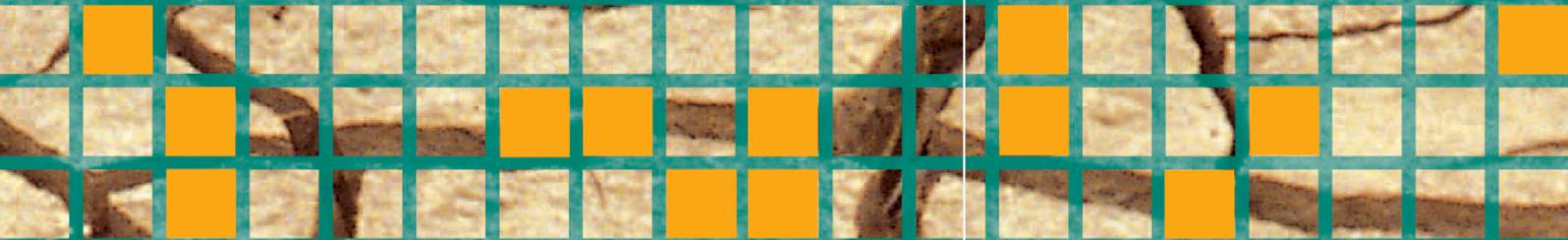
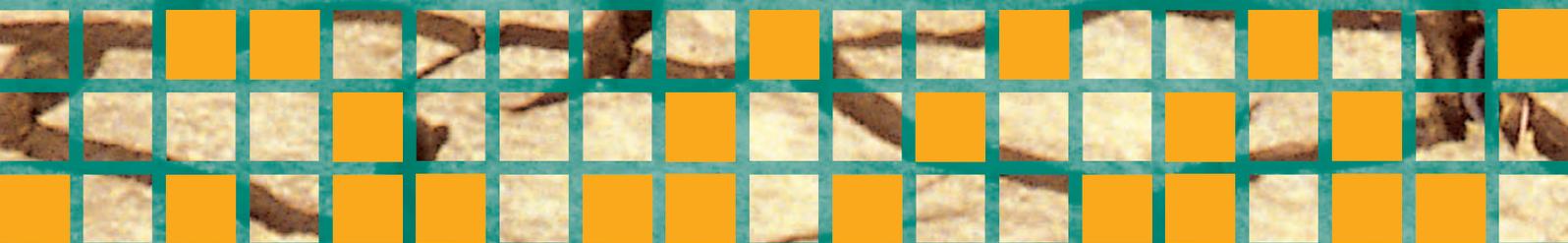


GUY CARPENTER



RISQUE SUBSIDENCE EN FRANCE

ETUDE SUR L'ALÉA
RETRAIT-GONFLEMENT DES
SOLS ARGILEUX



GUY CARPENTER

Guy Carpenter & Company, S.A.S.
47-53 rue Raspail
92594 Levallois-Perret Cedex
France

Tèl : 33 (0)1 56 76 48 08
Fax : 33 (0)1 41 27 93 03

Contact:
yorik.baunay@guycarp.com

Document réalisé par :
Yorik Baunay

Instrat France est le service d'étude actuarielle et technique du leader mondial du courtage en réassurance, Guy Carpenter and Company, filiale de Marsh Inc.

Disclaimer :

Les données et analyses établies par Guy Carpenter dans ce document, sont fournies en l'état, sans garanties d'aucune sorte, expresses ou induites. Les analyses s'appuient sur des données provenant de Météo-France ; l'exactitude des données n'a pas été contrôlée spécifiquement par Guy Carpenter.

Ni Guy Carpenter ou ses filiales, ni ses responsables, administrateurs, collaborateurs, modélisateurs ou sous-traitants ne peuvent garantir l'exactitude, l'exhaustivité, la validité, la valeur marchande ou l'adéquation à un objectif spécifique de telles données ou analyses. Les données et analyses sont destinées à un usage interne des destinataires. Les destinataires ne sont autorisés à présenter ces données et analyses qu'à leurs réassureurs, leurs auditeurs, les agences de notations et les contrôleurs ; dans tout autre cas l'accord de Guy Carpenter est requis. Le destinataire quand il remet, que ce soit dans leur intégralité ou partiellement, les données ou les analyses à un tiers autorisé, ne fera pas mention de l'origine de celles-ci.

Guy Carpenter n'est en aucun cas civilement responsable des pertes de profits ou de tous autres dommages indirects, particuliers, secondaires ou autres dommages consécutifs d'aucune sorte provenant d'une utilisation quelconque de l'étude.

Introduction

Comme chacun s'en souvient, l'ampleur de la canicule de l'été 2003 a marqué les esprits avant tout par ses conséquences humaines. Mais elle a également réveillé des inquiétudes dans le monde de l'assurance compte tenu des coûts générés par la subsidence dans les années 90. En réalité, le déficit hydrique a commencé en 2002 et plus de 6 600 communes ont d'ailleurs effectué une demande de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles au titre de cet aléa (soit plus de deux fois plus que pour l'épisode 1994-1996), près de 1 241 d'entre elles l'ont obtenue à la date 17/09/2004. De plus environ 600 communes seraient éligibles dans les mois qui viennent. Par comparaison, pour la période 1994-1996 cet état avait été reconnu pour 1 658 communes. De ce fait, il est à craindre que cette nouvelle survenance entraîne un nombre de sinistres au moins équivalent à celui de la période 1994-1996.

En dépit des coûts importants qu'elle a générés pour l'assurance

lors de la dernière décennie (c'est, en termes de coûts, le second péril après les inondations pour le régime des Catastrophes Naturelles depuis son origine), la sinistralité subsidence reste un phénomène mal connu, notamment en ce qui concerne les périodes de retour.

Afin de mieux appréhender ce péril, Guy Carpenter a décidé de mettre à disposition du Marché un outil de modélisation des expositions et d'évaluation des pertes potentielles induites. Ainsi, en collaboration étroite avec Météo-France, Guy Carpenter a réalisé une étude unique sur la récurrence de la sécheresse propice aux sinistres géotechniques à l'échelle du territoire métropolitain.

L'analyse qui suit synthétise les résultats de ces travaux qui constituent pour Guy CARPENTER une première étape dans la mise au point de cet outil permettant de mieux appréhender et quantifier le risque subsidence en France.

PRESENTATION DE L'ETUDE

Le phénomène de dislocation des structures d'un bâtiment à la suite de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, a été observé depuis longtemps.

Ce phénomène de subsidence touche les sols argileux qui subissent des contractions/dilatations du fait d'une évolution de leur teneur en eau.

Parmi les exemples les plus récents, l'année 1976 a été caractérisée par une sécheresse intense mais de courte durée et n'aurait apparemment donné lieu qu'à quelques désordres.

En revanche, à partir de 1987 et surtout de 1989 des sinistres, concernant en tout une trentaine de départements métropolitains, ont été enregistrés tous les ans pendant près de 10 ans avec des pics centrés sur les années 1990-1991 puis 1996-1997.

Compte tenu des coûts qu'ils ont représentés pour l'assurance des Catastrophes Naturelles, des inquiétudes quant à un risque de répétition du phénomène sont apparues dans la profession du fait du déficit hydrique constaté depuis 2002.

L'aléa subsidence en France

Le nombre d'arrêtés constatant, en France métropolitaine, l'état de Catastrophes Naturelles au titre de la subsidence avait atteint 11 253 au 17 septembre 2004 (environ 6 600 communes ont bénéficié d'un arrêté ce qui représente plus de 15% des communes de France métropolitaine).

La cartographie ci-contre des arrêtés au niveau communal montre que l'aléa concerne essentiellement les départements situés dans des bassins sédimentaires.

Ceci confirme le fait que ce phénomène nécessite des conditions bien particulières pour se réaliser :

- **Facteurs prédisposants :** présence de terrains argileux (calcaires argileux, marno-calcaires, dépôts alluvionnaires...) susceptibles de retraits-gonflements, existence de conditions favorisant les variations de volumes du sol par modification de la saturation du sol en eau.
- **Facteurs déclenchants :** alternance de périodes de sécheresse de forte intensité avec des périodes plus humides entraînant des mouvements différentiels des structures bâties.

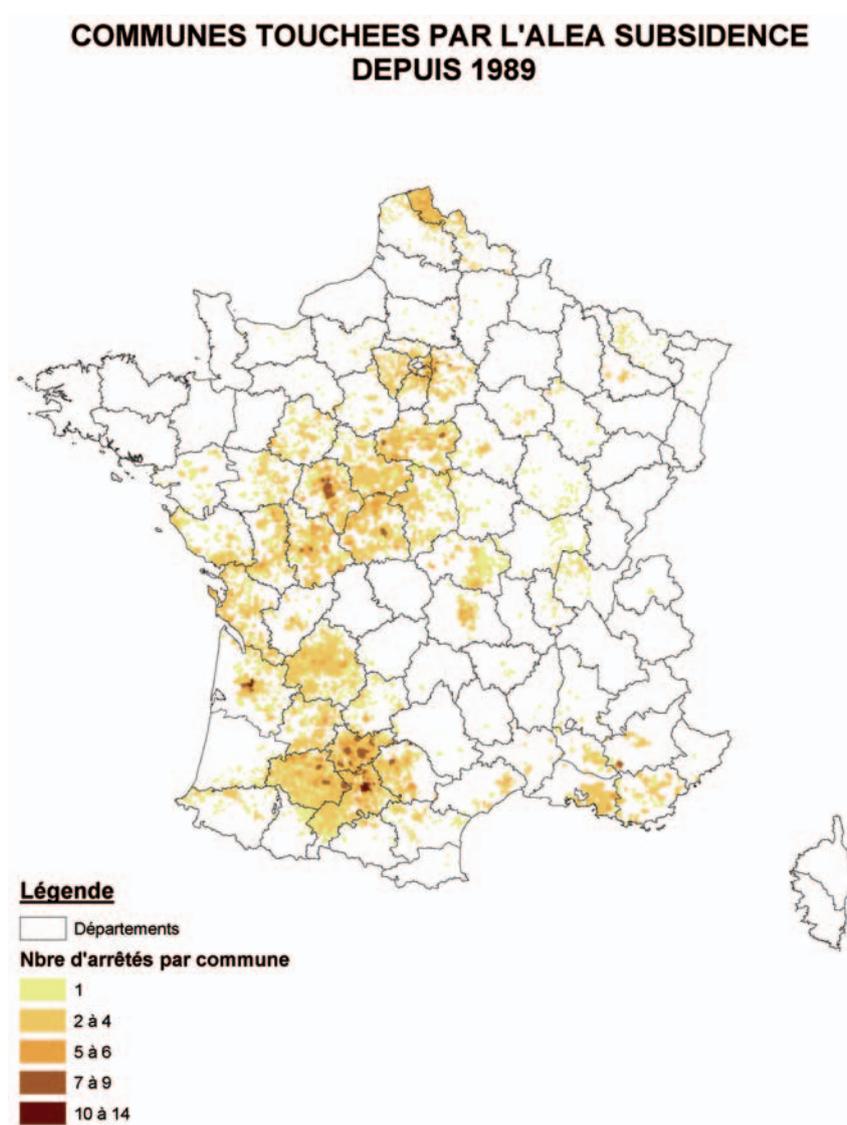


Figure 1 : carte des communes touchées par les mouvements de terrain différentiels liés au retrait-gonflement des argiles gonflantes

On notera que la présence de végétation arborée à proximité d'un bâtiment, des fondations insuffisamment profondes ou encore un mauvais drainage du terrain sont autant de facteurs aggravants dans les zones naturellement exposées à ce type d'aléa.

Les dommages provoqués sont dans leur grande majorité des cas

de fissuration des murs ou des sols. Dans des cas moins nombreux, mais plus coûteux, les mouvements du sol ont même compromis la solidité de la structure d'habitations individuelles, collectives, mais aussi de bâtiments publics (écoles, gymnases...). Dans ces cas, des reconstructions partielles voire totales sont nécessaires.

METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Les critères utilisés

La particularité et la méconnaissance du phénomène ont conduit à une prise en compte assez empirique dans le cadre du régime des catastrophes naturelles. En effet l'effet retard existant entre l'évolution de la teneur en eau des sols et les dommages ne permettent pas de situer les sinistres avec la même datation que pour d'autres périls.

Jusqu'en 1999 les reconnaissances n'étaient d'ailleurs basées sur aucun critère scientifique si bien que pour l'épisode 1989-1991 et, pour une grande part celui de 1994-1996, la quasi-totalité des communes demanderesse ont bénéficié d'un arrêté.

Ainsi, face à l'ampleur et au coût du phénomène, la Commission interministérielle a bloqué durant plus d'un an près d'un millier de demandes d'arrêtés relatifs à des sinistres découverts/constatés entre 1994 et 1996 afin d'établir une méthode scientifique objective d'évaluation du « caractère anormal » relatif à l'intensité de l'aléa.

Mandaté pour effectuer ce travail, Météo-France a proposé plusieurs critères dont :

- Le « critère 2000 sans choc hivernal » : il correspond à 4 trimestres secs consécutifs¹. Ce critère n'a pas été retenu par la commission CATNAT car il a été considéré comme trop peu restrictif. Il a cependant servi de base à l'élaboration du critère suivant.
- Le « critère 2000 avec choc hivernal » : il correspond à un minimum de 4 trimestres secs consécutifs dont présence d'un « choc hydrique² » dans le trimestre de recharge des nappes phréatiques (mois de Janvier à Mars durant lesquels le bilan des apports en eau dans les nappes phréatiques est positif en période normale) : le trimestre de recharge doit contenir une ou plusieurs décades présentant une réserve hydrique inférieure à la moitié de la valeur normale correspondante. C'est ce critère qui a été retenu et utilisé par la Commission de décembre 1999 à mai 2004. Il a conduit à réduire d'environ 50% les avis favorables prononcés.

Mais les années 2002 à 2003 ont vu l'apparition d'un nouveau pic de sécheresse qui s'est traduit par un nombre inégalé de demandes de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles (plus de 6 600 communes vu à fin juin 2004). Les caractéristiques de cette nouvelle vague de sécheresse sont différentes des deux précédentes. En effet, cette vague de sécheresse a conduit à des dommages avérés alors que le critère « 2000 avec choc hivernal » ne rendait pas les communes éligibles, celui-ci s'est donc avéré inadapté. Aussi, les dossiers ont été une nouvelle fois bloqués durant plus d'un an afin d'établir un nouveau critère d'évaluation qui a été mis en œuvre lors de la Commission spéciale de juin 2004. Par rapport aux critères utilisés jusqu'alors, le « critère 2003 » apparaît encore plus restrictif :

- **Le « critère 2003 »** : pour lequel le rapport entre la moyenne des 9 valeurs de réserve hydrique caractérisant chaque décade de la période considérée (en l'occurrence juillet, août et septembre 2003) et la moyenne des 9 valeurs normales

associées de la même période doit être strictement inférieur à 20% ET le nombre de décades de réserve hydrique égale à 0 dans l'année considérée comparé aux années 1989 à 2003 doit être de rang strictement 1 ou 2. Pour déterminer la seconde partie de ce critère on classe chaque année par rapport aux 14 ans qui la précèdent : 2003 est comparé aux années allant de 1989 à 2003, 2002 est comparée aux années allant de 1988 à 2002... etc. Ce critère a été utilisé par la Commission pour qualifier l'épisode de subsidence 2002-2004.

1 Un trimestre, composé de 9 décades, est dit sec si le rapport entre la moyenne des 9 valeurs de réserve hydrique caractérisant chaque décade et la moyenne des 9 valeurs normales associées est inférieur à 1. La valeur normale est la valeur calculée en faisant la moyenne de la réserve hydrique pour chaque décade sur une période de 30 ans.

2 Intensification sensible du déficit hydrique durant le trimestre au cours duquel les réserves d'eau doivent normalement se reconstituer.

Approche méthodologique appliquée

Pour ces travaux, nous avons choisi de nous baser sur les trois critères décrits ci-dessus et ce, afin de permettre des approches modulées dans l'étude des fréquences et des périodes de retour de cet aléa. L'échelle retenue est celle du zonage « Aurore » utilisé par Météo-France qui consiste en un découpage du territoire en 200 zones homogènes pour le paramètre « hauteur de précipitations quotidiennes ». Chaque critère a été étudié sur l'ensemble des 89 stations météorologiques disposant de données en matière de bilan hydrique depuis 1989 au moins.

Dans un premier temps, les durées de retour ont été calculées sur la période maximale pour laquelle ces données étaient disponibles, soit à partir de 1950.

Afin de reconstituer des fréquences sur 100 ans un indice spécial a été élaboré (indice ISSP pour Indice Standardisé de Sécheresse Pluviométrique) et appliqué aux données des stations disposant de longues séries de données en matière de précipitations et températures.

Pour évaluer la fréquence des trimestres secs, le rapport entre le nombre de trimestres secs et le nombre total de trimestres de la période d'étude pour chaque station de référence a été calculé. Pour évaluer la durée de retour des critères de sécheresse utilisés en vue de décréter l'état de catastrophe naturelle (critère 2000 avec choc hivernal et critère 2003), il a été calculé pour chaque station le rapport entre le nombre d'années de la série étudiée et le nombre de périodes dites sèches.

Pour chacun des trois critères cette étude a permis d'obtenir :

- des fréquences par station
- des durées de retour par station
- une cartographie des durées de retour

Par ailleurs, pour chacun des épisodes notables de sécheresse (1989-1991, 1994-1996 et 2002-2004), une cartographie des zones « Aurore » pour lesquelles une sécheresse a été identifiée dans ces périodes a été réalisée.

ETUDE SUR 50 ANS AU TRAVERS DES DIFFERENTS CRITERES

Etude des périodes de sécheresses au travers du « critère 2000 sans choc hivernal »

Sur la base de ce critère qui est, rappelons le, le moins restrictif, nos travaux font apparaître que, pour une grande partie des stations, la durée de retour est inférieure ou égale à 10 ans avec une grande concentration des durées de retour entre 3 ans et 22 ans. La moitié des stations étudiées a une durée de retour supérieure à 6.

Le graphique ci-dessus représente le pourcentage annuel de « postes » (stations météorologiques) touchés par la sécheresse. On retrouve bien les périodes de sécheresse identifiées depuis 1989 (le léger décalage sur le graphique est lié aux caractéristiques du critère qui impose un début de période de sécheresse en janvier). On note aussi de fortes sécheresses débutant en 1953, 1955, 1970 et 1983 durant lesquelles 40% ou plus des stations ont été touchées.

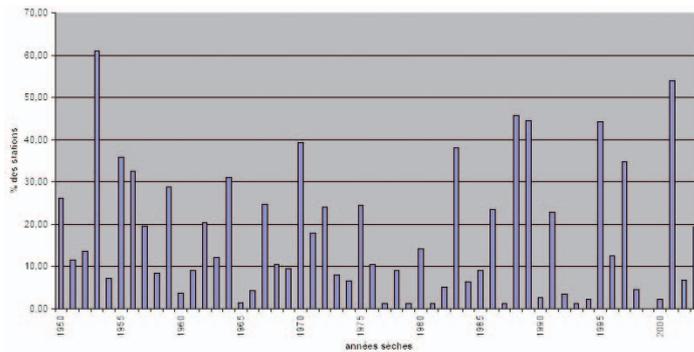


Figure 2 : nombre de stations en période sèche en appliquant le critère 2000 sans choc hivernal

La cartographie ci-après montre que les durées de retour les plus faibles occupent la quasi-totalité du territoire. Seuls le centre de la France, l'extrême Nord et l'extrême sud-ouest du pays ont des durées de retour supérieures.

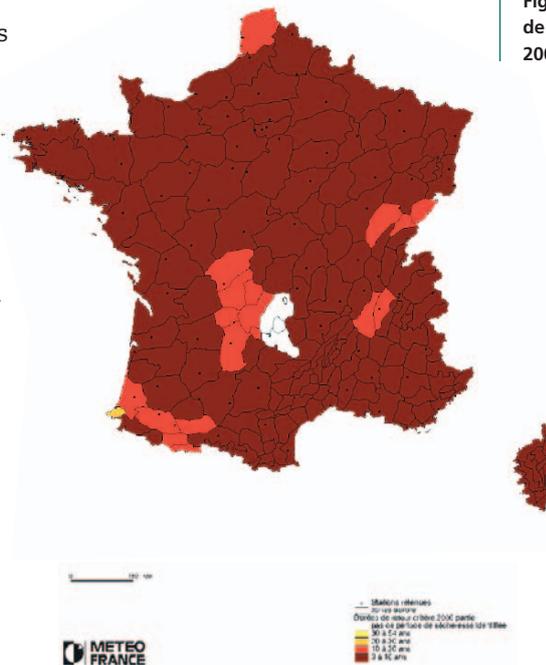


Figure 3 : carte des durées de retour pour le critère 2000 sans choc hivernal

Etude des périodes de sécheresses au travers du « critère 2000 avec choc hivernal »

Pour ce critère un peu plus restrictif que le précédent, la moitié des stations considérées a une durée de retour inférieure à 13 ans (médiane = 13 ans).

Lorsque l'on applique ce critère aux 50 dernières années on observe de fortes sécheresses en 1954, 1971, 1984, 1989-1990 et 2002 durant lesquelles plus de 25% des stations sont touchées.

La cartographie ci-contre montre que les durées de retour les plus faibles se situent sur le pourtour Méditerranéen, l'Alsace et le Centre et les durées les plus fortes à l'ouest et à l'est du pays, certaines stations n'ayant enregistré aucune période de sécheresse identifiée.

Figure 5 : carte des durées de retour pour le critère 2000 avec choc hivernal

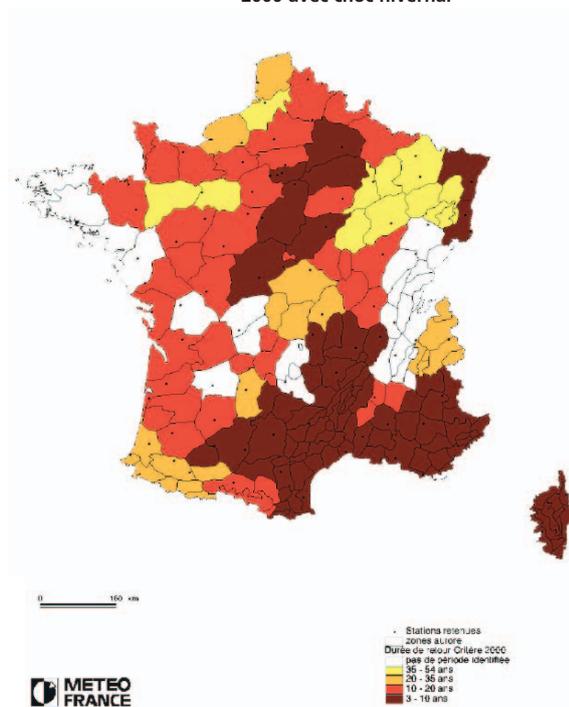
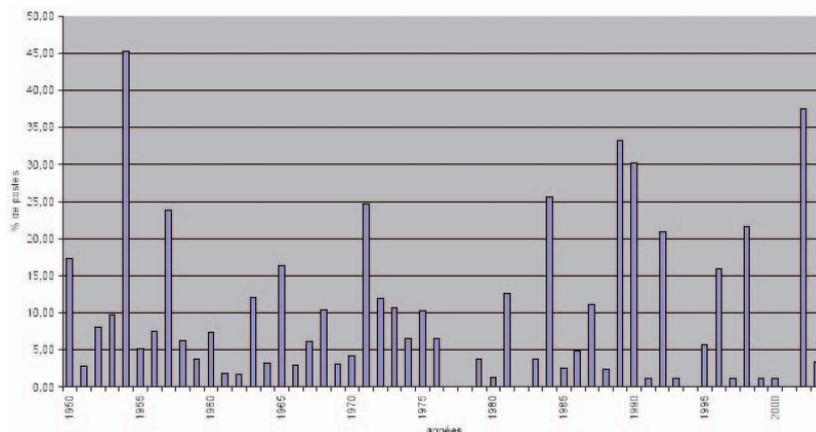


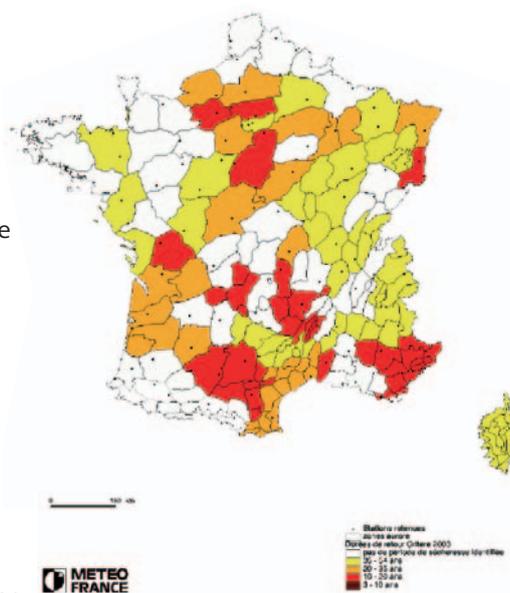
Figure 4 : nombre de stations en période sèche en appliquant le critère 2000 avec choc hivernal



Etude des périodes de sécheresse au travers du « critère 2003 »

Selon ce critère, qui est de loin le plus restrictif des trois, l'étude montre que près de 35% des stations n'a enregistré aucune période de sécheresse et la médiane des périodes de retour est égale à 47 ans.

Appliqué aux 50 dernières années ce critère fait apparaître de fortes périodes de sécheresse en 1990 et en 2003, années durant lesquelles entre 20 et 30% des stations ont été touchées. Les épisodes 1989, 1994-1996 et 2002 sont nettement



moins marquées et les sécheresses de 1971 et 1984 disparaissent quasiment.

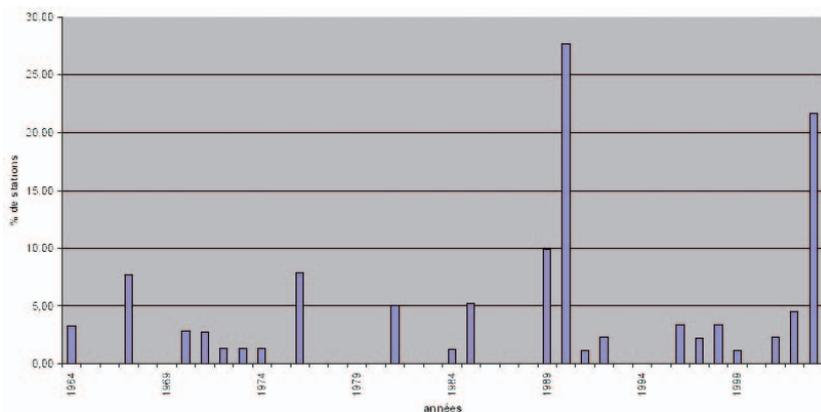


Figure 6 : carte des durées de retour pour le critère 2003

Figure 7 : nombre de stations en période sèche en appliquant le critère 2003

TABLEAU DE COMPARAISON DES CRITÈRES			
	Critère 2000 sans choc	Critère 2000 avec choc	Critère 2003
Médiane des périodes de retour	6 ans	13 ans	47 ans
1er quintile	4 ans et 11 mois	6 ans et 8 mois	18 ans
4ème quintile	8 ans	40 ans	Correspond aux postes sans sécheresse identifiée
Nombre de station sans sécheresse identifiée	1	13	31
Episodes de sécheresse clairement identifiée	2002-2004, 1995-1996, 1989-1991, 1983-1984, 1970-1971, 1953-1955	2002-2004, 1995-1996, 1989-1991, 1983-1984, 1970, 1953-1955	2003, 1995-1996, 1989, 1991, et dans une moindre mesure : 1976 et 1967

ETUDE SUR 100 ANS

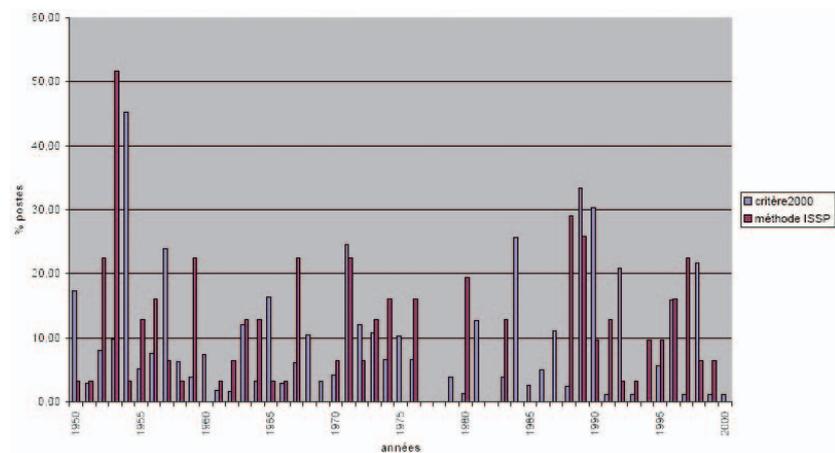
Méthodologie

A l'échelle du siècle, Météo-France dispose de séries homogénéisées conjointement, en matière de précipitations et de températures, pour 31 stations réparties dans 24 départements. Ce sont ces stations qui ont été utilisées dans l'étude.

100 ans et de pouvoir calculer des périodes de retour pour une telle durée.

A cet effet Météo-France a créé un indice d'anomalie indicielle (appelé méthode ISSP pour Indice Standardisé de Sécheresse Pluviométrique) basé sur plusieurs

Figure 8 : comparaison du nombre de stations en période sèche en appliquant le critère 2000 avec choc hivernal et l'indice ISSP



Pour qualifier la sécheresse, outre les données ci-dessus, il est nécessaire de disposer de bilans radiatifs (bilan entre les apports d'énergie issue du rayonnement solaire et les émissions pour un endroit déterminé). Or, ces derniers ne sont disponibles qu'à partir des années 1950. Il a donc été nécessaire d'élaborer une méthode permettant d'estimer le potentiel de sécheresse sur une période de

méthodes statistiques de traitement des données météorologiques et permettant de mettre en lumière des périodes de sécheresse tout en se passant de données relatives au bilan radiatif.

D'une façon générale, cet indice montre davantage de sensibilité que les critères précédents. Néanmoins, il fait apparaître les épisodes les plus marquant des 50

dernières années, de ce fait, on peut en déduire qu'il est bien adapté à l'étude du phénomène pour la période précédente. Cependant, un défaut de l'indice est de montrer une forte inertie dans les domaines océaniques bien marqués (Bordeaux, Rennes).

La méthode a été appliquée sur les stations disposant de longues séries de mesures de précipitations et températures sur une période de mesure identique à celle du calcul du critère 2000 pour ces mêmes stations.

Résultats

Les périodes de sécheresse identifiées se recourent globalement même s'il existe des disparités notamment sur le nombre de postes touchés.

La répartition des périodes de sécheresse au cours des 120 dernières années ne laisse pas apparaître de recrudescence. Les épisodes de sécheresse les plus sévères sont plus fréquents au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle avec des pourcentages de stations sèches atteignant ou dépassant les 40%.

Pour ces années (1893, 1920, 1945 et 1953), c'est donc une zone particulièrement étendue de la France qui a été concernée.

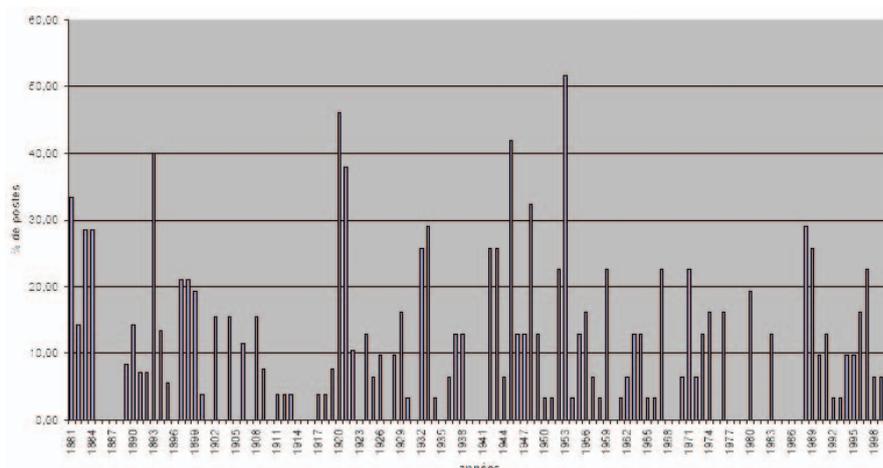


Figure 9 : nombre de stations en période sèche depuis 1880

ETUDE DES EPISODES DE SECHERESSE SURVENUS DEPUIS 1989

La sécheresse de 1989-1991

- *Critère 2000 sans choc hivernal* : Elle touche l'ensemble de la France.
- *Critère 2000 avec choc hivernal* : le Nord-Est et le Centre-Ouest du pays ne sont plus concernés.
- *Critère 2003* : L'étendue est nettement moindre. Le Sud-Ouest ne comprend plus par exemple les Pyrénées, le sud des Landes ou la Normandie et le pourtour Méditerranéen est limité à la zone de Toulon plus l'ouest de la Corse. Il est à noter en revanche l'apparition de zones du Centre et de l'Ile de France que le critère 2000 avec choc ne retenait pas.

La sécheresse de 1994-1996

- *Critère 2000 sans choc hivernal* : la majeure partie de la moitié Nord de la France, la Corse et les vallées de la Saône et du Rhône jusqu'à Valence sont concernées de façon large. Le Centre et le Centre-Est et le Sud-Ouest sont touchés de manière moins homogène.
- *Critère 2000 avec choc hivernal* : L'extrême Nord, la région parisienne et la Normandie sont concernés ainsi que la Corse, le Nord des Alpes et l'Hérault.
- *Critère 2003* : Seul le nord de la région parisienne est concerné.

La sécheresse de 2002-2004

Cette épisode touche surtout le sud de la France et plus particulièrement le Sud-Ouest, contrairement à celle de 94-96.

- *Critère 2000 sans choc hivernal* :
Le Sud-ouest, l'Ouest, Sud-Est et le Massif Central sont concernés. On note également que la région Centre et le Nord-Est sont également partiellement affectés.
- *Critère 2000 avec choc hivernal* :
Le Sud-Ouest et le Sud-Est sont concernés. Les zones précédentes sont concernées de manière beaucoup moins homogènes.
- *Critère 2003* : Seuls la région bordelaise et le sud-ouest du Massif Central sont touchés.

Pour ces sécheresses remarquables, les critères 2003, 2000 et 2000 sans choc hivernal sont inclus l'un dans l'autre avec un critère très restrictif pour celui de 2003. Ce n'est pas général entre les critères 2000 avec ou sans choc d'une part et le critère 2003.

Le critère 2000 sans choc hivernal permet de déterminer des zones de sécheresse nettement plus homogènes que celui de 2000 et 2003, ce qui est plus conforme à un critère climatologique. La sécheresse est un phénomène dont l'extension est généralement importante contrairement à d'autres phénomènes extrêmes comme les inondations.

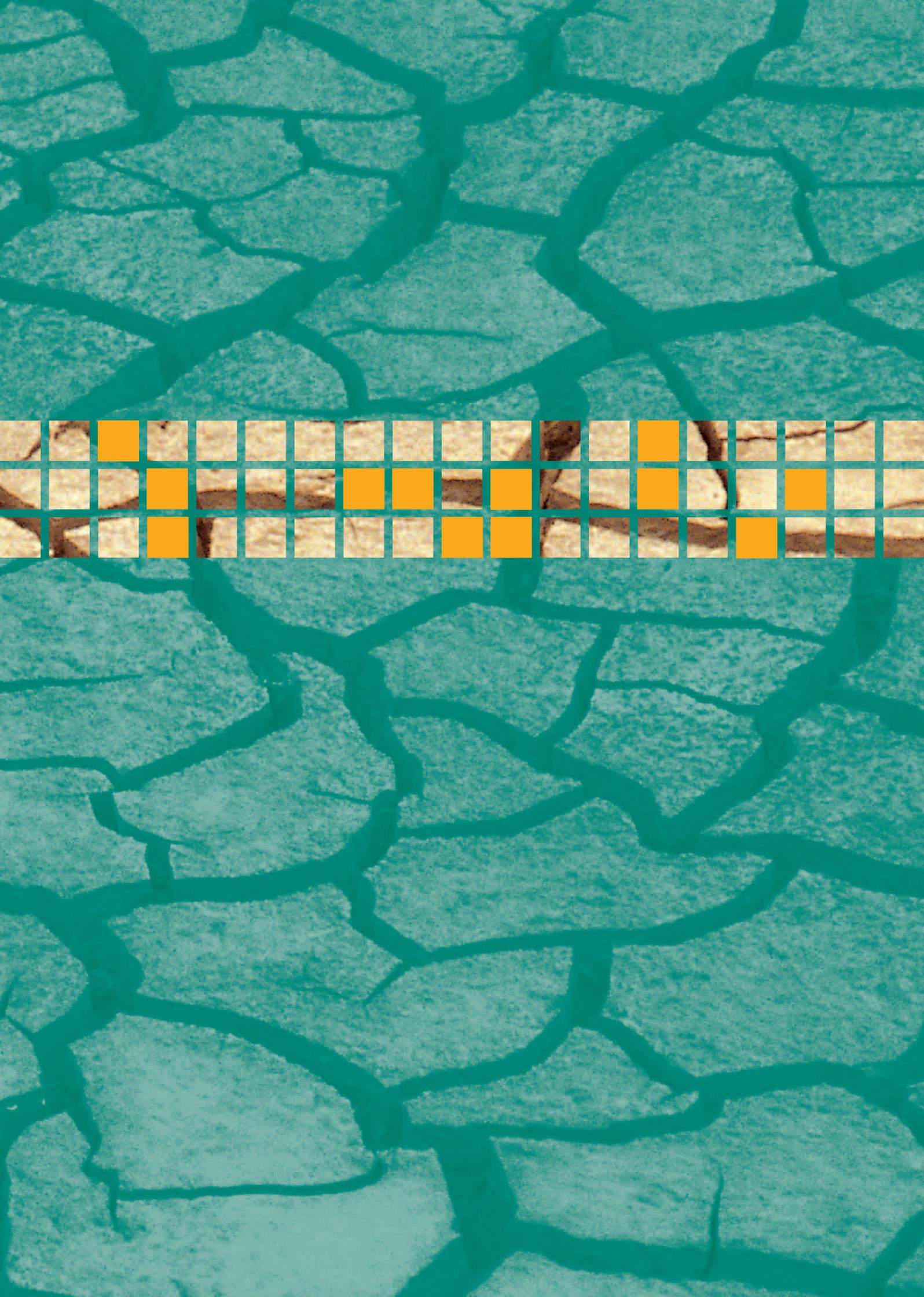
Conclusion

Cette étude permet de visualiser les sécheresses passées sur la France d'une manière finalement assez simple. Définie à partir du critère 2000 « sans choc », la sécheresse apparaît comme un phénomène banal et de grande extension spatiale. Par construction, les zones éligibles au critère 2000 « avec choc » sont incluses dans les précédentes. Sur de larges proportions du territoire, il conduit également à des sécheresses relativement fréquentes (durée de retour inférieure ou égale à 6 ans et 8 mois pour 20% des stations). Le critère utilisé en 2003 est beaucoup plus restrictif comme le montrent à la fois les statistiques et les 3 études de cas présentées.

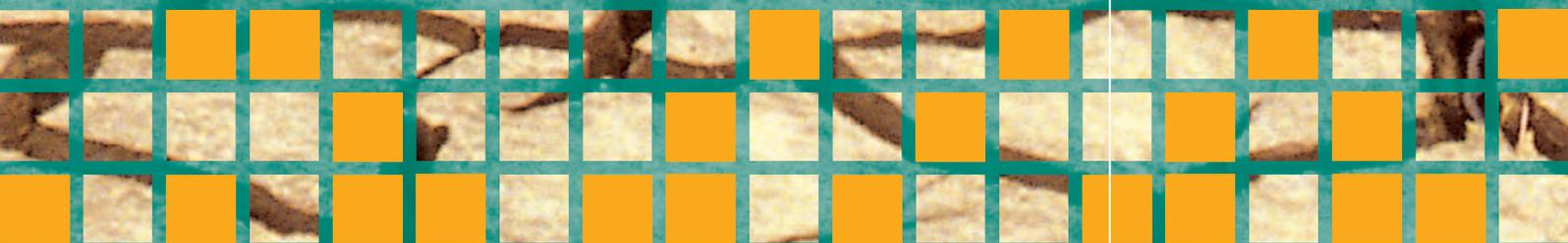
L'extension à une période de 100 ans, à partir des seules données de température et de précipitations mensuelles paraissait a priori difficile. Elle a pu être menée à bien en ne conservant que les épisodes d'une durée suffisante et en ajustant finement les seuils. La concordance est suffisamment bonne avec l'époque moderne pour

dégager les grandes caractéristiques du 20^{ème} siècle. Les fortes sécheresses ne semblent pas en augmentation, les épisodes de 1893, 1920, 1945 et 1953 sont les plus notoires et ont affecté des surfaces importantes.

Les paramètres météorologiques ne constituent qu'une partie des facteurs déclenchant les vagues de sinistres géotechniques liés à la sécheresse. En effet, pour appréhender totalement cet aléa il est également nécessaire de prendre en compte le facteur prédisposant qu'est la présence d'argile gonflante. Pour cela, Guy Carpenter travaille actuellement avec le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM) afin de déterminer les secteurs les plus géologiquement prédisposés à ce péril dans les 33 départements les plus touchés. A terme, le croisement des données météorologiques et géologiques permettra de disposer d'un puissant outil d'étude des expositions et d'estimation des pertes pour les assureurs.



GUY CARPENTER



Contactez-nous pour de plus amples informations :

Tel +33 (0)1 56 76 48 08

Fax +33 (0)1 41 22 93 03

Email CAT.i@guycarp.com

www.guycarp.com

Guy Carpenter & Company Ltd.

An agent of Marsh Ltd.

Marsh Ltd. is a member of the

General Insurance Standards Council

Marsh Ltd. conducts its general insurance activities on terms that are set out in the document 'Our Business Principles and Practices'. This may be viewed on our website www.marsh.com/marshltdbpp

Guy Carpenter & Company, S.A.S.
47-53 rue Raspail
92594 Levallois-Perret Cedex
France

 Marsh & McLennan Companies