



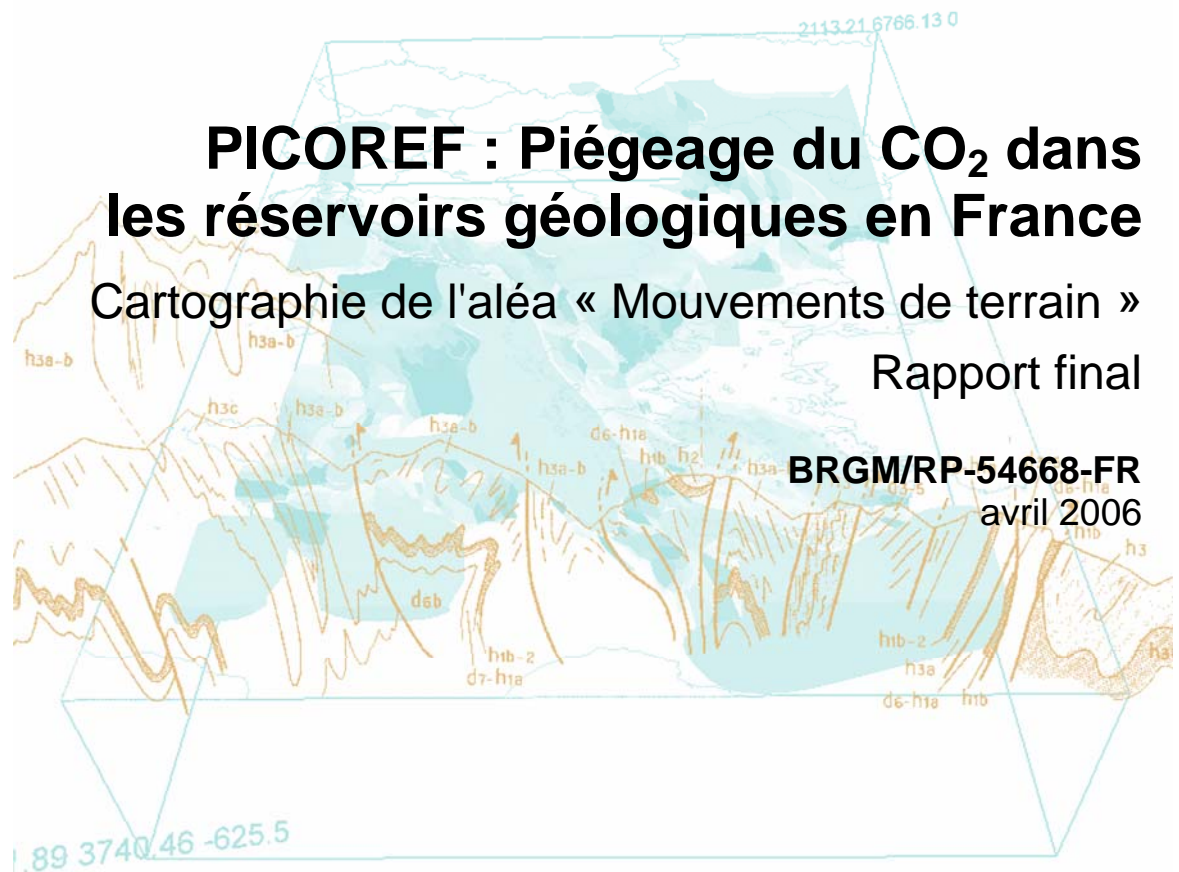
# PICOREF : Piégeage du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs géologiques en France

Cartographie de l'aléa « Mouvements de terrain »

Rapport final

BRGM/RP-54668-FR

avril 2006



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# PICOREF : Piégeage du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs géologiques en France

## Cartographie de l'aléa « Mouvements de terrain » Rapport final

**BRGM/RP-54668-FR**  
avril 2006

Étude réalisée dans le cadre de la convention  
CEP&M n° 2005/04

**J. Rohmer, C. Lembezat**

**Vérificateur :**

Original signé par :

Nom : Hubert Fabriol

Date : 18/04/2006

Signature :

**Approbateur :**

Original signé par :

Nom : Homoz Modaressi

Date : 18/04/2006

Signature :

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

**Mots clés :** Stockage, CO<sub>2</sub>, Aléa, Mouvements de terrain, Ile-de-France, Bourgogne, Champagne-Ardenne, PICOREF.

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

**Rohmer J., Lembezat C.** (2006) – PICOREF : Piégeage du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs géologiques en France. Cartographie de l'aléa « Mouvements de terrain ». Rapport BRGM/RP-54668-FR, 39 p., 3 fig. 2 tabl., 3 ann.

## Synthèse

Dans le cadre du projet PICOREF « Piégeage du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs géologiques en France », cofinancé par le Réseau des Technologies Pétrolières et Gazières (RTPG), deux objectifs principaux doivent être atteints : la caractérisation de sites français adaptés au piégeage du CO<sub>2</sub> et la préparation d'un dossier de demande d'autorisation de stockage, comprenant la mise au point d'une méthodologie pour étudier et surveiller le site de stockage. Un secteur d'étude a été sélectionné dans le Bassin parisien. Il se situe entre Sézanne et Sens, Romilly-sur-Seine et Nangis.

Le présent rapport a pour objectif d'identifier l'aléa « mouvements de terrain » dont l'impact serait susceptible de présenter un risque sur les installations de surface.

### • Hiérarchisation du secteur PICOREF

Cette étude met l'accent sur les zones présentées dans le tableau suivant, qui seront considérées comme les plus discriminantes au regard du risque d'instabilité du sol sur lequel d'éventuels ouvrages de surface pourraient être construits.

| Zone  | Cavités  | Mouvements de masse                 |
|---|--|-------------------------------------|
| <b>Versant méridional du plateau briard</b>   | Susceptibilité de présence la plus forte                       | Classe de pente moyenne             |
|   |  | Présence de colluvions et d'éboulis |
| <b>Plateau crayeux du sud de la Seine</b>   | Susceptibilité de présence moyenne                             | Classe de pente moyenne             |
|   |  | Présence de colluvions              |
| <b>Zone du plateau briard proche des pertes de ruisseaux à proximité des argiles vertes</b> | Susceptibilité de présence moyenne                             | Classe de pente faible (< 5°)       |
|   | 7 effondrements reconnus mettant en jeu des cavités naturelles |                                     |

- **Limites de l'étude**

Cette étude prend en compte les données disponibles au 01/01/2006.

La carte établie n'est valable qu'à l'échelle de l'étude du secteur PICOREF. Un zoom sur une zone de transition ne serait en aucun cas valable au regard des incertitudes liées à la méthode de cartographie et à la qualité des données recueillies.

Dès qu'un site candidat pour un pilote d'injection de CO<sub>2</sub> sera identifié plus précisément, la méthodologie proposée dans ce rapport devra impérativement être affinée par des études plus précises (ex : étude géostatistique du toit de la formation contenant les cavités) voire des investigations de terrain.

## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Présentation de l'étude</b> .....                                    | 7  |
| 1.1. CONTEXTE .....  | 7  |
| 1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....  | 7  |
| 1.3. DÉFINITION DE LA PROBLÉMATIQUE .....                                  | 8  |
| 1.3.1. Une composante spatiale .....                                       | 8  |
| 1.3.2. La définition des phénomènes naturels pris en compte. ....          | 8  |
| 1.3.3. Une composante temporelle.....                                      | 10 |
| 1.3.4. La notion d'intensité.....  | 10 |
| <b>2. Contexte de la zone</b> .....  | 11 |
| 2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE .....   | 11 |
| 2.2. SYNTHÈSE DES DONNÉES LIÉES AUX ALÉAS .....                            | 11 |
| 2.2.1. Données Cavités .....   | 12 |
| 2.2.2. Données MVT.....  | 12 |
| 2.3. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA MOUVEMENTS DE<br>TERRAIN ..... | 14 |
| 2.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIÉ À LA PRÉSENCE DE CAVITÉS.....              | 14 |
| 2.4.1. Méthodologie adoptée .....  | 15 |
| 2.4.2. Détails de la méthode .....   | 16 |
| 2.4.3. Synthèse du raisonnement.....                                       | 18 |
| 2.5. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIÉ AUX MOUVEMENTS DE MASSE. ....              | 21 |
| <b>3. Conclusion</b> .....   | 25 |
| <b>4. Références</b> .....   | 27 |
| 4.1. RAPPORTS BRGM .....   | 27 |
| 4.2. GUIDE MÉTHODOLOGIQUE.....   | 27 |
| 4.3. BASE DE DONNÉES.....  | 27 |
| 4.4. NOTICE DES CARTES GÉOLOGIQUES.....                                    | 27 |
| 4.5. CONTACTS .....  | 28 |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 - Localisation de la zone PICOREF .....                  | 8  |
| Figure 2 - Méthodologie générale d'évaluation d'aléa.....         | 14 |
| Figure 3 - Délimitation des régions d'influence des cavités ..... | 19 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 - Inventaire des cavités .....              | 13 |
| Tableau 2 - Inventaire des mouvements de terrain..... | 13 |

## Liste des annexes

|   |    |
|---|----|
| Annexe 1 - Carte synthèse : Contexte du secteur PICOREF .....                   | 29 |
| Annexe 2 - Carte de susceptibilité de présence des cavités.....                 | 33 |
| Annexe 3 - Carte indicative des zones sensibles aux mouvements de terrain ..... | 37 |



# 1. Présentation de l'étude

## 1.1. CONTEXTE

PICOREF est un projet de deux ans destiné à préparer des projets industriels d'injection de CO<sub>2</sub> dans le sous-sol français. Il a deux missions principales : (1) La caractérisation de sites français, adaptés au piégeage du CO<sub>2</sub> ; (2) La mise au point d'une méthodologie pour étudier et surveiller un site de stockage, et pour préparer un dossier de recevabilité.

Sur les deux missions définies ci-dessus, le programme de PICOREF 2005 et les résultats attendus sont les suivants :

- (1) **Caractérisation de sites sur le sol français** : (a) Achèvement du choix d'un site en gisement exploité, et dossier de faisabilité pour un projet d'injection de CO<sub>2</sub> dans ce site ; (b) Synthèse géologique (s.l.) régionale sur les aquifères du Dogger et du Trias du bassin de Paris, autour de sources préférentielles d'émission de CO<sub>2</sub>, critères de choix pour des sites d'injection, choix de sites potentiels, et rédaction d'un dossier de principe.
- (2) **Méthodologie pour étudier et surveiller un site de stockage**, et pour préparer un **dossier de recevabilité**. On vise à mettre au point une chaîne opérationnelle d'études et de simulations, destinée à être appliquée à chaque type de stockage envisagé, avec en 2005 l'exemple démonstratif d'un champ du bassin de Paris (« Champ X »). Trois problématiques sont poursuivies : (a) Injectivité du CO<sub>2</sub> ; (b) Evolution du site à long terme et confinement ; (c) Moyens de surveillance.

Le présent rapport présente l'état des travaux réalisés par le BRGM, concernant l'analyse des risques naturels et plus particulièrement celle des mouvements de terrain.

## 1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Sur la base des critères géologiques ayant permis de sélectionner un secteur restreint favorable à l'implantation d'un site pilote d'injection du CO<sub>2</sub> dans des aquifères profonds du Bassin parisien (fig. 1), une analyse des paramètres environnementaux susceptibles de contraindre le choix du futur site pilote est réalisée.

Dans ce cadre, une étude spécifique liée aux aléas mouvements de terrain sur le secteur concerné est réalisée afin d'identifier les aléas de type mouvements de terrain susceptibles d'être discriminants pour l'activité industrielle spécifique d'injection et stockage pérenne de CO<sub>2</sub>, de les hiérarchiser et enfin de les cartographier.

### 1.3. DÉFINITION DE LA PROBLÉMATIQUE

La notion d'aléa peut être définie de la façon suivante : l'aléa correspond à la probabilité d'occurrence qu'un phénomène donné se produise sur un site donné au cours d'une période de référence donnée, en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. Cette définition implique donc la prise en compte des éléments suivants :

#### 1.3.1. Une composante spatiale

Un aléa donné s'exerce sur une zone donnée qu'il s'agit de bien identifier.

Celle-ci, dénommée zone PICOREF dans la suite, se situe au sud de Paris, à l'intersection de quatre départements : la Seine-et-Marne (77), l'Yonne (89), l'Aube (10) et la Marne (51). Sa superficie totale est de 4 394 km<sup>2</sup>.

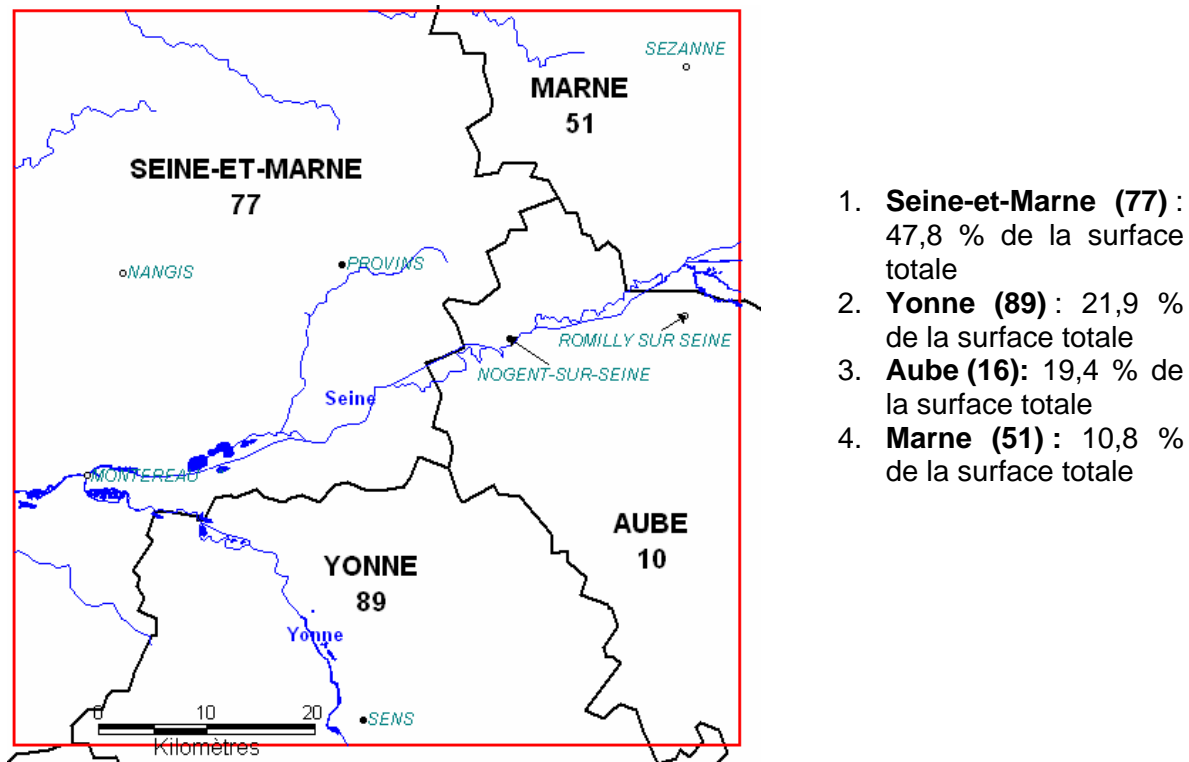


Figure 1 - Localisation de la zone PICOREF.

#### 1.3.2. La définition des phénomènes naturels pris en compte.

Ce sont ici, les phénomènes de type « mouvements de terrain » qui sont étudiés. Ce terme englobe de manière générique plusieurs phénomènes engendrant des désordres en surface de nature différente.

- Désordres liés aux tassements différentiels résultant du couplage retrait-gonflement des sols de nature argileuse lors d'une sécheresse prononcée et/ou durable (retrait) et au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydrogéologiques initiales (gonflement).
- Désordres liés à la présence d'un vide souterrain. Ils sont de deux natures : les affaissements et les effondrements, les premiers étant souvent annonciateurs des seconds. Les affaissements correspondent à des dépressions topographiques en forme de cuvette à grand rayon de courbure dues aux fléchissements lents et progressifs des terrains de couverture. Les effondrements correspondent à des mouvements gravitaires brutaux à composante essentiellement verticale.
- Désordres liés à des éboulements, des glissements, des coulées, à l'érosion des berges liés à des mouvements de masses (notation : MVT).

Au regard de la spécificité de l'étude, il convient d'ores et déjà de réaliser une pré-hiérarchisation des phénomènes cités, car tous n'auront pas le même poids en terme de discrimination de l'activité industrielle injection/stockage de CO<sub>2</sub>.

Ainsi de par la faible amplitude du phénomène « retrait-gonflement des matériaux argileux » (la zone affectée correspond aux premiers mètres de la sub-surface : maximum 5 m) et de sa lenteur, les désordres résultants ne sont discriminants (en termes de dégâts) que pour des bâtis et/ou ouvrages dont les fondations sont superficielles.

Cet aléa est mineur en vue de l'activité envisagée. L'apparition d'un tel phénomène, quelle que soit son intensité (voir définition ci-après), n'affectera pas le bon déroulement de l'activité d'injection et/ou stockage de CO<sub>2</sub>, mais affectera les installations de surface sur le site. À titre indicatif, des règles de construction spécifiques sur sols argileux existent (ex : Mouroux P. *et al*, 1988). Par ailleurs, il est possible de consulter sur le site dédié ([www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)), l'avancement de la cartographie de cet aléa, qui suit une méthodologie particulière orientée vers le bâti individuel. Cette cartographie est finalisée dans le département de l'Yonne, en cours dans les départements de la Seine-et-Marne et programmée d'ici fin 2006, pour les départements de la Marne et de l'Aube.

Par contre, la venue au jour d'un fontis résultant de la présence d'un vide souterrain et/ou d'un mouvement de masse de grande ampleur aura une incidence indéniable sur l'activité, allant depuis une baisse de l'efficacité (en termes de sécurité) du site industriel voire jusqu'à la détérioration complète du site selon l'intensité des phénomènes.

**Seront ainsi considérés comme déterminants pour l'activité injection/stockage de CO<sub>2</sub>, les phénomènes liés à la présence de cavités et les phénomènes liés aux grands mouvements de masse.**

### **1.3.3. Une composante temporelle.**

C'est la récurrence temporelle du phénomène. Pour les phénomènes répétitifs, l'aléa peut être quantifié par la période de retour du phénomène. Cependant, les phénomènes étudiés en général et les mouvements de terrain en particulier, sont des phénomènes non périodiques, difficilement prévisibles dans le temps et il est difficile, dans ce cas, d'appréhender de manière qualitative leur probabilité d'occurrence. C'est donc la prédisposition du site aux phénomènes qui est considérée.

### **1.3.4. La notion d'intensité**

Elle peut être associée à une grandeur physique (dimension, vitesse de déplacement, ...) qui représente l'ampleur des répercussions attendues en cas de déclenchement d'un événement redouté. En général, on prend comme intensité de référence les caractéristiques associées à l'événement de plus grande ampleur qui s'est produit dans la zone considérée.

## 2. Contexte de la zone

### 2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le secteur PICOREF se localise essentiellement sur le plateau de la Brie, entaillé par la Seine. Les formations géologiques affleurantes (près d'une soixantaine) appartiennent principalement aux séries sédimentaires d'âge fini Crétacé et Cénozoïque du bassin de Paris. La succession lithologiques s'étend de la formation de la Craie campanienne (affleurante principalement dans le sud du secteur PICOREF) pour la plus ancienne, aux formations quaternaires (alluvions, colluvions, limons des plateaux), pour les plus récentes.

Les formations tertiaires affleurantes dans le secteur PICOREF regroupent toutes les formations depuis l'Argile plastique (dépôt fluviatile détritique fin de l'Yprésien) jusqu'à l'Oligocène (Stampien) avec notamment le calcaire de Brie (au nord de la Seine) et d'Etampes (au sud de la Seine). La partie moyenne de la série tertiaire comprend en grande partie les formations argilo-marneuses et calcaires de l'Eocène avec notamment le Calcaire de Champigny.

Les cartes géologiques vectorisées et harmonisées ont été récupérées pour les départements de la Seine-et-Marne (77) et de l'Yonne (89). Les références de ces cartes sont données à la fin du rapport.

### 2.2. SYNTHÈSE DES DONNÉES LIÉES AUX ALÉAS

L'étude et la cartographie des aléas mouvements de terrain passent par une phase préliminaire essentielle de récolte de données.

Outre les données relatives aux formations géologiques présentes dans le secteur PICOREF, il est important de réaliser un inventaire le plus exhaustif possible des désordres recensés.

À ce titre, les bases de données nationales BDCavités et BDmvt ont été consultées. Aussi, dans la perspective de faire l'inventaire des études d'aléas existantes mais également, le cas échéant, de compléter les données des bases de données précitées, des recherches ont été effectuées auprès des différents Services Géologiques Régionaux (SGR) concernés par la zone. Un certain nombre d'études citées en référence ont été recensées et consultées selon leur disponibilité.

Il convient cependant de garder à l'esprit que l'absence d'étude départementale d'un aléa, ne signifie pas que l'aléa en question ne soit pas présent. Une des raisons pour lesquelles ce type d'étude n'a pas été réalisé est que l'aléa a été jugé de priorité faible par rapport à un autre aléa, ou simplement pas représentatif d'une zone, sur la base de critères d'enjeux et de vulnérabilité (seconde étape de l'évaluation du risque).

### 2.2.1. Données Cavités

Peu ou pas de données concernant des désordres liés à des mines abandonnées sont recensées dans le secteur PICOREF. On ne considèrera dans la suite que les cavités souterraines hors mines.

Aucune cartographie d'aléa lié aux cavités souterraines n'est encore réalisée dans les quatre départements concernés. Les inventaires, quant à eux, ne sont pas tous au même niveau de réalisation pour tous les départements concernés :

- dans la Seine-et-Marne, l'inventaire provisoire des cavités a été réalisé et a été récupéré ;
- dans l'Aube et la Marne, aucun inventaire départemental n'existe. En revanche, la base nationale BDCavités recense quelques cavités ;
- dans l'Yonne, il n'y a pas de cavités recensées dans la base de données. Cependant, le Service Géologique Régional concerné indique qu'il existe tout de même quelques désordres très localisés liés à la présence de cavité.

Le nombre total de cavités recensées sur l'ensemble de la zone est de 183 cavités (tabl. 1), dont plus de 55 % de carrières et moins de 40 % de cavités naturelles.

### 2.2.2. Données MVT

L'inventaire départemental des mouvements de terrain dans la Marne (51) a été réalisé et a été récupéré grâce à la base nationale BDmvt. Les informations concernant les trois autres départements, récoltées auprès des Services Géologiques Régionaux (SGR) et de la DDE signalent quelques désordres très localisés.

Au total 14 mouvements de terrain sont recensés (tabl. 2) dans le secteur PICOREF.

### ***Synthèse des données recueillies***

À titre de synthèse, la carte présentée en **annexe 1** regroupe les différentes informations concernant le contexte géologique des cavités et des mouvements de masses.

| CAVITES  | Seine et Marne   | Aube  | Marne                      | Yonne                      |
|--|--|---|----------------------------|----------------------------|
| <b>Nombre</b>  | 151 cavités  | 32 cavités  | Pas de données disponibles | Pas de données disponibles |
| <b>Source</b>  | Inventaire départemental   | Inventaire départemental  | Inventaire départemental   | Inventaire départemental   |
|  | BD CAV   | BD CAV  | BD CAV                     | BD CAV                     |
|  | SGR  | SGR   | SGR                        | SGR                        |
| <b>Géométrie (profondeur, surface)<br/>Nature encaissant</b> | Peu de données disponibles                                       | Peu de données disponibles  | NON                        | NON                        |
| <b>Typologie</b>   | OUI  | OUI   | NON                        | NON                        |
|  | 90 carrières   | 12 carrières  | NON                        | NON                        |
|  | 55 cavités naturelles<br>6 cavités autres (ouvrage civils, cave) | 5 cavités naturelles<br>15 cavités autres (ouvrages civils, cave) | NON                        | NON                        |

Notation : OUI signifie DISPONIBLE ; NON signifie NON disponible

Tableau 1 - Inventaire des cavités.

| MVT  | Seine et Marne           | Aube                     | Marne   | Yonne                    |
|--|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| <b>Nombre</b>  | NON                      | NON                      | 14 mouvements   | NON                      |
| <b>Source</b>  | Inventaire départemental | Inventaire départemental | Inventaire départemental  | Inventaire départemental |
|  | BD MVT                   | BD CAV                   | BD CAV  | BD CAV                   |
|  | SGR                      | SGR                      | SGR   | SGR                      |
| <b>Géométrie (pente, extension)<br/>Nature formation</b> | NON                      | NON                      | OUI   | NON                      |
| <b>Typologie</b>   | NON                      | NON                      | OUI   | NON                      |
|  | NON                      | NON                      | 2 coulées<br>4 effondrements<br>4 érosions de berges<br>4 glissements | NON                      |

Tableau 2 - Inventaire des mouvements de terrain.

## 2.3. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

La méthode générale d'évaluation d'un aléa est présentée en figure 2. Elle se base sur une étude de l'existant pour en déduire des critères objectifs quantifiables ou qualifiables de l'aléa.

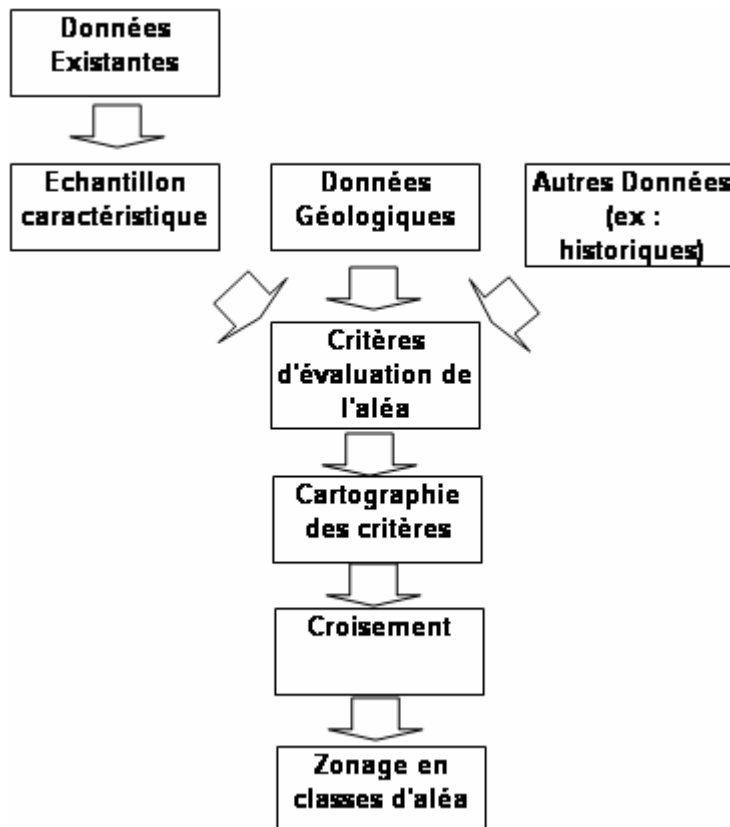


Figure 2 - Méthodologie générale d'évaluation de l'aléa.

## 2.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIÉ À LA PRÉSENCE DE CAVITÉS

De façon générale, l'évaluation de l'aléa « cavités » découle du croisement entre la susceptibilité de présence de la cavité et la susceptibilité aux désordres (affaissement, fontis, effondrement généralisé...).

Au total, seulement 7 effondrements sont recensés dans la zone (concentrés dans le nord du plateau briard). Vouloir dériver des critères de qualification de l'aléa de cette faible quantité d'informations sur une zone aussi étendue que celle de PICOREF biaiserait les résultats du zonage, l'échantillon étant non représentatif. Il est donc convenu de proposer une cartographie de susceptibilité de présence de cavités qualifiée en différents degrés.



À ce titre, on adoptera un raisonnement par hiérarchisation relative des zones. Une zone sera classée en susceptibilité forte lorsque la probabilité d'occurrence du phénomène étudié sera plus élevée que dans les zones voisines.

#### 2.4.1. Méthodologie adoptée

##### **a) Étape préliminaire**

L'inventaire départemental des départements de l'Yonne (89) et de la Marne (51) n'étant pas réalisé à ce jour et comme la BD cavités du 51 et du 89 ne donne que peu de recensements de cavités, il convient de discriminer la zone en fonction de la quantité de données récupérées et de traiter, dans un premier temps, ces zones à part.

##### **b) Étape 1 : définition des zones d'influence des cavités**

Au regard de l'étendue de la zone, la première étape est la délimitation de la zone PICOREF en unités spatiales d'influence des cavités, en partant du constat que les cavités se localisent préférentiellement dans certaines zones. On raisonnera donc sur la notion de concentration spatiale des cavités selon les critères dérivant de l'étude statistique ; les données fiables sur lesquelles un traitement statistique peut être fait étant :

- la localisation des cavités (critères historico-géographiques) ;
- la nature de l'encaissant (critère géologique) ;
- leur typologie.

##### **c) Étape 2 : hiérarchisation des régions d'influence**

À chaque région est affecté un poids. Ce poids traduit le pourcentage des cavités connues rapporté au pourcentage de l'aire de la région d'influence. L'outil utilisé est la fonction densité, que l'on définit comme suit :

$$\text{poids} = \left( \frac{n}{N} \right) / \left( \frac{a}{A} \right)$$

Avec :

- n le nombre de cavités dans la région d'influence ;
- N le nombre total de cavités connues ;
- a l'aire de la région d'influence ;
- A l'aire totale de la zone, où les données sur les cavités sont considérées comme exhaustives (Seine-et-Marne et Aube).

Se basant sur ce poids, les zones peuvent être hiérarchisées en classes relatives de susceptibilité de présence.

### **d) Étape 3 : extension à toute la zone**

En raisonnant par analogie géologique, la cartographie de la susceptibilité de présence de cavité est étendue au reste de la zone. Pour différencier cette cartographie basée sur un raisonnement par analogie à celle des cavités existantes dans la zone, un figuré « hachuré » est employé.

## **2.4.2. Détails de la méthode**

### **a) Étape 1 : définition des zones d'influence des cavités**

#### *Délimitation préliminaire*

Le secteur PICOREF recouvre pour partie les départements de la Seine-et-Marne (77) et de l'Aube (10), comme indiqué ci-dessus.

En remarquant que plus de 75 % des cavités se répartissent dans la zone du plateau briard au nord de la Seine (et donc que moins de 25 % des cavités se répartissent au sud de la Seine) dans les formations principalement crayeuses, on distingue donc les sous-ensembles suivants :

- i. Formations géologiques du plateau briard au nord de la Seine.*
- ii. Formations principalement crayeuses au sud de la Seine.*

#### *i. Sous-ensemble : plateau briard*

Dans ce sous-ensemble, trois régions d'influence peuvent être distinguées en se référant aux critères suivants :

- **critère géologique n° 1** : les formations exploitées sont principalement celles d'argile plastique, qui affleure sur les versants méridionaux du plateau briard, le long de la Seine ;
- **critère historico-géographique** : pour des raisons logistiques (transport des matériaux excavés), les carrières ont tiré parti du réseau hydrographique, à savoir la Seine ;
- **critère géologique n° 2** : les cavités naturelles (au nombre de 55) sont principalement situées dans la formation du calcaire de Champigny sous la forme de pertes de rivières et de gouffres voire de fissures, qui occupent des surfaces de dimensions comprises entre 10 et 50 m<sup>2</sup>, et principalement situées au contact des Argiles Vertes ;
- **critère régional** : l'exploitation en souterrain de matériaux à l'intérieur du plateau briard est moins importante que celle sur les bords du plateau et résulte essentiellement d'un besoin local au niveau des villages. Ces carrières (au total, à peine 2 carrières recensées) se localisent principalement dans les argiles plastiques, dans la meulière de Brie et le calcaire de Champigny.

On distingue alors trois régions d'influence :

- la région d'influence le long de la formation d'argile plastique. Son extension est déterminée de telle manière qu'elle regroupe plus de 90 % des carrières (critère historico-géographique) ;
- la région d'influence à proximité de la formation « argile verte ». Son extension est déterminée de telle manière qu'elle regroupe plus de 90 % des cavités naturelles (critère géologique) ;
- le reste de la zone correspondant à l'intérieur du plateau moins la « zone d'influence » de l'argile verte et regroupe moins de 10 % des cavités connues dans le sous-ensemble i.

*ii. Sous-ensemble : formations crayeuses du sud de la Seine*

Les formations sont principalement crayeuses et distinguées sur les cartes géologiques selon la microfaune : pour plus de simplicité, on regroupera ces formations sous l'appellation générique « Craie ».

On recherche des critères objectifs pour distinguer des zones dans ce sous-ensemble.

**• Étude de la géologie**

La géologie est diverse, mais l'épaisseur de la couverture tertiaire et quaternaire est relativement faible (en moyenne <5 m). Le substratum crayeux « sensible à la présence de cavités » est donc proche de la surface. Une hiérarchisation de la zone en fonction de la profondeur à une échelle de 1/250 000 n'est pas envisagée. Une telle étude pourra être mise en œuvre lorsqu'une zone plus précise d'implantation du stockage sera définie.

**• Étude par typologie de cavités**

*Répartition des carrières*

Les cavités recensées dans ce sous-ensemble sont principalement des carrières (nombre total : 22). Le descriptif des cartes géologiques consultées indique que la craie a été activement exploitée sous forme de puits au niveau des plateaux pour des besoins locaux en amendement, voire simplement pour l'empierrement et moellons. Ces exploitations sont principalement artisanales et se localisent à proximité des villages, mais ne sont pas toujours bien connues, souvent ouvertes et remblayées au gré des besoins. Un critère de zone d'influence spatiale, comme celui introduit pour les carrières d'argile plastique du plateau briard, ne peut donc pas être employé à ce niveau.

### Répartition des cavités naturelles

Le nombre de cavités naturelles connues est faible, à savoir 2. La discussion avec le géologue régional de la Bourgogne et la consultation des cartes géologiques indiquent que la Craie présente de nombreux gouffres, bétoires, mardelles et poches karstiques remplies de matériaux argilo-sableux, mais ceux-ci sont difficilement dénombrables de façon exhaustive. Les effondrements liés à ces deux types de cavités intéressent souvent des surfaces de l'ordre de 10 à 100 m<sup>2</sup>. Ce recensement ne traduit que très approximativement le caractère karstique des plateaux de craie.

### Répartition des ouvrages civils

La typologie est très diverse (glacière abandonnée, galerie souterraine, aqueducs, souterrain à proximité des églises ...). On peut simplement remarquer que ces ouvrages civils se répartissent essentiellement dans l'Aube (10).

#### • Synthèse

La répartition des cavités dans ce sous-ensemble reste fortement liée à des conditions locales (exploitation des matériaux en souterrains pour des besoins locaux, présence de gouffres de faible extension, présence d'ouvrages civils de typologies diverses).

Aucun critère objectif n'est proposé pour découper le sous-ensemble en régions d'influence. On distinguera simplement les zones crayeuses des zones avec une épaisseur relativement épaisse d'alluvions et/ou de colluvions.

### 2.4.3. Synthèse du raisonnement

| <b>Zone PICOREF</b>   |  |                            |   |  |
|---|--|----------------------------|---|--|
| <b>Zone avec des données exhaustives sur la présence de cavités</b> |  |                            |   |  |
| <b>Sous ensemble i :</b>  |  |                            | <b>Sous ensemble ii :</b>                       |  |
| Nord de la Seine / plateau briard                                   |  |                            | Sud de la Seine / substratum crayeux            |  |
| <b>Critère de concentration des cavités connues</b>                 |  |                            |   |  |
| 75 % des cavités connues  |  |                            | 25 % cavités connues                            |  |
| <b>Critère historico – géographique et géologique</b>               |  |                            | <b>Critère géologique</b>                       |  |
| <b>Région d'influence « Argile plastique »</b>                      | <b>Région d'influence « Argile verte »</b> | <b>Reste du plateau</b>    | <b>Zone de Substratum crayeux peu profond</b>   | <b>Couverture relativement épaisse d'alluvions et/ou de colluvions</b> |
| > 90 % des carrières  | > 90 % des cavités naturelles              | < 10 % des cavités connues | 100 % des cavités connues dans le sous-ensemble | 0 % des cavités connues  |

La figure 3 ci-après donne la synthèse de la délimitation des régions d'influence.

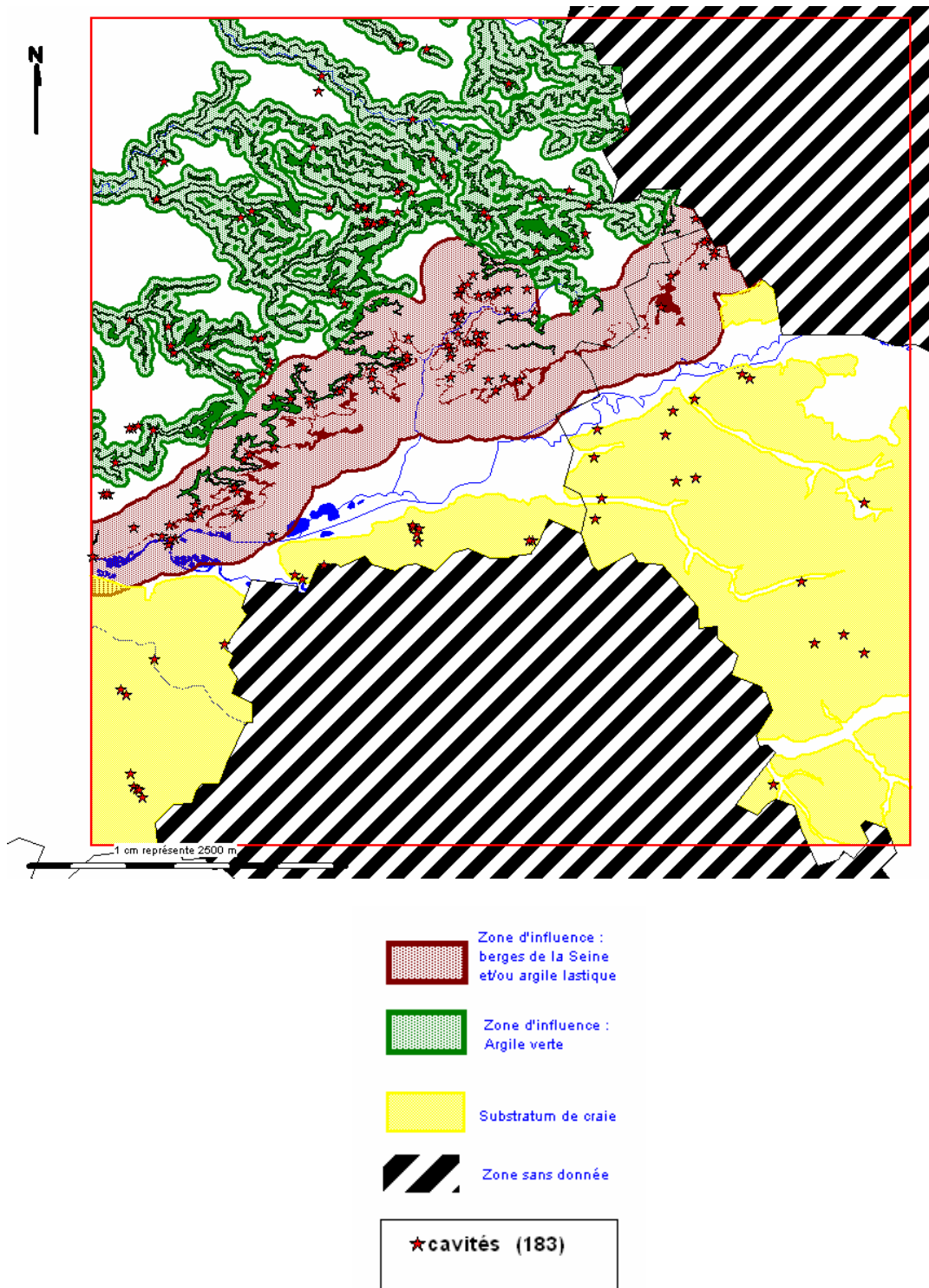


Figure 3 - Délimitation des régions d'influence des cavités.

**b) Étape 2 : hiérarchisation des régions (poids du connu)**

On se base sur l'inventaire effectué. À chaque zone est associé un poids comme défini ci-avant.

**N = 183 cavités**

**A = 2 953 km<sup>2</sup>**

| Régions                   | Région d'influence « Argile plastique » | Région d'influence « Argile verte » | Reste du plateau    | Zone de Substratum crayeux peu profond | Couverture relativement épaisse d'alluvions et/ou de colluvions |
|---------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|--|---|
| <b>Cavités</b>            | 82 cavités                              | 47 cavités                          | 17 cavités          | 39 cavités                             | 0 cavité connue   |
| <b>Superficie</b>         | 593 km <sup>2</sup>                     | 682 km <sup>2</sup>                 | 558 km <sup>2</sup> | 766 km <sup>2</sup>                    | 355   |
| <b>Poids du « connu »</b> | 2,2                                     | 1,06                                | 0,5                 | 0,8                                    | 0   |
| <b>Hiérarchisation</b>    | 1                                       | 2                                   | 4                   | 3                                      | 5   |

Il convient de corriger cette hiérarchisation en se basant sur les arguments géologiques suivants :

- la connaissance régionale du géologue du Service Géologique Régional de Bourgogne et le descriptif des notices des cartes géologiques indiquent que : « la Craie présente de nombreux gouffres, bétoires, mardelles et poches karstiques remplies de matériaux argilo-sableux » ;
- dans le même contexte géologique (formations crayeuses du Crétacé), l'inventaire du Loiret recense 11 cavités naturelles dont deux se sont effondrées.

**Ainsi, il est décidé de placer sur le même plan la région d'influence « argile verte » et la zone de substratum crayeux peu profond.**

Ainsi, la hiérarchisation proposée est la suivante :

|                            |   |                                     |                  |  |   |
|----------------------------|---|-------------------------------------|------------------|--|---|
| Régions                    | Région d'influence « Argile plastique » | Région d'influence « Argile verte » | Reste du plateau | Zone de Substratum crayeux peu profond | Couverture relativement épaisse d'alluvions et/ou de colluvions |
| Susceptibilité de présence | La plus forte                           | Moyenne à Forte                     | Faible à Moyenne | Moyenne à Forte                        | La plus faible  |

La hiérarchisation est représentée sur la carte de synthèse « Susceptibilité de présence » en annexe 2.

**c) Étape 3 : extension de la cartographie aux départements de l'Yonne et de la Marne**

• Département de l'Yonne

Le territoire de l'Yonne, situé dans le secteur PICOREF, est essentiellement constitué de formations crayeuses. On applique le même zonage que celui effectué dans le sous-ensemble ii : Formations crayeuses du sud de la Seine.

• Département de la Marne

Une partie de cette zone est située sur le plateau briard et l'autre partie se situe sur les formations crayeuses du Crétacé : on applique donc le même zonage que celui identifié ci-dessus et on classe chaque zone dans la même classe de susceptibilité que celle identifiée en étape n° 3.

## 2.5. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIÉ AUX MOUVEMENTS DE MASSE

L'aléa « mouvements de masse » résulte du croisement entre les paramètres de pentes et les paramètres de géologie. Pour chaque type de mouvement de masse, les étapes de l'évaluation consistent :

1. à cartographier les pentes à partir du MNT de la zone ;
2. à caractériser les mouvements connus en fonction de la pente et de la nature géologique ;
3. sur cette base, à caractériser des classes de faciès et des classes de pente en degrés de susceptibilité ;
4. à croiser les classes de susceptibilités et qualifier la zone en classe d'aléa.

**a) Étape 1 : caractérisation des pentes de la zone PICOREF**

| Classe de pente  | Superficie en km | % secteur | Le maximum des pentes est de 64°. |
|------------------|------------------|-----------|-----------------------------------|
| Inférieure à 5°  | 3887.0           | 88.5      |                                   |
| Entre 5 et 7°    | 339.0            | 7.7       |                                   |
| Entre 7 et 10°   | 131.5            | 3.0       |                                   |
| Entre 10 et 12°  | 27.0             | 0.6       |                                   |
| Supérieure à 12° | 9.0              | 0.2       |                                   |

Cette analyse préliminaire permet d'identifier que la majorité de la zone est caractérisée par une faible pente (< 5°). Seules les vallées qui découpent le plateau crayeux au Sud et les versants du plateau briard sont caractérisées par des pentes faibles à moyennes.

**b) Étape 2 : caractérisation des mouvements recensés**

| N° | TYPE_MVT                 | Tretour   | Formations géologiques       | PENTE (°)      |
|----|--------------------------|-----------|------------------------------|----------------|
| 1  | <i>Glissement</i>        | >100 ans  | <i>Craie</i>                 | < 5            |
| 2  | <i>Glissement</i>        | Mois      | <i>Eboulis</i>               | entre 5 et 7 ° |
| 3  | <i>Glissement</i>        | Inconnue  | <i>Argile plastique</i>      | entre 5 et 7 ° |
| 4  | <i>Glissement</i>        | Décennie  | <i>Argile plastique</i>      | entre 5 et 7 ° |
| 5  | <i>Erosion de berges</i> | Récurrent | <i>Alluvions modernes</i>    | < 5            |
| 6  | <i>Erosion de berges</i> | Récurrent | <i>Alluvions modernes</i>    | < 5            |
| 7  | <i>Erosion de berges</i> | Récurrent | <i>Alluvions modernes</i>    | < 5            |
| 8  | <i>Erosion de berges</i> | Récurrent | <i>Alluvions modernes</i>    | < 5            |
| 9  | <i>Effondrement</i>      | Inconnue  | <i>Calcaire de Champigny</i> | < 5            |
| 10 | <i>Effondrement</i>      | Inconnue  | <i>Argiles vertes</i>        | < 5            |
| 11 | <i>Effondrement</i>      | Trimestre | <i>meulière de Brie</i>      | < 5            |
| 12 | <i>Effondrement</i>      | An        | <i>meulière de Brie</i>      | < 5            |
| 13 | <i>Coulée</i>            | Quinzaine | <i>Calcaires et marnes</i>   | entre 5 et 7 ° |
| 14 | <i>Coulée</i>            | Jour      | <i>Eboulis</i>               | < 5            |

**c) Étape 3 : définition de critères objectifs d'évaluation de l'aléa**

Pour l'ensemble des classes de pente caractérisées à l'étape précédente, seuls 4 mouvements de masses sont recensés dans le secteur PICOREF. Ils se concentrent dans le NE du département de la Marne. On peut donc difficilement dériver des critères de qualification de l'aléa à partir de cette faible quantité d'informations sur un secteur aussi étendu que celui de PICOREF. Une telle extrapolation biaiserait les résultats de zonage, l'échantillon étant non représentatif.

**On se propose donc d'indiquer les zones *a priori* sensibles aux mouvements de masses, mais sans les hiérarchiser en l'absence d'investigations supplémentaires. À ce titre, on donne la carte des pentes du secteur et, à titre indicatif, les témoins d'anciens événements, à savoir les éboulis et les colluvions. La carte en question correspond à l'annexe 3.**



**d) Étape 4 : qualification de la sensibilité de la zone**

Au regard du faible nombre de mouvements de terrain recensés, l'analyse de la carte nous amène à la conclusion suivante : en s'affranchissant des zones de fortes pentes (la classe de pente  $> 10^\circ$  représente moins de 1 % du secteur PICOREF), on ne s'attend pas à des mouvements de terrain de grande ampleur *a priori*, mais l'aléa n'est pas pour autant écarté. En effet, les discussions avec le géologue régional de Seine-et-Marne et le représentant des services centraux de l'Etat du même département, indiquent que de futures études locales au niveau des communes de Nanteuil les Meaux, Quincy-Voisins et Crégy-les-Meaux sont programmées.



### 3. Conclusion

Parmi les aléas du type « Mouvements de Terrain », ont été identifiés comme susceptibles d'être discriminants pour l'activité industrielle spécifique d'injection et stockage pérenne de CO<sub>2</sub>, les phénomènes suivants :

- les phénomènes liés à la présence de cavités ;
- les phénomènes liés aux grands mouvements de masses.

Une étude de la susceptibilité de présence de cavités et une étude de sensibilité aux mouvements de masses ont été menées dans la région PICOREF. Cela a permis de mettre en évidence les zones présentées dans le tableau suivant, qui seront considérées comme les plus discriminantes au regard du risque d'instabilité du sol sur lequel d'éventuels ouvrages de surface pourraient être construits.

| Zone  | Cavités  | Mouvements de masse                 |
|---|--|-------------------------------------|
| <b>Versant méridional du plateau briard</b>   | Susceptibilité de présence la plus forte                       | Classe de pente moyenne             |
|   |  | Présence de colluvions et d'éboulis |
| <b>Plateau crayeux du sud de la Seine</b>   | Susceptibilité de présence moyenne                             | Classe de pente moyenne             |
|   |  | Présence de colluvions              |
| <b>Zone du plateau briard proche des pertes de ruisseaux à proximité des argiles vertes</b> | Susceptibilité de présence moyenne                             | Classe de pente faible (< 5°)       |
|   | 7 effondrements reconnus mettant en jeu des cavités naturelles |                                     |

À la lumière de cette analyse, il apparaît que le niveau d'aléa « Mouvements de Terrain » est **faible à moyen** pour une grande partie de la zone PICOREF, à l'exception de la partie méridionale du plateau briard, dont la susceptibilité de présence de cavités et la sensibilité aux mouvements de masses sont les plus fortes de la zone. Cette partie représente moins de 20 % de la superficie totale de la zone PICOREF.

Il est à souligner que cette conclusion n'est valable qu'à l'échelle de travail (1/250 000) et en l'état des connaissances à la date de l'étude (01/01/06).

Enfin, dès qu'un site candidat pour un pilote d'injection de CO<sub>2</sub> sera identifié plus précisément, il est fortement conseillé d'affiner la méthodologie proposée dans ce rapport par des études plus précises (ex : étude géostatistique du toit de la formation contenant les cavités), voire des investigations de terrain.

## 4. Références

### 4.1. RAPPORTS BRGM

**BRGM/RP-52788-FR** - Rapport final, décembre 2003 : « Inventaire départemental des mouvements de terrain dans le département de la Marne (51) ».

**BRGM/RP-54250-FR** - Rapport provisoire, octobre 2005 : « Inventaire départemental des cavités souterraines (hors mines) de Seine-et-Marne (77) ».

**Mouroux P. et al**, (1988) - « La construction économique sur sols gonflants », Ed. BRGM, Manuels et Méthodes n° 14.

### 4.2. GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

**Guide Méthodologique, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement**, « Plans de prévention des risques naturels (PPR) - risques mouvements de terrain », Ed. La documentation française.

### 4.3. BASE DE DONNÉES

Base de données Cavités [www.bdcavite.net](http://www.bdcavite.net).

Base de données Mouvements de terrain [www.bdmvt.net](http://www.bdmvt.net).

Base de données Retrait-gonflement [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr).

### 4.4. NOTICE DES CARTES GÉOLOGIQUES

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 221 Rozay-En-Brie.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 222 Esternay.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 223 Sézanne.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 259 Nangis.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 260 Provins.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 261 Romilly-S-Seine.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 295 Montereau-Faut-Yonne.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 296 Sergines.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 297 Estissac.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 330 Chéroy.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 331 Sens.

Notice de la carte géologique de la France, 1/50 000, 332 Aix-en-Othe.

#### **4.5. CONTACTS**

**Dessandier D.**, Directeur de SGR Bourgogne et Franche-Comté.

**Donsimoni M.**, Géologue régional, SGR Ile-de-France.

**Marteau P.**, Directeur du SGR Champagne-Ardenne.

**Tonus J.**, Responsable DDE77.

**Vernoux J.F.**, Directeur du SGR Ile-de-France.

## **Annexe 1**

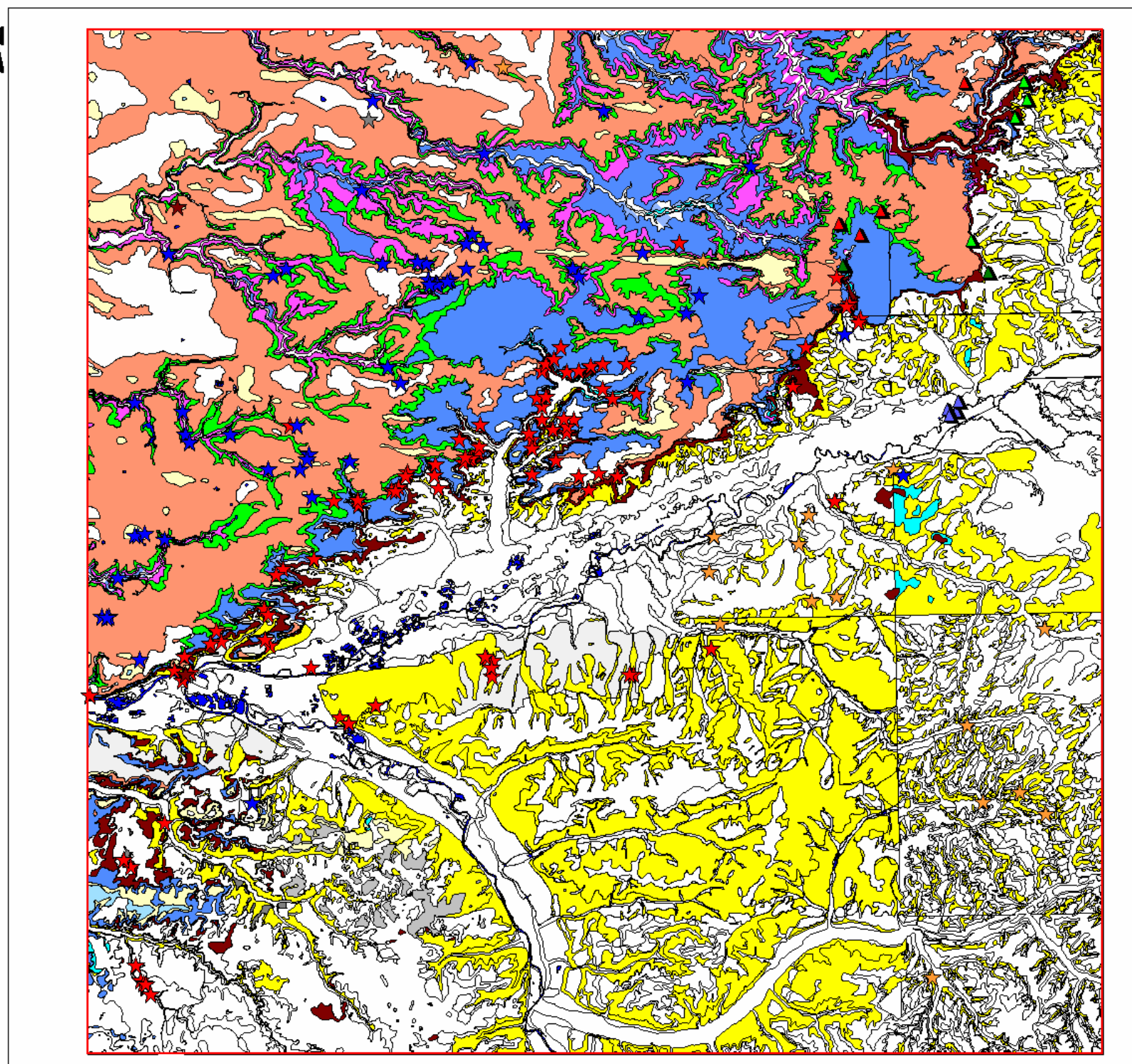
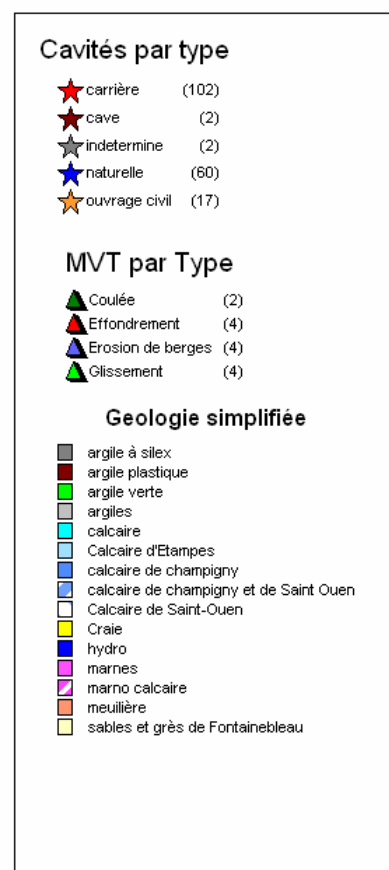
### **Carte de synthèse : contexte du secteur PICOREF**





**CARTE ETAT DES LIEUX :  
Aléa Mouvement de Terrain  
Zone PICOREF**

1 cm = 2500 m





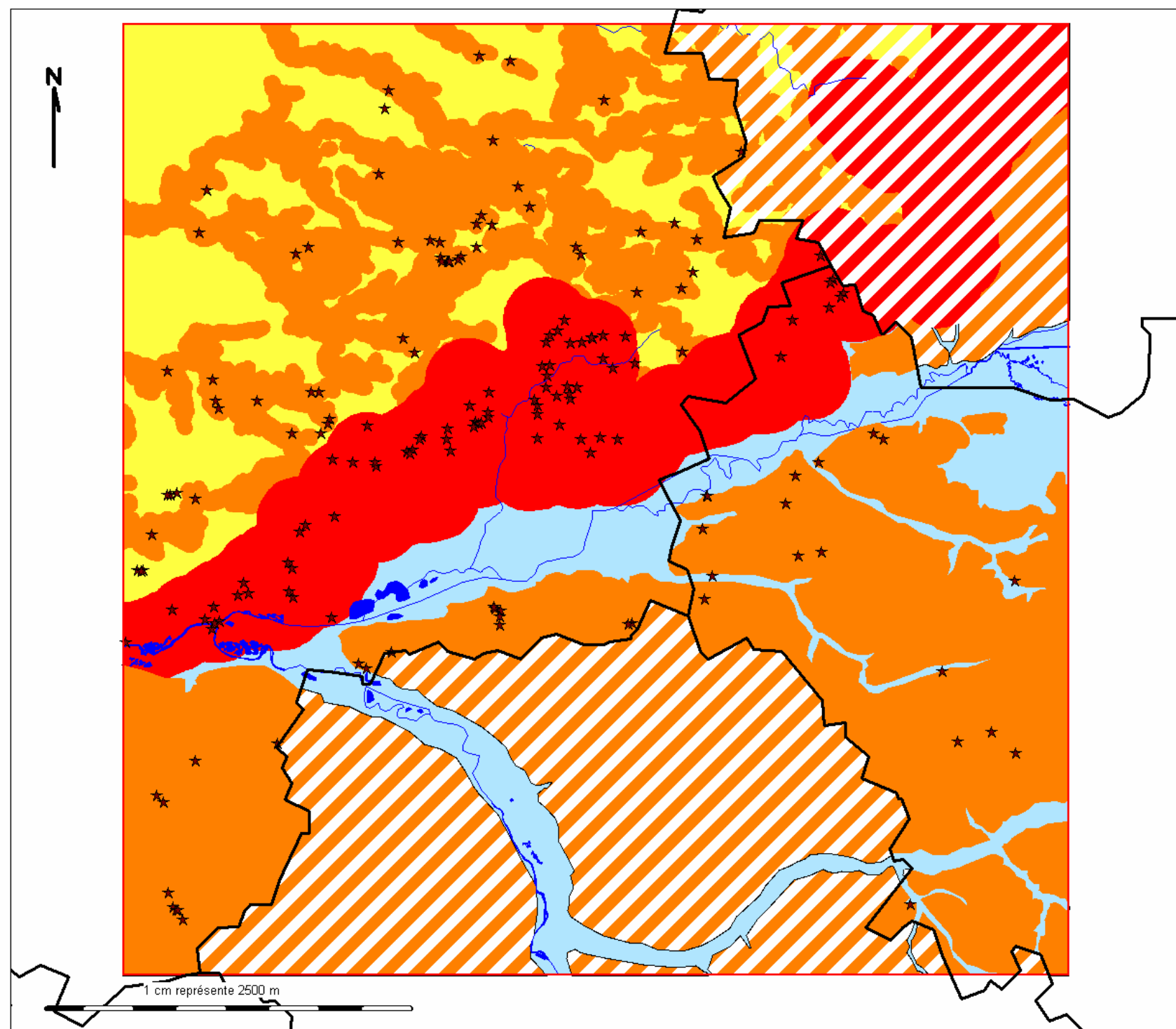
## **Annexe 2**

### **Carte de susceptibilité de présence de cavités**



Susceptibilité de présence de cavités

Susceptibilité de présence





## **Annexe 3**

### **Carte indicative des zones sensibles aux mouvements de terrain**





**Carte indicative  
Zones sensibles  
Mouvements  
de Masses**



**Typologie  
des mouvements de masse**

|  |                   |     |
|--|-------------------|-----|
|  | Coulée            | (2) |
|  | Effondrement      | (4) |
|  | Erosion de berges | (4) |
|  | Glissement        | (4) |

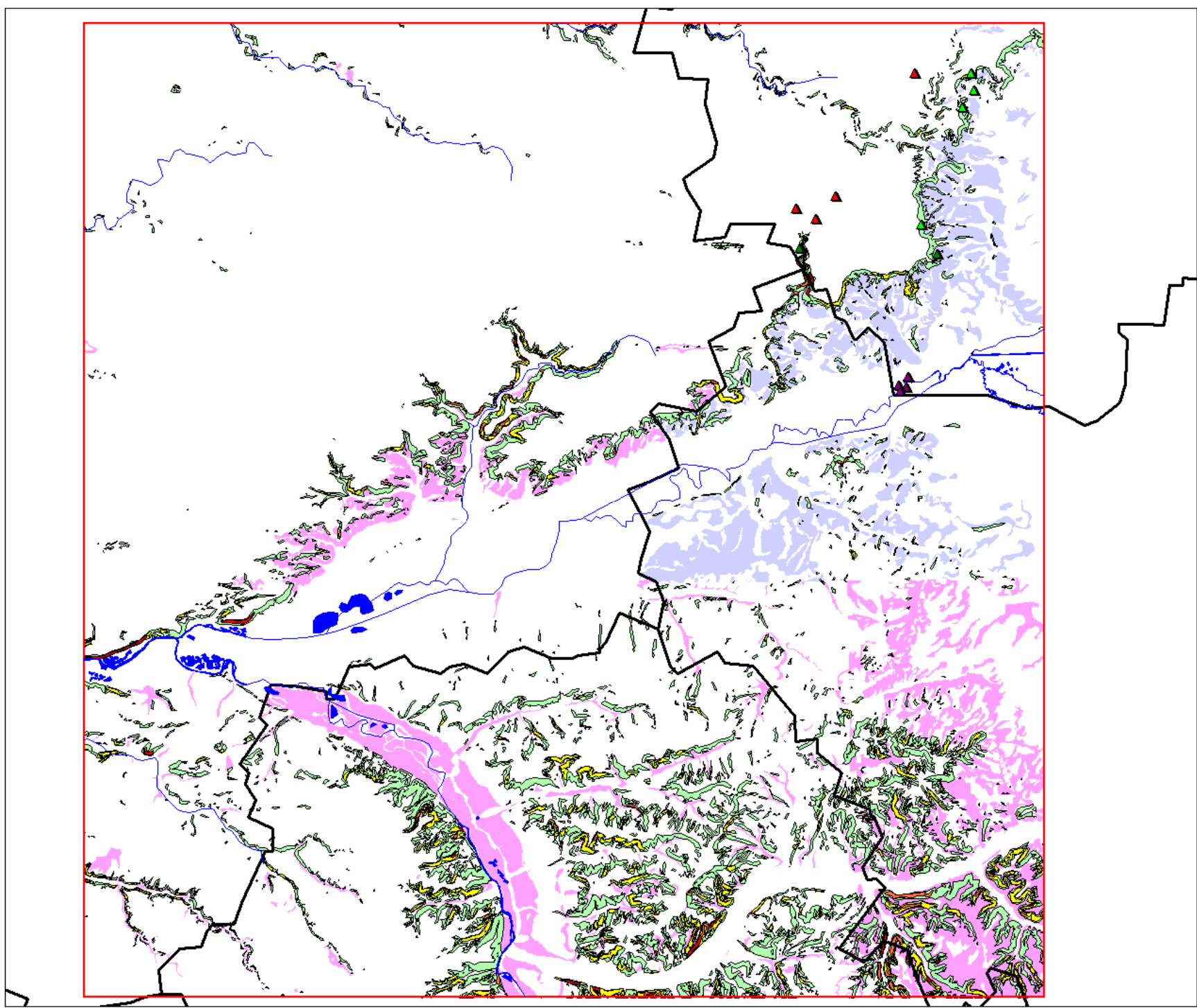
**Classes de pente (°)**

|  |       |
|--|-------|
|  | 5-7   |
|  | 7-10  |
|  | 10-12 |
|  | 12-65 |

**Témoins d'anciens  
événements**

|  |            |
|--|------------|
|  | colluvions |
|  | Eboulis    |

1 cm représente 2500 m





Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique  
Service Aménagement et risques naturels**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34