

épaisseur, et le phénomène de dissolution plus ou moins avancé des masses de gypse diminue la netteté des profils gamma ray.

Les études réalisées sur le site par le L.R.O.P. concernent des sondages destructifs avec diagraphies nucléaires (RAN globale et sélective) et avec vitesse d'avancement. Le sondage carotté (SC1) est couplé à une diagraphie gamma ray globale et sélective (Rd/Th/K) permettant un calage des diagraphies nucléaires réalisées en destructif.

En diagraphie gamma-ray on peut retenir les orientations suivantes :

	Épaisseur des colluvions		
	Importante	Faible à nulle	
Gypse	Sain	Altération généralisée	Altération ponctuelle
RAN Globale	+	++	+ à +++
Rd	0	+	0 à +
Th	0	+	0 à +
K	+	++	+ à +++
Probabilité de karst	Faible	Élevée à très élevée	Élevée à très élevée
Type de karst	Ouvert	Comblé	Ouvert (RAN +) Comblé (RAN +++)

Sur le versant de SOISY SOUS MONTMORENCY, les diagraphies nucléaires permettent une interprétation assez fine de certains niveaux au titre desquels on citera :

- Les Marnes à Pholadomies caractérisées par une augmentation très nette de la RAN globale associée à un pic en émission radium (Rd) et une émission importante au niveau du potassium (K).
- La 4^{ème} masse de Gypse repérée par une forte chute de la radioactivité globale.
- Les Sables de Monceau ou Sables Verts marqués par une radioactivité élevée caractéristique de ce niveau.

L'interprétation des diagraphies nucléaires est en général effectuée à partir de ces couches repères.

On dispose sur le site de quelques forages pressiométriques (PR41, PR43 et PR48) qui ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des colluvions et du gypse. Ces données sont néanmoins peu nombreuses et ne sauraient être représentatives de l'ensemble des caractéristiques des différents matériaux.

Le tableau suivant donne les caractéristiques pressiométriques moyennes mesurées par GEOMEDIA. Ces caractéristiques concernent la pression limite PI et le module de déformation E.

Sondage	Colluvions R1				Colluvions R2			
	PI moyen		E Moyen		PI moyen		E Moyen	
PR41	8,5	± 1,77	125	± 26				
PR43	11,0	± 3,35	137	± 68				
PR48	19,0	± 4,24	177	± 70	10,2	± 1,25	77	± 29

B Méthodes indirectes

Les méthodes indirectes mises en œuvre sont des méthodes géophysiques qui étudient, à partir de mesures de surface, différents paramètres physiques caractérisant le sous-sol. La présence d'une cavité modifiant localement ces derniers sera décelée par l'enregistrement en surface de leurs variations. Ces méthodes géophysiques sont les suivantes :

- La gravimétrie qui mesure les variations de la composante verticale du champ de gravité fonction de la répartition des densités. Une cavité, caractérisée par un faible volume, une profondeur réduite et un contraste de densité souvent élevé, créera à son voisinage une anomalie gravimétrique négative dont l'intensité sera fonction du rapport volume/profondeur et du contraste de densité.
- La sismique réfraction qui repose sur la modification de la propagation d'une onde sismique à la traversée d'une anomalie, modification se traduisant par une diffraction des ondes incidentes. Une diminution des vitesses de propagation entraîne des retards dans les temps de propagation ou des atténuations anormales de ces ondes, phénomènes qui seront autant de points de départ pour les méthodes de détection.

Généralement très sélectives, ces méthodes peuvent faire apparaître l'anomalie qu'il convient d'interpréter. Dans un milieu homogène idéal, l'anomalie correspond à l'hétérogénéité. Dans le milieu naturel, où les hétérogénéités sont nombreuses et diverses, l'interprétation d'une quelconque de ces techniques suppose une bonne connaissance de la géologie locale. Dans la mesure du possible, pour éviter les erreurs d'interprétation l'emploi de deux méthodes est souhaitable.

Ces données ont été recueillies au cours des diverses campagnes géologiques ou géotechniques mais n'ont pas apporté d'informations exploitables sur la présence éventuelle de cavités, du fait des faibles dimensions probables des cavités et en raison de la complexité du contexte géologique.

illustration : planches 3 et 4 – Plan des sondages

ETUDES ANTERIEURES A LA REALISATION DU P.E.R.

Les données ayant permis d'élaborer le Plan d'Exposition aux Risques de 1989 proviennent de sondages réalisés en roto-percussion par le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, complétés par une campagne de géophysique réalisée par la S.C.G.G. L'information de base est échantillonnée en termes statistiques par 19 sondages. **Ces sondages ne concernent que la zone des "Marcherues" en partie Nord de la commune.**

DATE DE REALISATION	ENTREPRISE	Nombre de sondages
Avril 86 et Octobre 86	L.R.O.P.	16
Juillet 84	S.C.G.G.	3

ETUDES POSTERIEURES A LA REALISATION DU P.E.R.

Les études postérieures à l'élaboration du P.E.R. et intégrées au P.P.R. comportent 21 sondages dont **15 concernent la zone des "Marcherues" et 6 concernent les zones du "Bois Joli" et du "Chat" en partie Est de la commune.**

DATE DE REALISATION	ENTREPRISE	Nombre de sondages
Janvier 90	ACCIES	2
Octobre 94 et Décembre 95	GEOMEDIA	13
Octobre 99	SEFIA I.C.	10

Les campagnes de 1990, 1994 et 1995 ont été réalisées sur la base de forages destructifs avec enregistrement des diagraphies instantanées, répartis sur le versant entre des cotes variant de 60 à 100 N.G.F.

En 1997, après l'analyse statistique des données (cF. rapport SEF 97/05/1241/95), il est apparu nécessaire de compléter les informations par des sondages carottés permettant un calage précis des formations et d'envisager des examens plus directs des cavités suspectées par vidéoscopie. En partie basse, l'absence de sondage rendait nécessaire une acquisition de données géologiques. Dans ce contexte, il a été réalisé en 1999 les investigations suivantes :

En partie haute,

Les sondages S23, S24 du L.R.O.P., présentant des anomalies de vitesse plus importantes et suggérant la présence de phénomènes karstiques, ont fait l'objet d'une attention plus particulière :

- un sondage carotté a été réalisé à proximité du S23
- trois sondages destructifs courts avec passage d'une caméra ont été réalisés à proximité du sondage S24
- Un sondage a été réalisé à proximité du S25 en raison de la présence d'une zone dépressionnaire en surface.

En partie basse,

Un sondage carotté permettant le calage des différentes unités géologiques a été réalisé dans le square de la route de Pontoise en limite de la commune. Ce carottage a été couplé à 5 sondages en destructif avec enregistrement des paramètres de forage répartis sur le quartier du Colombier.

Pour compléter les données mécaniques (cF. supra) et pour traiter l'aspect prédictif, les caractéristiques intrinsèques c et φ ont été mesurées à partir d'essais au phicomètre (cF. glossaire).

IV.2.2 Traitement des données

A APPROCHE DESCRIPTIVE

La synthèse des observations sur site et d'une analyse statistique conduit à une image stationnaire et la cartographie de la karstification ne donne pas d'assurance quant à l'évolution du phénomène et aux risques potentiels.

A1 SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Pour ce qui concerne le contexte morphologique, la présence de karsts est fréquemment rattachée à la distinction entre versant chaud et versant froid et à l'existence de dépressions en surface.

Pour ce qui concerne le contexte géologique et hydrogéologique, en complément d'un examen de la topographie à l'échelle locale, la localisation précise des éventuelles cavités karstiques nécessite une connaissance précise des formations géologiques en présence.

Résultat d'un processus chimique (dissolution du gypse), il paraîtrait également intéressant de s'orienter vers des indicateurs hydrogéologiques (présence d'une dépression locale de la surface piézométrique induite par la cavité drainante, suralimentation de nappe...). Cependant, la complexité des surfaces piézométriques au niveau de la butte de Montmorency et la difficulté d'individualiser les divers aquifères en présence n'a pas permis de prendre en compte la dynamique des systèmes hydrauliques.

- Profils NNO/SSE

Les profils P5 et P11 à P14 se développent à partir du sondage F1 du Nord Nord-Ouest/Sud Sud-Est au Nord Nord-Est/Sud Sud-Ouest et semblent mettre en évidence l'existence d'une structure anticlinale en bordure du versant de direction Nord Est/Sud Ouest. Ce relèvement est centré sur les sondages PR41, S23, D58, D44 et D47. Cette configuration semble accrédi ter la thèse d'une ondulation du toit des Masses et Marnes du Gypse. Il convient cependant de remarquer que le profil P11 se développe sur le flanc Ouest du talweg des Marcherues sur une longueur de 350 m et met en évidence une surépaisseur de G2 au droit du sondage D42. En deçà d'une cote sol de 75 N.G.F., le toit des différentes formations suit sensiblement la topographie.

Le sondage F1 n'appelle pas de commentaire particulier si ce n'est l'épaisseur importante de G1 (10 m) et la cote du G1a assez basse (67 N.G.F.). Le toit de la première masse suit sensiblement la topographie.

Le toit de la seconde masse apparaît anormalement bas au droit du sondage F1. L'analyse des diagraphies ne permet pas de recalage.

Le sondage D42 porte la mention G3 à 16,70 m/sol (62,80 N.G.F.) avec un niveau de gypse marneux à 14,20 m non identifié. La cote proposée pour le G3 constitue une anomalie qui conduirait à un hiatus (lacune des niveaux G2 et G2a pourtant présents à l'aval en D55 et en S21).

Le sondage S23 présente un profil RAN atypique du G2 qui ne permet pas une interprétation et un découpage précis de ce niveau. A partir d'une cote de 65 N.G.F., le tracé des vitesses d'avancement est relativement régulier sur une épaisseur de 2,8 m plaidant en faveur d'un matériau plus compact.

Le carottage réalisé au droit du sondage S23 a mis en évidence un faciès de substitution ou de remplissage sur une hauteur de 27 mètres. La présence de ce faciès constitue un point singulier de la géologie locale.

Au droit du sondage D47, à partir d'une profondeur de 13 m/sol, on rencontre du gypse attribué à la seconde masse. Ce calage à 70 N.G.F. détermine un relèvement significatif de cette formation. Le sondage F1 réalisé par GEOMEDIA et le sondage S24 par le L.R.O.P. placent sensiblement la seconde masse vers 65 N.G.F.

Les sondages D44 et D46 placent sensiblement la seconde masse du gypse vers 67 N.G.F. Le profil P13 montre une légère dépression centrée sur le sondage S24.

Le sondage PR43 à une cote sol de 73,5 N.G.F. et d'une profondeur de 16 m/sol aurait normalement du toucher le G2 vers 13 ou 14 m/sol. On ne dispose pas de paramètres enregistrés sur ce forage. On peut toutefois remarquer que la résistance à l'avancement augmente fortement à partir de 13,8 m et que les caractéristiques pressiométriques sont élevées ($PI = 23$ bars Pa et $E = 424$ bars).

- Profils NNE/SSO

Les profils d'orientation Nord Nord Est/ Sud Sud Ouest confirment l'ondulation de la seconde masse de gypse, notamment P6 et P6b qui passent par les sondages S24, D58, D56, D55, D49, S34 et S32. Ces profils se développent sur une longueur d'environ 300 à 400 m sur le flanc Ouest du talweg des Marcherues entre les cotes 76,8 et 80 N.G.F. (pente 1 à 2 %) et montrent une succession synclinale anticlinale bien marquée. Il convient toutefois de remarquer que le toit de cette formation n'est pas spécifié au droit des sondages D58 et D55. Cette absence d'information introduit une forte variation du toit de cette formation.

Pour le sondage D55, l'analyse du tracé des vitesses d'avancement permet de placer le toit du G2 à une profondeur de 15,5 m/sol (61,30 N.G.F.).

En ce qui concerne le sondage D58, le profil des diagraphies instantanées révèle des matériaux largement décomprimés sur une forte épaisseur (18 m), sans distinction des niveaux traversés. Le calage du G2 à une cote proche de celles observées sur les sondages S24 et D56 s'appuie sur les arguments suivants :

1. entre 11 et 13 m, la pression d'injection semble indiquer la traversée d'un matériau plutôt argileux.
2. à 13 m/sol (66 N.G.F.), on observe une perte totale du fluide de forage couplée à une chute brutale de la pression d'injection.

Ces observations suggèrent un changement de faciès qui pourrait être attribué au G1a et au G2. On remarquera néanmoins que les vitesses d'avancement sont très élevées sur toute la hauteur (1000 m/h), si bien que la distinction de faciès introduit reste arbitraire. A défaut, il faut admettre l'existence d'une dépression au sein du G2.

Le sondage D49, placé à une cote de 74 N.G.F. et descendu à une profondeur de 15 m/sol (59 N.G.F.), ne recoupe aucune formation attribuable aux Masses et Marnes du Gypse pourtant présentes à l'amont et à l'aval de ce point. Il peut s'agir d'une inflexion qui abaisserait le toit du G2 à une cote inférieure à 60 N.G.F. (S21). A une profondeur de 11,2 m/sol (62,80 N.G.F.), le sondage traverse des marnes beige blanchâtre dont le toit coïnciderait avec le toit théorique de la seconde masse. Il peut s'agir d'une variation de faciès mais aucun argument géologique ne permet de l'affirmer. Sous cette hypothèse, le toit du G2 suivrait la topographie du site.

Le sondage WD4 détermine sur ce profil un plongement de la seconde masse G2.

Le profil P6b montre la disparition de la première masse et des marnes sous jacentes entre le S24 et le D58. Le niveau de la nappe suit sensiblement la topographie du site.

On notera toutefois la surépaisseur de cette formation au droit des sondages S24 et D58 (7 m). Le toit des formations G2a, G3 G3a et G4 est relativement stable.

Le Calcaire de Saint Ouen apparaît sensiblement à une cote de 50,5 N.G.F.

- Profils NE/SO

Le profil P4 d'orientation Est Ouest se développe à partir du sondage PR48 sur une longueur de 500 m.

La première masse G1 n'est pas présente et les marnes G1a n'ont pas été identifiées au droit des sondages PR48, S35 et S31.

Le toit de la seconde masse paraît relativement stable autour d'une cote de 60 N.G.F. Le sondage PR48 montre une variation de vitesse très nette à partir de 12 m/sol (63,5 N.G.F.) et le faciès argileux est souligné par une pression d'injection assez forte (entre 12 et 15 m/sol). Au-delà de 15 m/sol (60,5 N.G.F.), on observe une diminution sensible de ce paramètre sur environ 2 m. Ces différents changements de faciès peuvent être rapportés sous toute réserve au G2 et G2a. On notera toutefois que ces formations présentent une composante gypseuse peu marquée attribuable à une variation latérale de faciès. L'absence de repère au sein de la seconde masse ne permet pas de statuer sur la limite G2 et G2a.

L'interprétation du sondage D45 doit tenir compte des sondages S26 et PR48 situés dans le même secteur. Le sondage D45 place le G2 à une cote proche de 70 N.G.F., l'examen du profil D45, S26 et PR48 plaide en faveur d'un calage du G2 entre 15 et 16 m à une cote proche de 68 N.G.F. Cette interprétation, suggérée par le BET GEOMEDIA rend le profil des différentes formations quasi-parallèle à la pente avec des épaisseurs plus homogènes.

Les campagnes de géophysique par sismique réfraction ont conduit à l'élaboration d'une carte des isobathes des colluvions montrant l'existence d'une structure générale orientée **NNE-SSO** correspondant à deux couloirs d'altération où les épaisseurs présumées seraient supérieures à 15 m. Cette carte est le résultat d'une interprétation selon laquelle les vitesses sismiques inférieures à 1400 m/s sont attribuables à la base des colluvions.

Le report de l'épaisseur des colluvions sur la carte de géophysique montre à l'évidence de nombreuses incohérences :

- Les sondages PR41 et W2, dont l'épaisseur de colluvions est respectivement de 6 m et 7,50 m, sont implantés dans une zone où les colluvions sont supposées atteindre 20 m.
- De la même manière, les sondages F1, D45, D46 et D47 montrent des épaisseurs de l'ordre de 9 mètres dans une zone à forte épaisseur de colluvions (20 m).
- La zone centrale séparant les couloirs d'altération est supposée à faible épaisseur de colluvions alors que les sondages réalisés tant par le L.R.O.P. que par GEOMEDIA montrent des épaisseurs de colluvions variant de 10 à 15 m. La carte d'égale épaisseur montre la présence d'un sillon médian où l'épaisseur des colluvions observée en sondages est supérieure à 10 m.

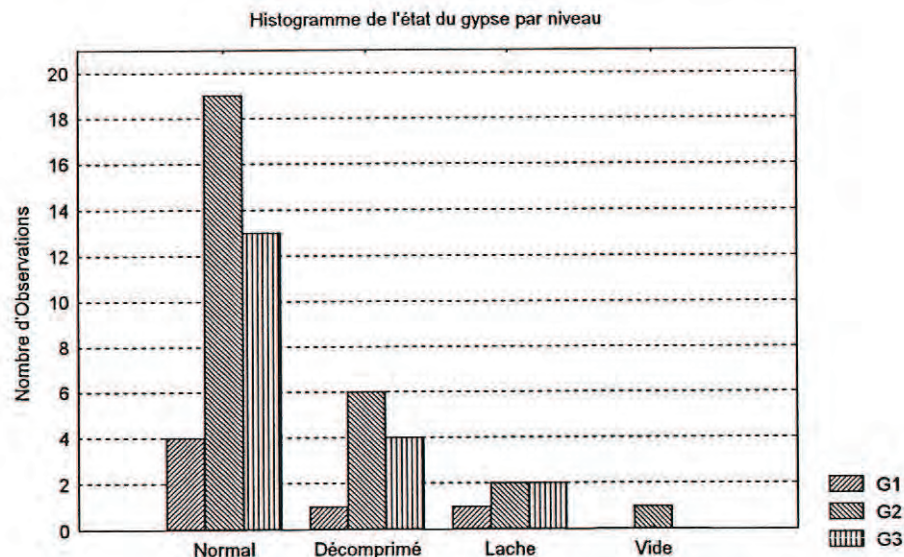
La synthèse laisse apparaître l'existence d'une structure de type ondulation d'orientation Nord Est/Sud Ouest. Le sondage carotté en position de versant avec un faciès de substitution ou de remplissage confirme le modèle géologique du versant avec subsistance de fragment.

A2 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse des données est rendue délicate en raison de leur caractère multivarié.

A2.1 METHODES

Les données brutes sont représentées sous forme d'histogrammes ou de nuages de points. La visualisation des données permet de mettre en évidence la structure des variables mesurées:

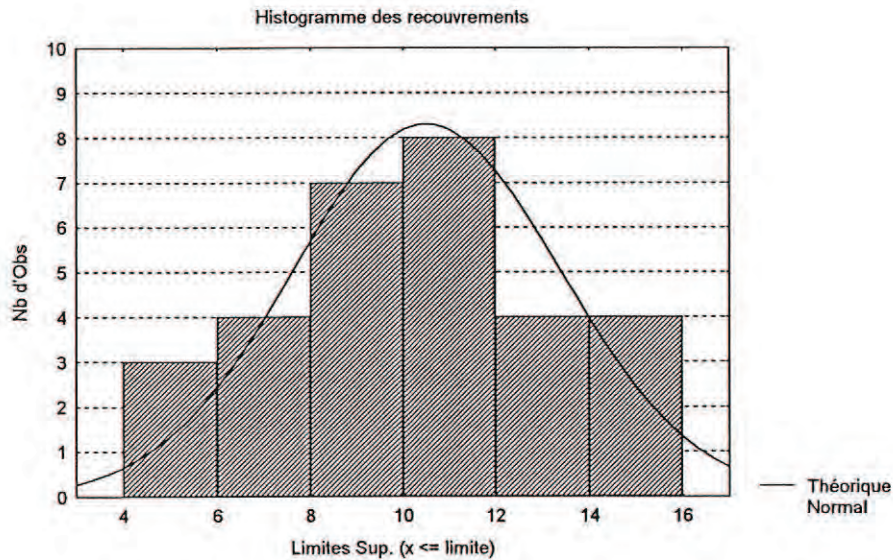


L'examen des données s'est attaché à préciser la nature des colluvions et des Masses et Marnes du Gypse en partie haute. Les informations géologiques collectées en 1999 concernent la partie basse et n'ont donc pas été intégrées dans le traitement statistique.

A2.2 RESULTATS

A2.2.1 Colluvions

Le terme de colluvions est un terme générique qui regroupe les formations surmontant les Masses et Marnes du Gypse. L'épaisseur des colluvions est une donnée importante dans la mesure où le Plan d'Exposition aux Risques de 1989 retenait ce facteur comme critère de localisation du risque. Il apparaît que l'épaisseur moyenne est de 10,5 m quelle que soit la localisation. L'histogramme de l'épaisseur des colluvions suit sensiblement une loi normale.



Cette pseudo-normalité de la distribution des colluvions sur la zone d'étude exclut *a priori* toute corrélation avec la cote Z du terrain naturel.

En première approche, il n'existe aucune différence statistique selon que le point se situe à l'aval ou à l'amont. Pour une rupture de pente fixée à 75 N.G.F., l'épaisseur moyenne des colluvions à l'aval est de 10,56 m et 10,45 m à l'amont.

Dans la mesure où la cohésion joue un rôle important dans l'évolution mécanique des cavités karstiques, la distinction des faciès pulvérulents caractérisés par une cohésion faible ou nulle (sable) et des faciès cohérents (argile) constitue une donnée essentielle. **La cartographie sommaire de la nature des colluvions attribue une place prépondérante au faciès cohérent. Le faciès pulvérulent semble occuper la partie centrale du talweg de Marcherues.**

A2.2.2 Masses et Marnes du gypse

La statistique associée aux différentes masses du gypse est la suivante :

Formation	Cotes du toit			
	Moyenne en m	Minimum en m	Maximum en m	Écart-Type en m
G1	75,35	70,80	78,00	± 2,81
G2	63,11	58,30	70,00	± 3,65
G3	56,18	52,60	60,25	± 2,17

Les anomalies sont préférentiellement localisées au sein de la seconde et troisième masse de gypse. Néanmoins, à l'échelle de l'échantillonnage, le phénomène de karstification reste assez rare. Le flanc Ouest du talweg des Marcherues est le plus affecté par ce phénomène. Les vidéoscopies réalisées n'ont pas montré de cavités (S24). Les avancements rapides de l'outil de forage observés en 1986 correspondent vraisemblablement à des décompressions de matériaux ou à des recouvrements de diaclases dans le massif gypseux.

Le sondage carotté réalisé en partie haute au droit du sondage S23 a montré l'absence de gypse et contredit l'interprétation faite en 1986 sur la présence de gypse G2.

A3 FACTEURS DE LOCALISATION DES ANOMALIES

La répartition spatiale des données montre que la présence d'anomalies occupe majoritairement la partie Nord du domaine d'étude et se situe dans le secteur des " Marcherues " en amont de la rupture de pente. L'existence d'une relation entre la présence d'anomalie et l'épaisseur de colluvions n'est pas détectable statistiquement.

Une analyse de la variance effectuée sur l'ensemble des variables confirme **que le facteur discriminant le plus efficace pour la localisation des anomalies reste la cote altimétrique et cote relative à la rupture de pente.**

B ANALYSE PREDICTIVE –FACTEURS D'EVOLUTION – RISQUES

Les deux approches (approche théorique des mouvements de terrains, approche mécanique aux éléments finis) ont permis d'établir les conditions de dimension et de recouvrement pour lesquelles le risque d'effondrement des cavités est présent. Du point de vue strictement mécanique, le risque d'effondrement implique des conditions dimensionnelles qui n'ont pas pu être mises en évidence sur le secteur d'étude.

Cependant, il est important de noter que le modèle purement mécanique n'intègre pas la chimie des eaux, l'évolution des conditions de température et de pression au sein des cavités, la quantité d'eau en contact avec le gypse, la perméabilité des matériaux de recouvrement. L'introduction de ces facteurs dans l'analyse de l'évolution des cavités karstiques reste du ressort de la recherche fondamentale et n'a pas encore trouvé à ce jour une réponse satisfaisante.

Le facteur moteur de la dissolution est avant tout l'hydraulique souterraine dans des conditions très complexes avec une incertitude importante sur la vitesse d'évolution du phénomène et les risques induits.

Ces incertitudes impliquent une surveillance régulière de l'évolution de la karstification sur le territoire de la commune de SOISY SOUS MONTMORENCY.

IV.3 ALEA DE GLISSEMENTS DE TERRAIN

A Données existantes

L'aléa de glissement de terrain est qualifié en fonction de l'intensité des pentes sur le territoire de la commune de SOISY SOUS MONTMORENCY.

Les zones qui présentent des pentes comprises entre 5 et 10 ° peuvent être considérées comme correspondant à un aléa faible. Cependant, la présence des Sables de Fontainebleau sur les zones de pentes les plus importantes accentue le risque de glissement de terrain et implique la classification en aléa moyen à fort.

Il convient de rappeler que les terrains limitrophes au Nord-Est, situés sur la commune de MONTMORENCY, présentent des pentes supérieures à 10 ° susceptibles de provoquer des glissements de terrains ayant des répercussions sur la commune de SOISY SOUS MONTMORENCY.

Plusieurs éboulements de fouilles se sont produits dans le quartier des Sources, chemin des Laitiers. Ces éboulements sont concomitants à des fouilles réalisées dans les Sables de Fontainebleau aquifères en position de versant. L'analyse historique fait mention en 1964 d'un glissement intervenu sente des Aloyaux. Cet incident doit être rattaché à l'existence d'un front de taille d'exploitation du gypse situé à l'aval de la sente.

B Inclinométrie

Une campagne d'instrumentation par inclinométrie a été effectuée au début de l'année 2001 pour mesurer la stabilité du terrain. Quatre sondages ont à cet effet été équipés de capteurs permettant de mesurer finement la déformation éventuelle d'une tranche de terrain et donc sa tendance au glissement.

Le principe des mesures inclinométriques est le suivant : la méthode consiste à reconstituer la déformée d'un tube placé dans un forage de petit diamètre à l'aide d'une sonde introduite à l'intérieur du tube. Les opérations se ramènent à une ou plusieurs mesures d'angles, la déformée étant reconstituée à partir d'éléments d'arc de longueur égale à la longueur de la sonde. Les mesures s'effectuent lors de la remontée de la sonde, descendue au préalable au fond du tube inclinométrique. Les angles sont mesurés à intervalles fixes, dans le plan de la déformation.

Le tableau ci après reprend la localisation de ces sondages et leur profondeur.

Sondage	Localisation	Cote Z en NGF	Profondeur en mètres
S1	Maison du Colombier Boulevard d'Andilly	125.5	25,0
S2	Ecole maternelle des Sources Chemin de Laitières	120.0	23,0
S3	Avenue du Lieutenant Frédéric Fortuny	120,0	24.5
S4	Place verte	120,0	19,0

La campagne de mesures s'est étalée sur quatre mois, et la différence de déformation entre les relevés fait apparaître très clairement l'absence de mouvements significatifs pendant la période d'observation.