'évolutions pédogénétiques ultérieures.

5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre

L'ensemble des données ayant servi à la caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département est regroupé dans le tableau suivant.

N°	Note minéral.	Symbole	Description	Données minéralogiques dans la Nièvre	Données minéralogiques hors département
1	2	Fy-z	*Alluvions actuelles et subactuelles (Holocène)*		LOIR-ET-CHER : • *carte de Château Renault* : argiles bleues et graviers : kaolinite (20 à 60 %), smectites (0 à 80 %, en moyenne 47,5 %), illite (0 à 10 %, en moyenne 2,5 %), interstratifiés illite-smectites (5 %), interstratifiés illite-micas (5 %) • *carte de Saint Aignan* : argiles micacées et kaolinites parfois associées à des smectites et chlorites en faible quantité. ALLIER : • *carte de Montluçon* : smectites (10 %), kaolinite (49 %), illite (27 %), chlorite (14 %). • *carte de Hérisson* : smectites (2 %), interstratifiés illite-smectites (14 %), kaolinite (60 %), autres (chlorites) (21 %).
2	2	Fx	*Alluvions de moyennes terrasses* (Quaternaire)		YONNE : • *carte de Vermenton :* fraction argileuse en proportions égales de kaolinite, illite et montmorillonite.
3	2	Fu-v-w	*Alluvions anciennes de hautes terrasses* (Quaternaire)	• *carte de Nevers* : les minéraux argileux sont représentés par des proportions équivalentes d'illite et de kaolinite, le pourcentage d'illite croissant légèrement vers la base de la formation.	ALLIER : • *carte de Saint-Pourçain-sur-Sioule :* smectite (17 %), illite (33 %), kaolinite (44 %), chlorite (6 %). • *carte de Vichy* : smectite (27 %), illite (48 %), kaolinite (25 %). YONNE : • *carte de Vermenton :* fraction argileuse avec proportions égales de kaolinite, illite et montmorillonite. LOIRET : • *carte de Gien* : smectites (10 à 50 %), kaolinite (40 à 70 %), illite (10 à 20 %). • *carte de Beaugency* : alluvions des très hautes terrasses de la Loire : kaolinite (70 %), smectites (proportions croissantes dans les secteurs les plus argileux)
4	2	FC	*Colluvions des fonds de vallons/versants* (Quaternaire)		ALLIER : • *carte de Moulins* : smectite (38 %), illite (9 %) et kaolinite (53 %). • *carte de Vichy :* smectite (10 à 30 %), interstratifiés illite-smectite (0 à 30 %). • *carte de Dornes :* illite (3 %), kaolinite (5 %), interstratifiés illite-smectite à 45 % de smectite (92 %). • *Ech.1(03)* : illite (5 %), kaolinite (10 %), interstratifiés illite-smectite (80 %), interstratifiés illite-micas (5 %).
5	2	FL	*Sables et argiles du Bourbonnais* (Pliocène supérieur)	• *carte de Prémery* : kaolinite (100 %) dans les argiles rougeâtres du forage 1-12 ; kaolinite (84 %) et illite (16 %) dans les argiles blanchâtres et sableuses du forage 3-16.	SYNTHESE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE PARIS : Sables et argiles du Bourbonnais : fraction argileuse avec smectites généralement dominantes, accompagnées d'illite et de kaolinite. CHER : • *carte de Nevers* : association de kaolinite, smectite et illite avec d'une manière générale, prédominance de la kaolinite vers le sommet et de la smectite vers la base, illite presque toujours accessoire. ALLIER : • *carte de Moulins* : smectite (24 % en moyenne sur 9 analyses). • *carte de St Pourçain-sur-Sioule* : smectite (30 % en moyenne sur 3 analyses). • *carte de Vichy* : smectite (31 % en moyenne sur 8 analyses). • *carte de Dompierre-sur-Besbre* : smectite (18 % en moyenne sur 7 analyses). • *carte de Lurcy-Lévis* : smectite (27 % en moyenne sur 4 analyses). • *carte de Dornes* : smectite (21 % en moyenne sur 12 analyses). • *carte de Maringues* : smectites (59 % en moyenne sur 8 analyses).

N°	Note minéral.	Symbole	Description	Données minéralogiques dans la Nièvre	Données minéralogiques hors département
6	1	Rs	*Formations résiduelles argilo-sableuses à silex* (Oligocène à Pliocène)	• *carte de Cosne-sur-Loire* : fraction argileuse constituée de kaolinite (90 %) avec illite et montmorillonite accessoirement. • *carte de Clamecy* : 16 à 25 % d'argiles dans les niveaux supérieurs, 43 à 80 % dans les horizons plus profonds ; kaolinite bien cristallisée (30 à 50 %), présence d'illites et d'interstratifiés illite-smectite faiblement gonflants. • *carte de Nevers* : kaolinite (90 %), illite, montmorillonite.	CHER : • *carte de Saint-Martin d'Auxigny* : kaolinite prédominante, exclusive à la base, avec smectites plus abondantes dans les niveaux supérieurs (proportion équivalente avec la kaolinite). YONNE : • *carte de Sens* : matrice composée de 20 à 35 % d'argiles à composition variable : kaolinite (40 à 90 %), montmorillonite (10 à 50 %) et illite (0 à 10 %). • *carte de Joigny* : composition de la fraction < 5 µm très variable, en général kaolinite (70 à 80 %), smectites (< 50 %) et illite (10 %). • *carte de Montereau-Faut-Yonne* : kaolinite (80 %), montmorillonite (10 %) et illite (10 %). • *carte de Chéroy* : matrice argilo-sableuse où la kaolinite prédomine, quantités variables d'illites et de smectites, plus ou moins d'interstratifiés associés
7	2	LP	*Limons des plateaux argilo-sableux* (Quaternaire)		YONNE : • *carte de Sergines* : quantités égales de montmorillonite, de kaolinite et de minéraux argileux micacés. • *carte de Sens* : kaolinite (50 à 70 %) et minéraux interstratifiés illite-montmorillonite ou vermiculite-montmorillonite (50 à 30 %). • *carte de Joigny* : Partie inférieure : prédominance de la fraction comprise entre 2 et 50 µm (70 à 90 %), part des argiles faible (5 à 20 %) : kaolinite (50 à 70 %), smectites (20 à 30 %), minéraux argileux micacés (20 à 30 %). Partie supérieure : fraction argileuse de 5 à 30 %, et la fraction < 5 µm est constituée de kaolinite (20 à 40 %), de smectites (40 à 50 %), de minéraux micacés (10 à 30 %), de minéraux argileux interstratifiés (30 à 40 %). Couverture sableuse et argileuse : 25 à 55 % de sables auxquels s'ajoutent les argiles des formations albiennes. Echantillon Beaumont, les Champs de la Coudre : kaolinite (40 %), smectites (30 %), minéraux micacés (30 %). • *carte de Montereau-Faut-Yonne* : Partie inférieure : fraction argileuse de 10 à 30 %. Partie supérieure : la fraction de 2 à 5 µm est de l'ordre de 80 % ; kaolinite (30 à 40 %), montmorillonite (30 à 40 %), minéraux micacés 40 à 20 %). • *carte de Chéroy* : Partie inférieure : essentiel de la formation compris entre 2 et 5 µm ; part d'argile égale ou inférieure à 20 % : Kaolinite, illite et smectites en quantités sensiblement équivalentes ; Partie intermédiaire : idem que pour Montereau. Partie supérieure : proportion d'argile variable : 20 à 50 % ; prédominance de la kaolinite (50 %), illite et smectite en proportion équivalente. ALLIER : • *Analyse BRGM* : phase argileuse peu abondante (0 à 5 %) composée d'interstratifiés irréguliers riches en smectites (25 %), d'interstratifiés riches en illite-mica (5%), d'illite-mica (40 %), de kaolinite (20 %) et de vermiculite (10 %) LOIRET : • *carte de Malesherbes* : smectites (50 %), kaolinite (20 %), illite (30 %). • *carte de Chéroy* : smectite, kaolinite et illite en quantités équivalentes.
8	2	p	*Sables et argiles bariolées* (Pliocène)		ALLIER : • *carte de Vichy* : smectites (42 à 80 %), kaolinite (15 à 47 %), illite (5 à 11 %) • *carte de Hérisson* : kaolinite prépondérante et illite fréquemment associées à quelques smectites ou interstratifiés illite-smectite • *Analyse BRGM* : phase argileuse peu abondante (5 à 25 %) avec interstratifiés irréguliers riches en smectites (25 %), interstratifiés riches en illite-mica (5 %), illite-mica (45 %), kaolinite (25 %)
9	2	e5-m1C	*Calcaires lacustres et marnes* (Éocène à Oligocène)	• *carte de Prémery* : analyse entre 12 et 21 m : kaolinite (66 %), interstratifiés illite/smectite (28 %), illite (6 %). Goethite associée aux argiles abondante.	

N°	Note minéral.	Symbole	Description	Données minéralogiques dans la Nièvre	Données minéralogiques hors département
10	2	e5-m1MS	*Argiles sableuses silicifiées ou rubanées* (Éocène à Pliocène)	• *carte de Fours* : kaolinite prédominante sur smectite et illite (dépôts au sud de l'Alène) • *carte de Saint-Fargeau* : argiles variées, parfois smectites abondantes, parfois kaolinite dominante, associés ou non à des interstratifiés illite-smectite. Formation du versant Éocène (Ferrier près de St Fargeau) : kaolinite (60 %), montmorillonite (30 %), illite (10 %)	CHER : • *carte de Saint-Martin-d'Auxigny* : argiles à minerais de fer pisolithique: kaolinite dominante à la base mais smectite et kaolinite en quantité équivalente au sommet. • *carte de Sancerre* : kaolinite prédominante, exclusive à la base, avec smectites plus abondantes dans les niveaux supérieurs, devenant égales au pourcentage de kaolinite. LOIRET : • *carte de Chéroy* : kaolinite (80 %), interstratifiés illite-smectite (20 %). • *carte de Patay* : smectite (30 %), kaolinite (30 %), illite (40 %). • *carte de Châtillon-Colligny* : smectite (40 à 60 %), kaolinite (40 à 50 %), illite (0 à 10 %). • *carte de Gien* : kaolinite (60 à 100 %), illite (0 à 20 %), interstratifiés illite-montmorillonite (0 à 20 %).
11	3	c1	*Craie marneuse, craie à silex, spongolites* (Cénomanien)	• *carte de Saint-Fargeau* : interstratifiés irréguliers illite-smectite (60 %), kaolinite (40 %).	
12	-	n6b	*Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux* (Albien supérieur)		
13	2	n6M	*Argiles de Myennes* (Albien moyen)	• *carte de Cosne-sur-Loire* : la fraction argileuse comporte kaolinite, illite, smectite. • *carte de Saint-Fargeau* : kaolinite (légèrement dominante), smectite, illite.	SYNTHESE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE PARIS : Kaolinite (30 %), montmorillonite (40 %), illite (30 %), avec abondance de quartz. CHER : • *carte de Sancerre*: argile kaolinite-illite, à prédominance d'illite. • *carte de Léré* : association illite, kaolinite et smectite avec kaolinite dominante.
14	-	n6S	*Sables, argiles et grès ferrugineux* (Albien inférieur)		
15	2	n4a-b	*Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes.* (Barrémien)		YONNE : • *carte de Courson-les-Carrières* : pour les marnes : kaolinite (40 %), illite (40 %), interstratifiés illite-montmorillonite (20 %) ; pour les sables et argiles panachés : kaolinite (30 à 40 %), illite (40 à 50 %), interstratifiés illite-montmorillonite : 20%. CHER : • *carte de Vatan* : kaolinite (80 à 90 %), illite • *carte de Bourges* : au sommet : kaolinite (90 à 100 %) ; à la base : kaolinite (30 %), smectite (50 %), illite (20 %). • *carte de Vierzon* : argile de nature kaolinique
16	-	j7	*Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires* (Kimméridgien à Tithonien inférieur)		
17	2	j6c	*Marnes et calcaire à Exogyra virgula* (Kimméridgien supérieur)		YONNE : • *carte de Courson-les-Carrières* : en fonction des niveaux de marnes, les proportions varient, mais on trouve généralement: kaolinite (20 à 40 %), illite (30 à 60 %) et interstratifiés illite-montmorillonite (20 à 30 %). • *carte de Sancerre* : prédominance des interstratifiés illite-smectite sur la kaolinite pour la partie supérieure et inversement pour la partie inférieure.
18	-	j6a-b	*Calcaires de Villiers* (Oxfordien supérieur à Kimméridgien inférieur)		
19	2	j5c-d	*Calcaires argileux et marnes* (Oxfordien supérieur)		CHER : • *carte de Nevers* : argiles des calcaires lités inférieurs : illite (50 %), interstratifiés illite-smectite (30 %) et kaolinite (20 %) ; marnes pyriteuses et marnes à spongiaires : kaolinite (30 %), illite (40 %), interstratifiés illite-smectite (30 %).

N°	Note minéral.	Symbole	Description	Données minéralogiques dans la Nièvre	Données minéralogiques hors département
20	-	j4c-5	*Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses (Oxfordien moyen à inférieur)*		
21	**2**	j3b-4b	*Calcaires avec intercalations marneuses* (Bathonien à Callovien)	*Ech1 (analyses BRGM)* : kaolinite (55 %), interstratifiés illite/smectite (31 %) et illite/micas (14 %). *Ech2 (analyses BRGM)* : interstratifiés illite/smectite (27 %) et illite/micas (73 %).	
22	**1**	j3a-4a	*Marnes et calcaires argileux* (Bathonien à Callovien)	*Ech3 (analyses BRGM)* : kaolinite (28 %), interstratifiés illite/smectite (13 %) et illite/micas (59 %). *Ech4 (analyses BRGM)* : kaolinite (26 %), interstratifiés illite/smectite (15 %) et illite/micas (59 %).	
23	**3**	j2a-3a	*Marnes et calcaire à entroques* (Bajocien à Bathonien)	*Ech5 (analyses BRGM)* : interstratifiés illite/smectite (76 %), illite/micas (24 %)	YONNE : • kaolinite (64 à 66 %); illite et montmorillonite (34 à 36 %)
24	**3**	l4	*Marnes, argiles et « schistes carton »* (Toarcien)	*Ech6 (analyses BRGM)* : interstratifiés illite/smectite (87 %), illite/micas (13 %)	CHER : • D'après Barthelemy, les niveaux exploités dans les tuileries de Maubois (carte de Sancoins) montrent une prédominance de la kaolinite (60 à 76 %) avec, au sommet des smectites (37 %) et de l'illite (3 %) et à la base, de l'illite (20 %) et des chlorites (4 %). YONNE : • *marnes et schistes carton : kaolinite (72 %), illite* (19 à 21 %), vermiculite (7 à 9 %).
25	-	l3b-c	*Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes* (Domérien)		
26	**1**	l3a	*Marnes grises à rares intercalations calcaires* (Carixien à Domérien)		ALLIER : • Analyses BRGM : illite (50 %), kaolinite (15 %), interstratifiés illite-smectite (15 %), interstratifiés illite-mica (5 %), chlorite (5 %)
27	**2**	l2	*Marnes gris-bleu à Gryphées (Sinémurien)*		YONNE : • *Analyse minéralogique dans marnes noires (l2)* : kaolinite (74 %), illite (14 %) et vermiculite (12 %) ou illite/montmorillonite (76 %) et kaolinite (24 %).
28	**2**	t7-l1	*Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires* (Hettangien - Rhétien)	• *Ech8 (analyses BRGM)* : illite/micas (100 %) • *Ech9 (analyses BRGM)* : illite/micas (96 %), kaolinite (4 %). • *carte de Lurcy-Lévis* : matrice argileuse des sables feldspathique : kaolinite (16 %), illite (25 %) et smectite (59 %).	
29	**1**	t	*Argiles bariolées, sables, grès* (Trias)		ALLIER : • *éch1 (03)* : illite (80 %), interstratifiés illite/mica (5 %).
30	-	r2	*Sables et argiles rouges conglomératiques* (Saxonien)		
31	-	h5	*Schistes à couches d'anthracite* (Viséen)		

Illustration 15 - Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre

La détermination du pourcentage moyen de minéraux gonflants a été faite en prenant en compte l'ensemble des données recueillies. Les analyses réalisées dans le département sont privilégiées, mais le nombre d'échantillons, leur répartition géographique et leur représentativité sont des critères également pris en compte dans le calcul de la note minéralogique.

On remarque que :

- Aucune formation n'a reçu la note 4.
- 3 formations ont reçu la note 3.
- 16 formations ont reçu la note 2.
- 4 formations ont reçu la note 1.
- 8 formations n'ont pas pu être notées, par absence d'informations.

5.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES

5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème

Ce critère permet d'intégrer dans l'analyse de la susceptibilité le comportement géotechnique du matériau vis à vis du retrait-gonflement.

Généralités sur les données géotechniques contenues dans les expertises de sinistres

Les expertises de sinistres qui ont pu être consultées montrent que le type d'essais effectués sur le terrain dépend des bureaux d'études et varie en fonction de l'objectif assigné à l'étude. Généralement, la reconnaissance de sol se fait par sondage à la tarière, souvent en fouille directe. Les essais géotechniques remplissent deux objectifs :

- **déterminer les caractéristiques intrinsèques du sol :** les essais utilisés sont généralement les limites d'Atterberg, le retrait linéaire, l'essai au bleu de méthylène ainsi que le coefficient de gonflement. Éventuellement ces essais sont complétés par une analyse granulométrique pour déterminer le passant à 80 µm. Les analyses sédimentométriques, qui permettraient de déterminer la fraction argileuse du matériau (inférieure à 2 µm), et les analyses aux rayons X, permettant de distinguer le pourcentage de minéraux gonflants, sont plus rarement réalisées.
- **caractériser l'état du sol, et notamment son état de dessication** en effectuant des mesures de teneurs en eau, généralement à plusieurs profondeurs. En comparant ces valeurs avec les limites d'Atterberg du matériau, il est possible de savoir dans quel état de consistance se trouve le matériau in situ (état solide avec ou sans retrait, plastique ou liquide). D'autres essais peuvent également être mis en œuvre, comme la mesure de la pression de gonflement.

Seuls les résultats des essais correspondant aux caractéristiques intrinsèques du sol sont pris en compte dans le cadre de cette étude, puisqu'il s'agit de déterminer la susceptibilité au retrait-gonflement de chaque formation. Quant aux résultats des essais caractérisant l'état du matériau, ils varient au cours du temps en fonction de l'humidité du sol. Ils sont donc utiles pour diagnostiquer l'origine d'un sinistre, mais ils ne sont pas pertinents pour caractériser la susceptibilté du matériau au retrait-gonflement.

Les études géotechniques après sinistres sont souvent complétées par un ou plusieurs essais pressiométriques, dont l'objectif est la vérification de la capacité portante du sol et le dimensionnement ultérieur éventuel de micropieux, si les résultats de l'expertise indiquent qu'une reprise en sous-œuvre des fondations est nécessaire. Ces données ne sont pas utilisées dans le cadre de la présente étude.

Au final, les résultats retenus pour cette étude sont la valeur de bleu, l'indice de plasticité, le coefficient de gonflement et le retrait linéaire.

Les deux essais les plus représentatifs de l'aptitude d'un sol au retrait-gonflement sont la valeur de bleu et le retrait linéaire.

Les paragraphes qui suivent présentent rapidement les systèmes de notations adoptés pour la classification des sols vis à vis de leur aptitude au phénomène de retrait gonflement en fonction de ces essais.

Essai au bleu de méthylène (Vb)

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement. Il traduit en effet à la fois "l'argilosité" de l'échantillon et la teneur en minéraux gonflants de sa fraction argileuse. Malheureusement, les résultats d'essai de bleu sont relativement peu nombreux et il n'est pas toujours aisé de les interpréter de manière statistique.

Cet essai a été développé par Tran Ngoc Lan (1977) pour être adopté comme procédure d'essai officielle du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC, 1979), avant d'être normalisé (norme AFNOR NF P 18-592). Il consiste à mesurer la capacité d'absorption de bleu de méthylène, c'est à dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. On appelle cette quantité, la valeur de bleu, notée Vb et exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau.

On considère généralement (Chassagneux et al., 1995) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Vb) :

Valeur de bleu	Susceptibilité	Note
< 2,5	**faible**	**1**
2,5 à 6	**moyenne**	**2**
6 à 8	**forte**	**3**
> 8	**très forte**	**4**

Illustration 16 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur au bleu de méthylène

Indice de plasticité (IP)

Il est calculé à partir des limites d'Atterberg qui mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau fin. Cet indice correspond à la différence entre la limite de liquidité (Wl) et la limite de plasticité (Wp) du matériau. Il représente donc l'étendue du domaine plastique et donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau. On considère généralement (Chassagneux et al., 1995) que la susceptibilité d'une argile vis-à-vis du retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité (IP) de la manière suivante :

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
IP < 12	**Faible**	**1**
12 ≤ IP < 25	**Moyenne**	**2**
25 ≤ IP < 40	**Forte**	**3**
IP ≥ 40	**Très forte**	**4**

Illustration 17 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles en fonction de leur indice de plasticité

Cet essai d'identification de sol est réalisé très classiquement par de nombreux bureaux d'études et les valeurs disponibles sont relativement nombreuses. Il est cependant important de noter que la corrélation entre ce type de résultat et l'aptitude du sol au retrait-gonflement est loin d'être vérifiée dans tous les cas.

Retrait linéaire (Rl)

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol, lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau. Lorsque la teneur en eau diminue, son volume total diminue, puis se stabilise. Ce processus de diminution de la teneur en eau se traduit par deux phases successives.

- au cours de la première, les grains constituant le sol se rapprochent, mais le sol reste toujours saturé : la variation de volume du sol est donc proportionnelle à la diminution de teneur en eau.
- pendant la seconde, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher : l'élimination de l'eau ne fait plus varier le volume du sol, mais se traduit par sa désaturation. La teneur en eau correspondant à ce palier est appelée limite de retrait. Plus cette valeur est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit en cas de dessiccation sera grand.

Le retrait linéaire, noté RI, correspond à la pente de la droite donnant le tassement de l'échantillon en fonction de la diminution de teneur en eau, dans la partie où cette teneur en eau reste supérieure à la limite de retrait. Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre.

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
RI < 0,4	**faible**	**1**
0,4 ≤ RI < 0,65	**moyenne**	**2**
0,65 ≤ RI < 0,75	**forte**	**3**
RI ≥ 0,75	**très forte**	**4**

Illustration 18 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur du retrait linéaire

Coefficient de gonflement (Cg)

L'essai de gonflement à l'œdomètre (norme XP P 94-091) consiste à mesurer une amplitude de gonflement à la suite d'un apport d'eau. Il est par conséquent fortement conditionné par l'état initial de saturation en eau du sol considéré. En effet, pour un même sol, le gonflement relatif sera d'autant plus grand que le sol était initialement plus sec. Cette observation souligne l'intérêt d'associer ces essais avec la réalisation d'un profil hydrique. Ainsi la pression de gonflement ne constitue pas une caractéristique intrinsèque du sol, les valeurs dépendant fortement de l'état de saturation initial du sol considéré. Le potentiel de gonflement peut cependant être caractérisé par le coefficient de gonflement Cg (pente de la droite de déchargement observée dans un essai œdométrique) qui permet d'évaluer le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées :

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note
Cg < 0,025	**faible**	**1**
0,025 ≤ Cg < 0,035	**moyenne**	**2**
0,035 ≤ Cg < 0,055	**forte**	**3**
Cg ≥ 0,055	**très forte**	**4**

Illustration 19 - Hiérarchisation de la susceptibilité des argiles selon la valeur du coefficient de gonflement.

Dans le département de la Nièvre, seules quelques valeurs de coefficient de gonflement ont pu être recueillies, mais un nombre aussi restreint de valeurs ponctuelles ne peut suffire à caractériser l'ensemble d'une formation.

5.4.2. Source des données

Les données géotechniques qui ont été recueillies pour caractériser les différentes formations argileuses et marneuses affleurant dans le département proviennent principalement des rapports de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et surtout des études géotechniques réalisées dans le cadre d'expertises après sinistres. Ces dossiers nous ont été transmis par plusieurs sources :

- les communes,
- certaines mutuelles d'assurance (MAIF, MAAF, Matmut....),
- la Caisse Centrale de Réassurance (CCR),
- certains bureaux d'études.

Les analyses de sol ainsi recueillies et exploitées dans le cadre de la présente étude (c'est-à-dire uniquement les dossiers qui comportent des résultats d'essais géotechniques sur les formations sensibles) sont en définitive au nombre de 327.

Les coordonnées complètes des bureaux d'études ayant fourni des données géotechniques sont présentées en annexe 4, conformément au protocole signé entre le BRGM et l'Union Syndicale de Géotechnique (USG). Les bureaux d'études privés qui ont accepté de nous fournir des résultats d'études de sols sont malheureusement peu nombreux (ICSEO et Hydro'Géotechnique, en particulier, ont accepté de nous communiquer leurs dossiers). Par ailleurs, le Service Aménagement Urbanisme et Environnement (SAUE) de la DDE 58 nous a confié une importante documentation comportant des résultats d'essais géotechniques qui ont pu être exploités avec profit, même s'ils correspondent plutôt à des études réalisées pour des travaux routiers ou des constructions d'ouvrages d'art, sans rapport donc avec des sinistres liés au retrait-gonflement. Ces données ont également été complétées par des éléments issus de la bibliographie ou communiqués par quelques communes.

Nous profitons de ce rapport pour remercier l'ensemble de nos interlocuteurs pour leur précieuse collaboration.

La répartition par sources des échantillons comportant un essai géotechnique est la suivante, sachant que certains dossiers ont été transmis par plusieurs sources (mais ils ne sont cités ici qu'une seule fois) :

Source de la donnée	Nombre d'échantillons
BRGM	**8**
CCR	**7**
Communes	**2**
DDE Nièvre	**302**
ICSEO	**3**
Hydro'Géotechnique	**2**
Préfecture 58	**3**
Total	***327***

Illustration 20 - Source des données géotechniques

Les bureaux d'études prestataires qui ont réalisé les études géotechniques dont les dossiers ont pu être recueillis et exploités dans le cadre de la présente étude sont les suivants :

Bureau d'étude	Nombre d'échantillons
BRGM	**8**
Géocentre	**10**
Guintoli	**75**
Hydro'géotechnique	**2**
ICSEO	**3**
LRPC Blois	**2**
LRPC Autun	**191**
Simecsol	**36**
Total	***327***

Illustration 21 - Bureaux d'études ayant réalisé les essais sur échantillons

Par ailleurs, les données géotechniques recueillies lors de la réalisation des études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement dans les département voisins, notamment dans l'Allier, le Cher, le Loiret et l'Yonne, ont aussi été utilisées. Cette prise en compte a été particulièrement utile pour aider à la caractérisation de certaines formations pour lesquelles aucun résultat d'analyse effectuée dans la Nièvre n'était disponible ;

Enfin, pour les formations où aucune donnée géotechnique n'était disponible, 8 échantillons ont été prélevés sur le terrain. Ils ont fait l'objet d'essais spécifiques au BRGM à Orléans (cf. annexe 6) et correspondent aux 8 dossiers attribués au BRGM dans les tableaux précédents.

Au total, c'est un ensemble de **résultats d'analyses sur 648 échantillons** qui a servi à établir la caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses.

5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département de la Nièvre

La synthèse des données exploitées dans le cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations et les notes géotechniques attribuées sont présentées sur *l'illustration 22*. L'attribution des notes géotechniques s'est faite en se basant sur les coupures habituellement reconnues et utilisées dans toutes les études départementales d'aléa retrait-gonflement réalisées jusqu'à présent, comme cela a été présenté dans les paragraphes précédents. Afin de hiérarchiser les résultats issus des différents types d'essais, il a été tenu compte de l'importance plus forte des valeurs de bleu, qui caractérisent le mieux la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement, et en donnant un poids supérieur aux données provenant d'échantillons prélevés dans le département de la Nièvre.

Les résultats montrent que :

- aucune formation ne s'est vue attribuer la note maximale de 4 ;
- sept formations ont été qualifiées de la note 3 : les *Colluvions de fond de vallons/versants* (FC), les *Calcaires lacustres et marnes de l'Éocène-Miocène* (e5-m1C), les *Craie marneuse, craie à silex, spongolites* (C1), les *Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes* (n4a-b), les *Marnes et calcaires argileux* (j3a-4a), les *Marnes et Calcaires à entroques* (j2a-3a) et les *Marnes gris-bleu à Gryphées* (l2) ;
- quatorze formations ont reçu la note géotechnique de 2 ;
- quatre formations ont reçu la note géotechnique minimale 1 ;
- enfin, six formations n'ont pas pu recevoir de note géotechnique, en raison de l'absence de données sur le département et les départements limitrophes.

Il faut noter que ces attributions sont nécessairement subjectives et influencées par les expertises du géologue régional et du géotechnicien. La grande variabilité des matériaux au sein d'une même formation et le nombre parfois relativement restreint d'analyses disponibles ne permettent en effet pas de réaliser de simples moyennes arithmétiques mais exigent une analyse pondérée des résultats. Il faut cependant remarquer que les résultats provenant de différents types d'essais donnent des valeurs cohérentes avec celles disponibles dans la bibliographie.

N°	Notation	Formation	Note géotechnique	Données collectées sur la Nièvre												Données collectées dans les départements limitrophes									
				VB (g/100 g)				IP (%)				Coefficient de gonflement				VB g/100g				IP - %				Retrait linéaire		
				Nb. éch.	Moy	Min	Max	Nb. éch.	Moy	Min	Max	Nb. éch.	Moy	Min	Max	Nb. éch.	Moy	Min	Max	Nb. éch.	Moy	Min	Max	Nb. éch.	Moy	Min
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	1	2	0,43	0,31	0,56	6	21,85	14	30,7					5	1,4	0,3	2,7	35	40,6	11	87	2	0,4	0,3
2	Fx	Alluvions des moyennes terrasses	2	3	0,64	0,33	1,15	2	40	40	40									1	22	22	22			
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes des hautes terrasses	2	17	3,15	0,25	8,14	17	24,6	14	55					6	4,5	0,3	9,7	22	41,475	6,6	84	3	0,485	0,45
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	3	10	7,01	2,28	9,6	22	29,7	9	64,4	4	0,0193	0,0082	0,029	1	5	5	5	8	36	26	49,8			
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	2	2	0,76	0,25	1,28	22	32,1	4	62									1	53	53	53			
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex	2	11	4,72	2,22	6,8	28	37,4	12	79					1	12,5	12,5	12,5	14	21,85	6,5	48,9	1	0,5	0,5
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	2																	30	28,8	12,7	39,5	2	0,24	0,23
8	p	Sables et argiles bariolées	2					5	23	22	27															
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	3					2	49	47	51					1	2,9	2,9	2,9	22	38,2	12,3	93	4	0,38	0,2
10	e5-m1MS	Argiles sableuse silicifiées ou rubanées	1	1	1,63	1,63	1,63	6	19,8	10	23					3	3,5	0,54	8,73	11	40,25	9,5	55	1	0,62	0,62
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites	3					8	48,4	17	64									2	28,5	28	29			
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux	-																							
13	n6M	Argiles de Myennes	2													1	0,9	0,9	0,9	4	30,75	12,5	40			
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	1					2	16,5	15	18															
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	3																	7	34,95	12,5	65			
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	2					9	27,1	18	32															
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	2					12	23,9	10	34															
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	-																							
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	-																							
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	-																							
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	2	55	3,94	0,83	6,43	62	25,2	11,5	61	1	0,014	0,014	0,014	2	3,5	2,6	4,3	1	18	18	18			
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	3	30	5,86	1,47	7,86	18	24	13	48															
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	3	1	6,23	6,23	6,23	10	32,3	18	60													1	0,57	0,57
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	2	4	4,02	2,68	5,21	25	32,1	20	51	2	0,0077	0,0061	0,0093	2	4	3,6	4,3	6	28,15	20	37			
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	2																	1	17	17	17			
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	2					18	26,9	19	46					2	3,3	2,8	3,8	1	39	39	39			
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	3					7	27,7	19	34									4	50	24	81			
28	t7-t1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	2	2	2,72	2,69	2,76	3	22,3	18	27					2	3,8	2,7	4,8	7	37,5	29	83			
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	1													1	1,4	1,4	1,4	1	36	36	36			
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	-																							
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	-																							

Illustration 22 - Synthèse des données géotechniques et note géotechnique de la Nièvre

5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE

5.5.1. Détermination du degré de susceptibilité

Au total, chaque formation a donc été caractérisée par trois notes, une pour chacun des critères pris en compte selon les classifications présentées précédemment. La moyenne des trois notes obtenues permet de calculer, pour chaque formation, un degré de susceptibilité globale vis à vis du retrait-gonflement. Pour les formations dont la caractéristique minéralogique ou géotechnique n'a pu être évaluée, la moyenne est effectuée à partir des deux autres notes. La moyenne ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4. Les classes de susceptibilité déterminées à partir de la valeur moyenne ainsi calculée sont les suivantes :

Note moyenne	Degré de susceptibilité
valeur ≤ 2	**faible**
2 < valeur ≤ 3	**moyen**
valeur > 3	**fort**

Illustration 23 - Détermination du degré de susceptibilité

5.5.2. Susceptibilité des formations argileuses et marneuses

L'*illustration 24 ci-après* reprend les notes lithologiques, minéralogiques et géotechniques définies précédemment pour aboutir au calcul de la moyenne de ces notes qualifiant les 31 formations argileuses et marneuses identifiées dans le département de la Nièvre par un degré de susceptibilité.

Cette hiérarchisation des formations géologiques sélectionnées, établie sur la base de critères purement physiques, permet de constater qu'aucune formation ne présente une **susceptibilité forte**, et ceci par comparaison avec les études menées dans d'autres départements en appliquant les mêmes critères.

Par ailleurs, douze formations présentent une **susceptibilité moyenne** et dix-neuf formations ont une **susceptibilité faible**.

N°	Code	Nom de la formation géologique	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Moyenne	Degré de Susceptibilité
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	1	2	1	1,33	Faible
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	1	2	2	1,67	Faible
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	1	2	2	1,67	Faible
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	2	2	3	2,33	Moyen
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	2	2	2	2,00	Faible
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex.	3	1	2	2,00	Faible
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	2	2	2	2,00	Faible
8	p	Sables et argiles bariolées	2	2	2	2,00	Faible
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	2	2	3	2,33	Moyen
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	3	2	1	2,00	Faible
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites.	2	3	3	2,67	Moyen
12	*n6b*	*Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux.*	2	-	-	2,00	Faible
13	n6M	Argiles de Myennes	4	2	2	2,67	Moyen
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	2	-	1	1,50	Faible
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	2	2	3	2,33	Moyen
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	1	-	2	1,50	Faible
17	j6c	Marnes et calcaires à *Exogyra virgula*	3	2	2	2,33	Moyen
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	1	-	-	1,00	Faible
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	2	2	-	2,00	Faible
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	3	-	-	3,00	Moyen
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	2	2	2	2,00	Faible
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	3	1	3	2,33	Moyen
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	2	3	3	2,67	Moyen
24	l4	Marnes, argiles et « schistes carton »	4	3	2	3,00	Moyen
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	3	-	2	2,50	Moyen
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	3	1	2	2,00	Faible
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	2	2	3	2,33	Moyen
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	2	2	2	2,00	Faible
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	3	1	1	1,67	Faible
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	2	-	-	2,00	Faible
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	1	-	-	1,00	Faible

Illustration 24 - Degré de susceptibilité des formations

L'illustration 25 permet un classement des formations par niveau de susceptibilité décroissant en précisant les surfaces d'affleurement correspondantes. Ceci permet de constater que plus de 73 % de la surface du département est composée de formations géologiques argileuses ou marneuses. Plus de 19,5 % du département est affecté d'une susceptibilité moyenne au retrait-gonflement et plus de 53,6 % d'une susceptibilité faible.

Les 26,8 % de surface restante, qui intègrent le réseau hydrographique, ne sont pas, *a priori*, sensibles au retrait-gonflement. Mais, sachant qu'aucun milieu naturel n'est homogène, la présence d'un plaquage d'argile résiduel (formation superficielle de dimensions trop faibles pour être cartographiée) peut remettre localement cette absence de susceptibilité en cause.

N°	Notation	Formation	Surface (km^2)	Surface (% départemental)	Degré de susceptibilité
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	297,96	4,35	Moyen
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	54,10	0,79	Moyen
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites	22,85	0,33	Moyen
13	n6M	Argiles de Myennes	27,85	0,41	Moyen
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	1,13	0,02	Moyen
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	74,98	1,09	Moyen
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	1,26	0,02	Moyen
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	189,13	2,76	Moyen
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	148,33	2,16	Moyen
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	280,86	4,10	Moyen
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	67,75	0,99	Moyen
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	175,18	2,55	Moyen
		Total formations en susceptibilité moyenne	1 341,38	19,56	
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	646,59	9,43	Faible
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	74,61	1,09	Faible
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	93,25	1,36	Faible
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	422,70	6,16	Faible
6	Rs	*Formations résiduelles argilo-sableuses à silex*	*982,75*	*14,33*	*Faible*
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	49,98	0,73	Faible
8	p	Sables et argiles bariolées	4,93	0,07	Faible
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	271,59	3,96	Faible
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux	20,76	0,30	Faible
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	42,90	0,63	Faible
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	40,70	0,59	Faible
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	24,30	0,35	Faible
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	40,57	0,59	Faible
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	314,93	4,59	Faible
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	319,60	4,66	Faible
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	118,30	1,73	Faible
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	159,73	2,33	Faible
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	32,85	0,48	Faible
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	15,46	0,23	Faible
		Total formations en susceptibilité faible	3 676,61	53,62	
		Total formations argileuses	5 017,98	73,19	
		Formations a priori non argileuses	1 838,56	26,81	
		Total département	6 856,54	100,00	

Illustration 25 - Classement des formations par niveau de susceptibilité décroissant et surfaces d'affleurement correspondantes

5.5.3. Carte de susceptibilité

La carte départementale de susceptibilité a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie précédemment. Cette carte est présentée sur *l'illustration 27* et en *planche 2* hors texte au format A0.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement non sujettes au phénomène de retrait-gonflement. Cependant, on ne peut exclure que ces formations soient recouvertes localement de placages superficiels argileux ou qu'elles contiennent des poches d'argile, non représentées à l'échelle de la carte géologique actuelle. Ces éléments sont liés en particulier à l'hétérogénéité de formations essentiellement sableuses pouvant contenir localement des lentilles d'argile ou à l'altération de formations carbonatées.

Les formations argileuses et marneuses sont représentées par deux couleurs (jaune, ou orange) selon leur degré respectif de susceptibilité croissant vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement (faible ou moyen).

Le graphique présenté sur *l'illustration 26* indique quelles sont les superficies caractérisées par des degrés de susceptibilité faible ou moyen, ainsi que les zones a priori non sujettes au phénomène car correspondant à des formations considérées comme non argileuses ou au réseau hydrographique.

Contrairement aux cartes établies sur certains des départements limitrophes selon la même méthodologie, aucune formation argileuse n'est considérée comme présentant une susceptibilité forte au phénomène dans la Nièvre.

Les formations de susceptibilité moyenne couvrent, quant à elles, près de 19,6 % du département, tandis que celles de susceptibilité faible représentent 53,6 % du département. 26,8 % de la surface du département n'est pas susceptible *a priori* au retrait-gonflement des argiles, ce qui correspond aux formations considérées comme non argileuses et au réseau hydrographique.

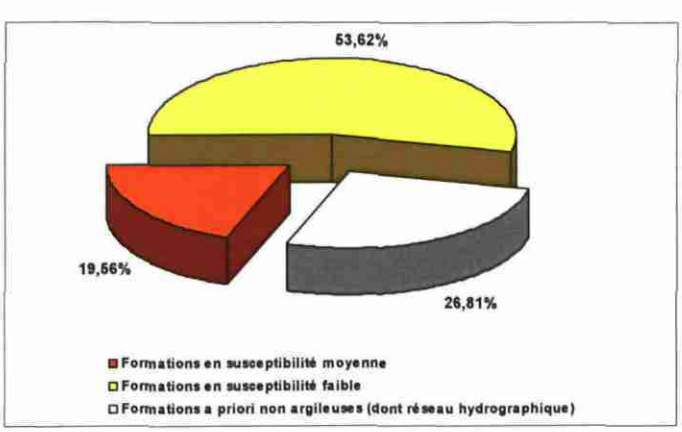


Illustration 26 – Proportions de la superficie des terrains en fonction de leur degré de susceptibilité

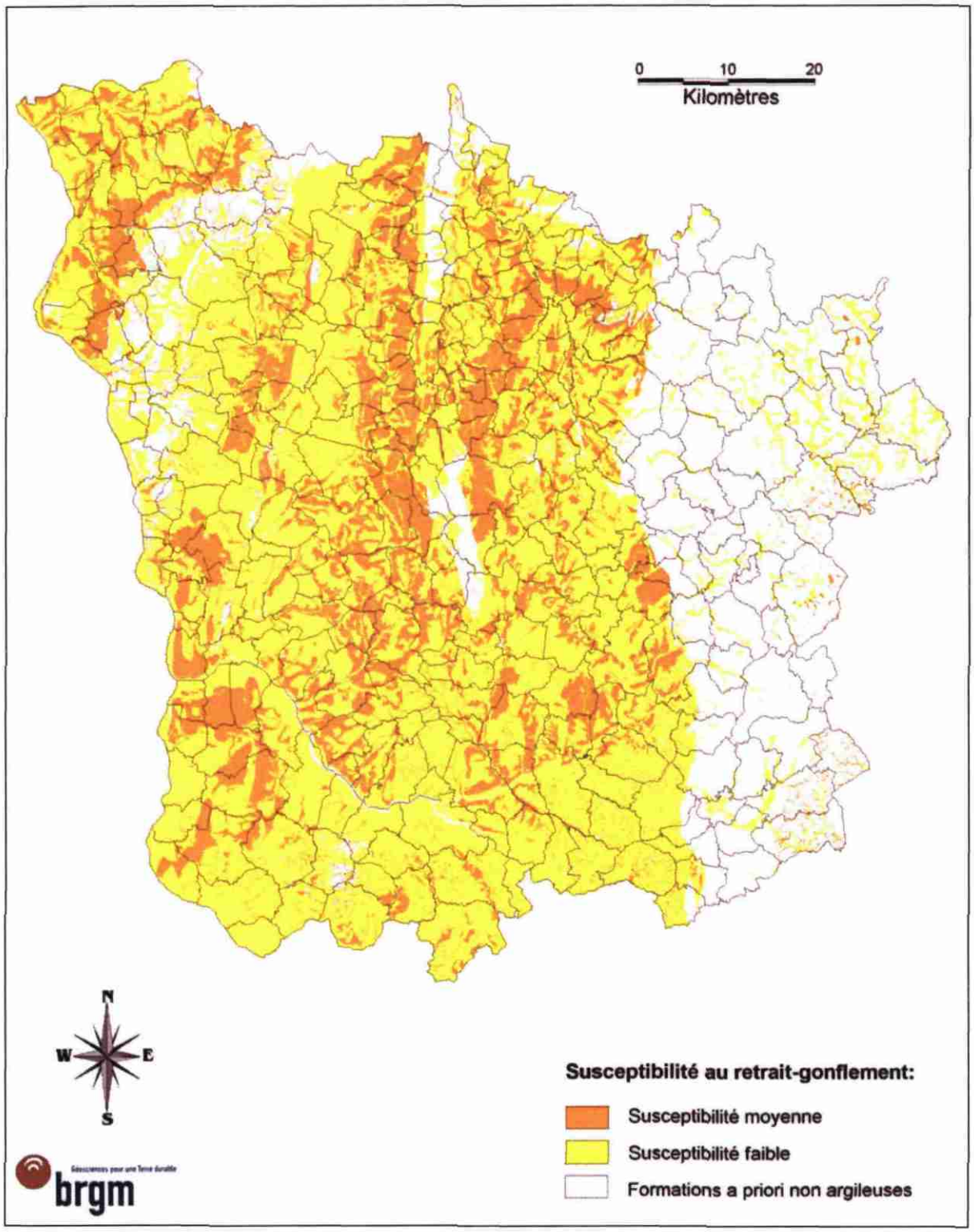


Illustration 27 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

6. Inventaires des sinistres "sécheresse" et détermination du critère de sinistralité

6.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE

Dans le cadre de la loi n°82-600 du 13 juillet 1982 sur les catastrophes naturelles, et à l'initiative des sinistrés, un dossier technique est établi par un bureau d'études afin de demander la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle dans la commune concernée, au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Aux termes de cette loi, les propriétaires de bâtis peuvent se considérer comme victimes des effets des catastrophes naturelles pour les dommages matériels directs ayant pour cause déterminante "l'intensité anormale d'un agent naturel" – dans le cas présent, la sécheresse ou la réhydratation des sols – "lorsque les mesures habituelles pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance".

Les dossiers techniques des communes sont collectés par la Préfecture qui les transmet à la Commission Interministérielle statuant sur la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

Pour que les dossiers qui lui sont soumis soient déclarés recevables, la Commission Interministérielle exige que les critères suivants soient satisfaits :

- les désordres ne doivent pas relever d'une cause autre que la sécheresse ou la réhydratation des sols ;
- le caractère exceptionnel du phénomène climatique doit être prouvé ;
- la nature du sol doit être essentiellement argileuse, de sorte qu'elle permette le retrait par dessiccation ou le gonflement par réhydratation ;
- le niveau de fondation doit se trouver dans la zone de sol subissant la dessiccation ;
- l'évolution des désordres doit être corrélée dans le temps avec celle du phénomène climatique exceptionnel.

Depuis décembre 2000, l'analyse du contexte climatique est confiée à Météo France et elle est effectuée sur la base d'un suivi de l'état hydrique des sols, calculé dans 92 stations de référence au moyen d'un modèle à double réservoir, sur la base d'une réserve utile de 200 mm, dont on suit le niveau de remplissage au pas de temps décadaire. La comparaison de l'état hydrique des sols (qui dépend essentiellement des précipitations et de l'évapotranspiration) par rapport aux moyennes normales, permet d'identifier les périodes de sécheresse exceptionnelles qui ont d'abord été définies comme étant des périodes de quatre trimestres consécutifs pour lesquels la réserve en

eau du sol est inférieure à la normale, avec au moins une décade située au cours du premier trimestre (janvier à mars, période de recharge hivernale) où la réserve en eau est inférieure à 50 % de la normale. Ces critères ont été modifiés pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle concernant les sinistres survenus au cours de l'été 2003.

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne sont habituellement réalisées que sur quelques cas de désordres de bâtis par commune. L'ensemble des sinistres d'une commune est rarement pris en compte et il n'est pas rare qu'un seul sinistre permette de classer l'ensemble de la commune en état de catastrophe naturelle. Par ailleurs, dès lors qu'une commune a été reconnue une fois, il n'est pas exigé d'étude géotechnique supplémentaire pour définir une nouvelle période de reconnaissance.

De surcroît, ces études préalables sont généralement très succinctes. Une visite de terrain permet de réaliser un bref audit des sinistres, de noter les dates d'apparition des premiers désordres (pour les comparer avec les chroniques pluviométriques), d'observer les pathologies et la nature des terrains, de noter la présence éventuelle de végétation arborée à proximité du bâti sinistré et de recueillir le témoignage des propriétaires. L'examen de la carte géologique éditée par le BRGM à l'échelle 1/50 000, complété éventuellement par des observations de terrain ou des sondages, permet de préciser la nature des formations géologiques environnant les sinistres et de déterminer la formation argileuse ou marneuse en cause.

Ces dossiers techniques ne constituent donc qu'une première approche, souvent très sommaire, du problème. Après reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle dans la commune, des études plus approfondies sont généralement réalisées à la demande des compagnies d'assurance afin de déterminer le niveau de remboursement des dégâts et proposer des solutions de confortement. Les experts en charge de ces diagnostics font alors souvent appel à des bureaux d'études spécialisés pour réaliser des études géotechniques qui permettent de préciser l'origine des désordres. Ces études de sols ne sont cependant pas systématiques.

Dans le cas du département de la Nièvre, différents bureaux d'études ont réalisé des dossiers techniques pour établir la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ou expertiser des sinistres pour le compte des compagnies d'assurance. Parmi ces interlocuteurs, seuls Hydrogéotechnique et ICSEO nous ont permis de consulter leurs dossiers d'archives, ce dont nous les remercions.

6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES

6.2.1. Localisation des communes sinistrées

A la date du 1er octobre 2006, 84 communes du département de la Nièvre ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2003 (cf. annexe 2).

Il est à noter que pour la seule sécheresse de juillet à septembre 2003, 80 communes ont déposé une demande de reconnaissance de catastrophe naturelle dans le département. Pour 10 de ces communes, le dossier était encore en cours d'examen au 1er octobre 2006, les 70 autres ayant d'ores et déjà été reconnues.

Un premier arrêté ministériel, en date du 25 août 2004, a constaté l'état de catastrophe naturelle pour 10 de ces communes et depuis, 10 autres arrêtés ont été publiés concernant 60 communes supplémentaires.

Depuis 1990 et à la date du 1er octobre 2006, 20 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols ont été pris dans le département de la Nièvre. Ce sont les arrêtés des 12/08/91, 06/09/93, 08/03/94, 18/07/95, 12/03/98, 29/12/98, 23/02/99, 16/04/99, 27/12/00, 25/08/04, 11/01/05, 27/05/05, 22/11/05, 09/01/06, 06/02/06, 30/03/06, 05/05/06, 16/06/06, 27/07/06 et 03/08/06.

Sur l'ensemble du département et au 1er octobre 2006, 84 communes ont ainsi été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène de retrait-gonflement, soit 26,9 % des 312 communes du département, couvrant 2 097 km^2 de la superficie totale, soit 32,5 % du département. Ce taux de sinistralité n'est pas particulièrement élevé et il reste très inférieur à d'autres départements, notamment ceux du Sud-Ouest tels que le Gers où il atteint 95 % et certains de la région parisienne, tels que la Seine-Saint-Denis ou le Val-de-Marne où il dépasse 70 %.

La plupart de ces arrêtés concerne plusieurs communes et ils comptabilisent au total 96 occurrences reconnues dans le département. Ce chiffre est très loin derrière celui de certains départements du sud-ouest (1353 occurrences reconnues dans le Gers, 1205 en Haute-Garonne, 824 en Dordogne, par exemple). De fait, la Nièvre est désormais classée à la 52ème position des départements français en ce qui concerne le coût d'indemnisation, en intégrant les coûts estimés de la sécheresse 2003. La Nièvre se place notamment derrière les départements très urbanisés de la région parisienne et derrière ceux du Centre, mais ce décalage s'explique en partie par son taux d'urbanisation plutôt faible.

La liste des communes concernées est présentée en annexe 2, ainsi que les périodes de reconnaissance, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur parution au Journal Officiel.

L'illustration 28 permet de localiser les 84 communes qui ont fait l'objet d'au moins un arrêté de reconnaissance à ce jour.

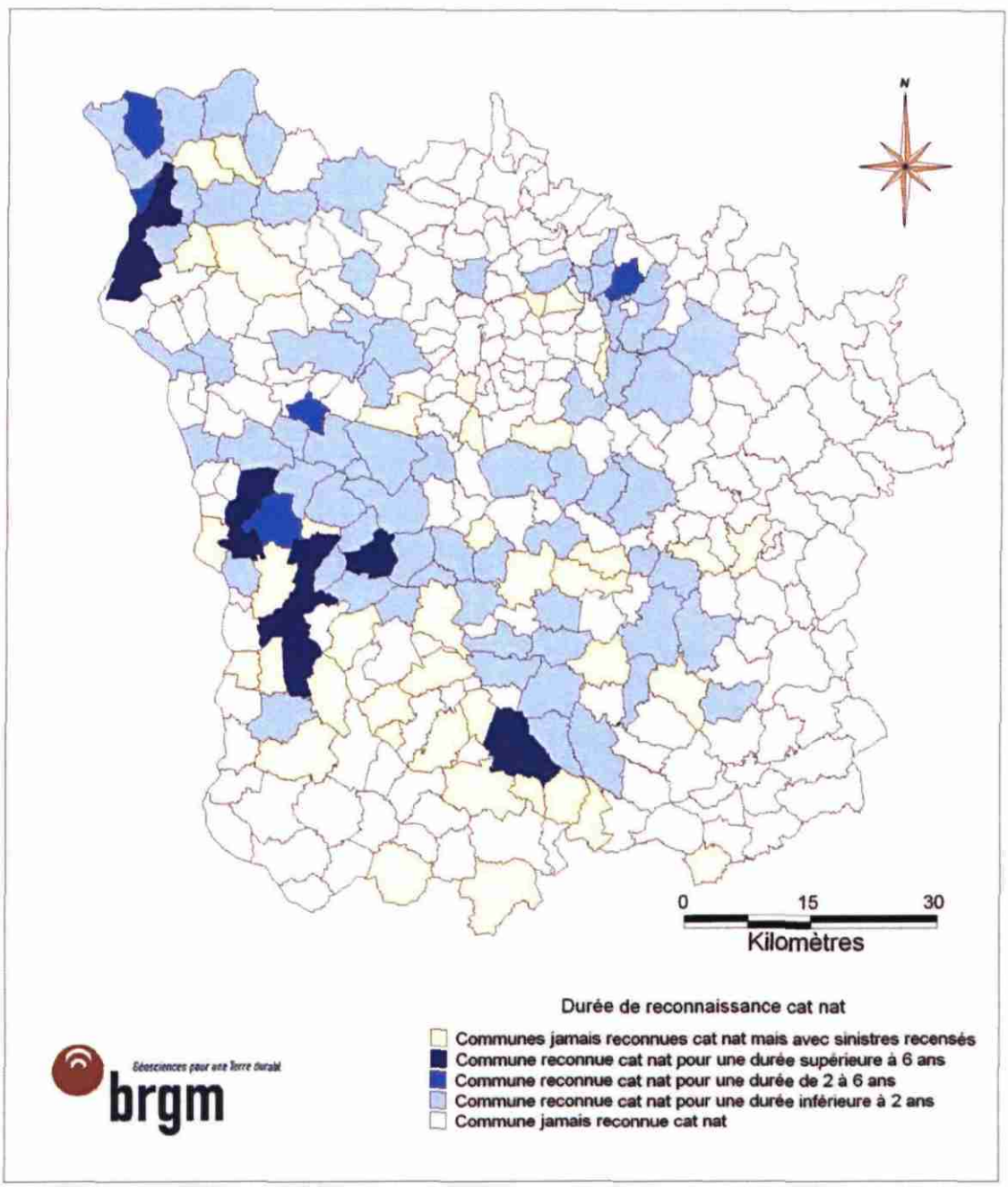


Illustration 28 - Carte des durées de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse dans le département de la Nièvre à la date du 1er octobre 2006.

Cette carte montre que la majeure partie des communes ayant été reconnues en état de catastrophe naturelle pour le phénomène de retrait-gonflement est localisée dans la frange ouest du département, essentiellement dans la Sologne bourbonnaise et dans la Puisaye. On observe qu'aucune commune ne présente ce type de sinistre dans la frange orientale du département correspondant à la bordure occidentale du Morvan.

6.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

Sur les 84 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle, 74 d'entre elles n'ont fait l'objet que d'un seul arrêté, 8 de deux arrêtés, le maximum étant de 3 arrêtés pour 2 communes (Cosne-Cours-sur-Loire et Ourouër).

Ceci est important au regard de la mise en application du système de modulation de franchise mis en place en septembre 2000 et qui prévoit une augmentation de la franchise à chaque nouvel arrêté à partir du troisième (compté désormais sur les 5 dernières années, suite à l'arrêté du 4 août 2003, et non plus depuis 1995 comme initialement), à défaut d'élaboration de documents de prévention de type Plans de Prévention des Risques naturels (PPR).

Les données fournies en annexe 2 indiquent par ailleurs que la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie fortement d'une commune à l'autre et d'un arrêté à l'autre. Certains arrêtés couvrent des périodes de plusieurs années consécutives, d'autres concernent quelques mois seulement. C'est pourquoi il est apparu préférable de raisonner non pas seulement en nombre d'arrêtés par commune mais plutôt en nombre de mois reconnus par commune. Ce sont ces éléments qui ont été synthétisés sur le graphique de l'illustration 29.

Neuf communes ont ainsi été reconnues pendant au moins 8 ans, c'est-à-dire de façon quasi continue entre 1989 et 1997. Cinq communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pendant une durée totale de 5 à 8 ans, huit communes pendant une durée de 2 à 6 ans. Soixante-neuf des communes reconnues (plus de 80 %) l'ont été pour une durée inférieure à 2 ans, la plupart pour le seul été 2003 où des sinistres ont été recensés dans 41 communes qui n'avaient encore jamais fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse.

INSEE	Commune	Nombre arrêtés	durée (mois)	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
58001	Achun	1	3															
58002	Alligny-Cosne	1	3															
58006	Anlezy	1	3															
58007	Annay	2	47															
58008	Anthien	1	3															
58012	Arquian	1	3															
58017	Aunay-en-Bazois	1	3															
58022	Balleray	1	3															
58024	Bazolles	2	15															
58027	Beaumont-la-Ferrière	1	3															
58031	Billy-Chevannes	1	3															
58035	Bona	2	24															
58044	La Celle-sur-Loire	1	3															
58045	La Celle-sur-Nièvre	2	47															
58046	Cercy-la-Tour	1	3															
58047	Cervon	1	3															
58053	Champlemy	1	3															
58055	Champvert	1	102															
58059	La Charité-sur-Loire	1	24															
58064	Châteauneuf-Val-de-Bargis	1	3															
58067	Chaulgnes	2	99															
58077	Ciez	1	3															
58083	Corbigny	1	3															
58086	Cosne-Cours-sur-Loire	3	98															
58088	Coulanges-lès-Nevers (CAN)	1	96															
58092	Crux-la-Ville	1	3															
58093	Cuncy-lès-Varzy	1	3															
58094	Dampierre-sous-Bouhy	1	3															
58097	Diennes-Aubigny	1	3															
58109	Entrains-sur-Nohain	1	3															
58113	Fertrève	1	3															
58116	Fiez-Cuzy	1	3															
58121	Garchizy (CAN)	1	21															
58122	Garchy	1	3															
58135	Isenay	1	3															
58142	Limanton	1	3															
58145	Lormes	1	3															
58147	Lurcy-le-Bourg	1	3															
58152	Magny-Cours	1	12															
58153	Magny-Lormes	1	3															
58161	Maux	1	3															
58163	Menou	1	3															
58170	Monceaux-le-Comte	1	3															
58171	Montapas	1	3															
58176	Montigny-aux-Amognes	1	3															
58182	Moulins-Engilbert	1	3															
58186	Murlin	1	3															
58187	Myennes	2	63															
58190	Neuffontaines	1	3															
58193	Neuvy-sur-Loire	2	23															
58194	Nevers (CAN)	2	101															
58196	Nolay	1	3															
58204	Ourouër	3	99															
58207	Parigny-les-Vaux	1	66															
58208	Pazy	1	3															
58212	Poiseux	1	3															
58214	Pougues-les-Eaux (CAN)	1	88															
58215	Pouilly-sur-Loire	1	3															
58218	Prémery	1	3															
58220	Raveau	1	3															
58224	Ruages	1	3															
58227	Saint-Amand-en-Puisaye	1	3															
58231	Saint-Aubin-les-Forges	1	3															
58234	Saint-Bonnot	1	3															
58239	Saint-Firmin	1	6															
58246	Saint-Honoré-les-Bains	1	3															
58247	Saint-Jean-aux-Amognes	1	3															
58251	Saint-Loup	1	3															
58252	Saint-Malo-en-Donziois	1	3															
58254	Saint-Martin-d'Heuille	1	21															
58261	Saint-Père	1	3															
58269	Saint-Sulpice	1	3															
58271	Saizy	1	38															
58275	Saxi-Bourdon	1	3															
58278	Sermoise-sur-Loire (CAN)	1	96															
58279	Sichamps	1	3															
58285	Tamnay-en-Bazois	1	3															
58286	Tannay	1	3															
58288	Teigny	1	3															
58292	Tintury	1	3															
58300	Urzy	1	102															
58306	Verneuil	1	9															
58308	Vignol	1	3															
58311	Ville-Langy	1	3															

Illustration 29 - Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour les communes reconnues en état de catastrophe naturelle "sécheresse"

Le graphique de l'illustration 30 montre l'évolution du nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle "sécheresse" dans le département. Ces deux graphiques montrent clairement que la sécheresse 2003 est celle qui a eu le plus d'impact dans la région avec 71 communes reconnues au 1er octobre 2006. Vient ensuite la sécheresse des années 1996-97 avec 17 communes, puis les années 1989-91 avec au maximum 14 communes reconnues simultanément début 1990.

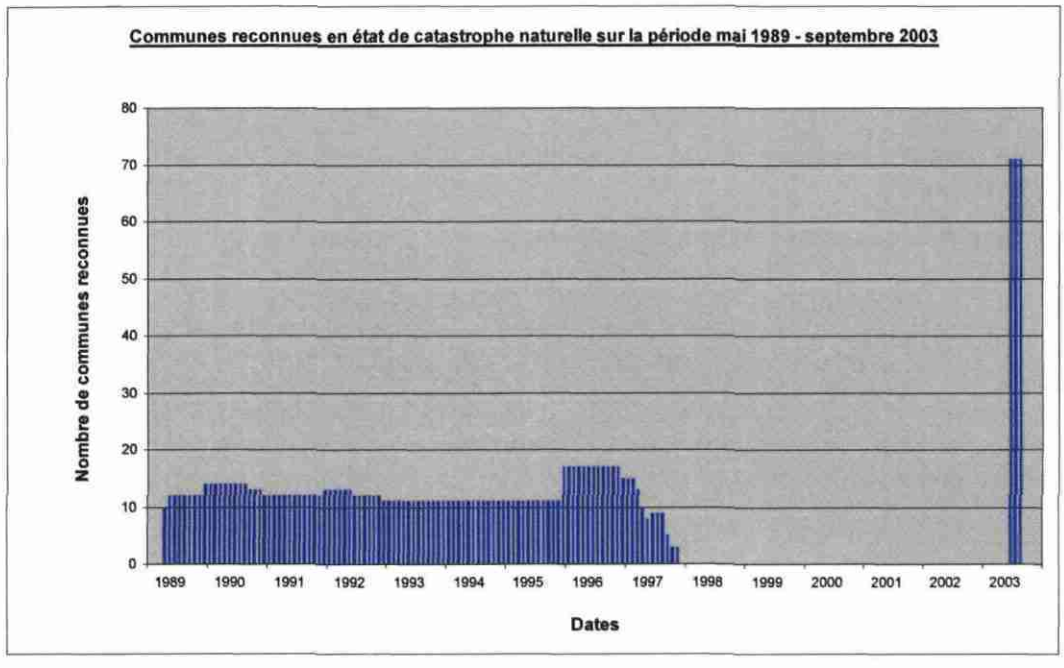


Illustration 30 - Evolution du nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle

Il faut cependant noter que certaines déclarations de sinistres sont tardives, ce qui peut en partie expliquer que les périodes de déficit hydrique et les dates de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne soient pas strictement consécutives. En effet, après une période de dessiccation intense et profonde des sols, le retour à un état hydrique normal est lent et il subsiste souvent en profondeur des zones de sol argileux anormalement desséchées qui restent sensibles à des variations saisonnières, même de faible amplitude. En d'autres termes, un déficit hydrique intense est nécessaire pour amorcer les premiers mouvements différentiels du sol mais ensuite, la structure du sol et du bâti ayant été fragilisé, de faibles amplitudes hydriques suffisent à provoquer la réouverture ou l'aggravation des premières fissures. C'est pourquoi certains propriétaires réagissent avec retard et déclarent des sinistres à une période où les précipitations sont revenues à un niveau normal.

Il n'est pas exclu non plus que le gonflement des argiles, consécutif à la pluviométrie importante qu'a connue le département notamment entre fin 1994 et mars 1995, ait pu être ponctuellement à l'origine de certains sinistres, ou du moins ait aggravé les effets de mouvements différentiels antérieurs. Cette hypothèse est cependant rarement mise en évidence par les bureaux d'études, sauf dans les cas particuliers de villas

construites en période de déficit hydrique sur des sols anormalement desséchés en fond de fouille et qui ont subi des désordres lors de la réhydratation.

6.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de plusieurs sources d'informations jugées complémentaires :

- la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle disponibles à la Caisse Centrale de Réassurance ;
- une enquête auprès de la Préfecture et des communes touchées par le phénomène ;
- la consultation de dossiers communiqués par des assureurs et des bureaux d'études.

A chaque étape, les doublons (sinistres successifs sur le même site ou donnée redondante issue de sources parallèles) ont été éliminés.

En premier lieu, la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle disponibles à la Caisse Centrale de Réassurance a permis de recenser environ 58 sinistres.

La principale source d'informations provient d'une enquête effectuée auprès des communes affectées par le phénomène. Cette enquête s'est fait par envoi d'un courrier, adressé aux maires des 312 communes du département. De nombreuses relances par courrier et par téléphone au fur et à mesure de la publication de nouveaux arrêtés ont permis de compléter cette enquête auprès des communes, les derniers informations nous étant parvenues au début du mois de septembre 2006.

Le taux de réponse au courrier envoyé a été plutôt satisfaisant puisque le taux de réponse global est de 67,3 % (et de 93 % pour les 84 communes qui avaient déjà été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse).

Au total, ce sont finalement 762 sites de sinistres qui ont été répertoriés à partir des réponses des communes.

Des données supplémentaires ont été recueillies auprès des mutuelles et experts d'assurances et de quelques bureaux d'études géotechniques (Hydro'Géotechnique et ICSEO).

Finalement, ce sont 798 sinistres qui ont été recensés, dont **773 ont pu être localisés avec précision**. La localisation des sinistres a été effectuée sur le fond topographique Scan25 © de l'IGN.

Ce travail a été réalisé grâce aux cartes de localisation renvoyées par les communes, à celles consultées dans les dossiers réalisés par les différents bureaux d'études, ainsi que par la consultation du site Internet www.mappy.fr.

Cet échantillon peut être considéré comme représentatif de la "sinistralité" du département, étant donné la diversité des sources d'information, le fort taux de

réponses des communes et le fait que de très nombreux sinistres proviennent de plusieurs sources différentes.

Il faut noter que, dans l'absolu, ce nombre total de sinistres est peu élevé, si on le compare à d'autres départements peu éloignés, tels que le Cher avec 1 196 sinistres et le Loiret avec 3 903 sinistres. Dans d'autres régions, ces chiffres ont été largement dépassés, notamment dans le Sud-Ouest où la Haute-Garonne totalise plus de 5 000 sinistres recensés.

INSEE	Commune	Nb arrêtés cat. nat.	Nb de sinistres par commune
58001	Achun	1	-
58002	Alligny-Cosne	1	12
58004	Alluy	0	6
58006	Anlezy	1	6
58007	Annay	2	9
58008	Anthien	1	14
58012	Arquian	1	3
58017	Aunay-en-Bazois	1	4
58022	Balleray	1	10
58024	Bazolles	2	9
58025	Béard	0	1
58027	Beaumont-la-Ferrière	1	4
58028	Beaumont-Sardolles	0	3
58031	Billy-Chevannes	1	9
58033	Bitry	0	9
58035	Bona	2	1
58044	La Celle-sur-Loire	1	7
58045	La Celle-sur-Nièvre	2	4
58046	Cercy-la-Tour	1	4
58047	Cervon	1	-
58051	Challuy (CAN)	0	9
58053	Champlemy	1	12
58055	Champvert	1	1
58059	La Charité-sur-Loire	1	3
58060	Charrin	0	5
58064	Châteauneuf-Val-de-Bargis	1	-
58065	Châtillon-en-Bazois	0	5
58067	Chaulgnes	2	13
58072	Chevenon	0	6
58075	Chitry-les-Mines	0	5
58077	Ciez	1	1
58083	Corbigny	1	25*
58086	Cosne-Cours-sur-Loire	3	18
58088	Coulanges-lès-Nevers (CAN)	1	34
58092	Crux-la-Ville	1	2
58093	Cuncy-lès-Varzy	1	1
58094	Dampierre-sous-Bouhy	1	5
58095	Decize	0	3
58096	Devay	0	1
58097	Diennes-Aubigny	1	1
58102	Donzy	0	4
58104	Dornes	0	6
58109	Entrains-sur-Nohain	1	1
58113	Fertrève	1	5

INSEE	Commune	Nb arrêtés cat. nat.	Nb de sinistres par commune
58116	Flez-Cuzy	1	3
58121	Garchizy (CAN)	1	2
58122	Garchy	1	4
58124	Germigny-sur-Loire (CAN)	0	5
58126	Gimouille	0	1
58127	Giry	0	13
58131	Guérigny	0	2
58135	Isenay	1	4
58136	Jailly	0	4
58142	Limanton	1	8
58145	Lormes	1	3
58146	Lucenay-lès-Aix	0	5
58147	Lurcy-le-Bourg	1	9
58150	Lys	0	4
58151	La Machine	0	11
58152	Magny-Cours	1	2
58153	Magny-Lormes	1	4
58161	Maux	1	5
58163	Menou	1	5
58170	Monceaux-le-Comte	1	5
58171	Montapas	1	-
58176	Montigny-aux-Amognes	1	15
58178	Montigny-sur-Canne	0	2
58182	Moulins-Engilbert	1	19
58184	Moussy	0	8
58186	Murlin	1	3
58187	Myennes	2	9
58190	Neuffontaines	1	2
58193	Neuvy-sur-Loire	2	6
58194	Nevers (CAN)	2	71
58196	Nolay	1	8
58204	Ourouër	3	4
58207	Parigny-les-Vaux	1	21
58208	Pazy	1	9
58212	Poiseux	1	1
58213	Pougny	0	1
58214	Pougues-les-Eaux (CAN)	1	21
58215	Pouilly-sur-Loire	1	2
58218	Prémery	1	4
58220	Raveau	1	15
58223	Rouy	0	1
58224	Ruages	1	7
58227	Saint-Amand-en-Puisaye	1	5
58231	Saint-Aubin-les-Forges	1	2
58232	Saint-Benin-d'Azy	0	5
58234	Saint-Bonnot	1	3
58239	Saint-Firmin	1	1
58244	Saint-Hilaire-en-Morvan	0	1
58245	Saint-Hilaire-Fontaine	0	3
58246	Saint-Honoré-les-Bains	1	12
58247	Saint-Jean-aux-Amognes	1	14
58248	Saint-Laurent-l'Abbaye	0	1
58251	Saint-Loup	1	2
58252	Saint-Malo-en-Donziois	1	-

INSEE	Commune	Nb arrêtés cat. nat.	Nb de sinistres par commune
58254	Saint-Martin-d'Heuille	1	2
58258	Saint-Ouen-sur-Loire	0	6
58260	Saint-Parize-le-Châtel	0	18
58261	Saint-Père	1	11
58262	Saint-Péreuse	0	1
58268	Saint-Seine	0	2
58269	Saint-Sulpice	1	3
58270	Saint-Vérain	0	10
58271	Saizy	1	1
58273	Sauvigny-les-Bois	0	5
58275	Saxi-Bourdon	1	2
58278	Sermoise-sur-Loire (CAN)	1	1
58279	Sichamps	1	-
58280	Sougy-sur-Loire	0	2
58284	Talon	0	4
58285	Tamnay-en-Bazois	1	1
58286	Tannay	1	9
58288	Teigny	1	1
58292	Tintury	1	6
58300	Urzy	1	12
58301	Vandenesse	0	3
58303	Varennes-Vauzelles (CAN)	0	19
58306	Verneuil	1	1
58308	Vignol	1	3
58311	Ville-Langy	1	16
58313	Vitry-Laché	0	1
Total des arrêtés cat.nat.			96
Total des sinistres recensés			798

Illustration 31 - Nombres de sinistres recensés par commune et arrêtés cat. nat. correspondants

Remarques :

- pour la commune de Corbigny, les 25 sinistres signalés n'ont pu être localisés faute d'indication de la mairie et ils ne sont pas pris en compte dans la suite de l'étude qui se base en définitive sur les **773 sinistres localisés** avec précision et répartis sur 118 communes ;
- les 40 communes surlignées en vert sont celles qui n'ont pas encore fait l'objet d'une reconnaissance de catastrophe naturelle au 1er octobre 2006 mais qui ont signalé des sinistres sur leur territoire.

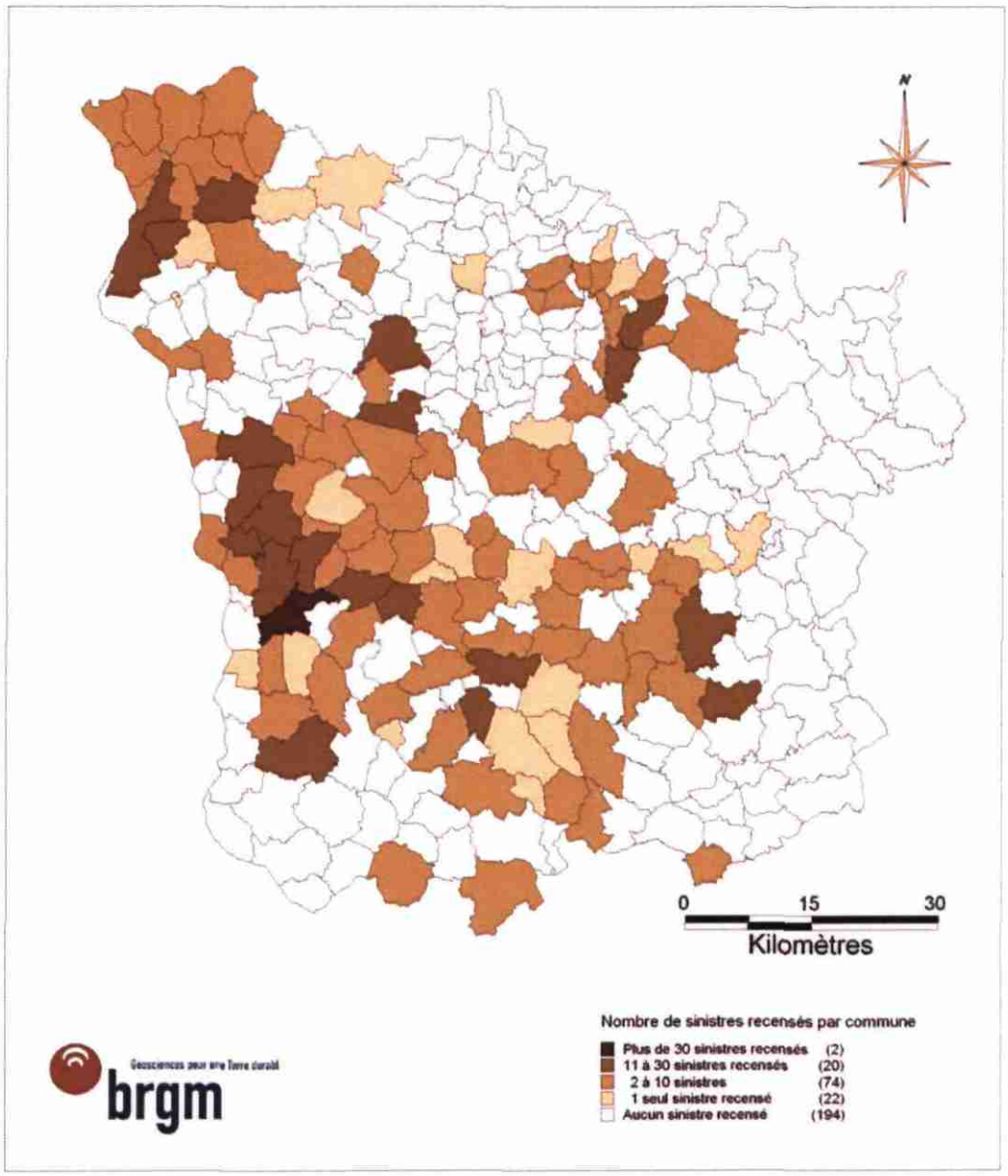


Illustration 32 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés

Le nombre de communes de la Nièvre ayant déclaré des sinistres s'élève à 118. Au 1er octobre 2006, seules 84 communes avaient été reconnues en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse (Illustration 31), dont 6 seulement n'ont communiqué aucune donnée de sinistre malgré de nombreuses relances. Pour les 34 communes non reconnues à ce jour, il s'agit de sinistres qui ont fait l'objet de déclaration voire d'une étude géotechnique, mais pour lesquels la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle est soit en délibéré, soit rejetée.

Le nombre de sinistres par commune est très variable : 22 communes présentent un seul sinistre, 74 communes de 2 à 10 sinistres, 20 communes entre 11 et 30 sinistres, tandis que 2 communes se distinguent par un nombre de sinistres nettement supérieur : 34 à Coulanges-lès-Nevers et 71 à Nevers. Ainsi, les 10 communes les plus sinistrées regroupent environ 34,7 % des sinistres recensés.

Cette répartition des sinistres par commune montre que les concentrations de sinistres s'observent logiquement dans les zones urbanisées (principales agglomérations).

D'un point de vue géographique (Illustration 32), les communes les plus touchées sont majoritairement présentes au centre-ouest et au nord-ouest du département. Globalement, c'est toute la partie hors socle (Morvan) du département, soit les trois-quarts de la surface départementale, qui est affectée par ce phénomène.

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendu est présentée en annexe 3. Pour des raisons de confidentialité, les noms et adresses des propriétaires, qui avaient été collectés pour supprimer les doublons, n'apparaissent pas dans ce tableau.

6.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES

La nature géologique des terrains affleurants constitue le principal facteur de prédisposition au phénomène de retrait-gonflement, ce qui conduit à étudier la répartition par formation géologique des 773 sinistres localisés avec précision. Le croisement avec la carte géologique synthétique des formations argileuses et marneuses a permis de déterminer la nature de la formation concernée (Illustration 33).

Pour chaque formation argileuse ou marneuse sont indiqués, dans l'Illustration 34, le nombre de sinistres, la superficie de la formation, et la densité de sinistres pour 100 km² de formation géologique.

Il apparaît ainsi que 97,5 % des sinistres sont localisés sur des formations identifiées comme argileuses ou marneuses, lesquelles occupent environ 73,2 % de la surface du département (Illustration 25). La densité de sinistres par rapport à la surface urbanisée est près de 10 fois plus élevée pour les formations argileuses et marneuses que pour les formations a priori non argileuses. Ces résultats indiquent une bonne corrélation entre la carte de répartition des sinistres et celle des faciès argileux.

Dans le département de la Nièvre, 19 sinistres (soit 2,5 % du total localisés) sont localisés en dehors des formations argileuses identifiées. Malgré l'examen détaillé des données des ouvrages (puits, sondages) contenus dans la BSS (Banque des données du Sous-Sol) et situés à proximité de ces sinistres "orphelins", il n'a pas été possible de proposer une interprétation géologique cohérente à ces sinistres.

Néanmoins, ces sinistres peuvent trouver leurs origines dans les constatations suivantes :

- certaines formations considérées comme *a priori* non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne en particulier les horizons crayeux et calcaires qui peuvent être recouverts de colluvions superficielles, localement altérées ou fissurées et remplies de matériaux plus argileux. Certaines roches éruptives peuvent aussi s'altérer en surface. Par ailleurs, des formations essentiellement sableuses peuvent contenir des lentilles d'argile (*Sables de la Puisaye)*. C'est d'ailleurs ce raisonnement qui a conduit à retenir comme potentiellement sujettes au retrait-gonflement des zones d'affleurement de formations *a priori* peu argileuses.
- quelques sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles peuvent être dus à d'autres phénomènes (tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables, défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.) ;
- les contours de formations géologiques, levés à l'échelle 1/25 000 et édités ensuite à l'échelle du 1/50 000, présentent une précision limitée, d'autant qu'il est souvent très difficile pour le géologue de suivre précisément la limite entre deux formations sous le couvert du sol et de la végétation.
- enfin, il n'est pas exclu que certains sinistres aient été mal localisés par nos interlocuteurs et que des erreurs de report topographique se soient produits.

Parmi les formations argileuses ou marneuses, seules trois comptabilisent plus de 50 sinistres : il s'agit des *Calcaires avec intercalations marneuses* j3b-4b (72 sinistres) et des *Marnes et calcaires argileux* j3a-4a (69 sinistres) et des *Formations résiduelles argilo-sableuses à silex* Rs (61). Il faut toutefois noter que celles-ci affleurent sur des superficies étendues (respectivement 4,6 %, 2,8 % et 14,3 % du département), ce qui induit en définitive des densités de sinistres assez faibles pour ces formations.

Quatre autres formations se distinguent par un grand nombre de sinistres identifiés : les *Marnes et calcaires à entroques j2a-3a* (49), les *Alluvions actuelles et subactuelles* Fy-z (47), les *Marnes, argiles et "schistes carton" l4* (47) et les *Alluvions anciennes des hautes terrasses Fu-v-w* (45).

Deux formations argileuses et marneuses ne comptent pas de sinistres, mais cela est peu significatif étant donné que ces formations n'affleurent que très peu sur ce département avec au total 0,09 % de la superficie départementale.

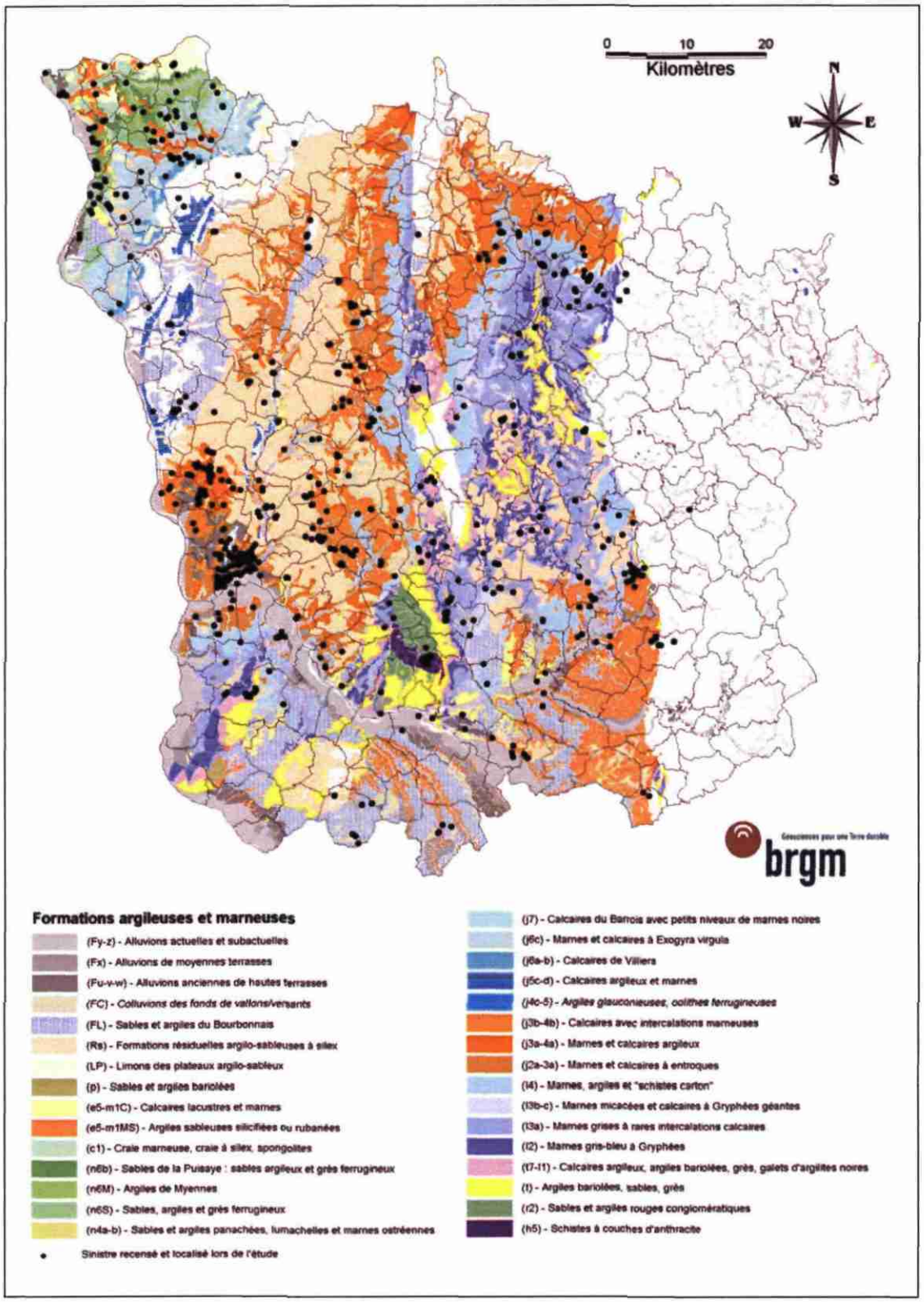


Illustration 33 - Carte des formations argileuses sensibles au retrait-gonflement et répartition des sinistres

N°	Notation	Formation	Superficie (km^2)	Superficie (% du département)	Nombre de sinistres localisés	Densité de sinistres pour 100 km2 de formation
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	646,59	9,43	47	7,27
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	74,61	1,09	5	6,70
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	93,25	1,36	45	48,26
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	297,96	4,35	29	9,73
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	422,70	6,16	36	8,52
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex	982,75	14,33	61	6,21
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	49,98	0,73	4	8,00
8	p	Sables et argiles bariolées	4,93	0,07	0	0,00
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	54,10	0,79	38	70,24
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	271,59	3,96	29	10,68
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites	22,85	0,33	5	21,88
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux	20,76	0,30	4	19,27
13	n6M	Argiles de Myennes	27,85	0,41	9	32,31
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	42,90	0,63	26	60,61
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	1,13	0,02	0	NS
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	40,70	0,59	8	19,66
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	74,98	1,09	11	14,67
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	24,30	0,35	5	20,58
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	40,57	0,59	3	7,39
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	1,26	0,02	3	238,14
21	j3b-4b	Calcaire avec intercalations marneuses	314,93	4,59	72	22,86
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	189,13	2,76	69	36,48
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	148,33	2,16	49	33,03
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	280,86	4,10	47	16,73
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	67,75	0,99	19	28,04
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	319,60	4,66	41	12,83
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	175,18	2,55	29	16,55
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	118,30	1,73	36	30,43
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	159,73	2,33	12	7,51
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	32,85	0,48	1	3,04
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	15,46	0,23	10	64,69
		Total formations argileuses	5 017,98	73,19	754	15,03
		Formations a priori non argileuses et réseau hydrographique	1 838,56	26,81	19	1,03
		Total département	6 856,54	100,00	773	11,27

Illustration 34 - Répartition des sinistres par formation géologique

6.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE

Étant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner non pas seulement sur le nombre de sinistres par formation géologique, mais sur leur densité (ramenée à 100 km² de surface d'affleurement). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département et cela peut donc biaiser l'analyse sur les densités de sinistres par formation. En effet, une formation géologique s'étendant principalement en milieu très peu habité aura moins de risque de donner lieu à des sinistres sur le bâti qu'une formation très urbanisée. Cela explique que nous ayons raisonné sur les densités de sinistres par formation géologique, ramenées à 100 km² de surface effectivement urbanisée.

6.5.1. Détermination de la densité de sinistres par formation

Les contours des zones urbanisées ont été tracés à partir des cartes topographiques IGN à l'échelle 1/25 000 (Illustration 35). Ils ont ensuite été superposés à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Ceci a permis de calculer, pour chacune des 31 formations argileuses ou marneuses du département, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement urbanisée. Ces zones urbanisées sont figurées en damiers sur la carte d'aléa, en planche hors-texte. Il est à noter que ces contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité, notamment dans les secteurs urbanisés très récemment.

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 230,1 km², soit 3,4 % de la superficie du département, proportion relativement faible qui traduit bien le caractère principalement rural du département.

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, avec celle des zones urbanisées montre que la surface totale occupée par les zones urbanisées dans les formations géologiques argileuses et marneuses est de 185,14 km², soit 3,7 % de la surface considérée comme potentiellement argileuse (contre 2,4 % sur les formations a priori non argileuses). Les surfaces urbanisées et le nombre de sinistres recensés sont indiqués pour chaque formation géologique argileuse sur l'illustration 36. Ces éléments permettent de calculer des densités de sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface de la zone urbanisée de la formation. Les résultats montrent que la prise en compte du taux d'urbanisation modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en terme de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie d'une formation à l'autre.

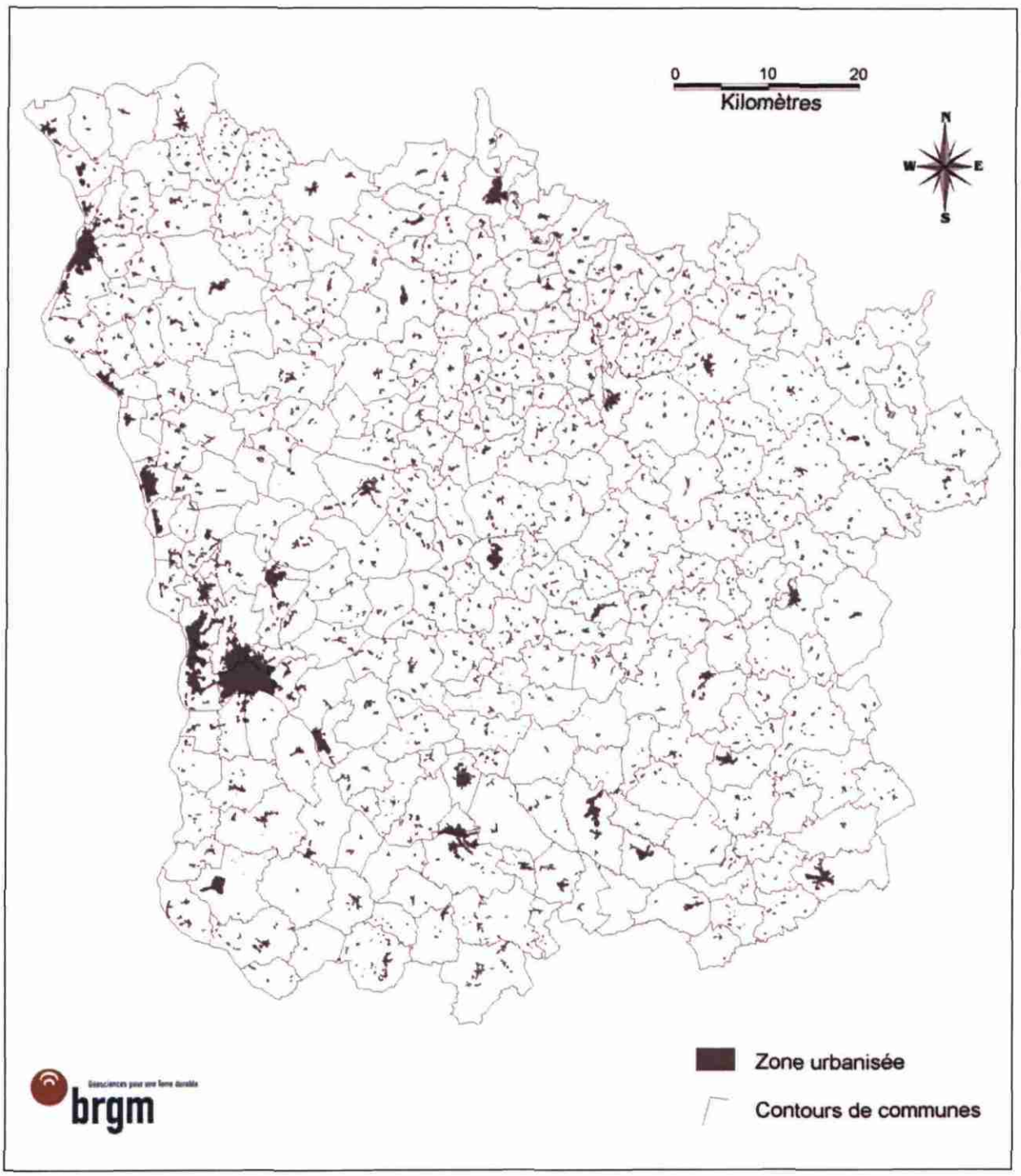


Illustration 35 - Carte des zones urbanisées

N°	Notation	Formation	Superficie (km^2)	Superficie (% du département)	Surface urbanisée (km^2)	Taux d'urbanisation (%)	Sinistres	Densité de sinistres pour 100 km^2 urbanisés	Note de sinistralité	Degré de susceptibilité
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	646,59	9,43	29,28	4,53	47	160,51	1	Faible
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	74,61	1,09	3,28	4,39	5	152,56	1	Faible
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	93,25	1,36	13,38	14,34	45	336,44	1	Faible
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	297,96	4,35	7,95	2,67	29	364,71	1	Moyen
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	422,80	6,17	11,03	2,61	37	335,37	1	Faible
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex	982,75	14,33	10,84	1,10	61	562,52	2	Faible
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	49,98	0,73	0,59	1,19	4	673,15	2	Faible
8	p	Sables et argiles bariolées	4,93	0,07	0,00	0,00	0	-	NS	Faible
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	54,10	0,79	3,91	7,23	38	971,98	3	Moyen
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	271,59	3,96	4,14	1,53	29	700,15	2	Faible
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites	22,85	0,33	1,21	5,29	5	413,33	2	Moyen
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux	20,76	0,30	1,10	5,28	4	364,81	1	Faible
13	n6M	Argiles de Myennes	27,85	0,41	0,85	3,07	9	1 052,89	3	Moyen
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	42,90	0,63	5,38	12,55	26	483,08	2	Faible
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	1,13	0,02	0,06	5,51	0	-	NS	Moyen
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	40,70	0,59	1,05	2,58	8	761,15	2	Faible
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	74,98	1,09	2,75	3,67	11	399,32	1	Moyen
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	24,30	0,35	1,56	6,44	5	319,67	1	Faible
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	40,57	0,59	3,59	8,84	3	83,67	1	Faible
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	1,26	0,02	0,47	37,53	3	634,58	2	Moyen
21	j3b-4b	Calcaire avec intercalations marneuses	314,94	4,59	20,90	6,64	72	344,50	1	Faible
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	189,12	2,76	10,04	5,31	69	687,59	2	Moyen
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	148,33	2,16	15,74	10,61	49	311,37	1	Moyen
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	280,86	4,10	5,83	2,07	47	806,50	3	Moyen
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	67,75	0,99	2,10	3,10	19	904,88	3	Moyen
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	319,60	4,66	6,98	2,18	41	587,29	2	Faible
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	175,18	2,55	8,35	4,77	29	347,32	1	Moyen
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	118,30	1,73	5,21	4,41	36	690,32	2	Faible
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	159,73	2,33	4,53	2,84	12	264,78	1	Faible
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	32,85	0,48	0,73	2,22	1	136,85	1	Faible
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	15,46	0,23	2,29	14,80	10	437,24	2	Faible

Total formations argileuses	5 017,98	73,19	185,14	3,69	754	407,27
Formations a priori non argileuses et réseau hydrographique	1 838,56	26,81	44,95	2,45	19	42,27
Total département	6 856,54	100,00	230,09	3,36	773	335,95

Illustration 36 - Classement des formations par densité de sinistres ramenée à la surface urbanisée et rappel de la susceptibilité

Ainsi, les formations comptant une densité de sinistres ramenée à 100 km² de surface urbanisée la plus élevée, sont, par ordre décroissant les *Argiles de Myennes* (n6M), les *Calcaires lacustres et marnes* (e5-m1C), les *Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes* (l3b-c), les *Marnes, argiles et "schistes carton"* (l4) et les *Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires* (j7).

6.5.2. Détermination du critère densité de sinistres

Les résultats de l'*Illustration 36* indiquent que la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé est en moyenne de plus de 407 pour les formations argileuses ou marneuses, alors qu'elle est de 42,3 pour les autres formations jugées *a priori* non argileuses (elle s'élève à près de 336 pour l'ensemble du département). Il est à noter que cette valeur moyenne est plutôt faible par rapport à celle calculée pour les 30 départements français les plus sinistrés, où elle atteint en moyenne 1200 sinistres pour 100 km² de formation argileuse urbanisée, ce qui traduit une sinistralité assez faible dans la Nièvre.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est ce seuil moyen d'environ 400 sinistres pour 100 km² urbanisés qui est apparu le mieux approprié comme seuil de référence et à partir duquel ont été définies les coupures suivantes pour l'attribution de notes caractérisant la sinistralité :

- *note 1* : moins de 400 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation ;
- *note 2* : entre 400 et 800 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure au seuil et inférieure à deux fois cette valeur) ;
- *note 3* : plus de 800 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à deux fois le seuil retenu).

La note caractérisant ainsi la sinistralité des formations argileuses du département est indiquée dans l'avant-dernière colonne de *l'illustration 36*. Il faut noter que pour les formations présentant les surfaces urbanisées les plus réduites, cette note n'est pas significative car la présence d'un ou quelques sinistres supplémentaires suffirait à modifier totalement cette note. Ceci concerne principalement 2 formations : les *Sables et argiles bariolées* (p) et les *Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes* (n4a-b), toutes deux sans sinistres recensés mais dont la note de sinistralité passerait brusquement à 3 avec un seul sinistre.

Les résultats montrent que les 4 formations ayant obtenu une note "densité de sinistres" de 3 (les *Calcaires lacustres et marnes*, les *Argiles de Myennes*, les *Marnes, argiles et « schistes carton »*, les *Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes)* correspondent toutes à un degré de susceptibilité moyen.

Sur les 11 formations ayant obtenu une note "densité de sinistres" de 2, trois correspondent à un degré de susceptibilité moyen. Ce sont les *Craie marneuse, craie à*

silex, spongolites, les *Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses* et les *Marnes et calcaires argileux.* Les huit autres correspondent à un degré de susceptibilité faible.

Sur les 14 formations ayant obtenu une note "densité de sinistres" de 1, quatre correspondent à un degré de susceptibilité moyen. Les dix autres ont à la fois une densité de sinistres et une susceptibilité faibles.

La corrélation entre la note densité de sinistres et la susceptibilité de la formation apparaît donc comme relativement satisfaisante.

Les 2 formations argileuses des *Sables et argiles bariolées* (p) et des *Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes* (n4a-b) ont quant à elles une note de densité de sinistres peu significative car aucun sinistre n'est à ce jour recensé sur ces 2 formations, leurs surfaces actuellement urbanisées étant très faibles à nulles.

7. Carte d'aléa

7.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA

L'aléa retrait-gonflement des argiles est, par définition, la probabilité d'occurrence du phénomène. Le niveau d'aléa a été ici évalué, de manière purement qualitative, pour chaque formation argileuse et marneuse, en combinant la susceptibilité et la densité de sinistres.

La susceptibilité des formations argileuses et marneuses identifiées a été caractérisée à partir de la moyenne des notes attribuées pour chacun des critères lithologique, minéralogique et géotechnique, comme indiqué au chapitre 5. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte. Il peut donc prendre les valeurs 1, 2 ou 3.

Pour le facteur densité de sinistres, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé. Selon la valeur de cette densité par rapport aux valeurs seuils qui sont respectivement 400 et 800, la note de densité de sinistres ainsi attribuée prend la valeur 1 (moins de 400 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation), 2 (entre 400 et 800 sinistres pour 100 km² urbanisés) ou 3 (plus de 800 sinistres pour 100 km² urbanisés).

Étant donné que la susceptibilité des formations géologiques a été définie en se basant sur trois critères différents (lithologique, minéralogique et géotechnique) et qu'elle représente une caractéristique intrinsèque de la formation, il a été décidé, conformément à la méthodologie retenue au niveau national, d'accorder **deux fois plus de poids à l'indice de susceptibilité** qu'à la note de densité de sinistres. Pour chaque formation argileuse ou marneuse, on calcule ainsi un indice d'aléa en additionnant le double de la note de susceptibilité avec la note de densité de sinistres. La valeur ainsi obtenue est un entier potentiellement compris entre 3 et 9. Les formations sont ensuite hiérarchisées en prenant en compte les coupures suivantes, qui permettent de définir trois niveaux d'aléa (faible, moyen et fort) :

Aléa	Note d'aléa
faible	3, 4 ou 5
moyen	6 ou 7
fort	8 ou 9

N°	Notation	Formation	Superficie (km²)	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Moyenne	Susceptibilité	Note de sinistralité	Indice d'aléa	Aléa
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	846,59	1	2	1	1,33	Faible	1	3	Faible
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	74,61	1	2	2	1,67	Faible	1	3	Faible
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	93,25	1	2	2	1,67	Faible	1	3	Faible
4	FC	Colluvions de fond de vallons/versants	297,96	2	2	3	2,33	Moyen	1	5	Faible
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	422,70	2	2	2	2,00	Faible	1	3	Faible
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex.	882,75	3	1	2	2,00	Faible	2	4	Faible
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	49,98	2	2	2	2,00	Faible	2	4	Faible
8	p	Sables et argiles bariolées	4,93	2	2	2	2,00	Faible	NS	NS	Faible
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	54,10	2	2	3	2,33	Moyen	3	7	Moyen
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	271,59	3	2	1	2,00	Faible	2	4	Faible
11	c1	Craie marneuse, craie à silex, spongolithes.	22,85	2	3	3	2,67	Moyen	2	6	Moyen
12	m5b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux.	20,76	2			2,00	Faible	1	3	Faible
13	m5M	Argiles de Myennes	27,85	4	2	2	2,67	Moyen	3	7	Moyen
14	m5S	Sables, argiles et grès ferrugineux	42,80	2		1	1,50	Faible	2	4	Faible
15	m4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	1,13	2	2	3	2,33	Moyen	NS	NS	Moyen
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	40,70	1		3	2,00	Faible	2	4	Faible
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	74,98	3	2	2	2,33	Moyen	1	5	Faible
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	79,78	1			1,00	Faible	1	3	Faible
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	40,57	2	2		2,00	Faible	1	3	Faible
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	1,26	3			3,00	Moyen	2	6	Moyen
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	314,93	2	2	2	2,00	Faible	1	3	Faible
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	189,13	3	1	3	2,33	Moyen	2	6	Moyen
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	148,33	2	3	3	2,67	Moyen	1	5	Faible
24	l4	Marnes, argiles et « schistes carton »	280,86	4	3	2	3,00	Moyen	3	7	Moyen
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	67,75	3		2	2,50	Moyen	3	7	Moyen
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	319,60	3	1	2	2,00	Faible	2	4	Faible
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	175,18	2	2	3	2,33	Moyen	1	5	Faible
28	l7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	118,30	2	2	2	2,00	Faible	2	4	Faible
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	159,73	3	1	1	1,67	Faible	1	3	Faible
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	32,85	2			2,00	Faible	1	3	Faible
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	15,46	1			1,00	Faible	2	4	Faible
		Total formations argileuses	5 073,37								
		Formations a priori non argileuses et réseau hydrographique	1 783,17								
		Total département	6 856,54								

Illustration 37 - Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses

Le classement ainsi obtenu est présenté sur l'illustration 38. Ainsi, il apparaît qu'**aucune formation n'a été classée en aléa fort** vis à vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles.

Huit formations sont classées en aléa moyen, qui résulte d'une susceptibilité moyenne associée à une densité de sinistres forte ou moyenne (voire à une absence de densité de sinistres significative, compte tenu de la surface trop restreinte de l'affleurement). Ces 8 formations peuvent former trois groupes :

- quatre formations avec un indice d'aléa de 7 résultant d'une note de susceptibilité moyenne et d'une densité de sinistres forte. Ce sont les *Calcaires lacustres et marnes* (e5-m1C), les *Argiles de Myennes* (n6M), les *Marnes, argiles et « schistes carton »* (l4) et les *Marnes micacées et calcaires à Gryphées Géantes* (l3b-c) ;
- trois formations avec un indice d'aléa de 6 calculé à partir de valeurs moyennes pour la note de susceptibilité et la densité de sinistres. Ce sont les *Craie marneuse, craie à silex, spongolites* (c1), les *Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses* (j4c-5) et les *Marnes et calcaires argileux* (j3a-4a) ;
- une formation, celle des *Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes* (n4a-b), dont la note d'aléa a été conservée identique à celle de susceptibilité du fait de l'absence de note de sinistralité significative, la surface d'affleurement étant trop faible.

Vingt-trois formations sont considérées comme présentant un aléa faible vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Quatre groupes peuvent être distingués :

- quatre formations ont une note de susceptibilité moyenne et une densité de sinistres faible : les *Colluvions de fond de vallons/versants* (FC), les *Marnes et calcaires à Exogyra virgula* (j6c), les *Marnes et calcaires à entroques* (j2a-3a) et enfin les *Marnes gris-bleu à Gryphées* (l2) ;
- huit formations sont caractérisées par une note de susceptibilité faible et une densité moyenne de sinistres. Ce sont les *Formations résiduelles argilo-sableuses à silex* (Rs), les *Limons des plateaux argilo-sableux* (LP), les *Argiles sableuses silicifiées ou rubanées* (e5-m1MS), les *Sables, argiles et grès ferrugineux* (n6S), les *Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires* (j7), les *Marnes grises à rares intercalations calcaires* (l3a), les *Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires* (t7-l1) et les *Schistes à couches d'anthracite* (h5) ;
- dix formations présentent une note de susceptibilité et une densité de sinistres faibles : les trois formations alluvionnaires (Fy-z), (Fx) et (Fu-v-w), les *Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux* (n6b), les *Sables et argiles du Bourbonnais* (FL), les *Calcaires de Villiers* (j6a-b), les *Calcaires argileux et marnes* (j5c-d), les *Calcaires avec intercalations marneuses* (j3b-4b), les *Argiles bariolées, sables, grès* (t) et les *Sables et argiles rouges conglomératiques* (r2) ;
- une formation, celle des *Sables et argiles bariolées* (p), conserve un niveau d'aléa identique à celui de sa susceptibilité du fait de l'absence de note de sinistralité significative, la surface urbanisée étant nulle sur les zones d'affleurement.

7.2. CARTE D'ALEA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Le résultat de cette carte est présenté sur *l'illustration 39.*

Cette même carte est présentée en hors-texte au format A0, à l'échelle 1/135 000, ce format permettant une meilleure lisibilité. La localisation des sinistres connus et des zones urbanisées ainsi que les contours des communes ont pu y être ajoutés.

Il est utile de préciser que l'échelle de validité de cette carte est le 1/50 000 qui correspond à l'échelle de la donnée de base, à savoir la carte géologique.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 26,8 % de la superficie départementale en y intégrant aussi le réseau hydrographique. Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés *a priori* d'aléa nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses ou à l'altération de surface, plus ou moins remaniée, de formations carbonatées. Ces lentilles ou placages d'argile, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Les formations argileuses et marneuses sont représentées par deux couleurs (jaune et orange) selon leur niveau croissant d'aléa retrait-gonflement (qualifié respectivement de faible et de moyen).

L'Illustration 39 présente le classement des formations par niveau d'aléa décroissant ainsi que les surfaces d'affleurement concernées, les différents ensembles étant schématisés sur l'Illustration 40.

Il n'y a **pas de formation caractérisée par un aléa fort** dans le département.

Les **huit formations classées en aléa moyen** couvrent 644,9 km^2 (soit 9,4 % de la Nièvre). Elles affleurent notamment au centre-nord du département ainsi que dans la partie occidentale du département (voir la carte de l'Illustration 38).

La surface urbanisée correspondant à ces huit formations représente 24,5 km^2, c'est-à-dire 11 % de la surface urbanisée du département.

Les **vingt-trois formations reconnues en aléa faible** occupent 4 373 km^2 (soit 63,8 % de la superficie départementale). Avec 160,7 km^2, elles représentent 70 % de la surface urbanisée du département.

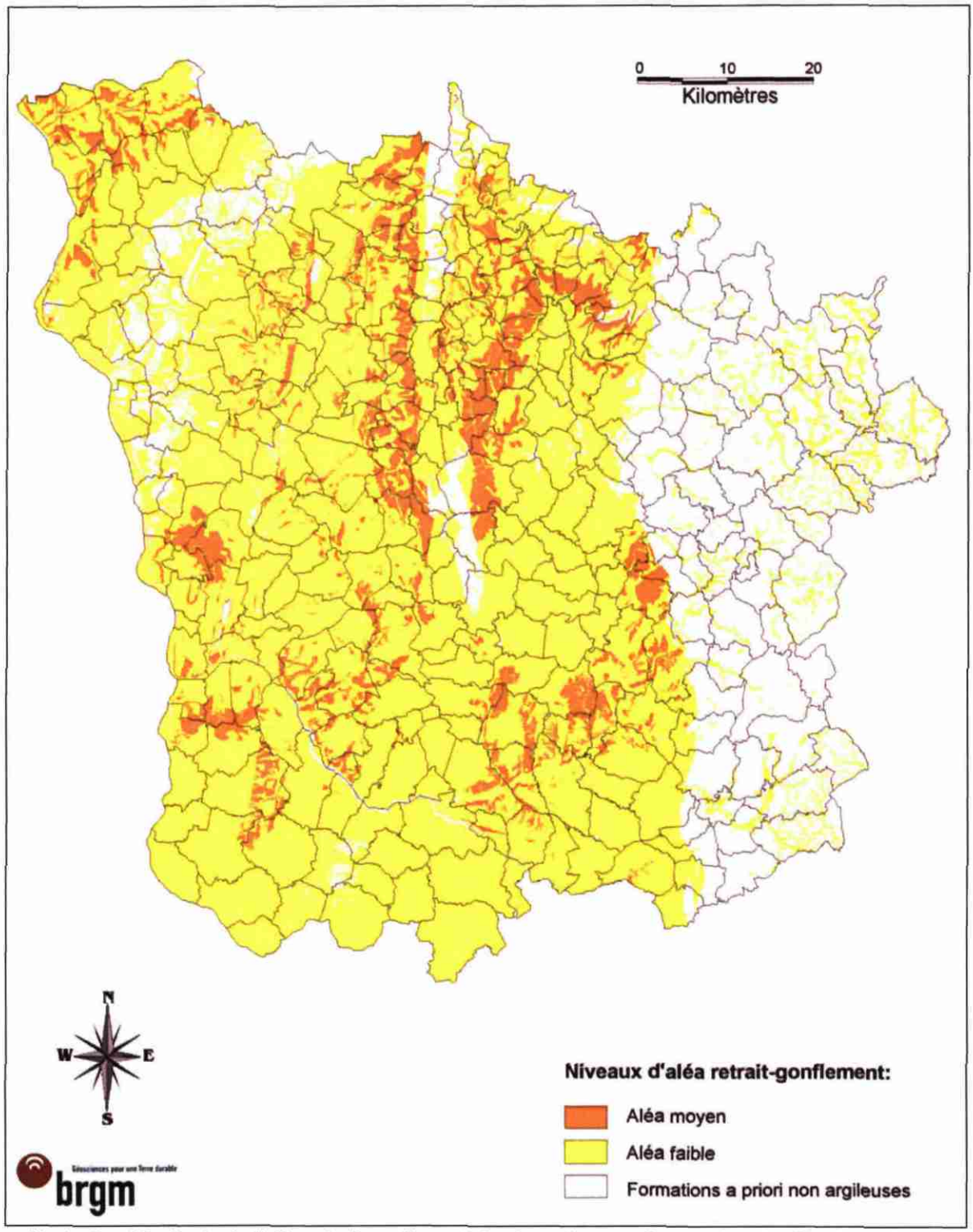


Illustration 38 - Carte de l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses dans le département de la Nièvre

N°	Notation	Formation	Superficie (km^2)	Superficie (% du département)	Aléa
9	e5-m1C	Calcaires lacustres et marnes	54,10	0,79	Moyen
11	C1	Craie marneuse, craie à silex, spongolites	22,85	0,33	Moyen
13	n6M	Argiles de Myennes	27,85	0,41	Moyen
15	n4a-b	Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes	1,13	0,02	Moyen
20	j4c-5	Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses	1,26	0,02	Moyen
22	j3a-4a	Marnes et calcaires argileux	189,12	2,76	Moyen
24	l4	Marnes, argiles et "schistes carton"	280,86	4,10	Moyen
25	l3b-c	Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes	67,75	0,99	Moyen
		Total formations en aléa moyen:	644,93	9,41	
1	Fy-z	Alluvions actuelles et subactuelles	646,59	9,43	Faible
2	Fx	Alluvions de moyennes terrasses	74,61	1,09	Faible
3	Fu-v-w	Alluvions anciennes de hautes terrasses	93,25	1,36	Faible
4	FC	Colluvions des fonds de vallons/versants	297,96	4,35	Faible
5	FL	Sables et argiles du Bourbonnais	422,80	6,17	Faible
6	Rs	Formations résiduelles argilo-sableuses à silex	982,75	14,33	Faible
7	LP	Limons des plateaux argilo-sableux	49,98	0,73	Faible
8	p	Sables et argiles bariolées	4,93	0,07	Faible
10	e5-m1MS	Argiles sableuses silicifiées ou rubanées	271,59	3,96	Faible
12	n6b	Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux	20,76	0,30	Faible
14	n6S	Sables, argiles et grès ferrugineux	42,90	0,63	Faible
16	j7	Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires	40,70	0,59	Faible
17	j6c	Marnes et calcaires à Exogyra virgula	74,98	1,09	Faible
18	j6a-b	Calcaires de Villiers	24,30	0,35	Faible
19	j5c-d	Calcaires argileux et marnes	40,57	0,59	Faible
21	j3b-4b	Calcaires avec intercalations marneuses	314,94	4,59	Faible
23	j2a-3a	Marnes et calcaires à entroques	148,33	2,16	Faible
26	l3a	Marnes grises à rares intercalations calcaires	319,60	4,66	Faible
27	l2	Marnes gris-bleu à Gryphées	175,18	2,55	Faible
28	t7-l1	Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires	118,30	1,73	Faible
29	t	Argiles bariolées, sables, grès	159,73	2,33	Faible
30	r2	Sables et argiles rouges conglomératiques	32,85	0,48	Faible
31	h5	Schistes à couches d'anthracite	15,46	0,23	Faible
		Total formations en aléa faible:	4 373,06	63,78	
		Total formations argileuses	5017,98	73,19	
		Formations a priori non argileuses et réseau hydrographique	1838,56	26,81	
		Total département	6856,54	100,00	

Illustration 39 - Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa

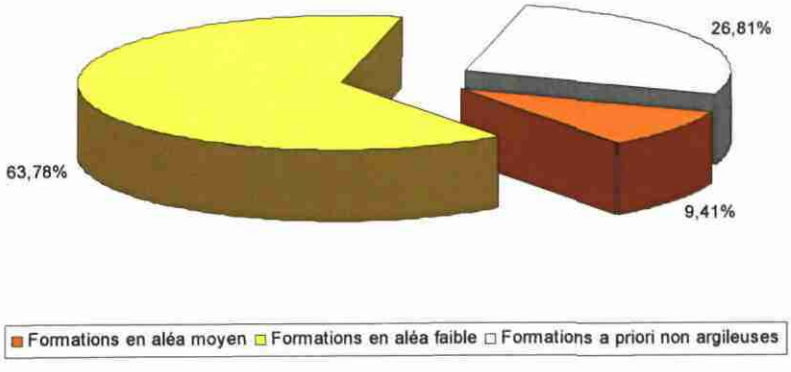


Illustration 40 - Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur niveau d'aléa

7.3. COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES DEPARTEMENTS VOISINS DEJA CARTOGRAPHIES

A titre indicatif, il apparaît intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus par une étude similaire dans les départements voisins. Parmi les départements limitrophes, le Loiret, le Cher, l'Allier et l'Yonne ont déjà fait l'objet d'une étude complète sur le retrait-gonflement des formations argileuses.

Il ne faut pas s'attendre à une stricte correspondance des résultats d'un département à l'autre étant donné les importantes variations latérales de faciès, les regroupements stratigraphiques justifiés par l'état des connaissances à un moment donné, auxquels viennent s'ajouter des différences de densités de sinistres, liées en particulier à l'urbanisation du département. Néanmoins, la confrontation des résultats obtenus dans les différents départements montre qu'ils sont souvent très proches et que les différences éventuelles sont justifiées.

Certaines formations présentent un équivalent dans les départements voisins, avec des résultats en général cohérents. Des disparités peuvent cependant apparaître en raison non seulement des variations latérales de faciès, mais aussi des différences d'urbanisation et de sinistralité d'un département à l'autre, qui peuvent générer des notes différentes pour des formations sensiblement aussi sinistrées. Par exemple, les *Marnes, argiles et « schistes carton »* (l4) présentent une susceptibilité moyenne comme dans le Cher (l4) et l'Yonne (l5-6), mais elles apparaissent finalement en aléa moyen dans le Cher et dans la Nièvre et en aléa faible dans l'Yonne (avant actualisation), la sinistralité y étant plus faible (les seuils retenus pour le critère de sinistralité étaient de 1 000 sinistres pour 100 km^2 urbanisés dans le Cher, et de 600 sinistres pour 100 km^2 urbanisés dans l'Yonne, contre seulement 400 sinistres pour 100 km^2 urbanisés dans la Nièvre). L'actualisation de la carte d'aléa de l'Yonne a cependant permis de prendre en compte ces observations pour aboutir à un aléa moyen dans l'Yonne (BRGM/RP-55546-FR).

Pour les formations classées en aléa moyen, par exemple, les *Calcaires lacustres et Marnes* (e5-m1C) se retrouvent sous la forme de *Calcaires et Argiles lacustres du Berry et du Nivernais* (e7-g1) dans le département du Cher, également classés en aléa moyen. Un équivalent (cependant géographiquement plus éloigné) apparaît également dans l'Yonne sous la forme du *Calcaire lacustre, Argiles et sables* (e-g), qui sont classés cette fois en aléa faible. Les craies marneuses, par contre, correspondaient à un aléa fort dans le département du Cher (*Marnes à Ostracées et craie marneuse* – c1c) et à un aléa faible dans le Loiret (*Craie marneuse* – c1) alors qu'elles apparaissent en aléa moyen dans la Nièvre. Ceci s'explique par les variations latérales de faciès et par les faibles surfaces d'affleurement urbanisées qui limitent le nombre de sinistres, et influent ainsi le niveau d'aléa. Les *Argiles de Myennes* (n6M) apparaissent en aléa moyen dans la Nièvre, tout comme dans l'Yonne, mais n'ont cependant été classées qu'en aléa faible dans le Cher, en raison d'une faible sinistralité, là encore liée à la très faible urbanisation sur la formation. Les *Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes* (n4a-b), qui n'affleurent qu'aux limites avec l'Yonne, semblaient plus hétérogène dans ce dernier département puisqu'ils correspondent à 2

formations argileuses retenues dans l'Yonne (les *Argiles panachées et sables* – n4b et les *Marnes ostréennes et lumachelles* – n4a), respectivement classées en aléa moyen et faible.

Il faut également noter le cas des Sables de la Puisaye, qui avaient été considérés comme argileux dans le Sud du Cher, mais non retenus comme tels au Nord du département, et qui redeviennent argileux au-delà de la Loire, dans le département de la Nièvre. Ils n'ont cependant pas été retenus comme argileux plus au Nord, dans l'Yonne, en raison de variations latérales de faciès.

7.4. SYNTHESE DE L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE DEPARTEMENT DE LA NIÈVRE

Ainsi, près des trois-quarts (73,2 %) de la superficie du département de la Nièvre est reconnue sujette à l'aléa retrait-gonflement, du fait de la présence d'une composante argileuse notable. Néanmoins, aucun aléa fort n'a été identifié dans le département, et la superficie en aléa moyen reste relativement limitée (9,4 % de la surface du département). Enfin, une grande partie du territoire départemental est caractérisée par un aléa faible (63,8 %).

Ces différents chiffres qui caractérisent le département de la Nièvre, traduisent les observations suivantes :

- un département où l'hétérogénéité de la plupart des cartes conduit à inclure dans les zones d'aléa des secteurs en fait dépourvus d'argile, mais qu'il n'est pas possible de cartographier à cette échelle ;
- un département peu urbanisé où les sinistres sont logiquement répartis en majorité autour des principales agglomérations (Nevers et Cosne-Cours-sur-Loire).

La carte d'aléa est valide à l'échelle 1/50 000 et une de ses finalités est de servir de support à la prévention du risque à l'échelle départementale. Le niveau d'aléa correspond ainsi à la probabilité d'occurrence d'un sinistre, en un lieu donné, estimée de façon qualitative.

Si l'on souhaite raisonner à l'échelle d'un projet de construction, l'hétérogénéité des formations, telles qu'elle se manifeste à l'échelle départementale, amène à considérer le niveau d'aléa d'une formation comme une probabilité plus ou moins grande de rencontrer, au niveau de la parcelle considérée, des argiles sujettes au phénomène de retrait-gonflement. Cela souligne ainsi l'importance de réaliser une étude de sol avant tout projet de construction dans une zone soumise à un aléa. La description de la formation et son comportement vis à vis du phénomène de retrait-gonflement, tels qu'ils ont été conduits dans cette étude, peuvent alors servir de guide pour analyser les résultats obtenus sur la parcelle et les replacer dans le contexte plus général de la formation géologique identifiée.

8. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'établir une carte de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux dans le département de la Nièvre, essentiellement basée sur une interprétation de la carte géologique, sur une synthèse d'un grand nombre d'informations géotechniques permettant d'estimer la susceptibilité au phénomène des formations argileuses ou marneuses et sur la densité de sinistres liés aux mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, et survenus depuis 1989.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une méthodologie globale mise au point par le BRGM en collaboration avec le secteur des assurances et à la demande du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Cette démarche méthodologique a été élaborée lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, puis a été appliquée à plus de 30 autres départements. D'autres études départementales sont actuellement en cours de réalisation et, à terme, l'ensemble du territoire métropolitain devrait être couvert.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argileuses ou marneuses affleurantes à subaffleurantes, à partir de l'harmonisation des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. En définitive, c'est un ensemble de 31 formations argileuses ou marneuses qui a été retenu.

Ces formations argileuses et marneuses identifiées ont fait l'objet d'une hiérarchisation quant à leur susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois caractéristiques principales quantifiables : la nature lithologique dominante des formations, la composition minéralogique de leur phase argileuse (proportion de minéraux gonflants de type smectites et interstratifiés smectites/illite) et leur comportement géotechnique (évalué principalement à partir de la valeur de bleu et de l'indice de plasticité).

D'autres facteurs de prédisposition ou de déclenchement sont connus pour jouer un rôle dans la répartition de l'aléa. Mais la plupart, d'extension purement locale, tels que la végétation arborée, certaines actions anthropiques ou les défauts de construction, ne peuvent être pris en compte dans le cadre d'une étude réalisée à l'échelle départementale, malgré leur importance souvent déterminante. D'autres, tels que le contexte hydrogéologique, la répartition géographique des déficits hydriques et la configuration topographique n'ont pas été jugés suffisamment discriminants pour être pris en considération dans l'élaboration de la carte d'aléa.

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, après une seconde hiérarchisation des formations prenant en compte non seulement la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette

dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque formation sélectionnée une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée dans cette formation, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre formations. Au total, nous avons recensé 798 sinistres répartis dans 118 communes du département mais seuls 773 sinistres ont pu être précisément localisés. Au 1er octobre 2006, 84 communes avaient été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse, couvrant 2 097 km², soit 32,5 % du département. Ce recensement de sinistres, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

Trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) sont distingués afin de hiérarchiser les formations argileuses et marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur les 6 857 km² de superficie du département :

- aucune zone n'est classée en aléa fort ;
- 9,4 % sont classés en aléa moyen ;
- 63,8 % sont classés en aléa faible ;
- 26,8 % sont considérés comme présentant un aléa *a priori* nul (incluant le réseau hydrographique).

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés d'aléa *a priori* nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée. Celles-ci peuvent être soit dues à l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses, mais présentant des lentilles argileuses, soit à l'altération localisée de formations carbonatées. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques, sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département de la Nièvre, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l'échelle 1/135 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène.

Elle constitue également le point de départ pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa fort, moyen ou faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives par zones d'aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistres.

9. Bibliographie

AFNOR (1993) – Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse : détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache. Norme française NF P94-068.

AFNOR (1995a) – Géotechnique. Essais de reconnaissance des sols. AFNOR, tome 1.

AFNOR (1995b) – Essai de gonflement à l'œdomètre. Norme française XP P94-091.

AFNOR (1997) – Essai de dessiccation : détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 µm d'un matériau. Norme française XP P94-060-1.

Alba J.-M., Dufor M. (1993) – Phénomènes de gonflement-retrait dans les sols marno-argileux. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Sols et Fondations, 514.

Amars S., Baguelin F., Canepa Y. (1987) – Influence de la nappe sur les paramètres mesurés des sols. 9^{e} ECSMFE, 1, 3-5.

Angulo R., Gaudet J.-P., Thony J.-L., Vauclin M. (1993) – Détermination expérimentale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol gonflant non saturé pour la modélisation des écoulements. *Rev. Fr. Géotech.*, 62, 49-57.

Baize D. (1989) – Les formations résiduelles sur calcaires jurassiques du sud-est du Bassin parisien. 114^{e} Congr. Nat. Soc. Sav., "Géologie du Bassin parisien", Paris.

Barthélémy F. (2000) – Les argiles pour tuiles et briques en régions Ile de France et Centre. *Rapport BRGM R 40889*.

Belantour N., Tacherifet S., Pakzad M. (1997) – Étude des comportements mécanique, thermomécanique et hydromécanique des argiles gonflantes et non gonflantes fortement compactées. *Revue Française de Géotechnique*, 78, 31-50.

Bernard P. (1987) – La plate-forme carbonatée niverno-icaunaise à l'Oxfordien supérieur et au Kimméridgien inférieur. Thèse de 3ème cycle, Dijon, 293 p., 77 fig., 4 pl. photographiques.

Biddle P.G. (1983) – Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils. *Geotechnique*. Vol. XXXIII, pp. 107-126.

Blondeau (1993) – Gonflements de remblais. Utilisation de matériaux de démolition. *Sycodés Informations*, 21, 39-41.

Bordes F. (1953) – Recherche sur les limons quaternaires du bassin de la Seine. Thèse Sciences, Paris, 356-383.

BRGM (1980) – Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mém. BRGM n° 101, 102, 103, publiés sous la direction de C. Mégnien.

Bouchut J., Giot D., avec la collaboration de Halbwachs C. (2004) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Loiret. BRGM/RP-53316-FR. 173 p., 28 ill., 5 ann., 3 cartes h.-t.

Bouchut J., Giot D., Cruz Mermy D., avec la collaboration de **Demelemestre F., Halbwachs C.** (2004) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Loir-et-Cher. *Rapport BRGM/RP-52950-FR.* 192 p., 28 ill., 6 ann., 3 cartes h.-t..

Bouchut J., Giot D., Vincent M., avec la collaboration de **Leprêtre J.P., Demelemestre F.** (2003) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département d'Eure-et-Loir. *Rapport BRGM/RP-52519-FR*, 129 p., 16 fig., 13 tabl., 3 cartes h.-t., 5 ann..

Bouchut J., avec la collaboration de **Imbault M.** (2004) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département d'Eure-et-Loir. Rapport *BRGM/RP-52998-FR*, 19 p., 2 ill., 1 carte hors-texte, 2 ann., 1 CD-Rom.

Bouchut J., avec la collaboration de **Imbault M.** (2004) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département du Loir-et-Cher. Rapport *BRGM/RP-53208-FR*, 19 p., 2 ill., 1 carte hors texte, 2 ann., 1 CD-Rom.

Broquet J.-F. (1976) – Contribution à la cartographie géotechnique de la ville de Paris. Le XIII e arrondissement. Thèse Doct. Ing. Univ. Paris VI, 197 p.

Caillère S., Hénin S. (1963) – Minéralogie des argiles. Masson, Paris, 343 p.

Caillère S., Hénin, S., Rautureau M. (1989) – Les argiles. Éditions Septima, Paris.

Carrière M., Chevalier M., Toulemont M. et Verdier M. (1996) – Sécheresse et catastrophe naturelle. Aspects techniques, juridiques et administratifs. "Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse". *Journées d'étude de l'École des Ponts*, Paris, 11-12/12/1996.

Cavelier C., Châteauneuf J.J., Scolari G. (1971) – Mise en évidence par la palynologie, dans le sud du Bassin de Paris, d'argiles et de lignites lacustres, d'âge néogène et quaternaire ancien. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 273, p. 2445-2448.

Cavelier C., Damiani L. (1966) – Étude générale des gisements d'argile pour tuiles et briques du bassin de Paris, en vue de leur prospection. Rapport BRGM n° DS66.A20, février 1966.

CEBTP sous l'égide de l'AQC, l'APSAD, l'AFAC, la CCR et la FNB (1991) – Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. *Guide pratique CEBTP*, 3 fascicules.

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., avec la coll. de **Ducreux G.H.** (1995) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes de Haute-Provence). Échelle communale et départementale. Approche méthodologique. *Rapport BRGM* R 38695

Chassagneux D., Stieltjes L., Mouroux P., Ménillet F., Ducreux G.H. (1996) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse-pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute Provence. *Rapport BRGM R39218*, 33 p., 6 fig., 1 tab., 4 ann., 1 pl. hors-texte.

Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F., Baudu R. (1998) – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. hors-texte.

Choisnel E., Noilhan J. (1995) – La prévention des sécheresses. *La Recherche*, 272, vol. 26, 34-40.

Coquet Y. (1995) – Étude *in situ* des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Application à deux sols tropicaux peu gonflants. Thèse Université d'Orléans.

Cui M. (1996) – Les apports de la mécanique des sols non saturés. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Denizot G. (1927). Les formations continentales de la région orléanaise – Thèse, Paris, 592 p., 12 pl..

Dewolf Y., Mathieu C., Callot G. (1983) – Les argiles à silex du bassin de Paris. Nouvelle mise au point. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7), t. XXV, n° 1, 25-29.

Donsimoni M., Clozier L., Vincent M., avec la collaboration de **Motteau M., Gallas J.-C.** (2001) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Seine-Saint-Denis. *BRGM/RP-51198-FR*, 125 p., 7 fig., 13 tabl., 2 ann., 5 planches h.-t.

Donsimoni M. avec la collaboration de **Clozier L., Motteau M., Vincent M.** (2003) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Val-de-Marne. *BRGM/RP-52224-FR*, 133 p., 5 fig., 16 tabl., 2 ann., 4 pl. h.-t.

Donsimoni M., Hatton C., Giraud F., avec la collab. de **Vincent M.** (2004) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Val-d'Oise. BRGM/RP-52598-FR, 163 p., 8 fig., 22 tabl., 4 ann., 4 pl. h.-t.

Douillet P., Nicolas J., Pomerol C. (1967) – Étude minéralogique d'argiles d'altération du bassin de Paris. Problèmes de détermination. *In* : Colloque sur les argiles à silex du bassin de Paris, 1966, *Soc. Géol. Fr.*, mém. H. s. n° 4, 15-19.

Driscoll R. (1983) – The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain. *Geotechnique*. Vol. XXXIII, pp. 93-105.

Exbrayat L. (2001) – Dispositions constructives de nature à prévenir et/ou supprimer les effets de la dessication/réhydratation des sols - évaluation des coûts - SOLEN GEOTECHNIQUE n°G01339GT.

Fayolle M. (1979) – Caractérisation analytique d'un profil d'argile à silex de l'ouest du bassin de Paris. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VII, pédologie, 153 p.

Filliat G. (1981) – La pratique des sols et fondations – Editions du Moniteur. N°*ISBN* : 2-86282-162-4.

Flavigny E. (1992) – Discussion de l'article « Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Revue française de Géotechnique*, n° 57, 59, 75-78.

Gigout M. (1976) – A propos des "argiles à silex" : les faciès silico-alumineux du Crétacé supérieur des environs de Gien (Loiret). *C.R. Acad. Sci.* Paris, t. 282, p. 1773-1776.

Gigout M. (1977) – Sur le Paléogène continental du Gâtinais. *Bull. BRGM* (2ème sér.), sect. 1, n° 4, p. 285-306, 4 fig.

Gigout M., Desprez N. (1977) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Gien (432). Orléans : BRGM, 25 p. Carte géologique par Gigout M. (1977).

Gigout M., avec la collaboration de **Desprez N., Monciardini C.** (1982) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint-Fargeau (433). Orléans : BRGM, 24 p. Carte géologique par Gigout M., Cadet J. P., Michaud J.P., Monciardini C. (1981).

Giot D. (2002) – Notice explicative de la carte géologique du Loiret. Orléans : BRGM, 28 p. Carte géologique synthétique par Giot D. (2002)

Gillot J.-S. (1987) - Clay in engineering geology. *Elsevier, Developments in Geological Engineering*, 41, Elsevier Publishing Company, p. 469.

Goujon G. (1911) – La Puisaye. Rev. Géogr., t. V, fasc. 1.

Gras J. (1963) – Le Bassin de Paris méridional. Etude morphologique. Thèse fac. Lettres, Paris, 494 p. 118 fig.

Grisoni J.-C. (1979) – Argiles à meulières et Calcaire de Beauce en Hurepoix. Rapport de recherche LPC n° 87, juillet 1979.

Habib P. (1992) – Les sécheresses de 1989 et 1990. *Revue Française de Géotechnique*, n° 58, p. 7-30.

Havard M. (1996) – Travaux de terrassements et ouvrages en terre. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'Étude de l'École des Ponts, Paris, 11/12/1996.

Holtz W.G. (1983) – The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clays in the United States of América. *Geotechnique. Vol. XXXIII, pp.* 159-163.

Hure A. (1924) – Origine et formation du limon des plateaux du nord de l'Yonne. *Bull. Soc. Sci. hist. nat. Yonne*, t. 78.

Hure A. (1931) – Monographie des craies turoniennes et sénoniennes de l'Yonne et tectoniques du Sénonais. *Bull. Soc. Sci. hist. nat. Yonne*, t. 85.

IAURIF (1990) – Les matériaux de carrières de l'Île-de-France. Éléments pour un schéma régional d'exploitation. Rapport D8-293, novembre 1990.

Kert C. (1999) – Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France. Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 1540 *Assemblée Nationale*, n° 312 Sénat, avril 1999.

Krieg N. (2000) – Sols argileux "sensibles" - Conséquences sur la construction en région Centre. Mémoire de maîtrise de géographie physique. Université Louis Pasteur.

Lacot R. (1967) – Carte géologique Provins à 1/50 000 (260) et notice explicative. Édition BRGM, Orléans, 1ère édit.

Lautrin D. (1989) – Utilisation pratique des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 160, 29-41.

Lauverjat J. (1943) – L'Albien de l'Aube et de l'Yonne : corrélations stratigraphiques, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 269, p. 1942-1945.

LCPC (1979) – L'essai au bleu de méthylène. Avant-projet de mode opératoire. Doc. Dép. de Géotechnique du LCPC, 16 p.

Le Berre P., Delfau M., Grés M., Goustard R. (1982) – Recherche de gisements de bentonite dans le sud et le nord-est du bassin de Paris. *Rapport BRGM/RR-03279-FR* - 82, SGN, 418, GMX.

Leduc A., Fauchas A., Bouquin P. (2003) – Département du Loiret (45) – Risque retrait-gonflement des argiles – Travail documentaire. CETE Normandie Centre.

Le Roy S., avec la collaboration de **Imbault M.** (2006) – Etablissement de Plans de prévention des Risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Yonne. Rapport BRGM/RP-54452-FR, 28 p., 3 ill., 1 carte hors texte, 2 ann., 1 CD-Rom.

Le Roy S., Odent B.E. et **Vincent M.** (2007) – Actualisation de la carte de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Yonne. Rapport BRGM/RP-55546-FR, 45 p., 17 ill., 2 ann., 3 cartes h.-t., 1 CD-Rom.

Lucas J., Trauth N., Thiry M. (1974) – Les minéraux argileux des sédiments paléogènes du bassin de Paris. Evolution des smectites et des interstratifiés. *Bull. Gr. Fr. argiles*, 26, 245-262.

Lucotte G. (1978) – Les "Argiles à chailles" de la région de Nevers et de la Charité-sur-Loire. DEA, Dijon, 74 p. 1 pl.

Magnan D. (1993) – Caractérisation *in situ* des sols gonflants : l'essai expansol. *Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier*, Grenoble 1.

Magnan J.P. et Youssefian G. (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 159, 93-104.

Manivit J. avec la collaboration de **Desprez N., Barratin J. F.** (1978) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Pithiviers (328). Orléans : BRGM, 32 p. Carte géologique par Manivit J., Desprez N. (1978).

Mariotti M. (1976) – Le gonflement des sols argileux surconsolidés (aspects du phénomène, influence sur les structures, précautions à envisager). *Mines et Géologie*, 39, 13-28.

Martin P. (1998) – Ces risques que l'on dit naturels. Éditions EDISUD, 256 p.

Mastchenko A. (2001) – Sécheresse et sols argileux. Projet industriel Alpha Sol. *Ecole des Mines d'Alès*, 74 p., 9 ann..

Meisina C. (1998) – Cartographie d'aléa retrait/gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Rapport post-doctorat, BRGM Risques Naturels, Marseille.

Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au *8e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.*

Ménillet F. (1993) – Les meulières du Bassin de Paris (France) et les faciès associés. Rôle des altérations supergènes néogènes à quaternaire ancien dans leur genèse. *Document BRGM* n° 22, 425 p.

Millot G. (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p..

Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégation aux Risques majeurs (1993) – Sécheresse et Construction. *Guide de Prévention.* Edit. La Documentation Française, Paris.

Motti E., Vincent P.L., Clozier L., Neau G., Bouiller R. (1973) – Carte géologique Sergines à 1/50 000 (296) et notice explicative. Édition BRGM, Orléans, 1ère édit.

Mouroux P., Margron P., Pinte J.C. (1988) - La construction économique sur sols gonflants. *Manuel et méthodes* n°14, 125 p., BRGM Editeur.

Mouterde R. (1953) – Etudes sur le Lias et le Bajocien des bordures nord et nord-est du Massif central français. Thèse (1951) et *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 236, 460 p., 14 pl., 7 tabl.

Noel C. (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie « catastrophes naturelles ». SNEIC-INFO, 4.

Neau G., Turland M., Vincent P.L., Clozier L., Villalard P., Diffre Ph., Bouiller R., Fleury R., Terrien J. (1973) – Carte géologique Montereau-Faut-Yonne à 1/50 000 (295) et notice explicative. Édition BRGM, Orléans, 1ère édit.

Norie A., Vincent M. (2000) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles : « mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux » - Approche méthodologique dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM/RP-50591-FR*, 14 p., 4 fig., 4 ann..

Odent B.E., avec la collaboration de **Baillet L.** (avril 2006) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Yonne. Rapport final – Rapport BRGM/RP-54100-FR, 173 p., 41 ill., 5 ann., 3 planches A0 hors texte.

Parcevaux P. (1980) – Étude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. Thèse de doctorat Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 266 p.

Pejon O.-J., Le Roux A. et Guignard D. (1997) – Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. *Bull. Int. Eng. Géol.*, 55, 105-119.

Perraudin J.C. (1971) – Etudes géologiques sur le Nivernais, les formations bajociennes, les limites du Bathonien. Thèse 3ème cycle, Dijon. 82 p., 4 pl.

Philiponnat G. (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, p. 5-22.

Philiponnat G. (1978) – Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne. *Annales de l' ITBT*, n° 364, série sols et fondations.

Philiponnat G. (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6e Int. Conf. Exp. Soils, 7-10, New Delhi.

Piantone P. (1986) – Minéralogie et cristallochimie des phyllosilicates : application à l'étude des altérations hydrothermales. Rap. BRGM 86 DAM 019 GMX, 61 p.

Platel J.-P., Lescure F., Vincent M., Norie A. (2001) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Dordogne. BRGM/RP-51266-FR.

Pomerol C. (1967) – Les minéraux argileux dans le Tertiaire du Bassin de Paris. Problème d'origine et de genèse. *Bull. du Groupe Français des Argiles*, 19, 1, 115-123.

Pomerol C., Rivelines-Baver J. (1967) – Mode de gisement, nature et origine d'argiles à silex, et d'argiles d'altération, du bassin de Paris. *In* : Colloque sur les argiles à silex du bassin de Paris, Paris, 1966. Soc. Géol. Fr., Mém. H.s., n° 4, pp. 65-72.

Pomerol B. (1988) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Courtenay (366). Orléans : BRGM, 47 p. Carte géologique par Pomerol B. (1988).

Prévôt J. (1975) – Les meulières du sud de la région parisienne. Thèse 3^{e} cycle, Paris VI, et rapport de recherche LPC, n° 51.

Prian J.P., Vincent M., Donsimoni M., avec la collaboration de **Denis L., Gallas J.C., Marty F., Motteau M.** (2000) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. *Rapport BRGM/RP-50376-FR.*

Prian J.P., Journeau B., Podevin G., Colleau A. (2002) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Indre. *BRGM/RP-51879-FR*, 175 p., 27 fig., 15 tabl., 9 ann., 1 pl. photo, 3 cartes hors-texte.

Prost A. (1962) – Étude sédimentologique du Sannoisien continental de l'Île-de-France. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris, 65 p.

Purser H.B. (1967) – Le Comblanchien. Interprétation de son milieu de sédimentation. *Revue I.F.P.*, vol. XXII, n°4, p. 591-604.

Ravina I. (1983) – The influence of vegetation on moisture and volume changes. *Geotechnique. Vol. XXXIII, pp.* 151-157.

Rebourg C. (1982) – Etudes stratigraphique et sédimentologique des formations Bathonien supérieur et Callovien de la région de Clamecy (Nièvre). DEA, Dijon, 36 p., 36 fig.

Renault O., Norie A., Karnay G., Vincent M. (2002) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Vienne. Rapport - *BRGM/RP-51264-FR*, 93 p., 18 fig., 8 tabl., 3 cartes h.-t., 4 ann..

Richards B.G., Peter P., Emerson W.W. (1983) – The effects of vegetation on the swelling and shrinking of soils in Australia. *Geotechnique. Vol. XXXIII, pp.* 127-139.

Robinet J.-C., Pakzad M., Plas F. (1994) – Un modèle rhéologique pour les argiles gonflantes. *Rev. Fr. Géotech.*, 67, 57-67.

Roy B. (1983) – Géologie, géophysique, hydrogéologie des formations d'âge jurassique moyen dans le nord-ouest de la Nièvre. Thèse 3e cycle, Dijon, 174 p.

Schaeffner M. (1989) – Introduction de la valeur de bleu de méthylène d'un sol dans la classification des sols. Recommandation pour les terrassements routiers. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 163, 9-16.

Scherer M. (1996) – Bilan des périodes récentes de sécheresse en France. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Serratrice J.F., Soyez B. (1996) – Les essais de gonflement. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 204, p. 65-85.

Soyer R. – Carte géologique Brie-Comte-Robert à 1/50 000 (220) et notice explicative. Édition BRGM, Orléans, 1ère édit.

Spencer C., Le Berre P., Lebert F. (1999) – Recherche de gisements de granulats de substitution dans la formation des argiles à silex. Synthèse des travaux réalisés en 1998. Rapport BRGM/RR-40444-FR.

Synthèse géologique du Bassin de Paris (1980) – Coordinateur C. Mégnien, *Mém. du BRGM*, n° 101, 102, 103.

Taibi S. (1994) – Comportement mécanique et hydraulique des sols partiellement saturés. Thèse de doctorat, École Centrale, Paris.

Taylor R.K. and Smith T. J. (1986) – The engineering geology of clay minerals : swelling, shrinking and mud rock breakdown. *Clays Minerals*, n° 21, p.235-260.

Tessier D. (1990) – Organisation des matériaux argileux en relation avec leur comportement hydrique. *In* « Matériaux argileux : structure, propriétés et applications », Édit. A. Decarreau.

Thierry J. (1965) – Etudes stratigraphiques sur le Jurassique du Châtillonnais. D.E.S. Dijon.

Thierry J. (1966) – Analyse stratigraphique de la série Bathonien-Callovien-Oxfordien du Châtillonnais (Côte d'Or). Bull. Soc. Géol. Fr., 7e série, t. X, p. 642-651.

Toulemont M. (1996) – Bilan des dommages dus à la sécheresse comme catastrophe naturelle. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Toulemont M., Cojean R., Faccendini J.P. (1994) – Cartographie prévisionnelle des sols sensibles à la sécheresse : un outil d'information préventive. *Mappemonde*, 4, 2-4.

Tricard J. (1952) – La partie orientale du Bassin de Paris. Etude morphologique. SEDES. Edit. Paris. Etudes

Triki R., Thiry M., Trauth N., Eberhart J.P. (1973) - Mis en évidence d'interstratifiés du type kaolinite-montmorillonite dans les argiles du Bassin parisien. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 276, série D, 881-884.

Tran Ngoc Lan (1978) – Un nouvel essai d'identification des sols : l'essai au bleu de méthylène. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 88, pp. 136-137.

Vandageon P. (1992) – Exemples de sinistres en région parisienne. *Revue Française de Géotech.*, 58, 7-14.

Vincent M. (2002) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Géologues (Revue officielle de l'Union Française des Géologues), n° 132, mars 2002, pp. 90-92.

Vincent M. (2003) – Retrait-gonflement des sols argileux : méthode cartographique d'évaluation de l'aléa en vue de l'établissement de PPR. 3e Conférence SIRNAT, Forum des Journées pour la Prévention des Risques Naturels, Orléans, janv. 2003. Actes du Colloque, 7 p., 5 fig.

Vincent M. (2003) – Le risque de retrait-gonflement des argiles. Cahiers de l'IAURIF, n° 138, octobre 2003, p. 95-101.

Vincent M. (2003) – Retrait-gonflement des sols argileux : méthode cartographique d'évaluation de l'aléa en vue d'établissement de PPR. 3ème conférence SIRNAT. Forum des Journées pour le Prévention des Risques Naturels, Orléans, janv. 2003. Actes du colloque. 7 p., 5 fig..

Vincent M. (2005) – Cartographie sous SIG de l'aléa retrait-gonflement des argiles à des fins préventives. France, Systèmes d'information géographique et gestion des risques, publication ISTED, janv. 2005, p. 12-15.

Vincent M., Le Nindre Y. M., Meisina C., Chassignol A.L. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM R 39967*, 89 p., 14 fig., 13 tabl., 6 ann., 2 cartes hors-texte.

Vincent M., Bouchut J. (2002) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques Naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de la Seine-Saint-Denis. *Rapport BRGM/RP-51500-FR*, 15 p., 2 fig., 3 ann., 1 CD-Rom.

Vincent M., avec la collaboration de **Imbault M.** (2003) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Indre. *Rapport BRGM/RP-52351-FR*, 14 p., 2 fig., 1 carte hors texte, 1 ann., 1 CD-Rom.

Vincent M. avec la collaboration de **Imbault M. et Asfirane F.** (2003) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques naturels concernant les mouvements de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. *Rapport BRGM/RP-52199-FR*, 15 p., 2 fig., 3 ann., 1 CD-Rom.

Vincent M., Prian JP., avec la collaboration de **Giot D., Halbwachs C., Journeau B., Brière B.** (2004) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Cher. Rapport BRGM/RP-52682-FR. 159 p., 13 fig., 13 tabl. 4 ann. 3 cartes h.-t..

Vincent M., Bouchut J., Le Roy S., DubusS I., Surdyk N. (2006) – Suivi de l'évolution en profondeur de la dessiccation des sols argileux en période de déficit hydrique. Rapport final de phase 1. Rapport BRGM/RP-54567-FR, 189 p., 127 ill.

Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.-M. (LMSSMat), Masrouri F. (LAEGO), Oppenheim E. (CEBTP-Solen), Heck J.-V. (CSTB), Ruaux N. (CSTB), Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2006) - Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti – rapport final. BRGM/RP-54862-FR, 378 p., 308 ill.

Voltz M., Cabidoche Y.-M. (1987) – Sur le retrait macroscopique d'un sol argileux gonflant. Modèle de relation entre le retrait vertical et les variations de teneur en eau. Vérification expérimentale du modèle. *C.R. Acad. Fr.*, t. 305, série II, 511-516.

Waschkoski (1999) – Expertises géotechniques « sécheresse 1990 » en vue d'une reconnaissance de catastrophe naturelle. *Géo.*, pp. 38-39.

Wyles R. (1983) – The legal aspects of the influence of vegetation on the swelling and shrinking of clays. *Geotechnique. Vol. XXXIII, pp.* 87-91.

Sites Internet :

http://www.meteofrance.fr : site Internet de Météo France.

http://www.prim.net : site Internet sur les risques naturels majeurs du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable.

http://www.journal-officiel.gouv.fr : site des journaux officiels publiant les arrêtés ministériels de reconnaissance de l'état de Cat. Nat.

http://www.mappy.fr : site de localisation d'adresses

http://www.pagesjaunes.fr : site de recherche d'adresses

http://www.argiles.fr/ : site BRGM sur la prévention du risque lié au retrait-gonflement des sols argileux.

Cartes géologiques et notices consultées :

Nom feuille	N° feuille	Auteurs (année édition)
Avallon	466	O. Horon, Cl. Mégnien, et A. Lefavrais-Raymond (1966)
Autun	551	J. Delfour, J. Arène, L. Clozier, J.P. Carrouet et al. (1991)
Bourbon-Lancy	576	J. Delfour, L. Clozier, H.G. Carrat, J. Cornet et al. (1990)
Château-Chinon	523	H.G. Carrat et A. Lefavrais-Raymond (1986)
Clamecy	465	S. Debrand-Passard, A. Lefavrais-Raymond et J. Cornet (1990)
Corbigny	496	J. Delfour, B. Alabouvette et J. Cornet (1997)
Cosne-sur-Loire	464	J.C. Menot, L. Clozier, D. Bonijoly et J. Cornet (2001)
Courson-les-Carrières	434	C. et F. Mégnien, M. Turland et P. Villalard (1972)
Decize	549	En fin de levé (sortie 2007 ?)
Dornes	575	L. Clozier et M. Turland (1982)
Fours	550	J. Delfour, L. Clozier, B. Alabouvette et J. Cornet (1992)
Gien	432	M. Gigout, N. Desprez (1977)
La Charité	494	J.C. Menot, S. Debrand-Passard, L. Clozier et Y. Gros (1997)
Lucenay-Evêque	524	J. Delfour, L. Clozier, J. Cornet, G. Lablanche et R. Feys (1995)
Lurcy-Lévis	574	R. Fleury, G. Lablanche and al. (1989)
Nevers	521	J.H. Delance, G. Lablanche, L. Clozier and al. (1988)
Prémery	495	G. Lablanche, J. Delfour (1998)
Quarré-les-Tombes	467	O. Horon, A. Lefavrais-Raymond et J. Rouire (1968)
Saint-Fargeau	433	M. Gigout, J.P. Michaud et C. Monciardini (1982)
Saint-Saulge	522	J. Roger, J. Delfour, Fl. Quesnel et F. Gaudry (2006)
Sancoins	548	L. Clozier, S. Debrand-Passard and al. (1983)
Saulieu	497	S. Caillère et J. Lorenz (1973)
Toulon-sur-Arroux	404	Ph. Chévremont, P. Marteau et M. Donzeau (2006)

Annexe 1

Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

Le terme argile désigne à la fois une classe granulométrique (< 2 µm) et une nature minéralogique correspondant à la famille des phyllosilicates.

Dans le cadre de cette étude, on s'intéressera essentiellement à la composante argileuse qui constitue les formations géologiques argileuses et/ou marneuses, affleurantes à subaffleurantes. Dans cette approche géologique, on considère que celles-ci constituent les sols argileux. Cette approche est différente de celle consistant à prendre en compte les sols argileux *s.s.* dérivant de processus pédogénétiques superficiels complexes.

À l'échelle microscopique, les minéraux argileux se caractérisent par une structure minéralogique en feuillets. Ceux-ci sont constitués d'un assemblage de silicates (SiO_3) et d'aluminates (Al_2O_3) entre lesquels viennent s'interposer des molécules d'eau. La majorité des minéraux argileux appartient à la famille des phyllosilicates 2:1 (deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique). La structure des assemblages cristallins est variable selon le type d'argile. Certains d'entre eux, telle que la montmorillonite, présentent des liaisons faibles entre feuillets, ce qui permet l'acquisition ou le départ de molécules d'eau.

L'hydratation des cations situés à la surface des feuillets provoque leur élargissement, ce qui se traduit par une augmentation du volume du minéral. C'est le phénomène de gonflement intracristallin ou interfoliaire. Le gonflement est lié au phénomène d'adsorption d'eau sur les sites hydrophiles de l'argile.

Ce processus est réversible. Un départ d'eau entraîne une diminution du volume du minéral. C'est le phénomène de retrait.

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement dans les minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et dans une moindre mesure au groupe des interstratifiés (alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple illite – montmorillonite).

À l'échelle macroscopique, ces micro-agrégats de feuillets s'organisent en assemblages plus ou moins anisotropes et cohérents, en fonction de la forme des particules élémentaires qui les composent, et en fonction de la force des liaisons entre particules. Ces dernières sont assurées par des molécules d'eau intercalées. Ce mode d'assemblage, qui définit la texture du « sol argileux » dépend de la nature minéralogique des argiles, du mode de sédimentation et de l'état de consolidation du matériau. En particulier, une argile vasarde ne présentera pas la même texture – et donc pas la même cohésion – qu'une argile surconsolidée, par exemple à la suite d'un enfouissement à grande profondeur.

À cette échelle, la variation de teneur en eau dans le sol se traduit également par des variations de volume du matériau. On parle alors de gonflement interparticulaire. Ce

phénomène affecte toutes les argiles, mais son amplitude est nettement plus faible que le gonflement interfoliaire (qui n'affecte que certaines argiles).

Les sols argileux se caractérisent donc par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique. En géotechnique, on identifie d'ailleurs les différents types de sols argileux sur la base de ce critère. Pour cela on détermine les teneurs en eau (dites limites d'Atterberg) à partir desquelles le comportement du matériau se modifie. Atterberg, puis par la suite Casagrande, ont défini de façon conventionnelle, à partir de la teneur en eau, les limites de divers états de consistance d'un sol donné :

- la limite de liquidité W_L sépare l'état liquide de l'état solide ; elle correspond à la teneur en eau à partir de laquelle l'argile commence à s'écouler sous son poids propre ;
- la limite de plasticité W_P sépare l'état plastique de l'état solide (avec retrait) ; elle correspond à la teneur en eau en deçà de laquelle l'argile ne peut plus se déformer sans microfissuration.

L'étendue du domaine plastique compris en ces deux valeurs est dénommée indice de plasticité : $IP = W_L - W_P$. Elle représente l'aptitude de l'argile à acquérir de l'eau.

- la limite de retrait W_R : lorsque la teneur en eau diminue en dessous de W_P, le volume de sol argileux se réduit progressivement, mais le matériau reste saturé en eau jusqu'à une valeur dite limite de retrait qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide sans retrait.

À partir de ce stade, si la dessiccation se poursuit, elle se traduit par une fissuration du matériau. En cas de réhydratation de l'argile, l'eau pourra circuler rapidement dans ces fissures. Au-delà de W_R, l'arrivée d'eau s'accompagnera d'une augmentation de volume, proportionnelle au volume d'eau supplémentaire incorporé dans la structure.

Les limites d'Atterberg, qui sont des teneurs en eau particulières, s'expriment, comme la teneur en eau W, en %.

Les phénomènes de retrait (liés à une diminution de volume du matériau qui se traduit, verticalement par un tassement, et horizontalement par une fissuration), et de gonflement (liés à une augmentation de volume), sont donc essentiellement causés par des variations de teneur en eau. En réalité, cependant, le phénomène est aussi régi par des variations de l'état de contrainte, et plus précisément par l'apparition de pressions interstitielles négatives.

Dans le cas d'un sol saturé, la contrainte verticale totale, qui règne dans le sol à une profondeur donnée, est la somme de la pression interstitielle due à l'eau et d'une contrainte dite effective qui régit le comportement de la phase solide du sol (pression intergranulaire). La contrainte totale est constante puisque liée à la charge exercée par les terrains sus-jacents (augmentée éventuellement d'une surcharge due, par exemple, à la présence d'une construction en surface). L'apparition d'une pression interstitielle négative, appelée succion, se traduit donc par une augmentation de la contrainte effective (c'est-à-dire une consolidation du squelette granulaire) et une expulsion d'eau.

Un sol argileux situé au-dessus du niveau de la nappe, et qui est saturé, est ainsi soumis à une pression de succion qui lui permet d'aspirer l'eau de la nappe, par capillarité, et de maintenir son état de saturation. Cette pression de succion peut atteindre des valeurs très élevées à la surface du sol, surtout si celle-ci est soumise à une évaporation intense.

Annexe 2

Liste des 84 communes de la Nièvre reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et dates des périodes de reconnaissance. État au 1er octobre 2006

(Données transmises par la Préfecture de la Nièvre et complétées par le site Internet www.prim.net)

INSEE	Commune	Date début	Date fin	Date Arrêté	Date JO
58001	Achun	01/07/2003	30/09/2003	27/07/2006	08/08/2006
58002	Alligny-Cosne	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58006	Anlezy	01/07/2003	30/09/2003	09/01/2006	22/01/2006
58007	Annay	01/05/1989	31/12/1992	08/03/1994	24/03/1994
		01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58008	Anthien	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58012	Arquian	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
58017	Aunay-en-Bazois	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58022	Balleray	01/07/2003	30/09/2003	05/05/2006	14/05/2006
58024	Bazolles	01/01/1996	01/01/1997	12/04/1998	28/03/1998
		01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58027	Beaumont-la-Ferrière	01/07/2003	30/09/2003	06/02/2006	14/02/2006
58031	Billy-Chevannes	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58035	Bona	01/01/1996	30/09/1997	09/04/1998	23/04/1998
		01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58046	Cercy-la-Tour	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58047	Cervon	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
58064	Châteauneuf-Val-de-Bargis	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58053	Champlemy	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58055	Champvert	01/05/1989	31/10/1997	09/04/1998	23/04/1998
58067	Chaulgnes	01/05/1989	03/04/1997	12/04/1998	28/03/1998
		01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58077	Ciez	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
58083	Corbigny	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58086	Cosne-Cours-sur-Loire	01/05/1989	31/12/1992	08/03/1994	24/03/1994
		01/01/1993	31/03/1997	12/04/1998	28/03/1998
		01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58088	Coulanges-lès-Nevers	01/06/1989	31/05/1997	12/04/1998	28/03/1998
58092	Crux-la-Ville	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58093	Cuncy-lès-Varzy	01/07/2003	30/09/2003	09/01/2006	22/01/2006
58094	Dampierre-sous-Bouhy	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58097	Diennes-Aubigny	01/07/2003	30/09/2003	03/08/2006	24/08/2006
58109	Entrains-sur-Nohain	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
58113	Fertrève	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58116	Flez-Cuzy	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58121	Garchizy	01/01/1996	30/09/1997	09/04/1998	23/04/1998
58122	Garchy	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58135	Isenay	01/07/2003	30/09/2003	06/02/2006	14/02/2006
58044	La Celle-sur-Loire	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58045	La Celle-sur-Nièvre	01/05/1989	31/12/1992	18/07/1995	03/08/1995
		01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58059	La Charité-sur-Loire	01/01/1996	31/12/1997	23/02/1999	10/03/1999
58142	Limanton	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58145	Lormes	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58147	Lurcy-le-Bourg	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58152	Magny-Cours	01/01/1996	01/01/1997	12/04/1998	28/03/1998
58153	Magny-Lormes	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58161	Maux	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58163	Menou	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58170	Monceaux-le-Comte	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005

INSEE	Commune	Date début	Date fin	Date Arrêté	Date JO
58171	Montapas	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58176	Montigny-aux-Amognes	01/07/2003	30/09/2003	09/01/2006	22/01/2006
58182	Moulins-Engilbert	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58186	Murlin	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58187	Myennes	01/01/1993	31/12/1997	29/12/1998	13/01/1999
		01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
58190	Neuffontaines	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58193	Neuvy-sur-Loire	01/05/1989	31/12/1990	12/08/1991	30/08/1991
		01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58194	Nevers	01/05/1989	31/12/1992	08/03/1994	24/03/1994
58194	Nevers	01/01/1993	30/09/1997	09/04/1998	23/04/1998
58196	Nolay	01/07/2003	30/09/2003	30/04/2006	02/04/2006
58204	Ourouër	01/05/1989	31/12/1992	08/03/1994	24/03/1994
		01/01/1993	03/04/1997	12/04/1998	28/03/1998
		01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58207	Parigny-les-Vaux	01/01/1992	31/03/1997	12/04/1998	28/03/1998
58208	Pazy	01/07/2003	30/09/2003	30/04/2006	02/04/2006
58212	Poiseux	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58214	Pougues-les-Eaux	01/01/1990	03/04/1997	12/04/1998	28/03/1998
58215	Pouilly-sur-Loire	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58218	Prémery	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58220	Raveau	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58224	Ruages	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58227	Saint-Amand-en-Puisaye	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58231	Saint-Aubin-les-Forges	01/07/2003	30/09/2003	06/02/2006	14/02/2006
58234	Saint-Bonnot	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58239	Saint-Firmin	01/07/1997	31/12/1997	16/04/1999	02/05/1999
58246	Saint-Honoré-les-Bains	01/07/2003	30/09/2003	30/04/2006	02/04/2006
58247	Saint-Jean-aux-Amognes	01/07/2003	30/09/2003	09/01/2006	22/01/2006
58251	Saint-Loup	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
58252	Saint-Malo-en-Donziois	01/07/2003	30/09/2003	30/04/2006	02/04/2006
58254	Saint-Martin-d'Heuille	01/01/1996	30/09/1997	09/04/1998	23/04/1998
58261	Saint-Père	01/07/2003	30/09/2003	27/07/2006	08/08/2006
58269	Saint-Sulpice	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58271	Saizy	01/05/1989	31/07/1992	06/09/1993	19/09/1993
58275	Saxi-Bourdon	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58278	Sermoise-sur-Loire	01/06/1989	31/05/1997	12/04/1998	28/03/1998
58279	Sichamps	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
58285	Tamnay-en-Bazois	01/07/2003	30/09/2003	09/01/2006	22/01/2006
58286	Tannay	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
58289	Teigny	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
58292	Tintury	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
58300	Urzy	01/05/1989	31/10/1997	09/04/1998	23/04/1998
58306	Verneuil	01/01/1990	30/09/1990	27/12/2000	29/12/2000
58308	Vignol	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
58311	Ville-Langy	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005

Annexe 3

Liste des sinistres « sécheresse » recensés et localisés dans le cadre de cette étude

Les coordonnées sont exprimées dans le système de projection Lambert II centré, en mètres.

La précision des coordonnées est généralement de l'ordre de la dizaine à la centaine de mètres.

ALLIGNY-COSNE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58002001	653680	2270610	58002007	656950	2273020
58002002	655290	2272890	58002008	656210	2273320
58002003	654660	2272930	58002009	657830	2272370
58002004	654670	2272750	58002010	654380	2272850
58002005	654200	2273230	58002011	655590	2272170
58002006	656620	2272930	58002012	657820	2272400

ALLUY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58004001	697600	2226440	58004004	697570	2226360
58004002	700900	2226570	58004005	697600	2226320
58004003	699080	2226710	58004006	699040	2226720

ANLEZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58006001	688693	2217925	58006004	688721	2217834
58006002	689065	2218410	58006005	688966	2218154
58006003	688664	2218029			

ANNAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58007001	646070	2277550	58007006	645910	2277460
58007002	645100	2280830	58007007	645940	2277510
58007003	646180	2284190	58007008	645930	2277530
58007004	644820	2282070	58007009	645980	2277480
58007005	646150	2277600			

ANTHIEN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58008001	706080	2257840	58008008	703660	2254420
58008002	705450	2258200	58008009	705900	2257670
58008003	704630	2255170	58008010	706180	2258070
58008004	705500	2258940	58008011	706200	2258110
58008005	704410	2256400	58008012	705910	2257800
58008006	704480	2256370	58008013	706270	2258310
58008007	705980	2257650	58008014	704320	2256650

ARQUIAN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58012001	650553	2284256	58012003	648826	2282185
58012002	649747	2279047			

AUNAY-EN-BAZOIS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58017001	705470	2238990	58017003	705730	2239270
58017002	702520	2234880	58017004	705650	2238980

BALLERAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58022001	672671	2232562	58022006	671070	2230933
58022002	671619	2233437	58022007	671536	2233431
58022003	673313	2231623	58022008	671128	2230933
58022004	670893	2231008	58022009	671655	2231274
58022005	671763	2231260	58022010	671200	2230894

BAZOLLES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58024001	696930	2239720	58024006	695270	2240450
58024002	695630	2240580	58024007	695410	2240390
58024003	695370	2240470	58024008	696753	2242210
58024004	695590	2240540	58024009	696735	2242250
58024005	696890	2238760			

BEARD					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58025001	675610	2207620			

BEAUMONT-LA-FERRIERE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58027001	667560	2243620	58027003	667280	2243570
58027002	667400	2243690	58027004	665930	2242580

BEAUMONT-SARDOLLES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58028001	681430	2217790	58028003	680800	2214840
58028002	681930	2215950			

BILLY-CHEVANNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58031001	686780	2225280	58031006	688470	2224740
58031002	686230	2223690	58031007	685340	2222800
58031003	685160	2224160	58031008	685040	2224520
58031004	686840	2225390	58031009	685140	2224190
58031005	686880	2225270			

BITRY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58033001	657190	2278090	58033006	655960	2276990
58033002	656050	2276660	58033007	655990	2276990
58033003	654040	2277990	58033008	654970	2278680
58033004	655110	2278030	58033009	658100	2275360
58033005	654920	2278740			

BONA					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58035001	682718	2229271			

CERCY-LA-TOUR					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58046001	700840	2209180	58046003	700669	2206644
58046002	700550	2205050	58046004	699810	2208140

CHALLUY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58051001	661850	2217090	58051006	661810	2217090
58051002	661770	2218910	58051007	660350	2213940
58051003	659770	2214980	58051008	660430	2215750
58051004	662030	2218090	58051009	660110	2213920
58051005	660230	2216510			

CHAMPLEMY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58053001	676600	2254520	58053007	678110	2253740
58053002	677350	2252600	58053008	677080	2254690
58053003	675040	2257830	58053009	676950	2252570
58053004	678140	2253670	58053010	675020	2257640
58053005	675210	2257760	58053011	675130	2257730
58053006	678750	2253910	58053012	676560	2254990

CHAMPVERT					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58055001	690580	2204010			

CHARRIN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58060001	696780	2198810	58060004	696840	2200130
58060002	694240	2201140	58060005	696720	2199310
58060003	696820	2198780			

CHATILLON-EN-BAZOIS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58065001	700430	2229400	58065004	700100	2228440
58065002	700040	2228310	58065005	700390	2229420
58065003	700390	2229370			

CHAULGNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58067001	659310	2236420	58067008	658290	2234580
58067002	656940	2233560	58067009	657610	2234550
58067003	657320	2234970	58067010	657620	2234840
58067004	656470	2233710	58067011	658250	2234560
58067005	658920	2236670	58067012	656790	2233650
58067006	657750	2235020	58067013	659630	2236380
58067007	658230	2234590			

CHEVENON					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58072001	667800	2213610	58072004	668470	2213580
58072002	667420	2213430	58072005	667840	2213560
58072003	668080	2214160	58072006	667600	2213530

CHITRY-LES-MINES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58075001	699480	2251850	58075004	700680	2254840
58075002	700660	2254880	58075005	700660	2255300
58075003	699530	2251980			

CIEZ					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58077001	662660	2270620			

COSNE-COURS-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58086001	645509	2269345	58086010	644759	2267217
58086002	646150	2269990	58086011	646104	2270217
58086003	645414	2267903	58086012	644331	2268410
58086004	642994	2262994	58086013	645631	2269261
58086005	644900	2269513	58086014	644395	2266407
58086006	645211	2269507	58086015	644390	2266394
58086007	644477	2265992	58086016	644323	2266396
58086008	645463	2269456	58086017	642998	2263524
58086009	644290	2268154	58086018	642967	2262959

COULANGES-LES-NEVERS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58088001	663910	2223860	58088018	663030	2223400
58088002	663800	2223930	58088019	663800	2223150
58088003	663990	2223000	58088020	664290	2223600
58088004	662850	2223770	58088021	664030	2223500
58088005	662740	2223490	58088022	663230	2223650
58088006	664450	2224560	58088023	662870	2223630
58088007	663050	2223630	58088024	664100	2223650
58088008	663710	2223450	58088025	664340	2223790
58088009	663950	2223860	58088026	662630	2223420
58088010	664010	2222630	58088027	663840	2223870
58088011	663640	2223440	58088028	662870	2223600
58088012	664490	2223200	58088029	664670	2223260
58088013	664080	2224010	58088030	663790	2222790
58088014	664040	2222690	58088031	662860	2223410
58088015	664300	2224170	58088032	664760	2224940
58088016	663200	2223830	58088033	664620	2223170
58088017	663220	2223570	58088034	663140	2223480

CRUX-LA-VILLE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58092001	690700	2242190	58092002	689720	2240750

CUNCY-LES-VARZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58093001	684929	2263390			

DAMPIERRE-SOUS-BOUHY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58094001	660060	2280940	58094004	659580	2281760
58094002	660720	2279290	58094005	660780	2279200
58094003	659310	2275140			

DECIZE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58095001	686820	2203610	58095003	683120	2202110
58095002	685150	2203860			

DEVAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58096001	690880	2202250			

DIENNES-AUBIGNY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58097001	693170	2210290			

DONZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58102001	659558	2263755	58102003	655909	2266837
58102002	659819	2263759	58102004	655250	2267832

DORNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58104001	677650	2188140	58104004	679320	2193100
58104002	676960	2189290	58104005	677330	2189060
58104003	674670	2194100	58104006	678150	2192920

ENTRAINS-SUR-NOHAIN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58109001	669640	2274740			

FERTREVE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58113001	694310	2218990	58113004	694990	2219640
58113002	695190	2219580	58113005	693300	2219500
58113003	696740	2219080			

FLEZ-CUZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58116001	697360	2263626	58116003	697397	2263438
58116002	697415	2263154			

FRASNAY-REUGNY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58119001	689949	2220551			

GARCHIZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58121001	657140	2227620	58121002	657430	2226750

GARCHY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58122001	654440	2252330	58122003	651560	2254440
58122002	655810	2251260	58122004	654130	2252390

GERMIGNY-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58124001	654320	2232220	58124004	654190	2231840
58124002	654470	2233860	58124005	654990	2230020
58124003	653230	2231400			

GIMOUILLE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58126001	657440	2216150			

GIRY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58127001	677610	2248080	58127008	675040	2246210
58127002	677910	2247240	58127009	677620	2248130
58127003	677910	2247270	58127010	678320	2247050
58127004	677460	2245330	58127011	675870	2247160
58127005	677350	2245400	58127012	677590	2248060
58127006	675060	2246190	58127013	675120	2246230
58127007	676560	2247120			

GUERIGNY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58131001	665710	2231970	58131002	665290	2232960

ISENAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58135001	704940	2217260	58135003	705260	2213900
58135002	704750	2213510	58135004	706200	2217350

JAILLY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58136001	685320	2232250	58136003	686120	2232910
58136002	686630	2233340	58136004	687000	2232780

LA CELLE-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58044001	644250	2276550	58044005	644750	2274900
58044002	644720	2274900	58044006	645310	2274760
58044003	644320	2276550	58044007	644920	2276780
58044004	644570	2275340			

LA CELLE-SUR-NIEVRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58045001	666900	2247550	58045003	667120	2246160
58045002	666980	2246250	58045004	664886	2248243

LA CHARITE-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58059001	652204	2241517	58059003	655021	2241744
58059002	655031	2241747			

LA MACHINE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58151001	685410	2210810	58151007	685990	2210640
58151002	686340	2210210	58151008	685860	2210640
58151003	686440	2211380	58151009	685870	2210300
58151004	685990	2212220	58151010	686220	2210940
58151005	686700	2211170	58151011	685900	2210700
58151006	686100	2211220			

LIMANTON					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58142001	704983	2221005	58142005	708648	2225473
58142002	706003	2220286	58142006	706672	2218182
58142003	706912	2218246	58142007	707918	2224651
58142004	705089	2220944	58142008	706399	2218605

LORMES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58145001	710780	2256400	58145003	710630	2258510
58145002	709880	2255280			

LUCENAY-LES-AIX					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58146001	689180	2190170	58146004	688120	2190400
58146002	687680	2189530	58146005	687600	2189500
58146003	687580	2189450			

LURCY-LE-BOURG					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58147001	678930	2239720	58147006	678820	2239750
58147002	679520	2240460	58147007	679180	2240720
58147003	678860	2239820	58147008	678800	2239710
58147004	680170	2241820	58147009	679020	2239860
58147005	679450	2240330			

LYS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58150001	695400	2260060	58150003	695460	2260310
58150002	695430	2260080	58150004	695220	2260130

MAGNY-COURS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58152001	662990	2212890	58152002	661224	2210445

MAGNY-LORMES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58153001	706150	2254500	58153003	707960	2256000
58153002	707470	2256990	58153004	707170	2256550

MAUX					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58161001	711630	2227720	58161004	707170	2227260
58161002	709880	2228570	58161005	708020	2229450
58161003	710340	2226130			

MENOU					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58163001	671211	2261815	58163004	671193	2263441
58163002	671339	2261809	58163005	671544	2265167
58163003	671086	2263148			

MONCEAUX-LE-COMTE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58170001	700330	2259710	58170004	700510	2259480
58170002	700320	2259550	58170005	700310	2259630
58170003	700090	2259740			

MONTIGNY-AUX-AMOGNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58176001	673050	2225430	58176009	672860	2225600
58176002	671930	2227020	58176010	671050	2225980
58176003	674110	2224530	58176011	673070	2225460
58176004	672620	2225950	58176012	673330	2225810
58176005	674260	2226740	58176013	672550	2225830
58176006	672700	2225980	58176014	672700	2225630
58176007	672850	2225480	58176015	672700	2225590
58176008	671810	2225680			

MONTIGNY-SUR-CANNE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58178001	700420	2215670	58178002	700400	2215530

MOULINS-ENGILBERT					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58182001	711294	2221654	58182011	711385	2221733
58182002	711234	2222525	58182012	710592	2221327
58182003	711439	2220607	58182013	711769	2221096
58182004	711571	2221833	58182014	711676	2222053
58182005	711810	2219841	58182015	711523	2220653
58182006	712961	2222112	58182016	712678	2221185
58182007	711677	2222100	58182017	711927	2221253
58182008	711411	2221679	58182018	712273	2221726
58182009	711800	2221967	58182019	712825	2221248
58182010	710878	2220358			

MOUSSY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58184001	684370	2244420	58184005	684370	2244140
58184002	684520	2244230	58184006	684330	2244150
58184003	684550	2244170	58184007	684570	2244210
58184004	685050	2244350	58184008	684524	2244207

MURLIN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58186001	663920	2245110	58186003	663930	2244960
58186002	664160	2245210			

MYENNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58187001	645260	2271560	58187006	644900	2272500
58187002	645160	2272230	58187007	645190	2272210
58187003	645050	2271640	58187008	645020	2272080
58187004	644950	2271920	58187009	645080	2271590
58187005	645130	2271980			

NEUFFONTAINES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58190001	705520	2260770	58190002	705360	2261620

NEUVY-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58193001	641360	2280680	58193004	640570	2280760
58193002	640710	2280720	58193005	638860	2283470
58193003	641400	2280640	58193006	641030	2281060

NEVERS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58194001	660790	2220330	58194037	662244	2221250
58194002	662520	2221430	58194038	660180	2220140
58194003	660910	2220830	58194039	665360	2221120
58194004	660220	2220140	58194040	660750	2220630
58194005	660880	2220170	58194041	664080	2222150
58194006	660670	2221790	58194042	661320	2220790
58194007	660190	2220110	58194043	660040	2220110
58194008	661600	2221270	58194044	660150	2221050
58194009	660770	2220360	58194045	660080	2220030
58194010	664270	2222070	58194046	661200	2222020
58194011	660410	2220220	58194047	660960	2219780
58194012	660190	2220090	58194048	663690	2221870
58194013	664190	2221640	58194049	660990	2220920
58194014	660280	2219810	58194050	660870	2220630
58194015	663130	2221440	58194051	663050	2223150
58194016	660140	2220160	58194052	661230	2220700
58194017	663500	2221730	58194053	663730	2221990
58194018	661680	2222300	58194054	660140	2220120
58194019	660010	2219620	58194055	664720	2221960
58194020	662530	2220140	58194056	661650	2220790
58194021	661050	2220530	58194057	661310	2220570
58194022	662030	2222400	58194058	662950	2221140
58194023	660040	2221040	58194059	661460	2220540
58194024	660370	2220260	58194060	660180	2220180
58194025	661030	2220970	58194061	660180	2220040
58194026	664450	2222320	58194062	660170	2219890
58194027	660160	2220070	58194063	665200	2222770
58194028	661060	2221900	58194064	660490	2220500
58194029	661560	2220800	58194065	661120	2220890
58194030	661560	2220800	58194066	662720	2222900
58194031	663680	2221860	58194067	663110	2222650
58194032	660720	2220480	58194068	660310	2220080
58194033	662940	2223180	58194069	660150	2220710
58194034	660220	2220120	58194070	662750	2222400
58194035	660200	2221910	58194071	660580	2220611
58194036	662050	2223180			

NOLAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58196001	675172	2235958	58196005	674891	2236204
58196002	674983	2235969	58196006	676369	2233607
58196003	678015	2238164	58196007	671923	2238077
58196004	674949	2234184	58196008	672698	2238198

OUROUER					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58204001	671780	2229900	58204003	673673	2229184
58204002	671890	2229960	58204004	672830	2227890

PARIGNY-LES-VAUX					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58207001	659300	2233790	58207012	659300	2233510
58207002	659290	2234580	58207013	659530	2233520
58207003	662040	2231970	58207014	659150	2233550
58207004	660440	2234170	58207015	659260	2233790
58207005	658740	2234340	58207016	659340	2233760
58207006	660690	2232970	58207017	658990	2234180
58207007	659230	2232750	58207018	658970	2234160
58207008	659180	2233160	58207019	659270	2234350
58207009	659280	2233820	58207020	659260	2234750
58207010	661560	2232850	58207021	662990	2231710
58207011	659170	2233200			

PAZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58208001	697620	2248510	58208006	696690	2248280
58208002	697610	2248460	58208007	697600	2248580
58208003	697480	2251130	58208008	696630	2248350
58208004	697660	2248420	58208009	696720	2248380
58208005	696530	2248390			

POISEUX					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58212001	668370	2236780			

POUGNY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58213001	650210	2264970			

POUGUES-LES-EAUX					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58214001	657890	2230690	58214012	658550	2231560
58214002	657970	2230100	58214013	658030	2231710
58214003	658520	2231680	58214014	658250	2231280
58214004	*657710*	*2230040*	*58214015*	*658050*	*2231490*
58214005	658530	2231640	58214016	657840	2230110
58214006	657860	2231000	58214017	659480	2229930
58214007	658080	2231470	58214018	657690	2230620
58214008	657870	2231220	58214019	658310	2231370
58214009	657700	2230870	58214020	657740	2229960
58214010	658630	2231060	58214021	658170	2231620
58214011	658020	2231340			

POUILLY-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58215001	647950	2254920	58215002	646810	2253740

PREMERY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58218001	676480	2242800	58218003	674650	2241960
58218002	675590	2242200	58218004	675640	2242980

RAVEAU					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58220001	655182	2241984	58220009	655070	2241954
58220002	655164	2241969	58220010	655800	2243001
58220003	655202	2242016	58220011	656367	2243511
58220004	655156	2241741	58220012	655650	2242036
58220005	655310	2241698	58220013	660112	2241706
58220006	655112	2241728	58220014	657364	2242282
58220007	655110	2241716	58220015	656988	2241978
58220008	655195	2241964			

ROUY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58223001	692250	2227420			

RUAGES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58224001	703030	2258630	58224005	702860	2258510
58224002	703100	2258660	58224006	703050	2258650
58224003	703120	2258800	58224007	701780	2258450
58224004	703160	2258740			

SAINT-AMAND-EN-PUISAYE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58227001	655250	2283090	58227004	654560	2284300
58227002	654180	2279910	58227005	655020	2281070
58227003	654800	2284490			

SAINT-AUBIN-LES-FORGES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58231001	667680	2240280	58231002	667650	2240140

SAINT-BENIN-D'AZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58232001	680364	2222792	58232004	680430	2222710
58232002	682080	2221100	58232005	680353	2222500
58232003	680410	2223000			

SAINT-BONNOT					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58234001	673860	2249780	58234003	674090	2249870
58234002	673980	2249850			

SAINT-FIRMIN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58239001	682175	2227327			

SAINT-HILAIRE-EN-MORVAN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58244001	718640	2229300			

SAINT-HILAIRE-FONTAINE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58245001	698640	2198650	58245003	698340	2198900
58245002	698210	2199100			

SAINT-HONORE-LES-BAINS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58246001	715030	2212550	58246007	714020	2213170
58246002	714760	2212620	58246008	714360	2213650
58246003	714370	2213630	58246009	713890	2213080
58246004	714350	2213590	58246010	714040	2213160
58246005	714390	2213580	58246011	716670	2213030
58246006	714450	2213550	58246012	714410	2213430

SAINT-JEAN-AUX-AMOGNES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58247001	675500	2222680	58247008	677250	2224330
58247002	675310	2222600	58247009	675460	2222520
58247003	676070	2224280	58247010	676600	2223880
58247004	676930	2223670	58247011	675700	2224580
58247005	674670	2224420	58247012	675830	2224300
58247006	675600	2222550	58247013	676160	2224300
58247007	675920	2224480	58247014	677230	2224300

SAINT-LAURENT-L'ABBAYE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58248001	649320	2260720			

SAINT-LOUP					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58251001	650592	2271141	58251002	650580	2269889

SAINT-MARTIN-D'HEUILLE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58254001	667300	2228250	58254002	667470	2228480

SAINT-OUEN-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58258001	675560	2211890	58258004	673570	2209900
58258002	673260	2212680	58258005	673230	2212620
58258003	673580	2209990	58258006	672900	2211100

SAINT-PARIZE-LE-CHATEL					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58260001	668400	2205240	58260010	664630	2206660
58260002	663880	2206210	58260011	664960	2206990
58260003	664010	2206390	58260012	664800	2206720
58260004	664610	2206640	58260013	661380	2206700
58260005	664050	2206390	58260014	663720	2206610
58260006	664870	2207280	58260015	663700	2206600
58260007	661110	2206460	58260016	664320	2206450
58260008	665030	2207020	58260017	664590	2206590
58260009	664270	2206160	58260018	666630	2209370

SAINT-PERE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58261001	648730	2268090	58261007	646600	2266810
58261002	646440	2267140	58261008	646770	2266630
58261003	648340	2265450	58261009	646790	2266560
58261004	646590	2266940	58261010	648710	2268270
58261005	648360	2265460	58261011	647530	2268350
58261006	646590	2266780			

SAINT-PEREUSE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58262001	708220	2230200			

SAINT-SEINE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58268001	713650	2194030	58268002	712950	2194470

SAINT-SULPICE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58269001	677520	2228820	58269003	679140	2229410
58269002	679250	2229390			

SAINT-VERAIN					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58270001	651320	2276420	58270006	653720	2277770
58270002	652170	2276200	58270007	651880	2274980
58270003	654300	2275760	58270008	650870	2278590
58270004	653000	2278250	58270009	654370	2275780
58270005	652260	2274930	58270010	653250	2275130

SAIZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58271001	701770	2260660			

SAUVIGNY-LES-BOIS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58273001	669850	2215920	58273004	668820	2220880
58273002	670050	2216210	58273005	669860	2215890
58273003	668640	2220830			

SAXI-BOURDON					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58275001	686460	2230010	58275002	686500	2230030

SERMOISE-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58278001	664570	2217210			

SOUGY-SUR-LOIRE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58280001	*680500*	*2206850*	*58280002*	*680440*	*2204200*

TALON					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58284001	693520	2260250	58284003	692490	2260330
58284002	692400	2260590	58284004	693260	2260960

TAMNAY-EN-BAZOIS					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58285001	704490	2230430			

TANNAY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58286001	695410	2263590	58286006	695290	2263650
58286002	695020	2263650	58286007	695290	2263600
58286003	695370	2263610	58286008	695100	2263730
58286004	694490	2261890	58286009	694890	2264610
58286005	695140	2263570			

TEIGNY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58288001	700090	2265310			

TINTURY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58292001	694950	2222560	58292004	693060	2223880
58292002	694940	2222520	58292005	694480	2222630
58292003	694820	2222540	58292006	694900	2222520

URZY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58300001	666170	2229550	58300007	666030	2229550
58300002	665160	2229070	58300008	665190	2228900
58300003	666140	2229550	58300009	665410	2228410
58300004	666150	2229500	58300010	666920	2229630
58300005	666060	2229530	58300011	666200	2229690
58300006	665700	2231610	58300012	666120	2229520

VANDENESSE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58301001	708740	2213640	58301003	707020	2212920
58301002	708720	2212360			

VARENNES-VAUZELLES					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58303001	662240	2224530	58303011	661550	2223920
58303002	660890	2229850	58303012	659930	2223770
58303003	660350	2223690	58303013	660600	2223700
58303004	661050	2224450	58303014	660330	2223760
58303005	661620	2225610	58303015	661210	2225130
58303006	660540	2223200	58303016	662120	2223560
58303007	660620	2225360	58303017	660790	2226810
58303008	660460	2223580	58303018	660930	2226890
58303009	660610	2223560	58303019	662290	2224330
58303010	661540	2223650			

VERNEUIL					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58306001	693617	2207835			

VIGNOL					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58308001	700700	2263410	58308003	700910	2263510
58308002	699710	2262300			

VILLE-LANGY					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58311001	688590	2216720	58311009	688570	2216540
58311002	688400	2216050	58311010	691800	2215650
58311003	688380	2216610	58311011	688440	2216140
58311004	690580	2215350	58311012	688270	2216570
58311005	688380	2215960	58311013	688330	2215790
58311006	688500	2216620	58311014	688330	2215560
58311007	691400	2213800	58311015	688450	2216090
58311008	688530	2215660	58311016	688340	2216390

VITRY-LACHE					
Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)	Numéro	X (Lambert II étendu)	Y (Lambert II étendu)
58313001	690140	2244440			

Annexe 4

Liste et coordonnées des bureaux d'études ayant fournis des données géotechniques

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

Union Syndicale de Géotechnique
Maison de l'Ingénierie
3, rue Léon Bonnat
75 016 PARIS

Coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données :

I.C.S.E.O
Agence Centre Est
27, Rue de l'œuvre
21140 SEMUR EN AUXOIS
Tel : 03 80 97 48 80
Fax : 03 80 97 48 89

Hydro'Géotechnique
RN 6
A. A. des Ormeaux
71150 - Fontaines
Tel : 03 85 45 88 44
Fax : 03 85 45 88 43

Annexe 5

Résultats des analyses minéralogiques et géotechniques réalisées au cours de cette étude

Identifiant	description de l'échantillon	formation géologique	notation "regroupée"	ville /lieu dit	X lambert II (en m)	Y lambert II (en m)	profondeur échantillon	Analyse diffractométrique aux RX (%) *	Valeur de Bleu
RG 58 - Ech.1	Marne beige à cailloutis	j3b	j3b-4b	Maison-Dieu	699 148	2 269 666	0 - 0,05	K = 55 Interstratifié I/S = 31 I/M = 14	0,87
RG 58 - Ech.2	Marne blanches à grises	j3b	j3b-4b	Clamecy	691 702	2 272 993	0 - 0,05	I/M = 73 Interstratifié I/S = 27	2,18
RG 58 - Ech.3	Marne gris-beige	j3c	j3b-4b	Mt Givre, Pougues-Les-Eaux	658 869	2 231 098	0 - 0,05	I/M = 59 K = 28 Interstratifié I/V = 13	2,55
RG 58 - Ech.4	Marne beiges à blanche, très compacte	j3c	j3b-4b	Chaulgnes	658 911	2 237 157	0 - 0,05	I/M = 59 K = 26 Interstratifié I/S = 15	1,68
RG 58 - Ech.5	Marne marron claire à verdâtre	j2b	j2a-3a	intersection D104 / D978 "Le Crot"	678 401	2 223 096	0 - 0,05	Interstratifié I/S = 76 I/M = 13	6,23
RG 58 - Ech.6	Marne jaunâtre fossilifère, cailloutis	l4	l4	Ferme des Charry	683 748	2 227 426	0 - 0,05	Interstratifié I/S = 87 I/M = 13	5,21
RG 58 - Ech.8	Marne gris-verdâtre	l1	l1	Moussy	685 311	2 244 525	0 - 0,05	I/M = 100	2,69
RG 58 - Ech.9	Argiles gris-verdâtres à passées noirâtres, légèrement sableuse	l1	l1	Moussy	685 335	2 244 570	0 - 0,05	I/M = 96 K = 4	2,76

* Résultats d'analyse diffractométriques aux rayons X : c'est le pourcentage de minéraux dans la fraction argileuse avec S: smectites, I: illites, K: kaolinite, V: vermiculite, M: micas.

Service Aménagement et Risques Naturels
Unité Risques Mouvement de Terrain
117, avenue de Luminy – BP 167
13276 - Marseille cedex 09
Tél. : 04 91 17 74 74

Service Géologique Régional Bourgogne & Franche-Comté
Parc technologique - Toison d'Or
27, rue Louis de Broglie
21000 - Dijon
Tél. : 03 80 72 90 40

LOIRET

YONNE

CLAMECY

COSNE-COURS-SUR-LOIRE

COTE-D'OR

CHER

NEVERS

CHATEAU-CHINON(VILLE)

SAONE-ET-LOIRE

ALLIER

N
W E
S

0 10 20
Kilomètres

Carte 1

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

Carte départementale synthétique des formations argileuses et marneuses

Echelle 1/ 135 000

BRGM/RP-54897-FR
mai 2007

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES & MINIÈRES - BIBLIOTHÈQUE CENTRALE
I 89 3749 46 -625.5

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
direction départementale de l'Équipement Nièvre

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

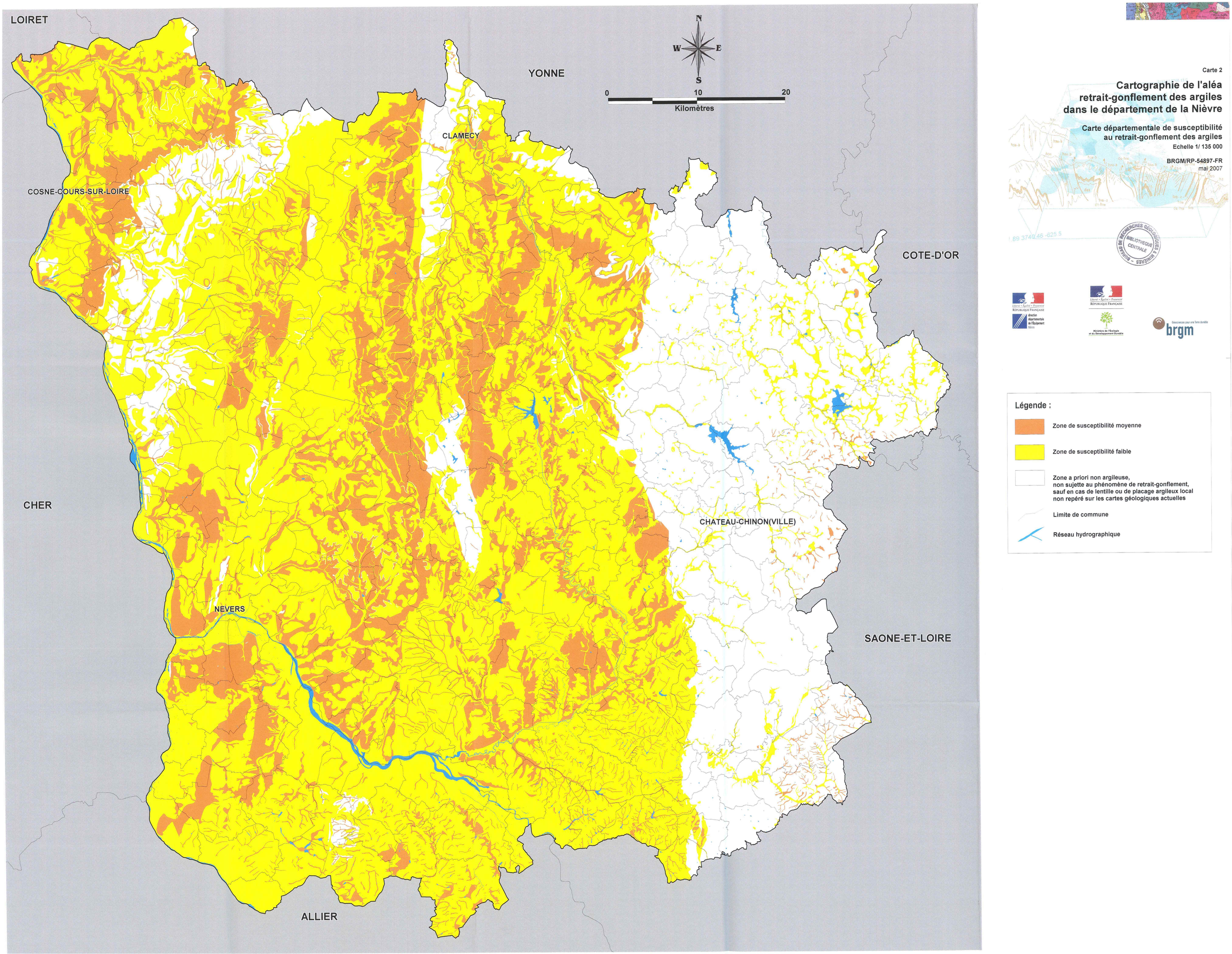
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Formations argileuses et marneuses

- (Fy-z) - Alluvions actuelles et subactuelles
- (Fx) - Alluvions de moyennes terrasses
- (Fu-v-w) - Alluvions anciennes de hautes terrasses
- (FC) - Colluvions des fonds de vallons/versants
- (FL) - Sables et argiles du Bourbonnais
- (Rs) - Formations résiduelles argilo-sableuses à silex
- (LP) - Limons des plateaux argilo-sableux
- (p) - Sables et argiles bariolées
- (e5-m1C) - Calcaires lacustres et marnes
- (e5-m1MS) - Argiles sableuses silicifiées ou rubanées
- (c1) - Craie marneuse, craie à silex, spongolites
- (n6b) - Sables de la Puisaye : sables argileux et grès ferrugineux
- (n6M) - Argiles de Myennes
- (n6S) - Sables, argiles et grès ferrugineux
- (n4a-b) - Sables et argiles panachées, lumachelles et marnes ostréennes
- (j7) - Calcaires du Barrois avec petits niveaux de marnes noires
- (j6c) - Marnes et calcaires à Exogyra virgula
- (j6a-b) - Calcaires de Villiers
- (j5c-d) - Calcaires argileux et marnes
- (j4c-5) - Argiles glauconieuses, oolithes ferrugineuses
- (j3b-4b) - Calcaires avec intercalations marneuses
- (j3a-4a) - Marnes et calcaires argileux
- (j2a-3a) - Marnes et calcaires à entroques
- (l4) - Marnes, argiles et "schistes carton"
- (l3b-c) - Marnes micacées et calcaires à Gryphées géantes
- (l3a) - Marnes grises à rares intercalations calcaires
- (l2) - Marnes gris-bleu à Gryphées
- (t7-l1) - Calcaires argileux, argiles bariolées, grès, galets d'argilites noires
- (t) - Argiles bariolées, sables, grès
- (r2) - Sables et argiles rouges conglomératiques
- (h5) - Schistes à couches d'anthracite

Limite de commune

Réseau hydrographique



Carte 2

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles

Echelle 1/ 135 000

BRGM/RP-54897-FR
mai 2007

I 89 3740,46 -625,5
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES & MINIÈRES - BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Légende :

- Zone de susceptibilité moyenne
- Zone de susceptibilité faible
- Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement, sauf en cas de lentille ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles
- Limite de commune
- Réseau hydrographique

LOIRET

YONNE

CLAMECY

COSNE-COURS-SUR-LOIRE

COTE-D'OR

CHER

CHATEAU-CHINON(VILLE)

NEVERS

SAONE-ET-LOIRE

ALLIER

N

W E

S

0 10 20

Kilomètres

Carte 3

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Nièvre

Carte départementale d'aléa retrait-gonflement des argiles

Echelle 1/ 135 000

BRGM/RP-54897-FR
maj 2007

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES & MINIÈRES - BIBLIOTHEQUE CENTRALE

Libertés • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
direction départementale de l'Équipement Nièvre

Libertés • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Légende :

- Zone d'aléa moyen
- Zone d'aléa faible
- Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement, sauf en cas de lentille ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles
- Limite de commune
- Réseau hydrographique
- Sinistre recensé et localisé lors de l'étude
- Zones urbanisées