



Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur



DOCUMENT PUBLIC

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes de Haute Provence)

Echelle communale et départementale

Approche méthodologique

novembre 1995
Rapport du BRGM n° R 38695



BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM

94 H 259 et 95 H 011

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département utilisation et protection de l'espace géologique
Groupe Risques naturels et Géoprospective
BP 167 - 13276 MARSEILLE CEDEX 09 - FRANCE
Tél. : (33) 91 74 74 - Fax (33) 91 17 74 75

Mots-clés : cartographie, retrait, gonflement, méthodologie.
Alpes-de-Haute-Provence (France).

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

CHASSAGNEUX D., STIELTJES L., MOUROUX P. avec la collaboration de DUCREUX G.H., 1995 -
Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque
(Alpes-de-Haute-Provence) - Echelle communale et départementale - Approche méthodologique.
Rapport BRGM R 38695, novembre 1995

© BRGM, 1995, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse
du BRGM.

RESUME

Les montants d'expertise et de reprise en sous-oeuvre de bâtiments induits par les retraits de matériaux argileux sur le territoire métropolitain, après la sécheresse de 1989 à 1992, ont été extrêmement élevés. Par ailleurs, de nombreux pays étrangers sont exposés à l'aléa retrait/gonflement des sols.

La cartographie préventive des territoires exposés, a donc une grande importance. A ce titre, des développements méthodologiques ont été entrepris afin de déterminer les paramètres principaux à prendre en compte.

Un premier test a été réalisé sur la commune de Pierrevert (Alpes-de-Haute-Provence) : une cartographie existait déjà, mais faite selon des moyens différents (reconnaitances, fouilles, essais au laboratoire, expertises, ...). Une approche essentiellement naturaliste, sans prise en compte de ces informations, a été employée ; elle a combiné les facteurs suivants : pente/hydrographie/géologie/essais de laboratoire.

Au vu de leur comparaison, une zone vierge est cartographiée (Manosque), en prenant en compte les données existantes (rapports d'études et d'expertises, déclarations de sinistre, ...), en réalisant des prélèvements et quelques essais au laboratoire. La connaissance locale des niveaux géologiques, des mécanismes associés et la prise en compte des sinistres ayant touché la commune s'avèrent primordiaux. Les essais géotechniques, qu'ils soient issus de données existantes, ou des essais spécifiques retenus sont une aide précieuse. Cependant l'hétérogénéité des faciès au sein d'une même unité accroît la dispersion des résultats ; il faudrait disposer d'un nombre de données plus important mais les coûts ou les conditions de prélèvement ne le permettent pas toujours.

Une approche méthodologique au niveau de l'ensemble du département des Alpes-de-Haute-Provence est alors menée.

TABLE DES MATIERES

	Pages
RESUME	
1. PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE	1
2. OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE	3
2.1. Objectif	3
2.2. Méthodologie proposée.....	3
3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA "RETRAIT/GONFLEMENT" SUR LA COMMUNE DE PIERREVERT (04)	5
3.1. Critères cartographiques choisis	5
3.2. Règles d'expertise de l'exposition a l'aléa	6
3.3. Comparaison de la cartographie méthodologique de Pierrevert avec la cartographie déjà réalisée.....	7
3.3.1. Les deux approches cartographiques	7
3.3.2. Résultats comparatifs	7
3.3.2.1. Résultats cartographiques	7
3.3.2.2. Résultats méthodologiques de terrain	7
3.4. Les essais géotechniques choisis pour la caractérisation des sols sensibles au retrait/gonflement.....	9
3.4.1. Paramètres traditionnellement utilisés	9
3.4.2. Paramètres spécifiques choisis.....	10
3.4.3. Représentativité.....	11
3.4.4. Degrés de sensibilité affectés aux différents essais :.....	11
3.4.5. Résultats obtenus pour Pierrevert	12
3.5. Conclusions.....	13
4. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALEA "RETRAIT/GONFLEMENT" SUR LA COMMUNE DE MANOSQUE (04)	15
4.1. Facteurs permanents.....	15
4.2. Description des différentes unités géologiques	16
4.2.1. Formations oligocènes	16
4.2.1.1. Niveau de Bois d'Asson (Stampien).....	16
4.2.1.2. Calcaires et marnes de Vachères (Stampien).....	16
4.2.1.3. Marnes de Viens (Oligocène supérieur)	17

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Echelle communale et départementale -
Approche méthodologique*

4.2.2. Formations miocènes	17
4.2.2.1. Molasse (Burdigalien).....	17
4.2.2.2. Sables marneux et molassiques (Vindobonien marin).....	17
4.2.2.3. Poudingue de Valensole (Miocène supérieur - Villafranchien)	17
4.2.3. Formations quaternaires.....	18
4.2.3.1. Alluvions anciennes (Riss) : moyenne terrasse (Fx).....	18
4.2.3.2. Cônes de déjection (Jy).....	18
4.2.3.3. Epandages locaux de la formation de Valensole (RyH)	18
4.2.3.4. Colluvions (Würm) (Py)	19
4.2.3.5. Alluvions récentes (Fz).....	19
4.3. Investigations géotechniques	19
4.3.1. Résultats d'essais.....	19
4.3.2. Conclusion	21
4.4. Zonage de l'aléa.....	21
4.4.1. Règles d'expertise : paramètres utilisés pour le zonage de l'aléa.....	21
4.4.2. Classes de sensibilité des terrains (molasse miocène).....	22
5. APPROCHE METHODOLOGIQUE A L'ECHELLE DEPARTEMENTALE (ALPES DE HAUTE PROVENCE)	25
5.1. Méthodologie proposée.....	25
5.2. Sensibilité des formations géologiques du département des Alpes de Haute Provence (04) à l'aléa retrait-gonflement des sols.....	25
5.2.1. Cadre géologique du département.....	25
5.2.2. Faciès argileux du département des Alpes de Haute Provence.....	27
5.2.2.1. Zone alpine interne	27
5.2.2.2. Zone alpine.....	27
5.2.2.3. Bassins tertiaires	28
5.2.3. Faciès argileux ayant subi des mouvements de retrait et/ou gonflement.....	29
5.2.3.1. Communes sinistrées pendant la sécheresse	29
5.2.3.2. Terrains suspects de mouvements de retrait et de gonflement à l'échelle du département... 29	
6. CONCLUSIONS GENERALES.....	32
BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE	34

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Echelle communale et départementale - Approche méthodologique

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 - PIERREVERT : Géologie 1/25000
- Annexe 2 - PIERREVERT : Hydrographie 1/12 500
- Annexe 3 - PIERREVERT : Carte des pentes 1/12 500
- Annexe 4 - PIERREVERT : Zonage aléa sécheresse 1/12 500
- Annexe 5 - Mode opératoire de l'essai au bleu de méthylène
- Annexe 6 - Essai au papier filtre
- Annexe 7 - MANOSQUE : - Zones urbanisables
- Annexe 8 - MANOSQUE : Zones sinistrées par les périodes de sécheresse de 1989 à 1992
- Annexe 9 - MANOSQUE : Cartes des pentes
- Annexe 10 - MANOSQUE : Réseau de drainage
- Annexe 11 - MANOSQUE : Carte géologique
- Annexe 12 - MANOSQUE : Reconnaissance géologiques et prélèvements spécifiques à l'étude méthodologique
- Annexe 13 - MANOSQUE : Inventaire des expertises géotechniques réalisées de 1982 à 1994
- Annexe 14 - MANOSQUE : Synthèse documentaire
- Annexe 15 - MANOSQUE : Essais géotechniques spécifiques à l'étude : valeurs au bleu de méthylène et pression capillaire
- Annexe 16 - MANOSQUE : Essais géotechniques : indices de plasticité
- Annexe 17 - MANOSQUE : Essais géotechniques : coefficients de gonflement à l'oedomètre
- Annexe 18 - MANOSQUE : Essais géotechniques : coefficient de dessiccation
- Annexe 19 - MANOSQUE : Zonage de l'aléa

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Situation géographique et géologique de la région de Manosque
- Figure 2 - Secteurs urbanisables du POS de la commune de PIERREVERT, concernés par l'aléa retrait/gonflement des sols pour la construction.
- Figure 3 - Grandes unités structurales alpines du département des Alpes de Haute Provence

1. PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

Les sécheresses successives des années 1989 à 1992 ont provoqué dans toute la France des dommages sur plusieurs dizaines de milliers de constructions, consécutivement aux phénomènes de retrait (dessiccation) des sols argileux.

Au 31/12/1992, 3085 communes étaient déclarées sinistrées et avaient bénéficié de l'arrêté interministériel leur reconnaissant l'état de "catastrophe naturelle". Les dommages subis ont été de plusieurs milliards de francs.

Des travaux généraux visant à caractériser mécaniquement les argiles (in situ et au laboratoire), à aider les experts dans l'établissement d'un diagnostic des désordres et dans le choix des solutions de réparations, ont été entrepris. En complément, il est apparu important de cartographier, à l'échelle communale, les zones susceptibles de désordres au cas où une période de sécheresse anormale se reproduirait.

La région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence, 04) est une des régions touchées par ces phénomènes naturels : elle a été choisie comme région test d'approche méthodologique de cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (figure 1). Notons que le terme aléa est impropre (pas de prise en compte de probabilité), mais que pour des raisons de commodité, on le conservera.

L'attention a porté, dans cette étude, sur les niveaux marneux d'âge Oligocène (ère Tertiaire) des communes de Pierrevert, Manosque et Sainte-Tulle (50 km² environ), qui ont provoqué de nombreux désordres .

Un passage à l'échelle départementale est ensuite réalisée (paragraphe 6).

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale - Approche méthodologique

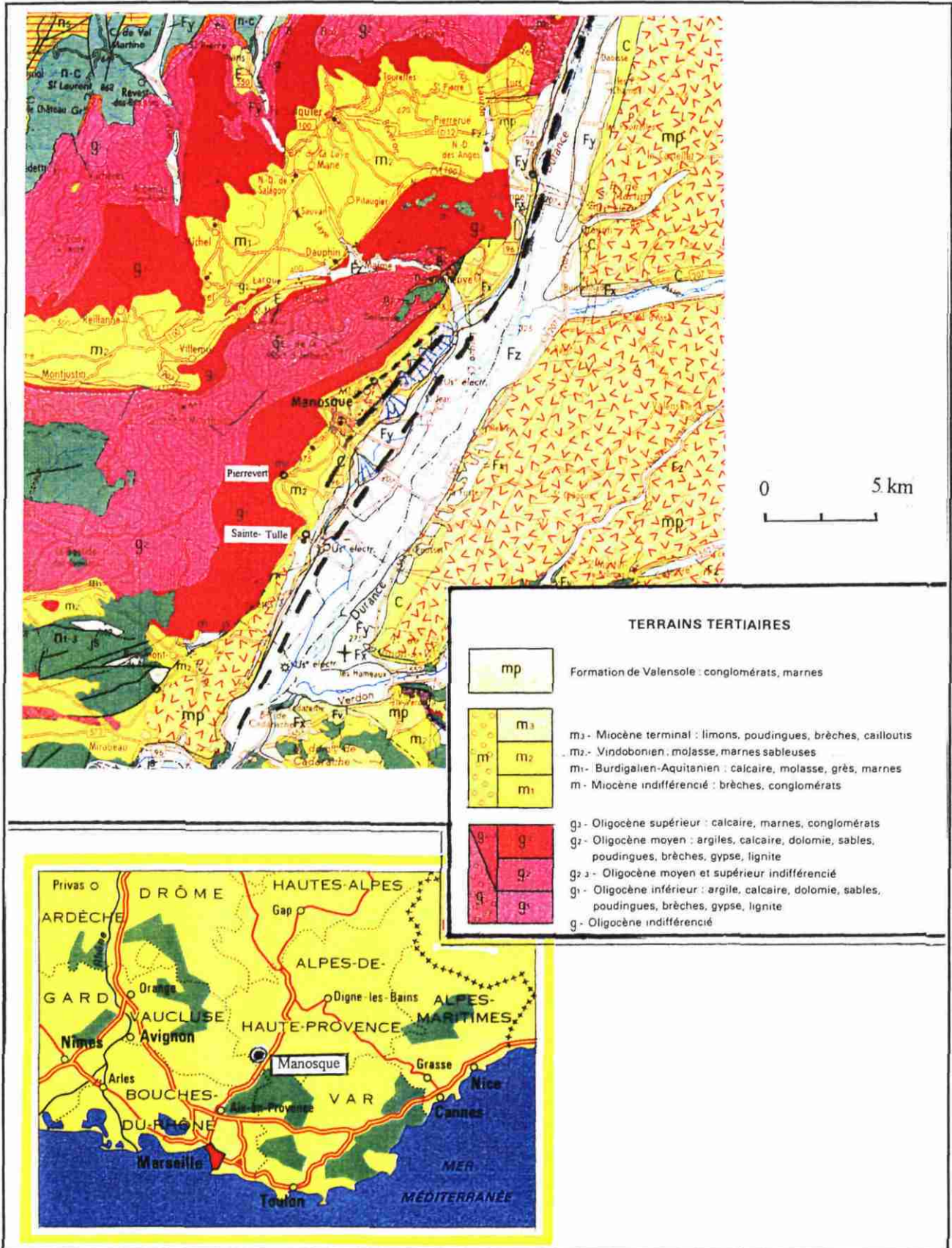


Figure 1 - Situation géographique et géologique de la région de Manosque
(extraits : couverture de la carte Michelin ; carte géologique de la France à 1/250 000, BRGM)

2. OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

2.1. OBJECTIF

L'objectif est de définir une méthodologie permettant la réalisation d'une cartographie de la susceptibilité au retrait/gonflement nécessitant un minimum de reconnaissances géotechniques, toujours coûteuses. Elle a pour vocation d'être généralisable à de nombreux territoires, français ou étrangers.

Elle est donc basée sur une approche à dominante naturaliste, et vise à retenir les critères principaux nécessaires (géologie, pente, hydrologie, données existantes, quelques essais géotechniques fondamentaux, ...).

2.2. MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE

Dans la région de Manosque, diverses études sur l'aléa retrait/gonflement des sols (cartographie, reconnaissances, essais, interventions pour reprises en sous-oeuvre, expertises, ...), ont été réalisées depuis 2 ans par diverses sociétés, et en particulier par le bureau d'études "Sol-Concept" (M. DUCREUX, associé à ce travail méthodologique), "Haute-Provence Géotechnique" (M. de SARTIGE), "Bureau d'Etudes Géologiques" (M. ROSTAN).

Ces 3 sociétés ont mis à disposition leurs résultats sur la zone concernée. Les différentes approches disponibles dans la documentation existante sur le gonflement/retrait des sols argileux, les paramètres à considérer, ainsi que les particularités de la région de Manosque ont été analysés au vu de ces éléments.

Ces réflexions préliminaires ont conduit au choix :

- *d'un secteur géographique-test* : la commune de Pierrevert (secteurs urbanisables du POS uniquement : figure 2) ;
- *d'une méthode de travail de cartographie essentiellement naturaliste* réalisée en "aveugle" par un géologue, sans connaissance des résultats des investigations géotechniques et des cartographies préalablement réalisées par les bureaux d'études. Par contre, quelques prélèvements pour des essais géotechniques, destinés à étayer la cartographie naturaliste sont prévus.

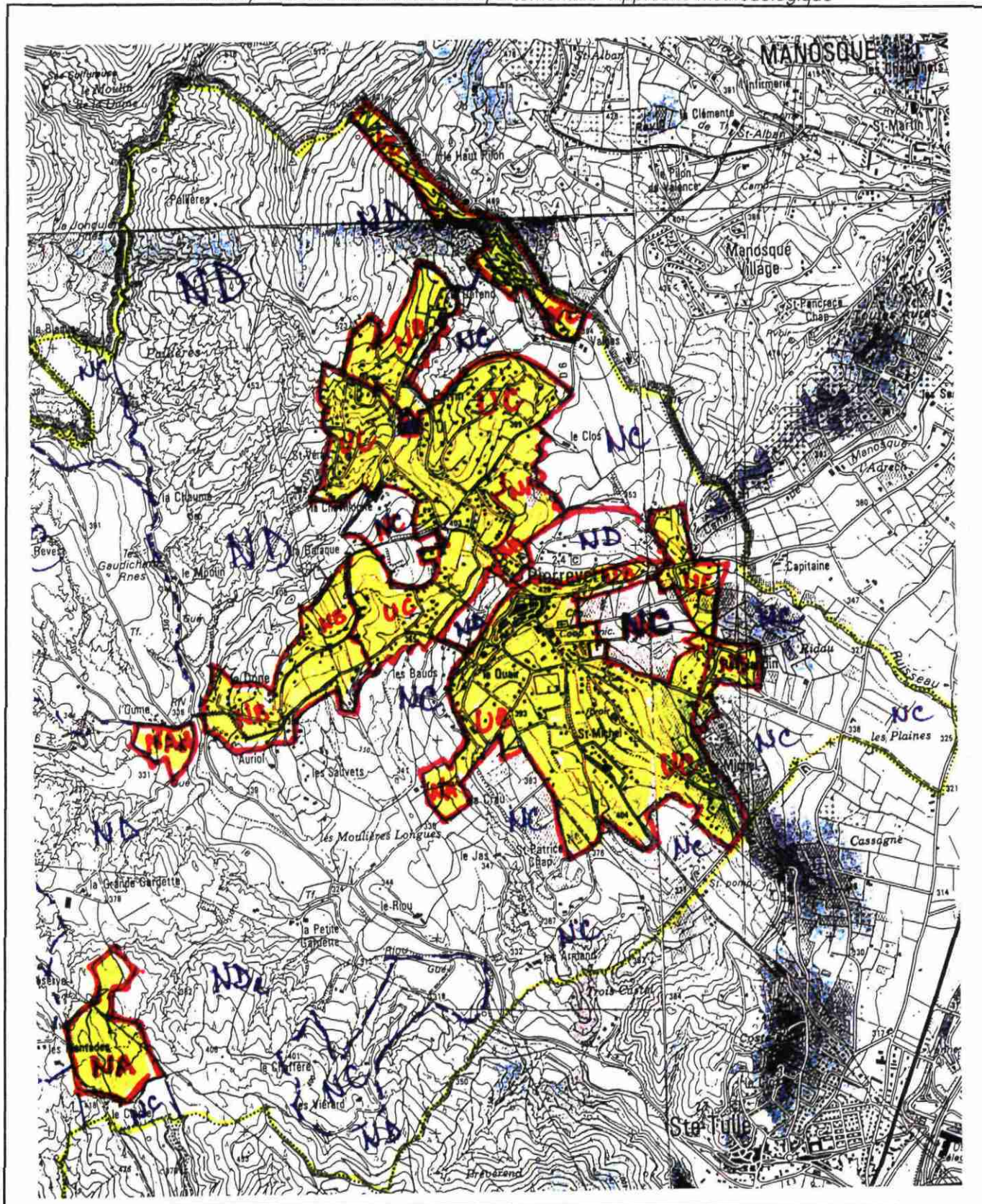


Figure 2 - Secteurs urbanisables du POS de la commune de Pierrevert, concernés par l'aléa retrait/gonflement des sols pour la construction

- U = zones urbaines
- Na = zones naturelles à vocation de commerce, service et habitation
- Nb = zones naturelles pavillonnaires, non équipées
- Nc = réservées aux activités agricoles (non constructibles)

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

Pierrevert avait déjà été cartographié par le passé et les résultats avaient été intégrés au P.E.R. de la commune. Les 2 types de cartographie pourront être comparés :

- avec et sans connaissance des études géotechniques et des sinistres, (en particulier leurs localisations et les quantifications des potentiels de gonflement par les essais géotechniques) ;
- avec et sans connaissance des effets réels de la rétraction des sols lors des phases de sécheresse (pas de visualisation des désordres).

Dans un deuxième temps, des enseignements seront tirés et on définira les données nécessaires pour la réalisation d'une cartographie sur un second secteur géographique, cette fois-ci vierge de tout zonage : la commune de Manosque (secteurs urbanisables du POS uniquement). Enfin, un travail à l'échelle de l'ensemble du département sera entrepris.

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA "RETRAIT/GONFLEMENT" SUR LA COMMUNE DE PIERREVERT (04)

Le test d'approche méthodologique de la cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols, a été réalisé sur la commune de Pierrevert (Alpes-de-Haute-Provence - 04) par un géologue ne connaissant, a priori, ni la géologie du secteur, ni les résultats des enquêtes et études géotechniques préalables réalisées sur cette commune depuis 1990.

3.1. CRITÈRES CARTOGRAPHIQUES CHOISIS

Les critères choisis a priori pour l'approche de l'aléa sont les suivants :

- nature géologique et lithologique des sols (*annexe 1*) ;
- hydrographie : réseau de drainage (densité) (*annexe 2*) ;
- pente (*annexe 3*).

3.2. RÈGLES D'EXPERTISE DE L'EXPOSITION A L'ALÉA

La combinaison de ces différents critères (lithologie, hydrographie, pente) a constitué le 1er guide d'appréciation de l'exposition des terrains à l'aléa retrait/gonflement des sols, et a conduit au découpage préalable (avant les résultats d'essais géotechniques) en 4 zones (annexe 4) :

- *zone insensible à peu sensible* ; il s'agit essentiellement de la molasse calcaire (m1) et des sables marneux (m2), estimés comme présentant peu de minéraux argileux, de certains alluvions (sud-ouest). Enfin, des zones ponctuelles de Marnes de Viens, plus argileuses mais présentant des pentes faibles (< 5%) et une hydrographie peu dense sont retenues ;
- *zone peu sensible à moyennement sensible* ; les secteurs cartographiés en niveau 2 sont essentiellement les parties sud-ouest des Marnes de Viens et des calcaires de Vachères, pour lesquels l'hydrographie est absente ou peu dense, mais avec des pentes > à 5%. C'est aussi le cas pour quelques secteurs ponctuels situés entre La Chevillonne et Valgas (Marnes de Viens), pour les mêmes raisons ;
- *zone moyennement sensible à sensible* ; le niveau 3 de sensibilité est représenté principalement par le niveau des Marnes de Viens et les colluvions associés, à partir du moment où le réseau hydrographique est dense, quelles que soient les pentes, (qui resteront cependant toujours supérieures à 5%). L'autre niveau sensible, les calcaires de Vachères, sont classés en 3 lorsque le réseau hydrographique est peu dense (pentes toujours supérieures à 15%) ;
- *zone sensible à très sensible* ; le niveau 4 est appliqué pour les calcaires de Vachères avec un réseau hydrographique dense, ce qui se superpose par ailleurs avec des pentes systématiquement supérieures à 15%.

3.3. COMPARAISON DE LA CARTOGRAPHIE MÉTHODOLOGIQUE DE PIERREVERT AVEC LA CARTOGRAPHIE DEJA REALISEE

3.3.1. Les deux approches cartographiques

La cartographie traditionnelle a été réalisée sur la base de 1 à 2 années d'expertises géologiques et géotechniques suite aux dégâts provoqués sur de nombreuses habitations de la commune de Pierrevert lors des périodes de sécheresse de 1989 à 1991, ainsi qu'à partir de 10 années d'études géotechniques dans le secteur.

Elle a intégré en particulier les données de la carte géologique à 1/50 000, les coupes géologiques et géotechniques (tranchées, sondages), les effets mécaniques de surface des mouvements de retrait/gonflement des sols argileux sur des bâtiments, de nombreux essais de laboratoire.

La cartographie méthodologique rapide a été réalisée sur quelques jours, sans connaissance volontaire des données d'expertise, selon la méthodologie exposée en 3.1.

3.3.2. Résultats comparatifs

3.3.2.1. Résultats cartographiques

La comparaison des deux cartographie a été faite entre le BRGM et Sol-Concept (M. DUCREUX) alors que seule une partie des levés de terrain de la cartographie méthodologique (BRGM) avait pu être terminée, et qu'aucun résultat des essais géotechniques (essais au bleu, essais au papier filtre) n'était encore disponible (et n'avait pu être, de ce fait, intégré à la synthèse du zonage).

La carte de zonage de l'aléa sécheresse (*annexe 4*) fournie ici est celle établie pour cette comparaison, et non à la date de sortie du rapport avec des données plus complètes.

3.3.2.2. Résultats méthodologiques de terrain

Deux formations géologiques d'âge Oligocène supérieur (Stampien) ont été reconnues comme susceptibles au retrait/gonflement :

**Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique**

◆ ***les calcaires et marnes de Vachères (g2c) :***

Il s'agit d'une alternance de marnes et calcaires en petits bancs, dont le pendage varie de 5° à plus de 20° vers la Durance (SE). On y trouve des niveaux de lignite intercalés, qui traduisent un milieu tropical à équatorial à l'Oligocène supérieur, d'où la formation d'argiles de type smectite à montmorillonite (argiles gonflantes).

Ce sont des formations de remplissage du fossé d'effondrement oligocène de Manosque, dont l'épaisseur croît de quelques dizaines de mètres à l'ouest de Pierrevert jusqu'à plusieurs centaines de mètres à l'Est, vers Manosque.

◆ ***les marnes de Viens à intercalation de lentilles de sable (g3) :***

Ces marnes grises contiennent, au Nord du village de Pierrevert et dans la zone récemment lotie, d'épaisses lentilles de sables argileux vert kaki, ainsi que quelques niveaux de lignite traduisant la poursuite d'un climat tropical à équatorial favorable à la formation d'argiles gonflantes de la famille des montmorillonites.

Ce sont, là aussi, des formations de remplissage du fossé d'effondrement oligocène de Manosque, dont l'épaisseur croît de 100-150 m à Pierrevert à près de 500 m au Sud du village, en passant à des conglomérats.

La présence de différents faciès à comportement mécanique différent dans un même étage géologique (marnes, calcaires, lentilles de sable, lignite, ...), montre que l'utilisation de la carte géologique à 1/50 000 est un guide de prospection essentiel mais insuffisant. En effet, la connaissance géologique régionale :

◆ ***est un indicateur de la présence possible d'argiles gonflantes*** (dans un contexte paléogéographique de type tropical à équatorial) ;

◆ ***est insuffisante pour une cartographie détaillée des zones sensibles au retrait/gonflement des sols***, (les calcaires, les sables ayant un comportement neutre au retrait ou au gonflement).

Les différences essentielles avec le document SOL CONCEPT concernent les marnes de Viens :

◆ En l'absence de possibilité de prélèvement d'échantillons en surface (peu d'affleurement et conditions météorologiques très défavorables), le caractère fortement gonflant des marnes de Viens n'a pas pu être mis en évidence de manière déterminante.

Le classement essentiellement en zone 3 (zone moyennement sensible à sensible) au lieu de 4 dans l'étude SOL-CONCEPT (zone sensible à très sensible) traduit ce manque d'information (*annexe 4*).

Ceci souligne l'importance des essais géotechniques pour l'appréciation du potentiel de retrait/gonflement, ainsi que la connaissance des mécanismes locaux et des expertises et déclarations de sinistres existantes.

◆ La présence de dalles calcaires (plusieurs dm à 1 m d'épaisseur) dans les marnes, qui peut laisser supposer une assise plus stable, s'avère en fait ne pas être une protection suffisante contre le gonflement : les argiles, en gonflant, parviennent à soulever ces petits bancs intercalés.

Par contre, ces niveaux calcaires à fort pendage (5° à 20°), favorisent le ruissellement et limitent alors l'infiltration d'eau dans les marnes.

Dans les parties hautes des morphologies (croupes, crêtes, ...) le gonflement est donc plus réduit que dans les creux où l'infiltration est optimum.

Les critères morphologiques et altimétriques sont donc importants à prendre en compte.

Plus globalement SOL CONCEPT a cartographié les unités de façon homogène en terme de potentiel de gonflement. Ainsi, les calcaires de Vachères sont en bloc classés en niveau 4 (3 et 4 dans l'approche méthodologique BRGM) ; de même pour les marnes de Viens, classées dans l'étude BRGM en 3, avec certaines zones ponctuelles en 1 et 2. SOL CONCEPT considère que la distinction de zones de potentiel différent au sein d'une même unité est dangereuse, compte tenu de l'hétérogénéité des faciès, de la présence trompeuse de sables en surface, de la densité d'information. Ceci est à mettre en relation également avec la finalité différente des 2 études et avec les recommandations concernant les reconnaissances et les fondations à mettre en oeuvre pour chaque niveau de potentiel, dans le cas de l'étude SOL CONCEPT.

3.4. LES ESSAIS GEOTECHNIQUES CHOISIS POUR LA CARACTERISATION DES SOLS SENSIBLES AU RETRAIT/GONFLEMENT

3.4.1. Paramètres traditionnellement utilisés

Les essais sont en général choisis parmi les suivants :

- Granulométries,
- Teneurs en eau, poids volumiques,
- Limites d'Atterberg (dont limite de retrait),
- Valeurs au bleu de méthylène (produit d'autant plus absorbé que la quantité d'argile contenue est importante et que cette argile est active),
- Essais oedométriques : on utilise soit le mode opératoire classique avec mesure du coefficient C_g , et de la pression de gonflement, soit des protocoles spécifiques (à volume constant, à déplacement contrôlé), toujours pour estimer la pression de gonflement. Des tentatives de normalisation ont été faites récemment (PHILIPONNAT, 1991), aussi bien

pour le gonflement (charges variables) que le retrait (desséchage progressif d'un échantillon avec mesures du poids volumique).

On échappe rarement à la sensibilité aux conditions d'essais, aux problèmes de prélèvement et à l'influence de l'état initial de l'échantillon (en particulier, teneur en eau et poids volumique sec).

- Mesure de la succion, soit ponctuellement, soit reconstitution de toutes ses valeurs possibles en fonction de la teneur en eau. Cette succion est provoquée par les argiles qui ont tendance à maintenir leur état de saturation malgré des conditions locales défavorables (évapotranspiration, baisse du niveau de nappe, sécheresse, ...).

Les développements actuels tendent vers une meilleure estimation de la variation $\frac{\Delta h}{h_0}$ (gonflement et retrait linéaires), le but étant d'arriver à un calcul de déformation le plus proche de celui constaté in situ.

Il est également logique, dans ce cadre, de penser à recourir aux essais en place, ce qu'a fait FLAVIGNY (Thèse D. MAGNAN, Université de Grenoble I, 1993), avec un essai d'adaptation de l'outil pressiométrique à la caractérisation des sols sensibles au retrait/gonflement (l'EXPANSOL).

Il reste qu'aucun essai, comme souvent en géotechnique, n'est reconnu à lui seul comme représentatif du phénomène dans sa complexité ; on fait donc appel à des mesures différentes qui restent quelquefois malaisées à corrélérer. C'est d'autant plus vrai dans des formations hétérogènes, ce qui est le cas dans la région de Manosque.

Par ailleurs, les coûts sont très variables et si on comprend qu'une expertise ponctuelle justifie un effort à ce sujet, une cartographie à grande échelle ne peut retenir qu'un nombre limité d'essais peu coûteux. Pour cette raison, 3 essais avaient été retenus pour cette étude.

3.4.2. Paramètres spécifiques choisis

Il s'agit de :

Mesure de la "valeur au bleu", sur quelques échantillons par formation géologique.

Objectifs : appréciation de la capacité d'adsorption du bleu de méthylène par les argiles des sols fins,
(voir détail de la méthode en annexe 5).

Essai au papier filtre, sur quelques échantillons par formation géologique.

Objectifs : évaluation rapide de la succion du sol au moment du prélèvement.
(voir détail de la méthode en annexe 6).

Reconstitution de tous les états de succion possible (courbe PF complète) sur carotte 30 x 30 cm, non remaniée.

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

Objectifs : reconstitution du potentiel de succion d'un sol argileux, avec toutes les variations possibles.

Mais cette dernière, trop coûteuse n'a pas pu finalement être réalisée dans le cadre de cette étude. C'est regrettable, parce que les mesures ponctuelles de pression capillaire perdent alors beaucoup de leur intérêt.

En effet, les dépressions interstitielles ou succions induites sont maximales au moment de la sécheresse. Sans avoir l'ensemble des variations possibles on ne peut apprécier facilement la représentativité de la mesure ponctuelle par rapport à la valeur maximale. Le soulèvement relatif d'une couche $\Delta H/H$, que l'on peut estimer par corrélation (Formule de Brackley, par exemple) est lui aussi représentatif d'un état ponctuel, pas forcément le plus pénalisant.

3.4.3. Représentativité

La dispersion des résultats de mesure, problème que l'on traite par statistique, sera probablement la limitation principale vis-à-vis de notre étude cartographique.

En effet, la population doit être suffisamment fournie pour que :

- d'une part, la valeur moyenne d'un essai soit représentative d'une unité géologique ou d'un faciès donnés ;
- d'autre part, les corrélations entre essais soient valables.

3.4.4. Degrés de sensibilité affectés aux différents essais

- Les degrés de sensibilité retenus pour la valeur au bleu, sont :

$V_B < 2,5$	sensibilité faible
$2,5 \leq V_B < 6$	sensibilité moyenne
$6 \leq V_B < 8$	sensibilité forte
$V_B \geq 8$	sensibilité très élevée

On sera amené à les comparer à d'autres valeurs, issues d'essais recueillis dans les données documentaires.

Les 4 classes deviennent, pour I_p (Indice de plasticité) :

$I_p < 12$	sensibilité faible
$12 \leq I_p < 25$	sensibilité moyenne
$25 \leq I_p < 40$	sensibilité forte
$I_p \geq 40$	sensibilité très élevée

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

- calcaires de Vachères : 13 valeurs de bleu sont disponibles. Elles s'étalent de 0,68 à 2,86, avec une moyenne de 1,86. La sensibilité induite selon les critères exposés au § 3.4.2 va de peu à moyennement sensible, ce qui ne confirme pas le classement global en formation sensible à très sensible, en égard aux sinistres constatés. Elle met aussi en évidence le fait que les prélèvements sont faits au hasard et non issus systématiquement de zones ayant subi des désordres. Par ailleurs, 2 pressions capillaires ont été mesurées, soit 49 kPa et 718 kPa. L'échantillonnage est évidemment insuffisant.

La valeur la plus faible est de l'ordre de grandeur de la contrainte verticale, ce qui pour l'état considéré n'induirait pas de soulèvement unitaire $\Delta H/H$ notable.

Pour la seconde valeur, la formule de Brackley donne par corrélation :

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{IP - 10}{10} \times \log \frac{s}{p}$$

IP = 30 (sol sensible)

p = contrainte verticale en kPa, pour 1,5 m de profondeur, par exemple

s = succion mesurée.

On obtient un soulèvement unitaire de la couche de 2,8% (soit 2,8 cm/m) en considérant le seul poids des terres.

Comme on l'a dit, cette valeur ne représente qu'un moment donné et ne correspond pas au soulèvement maxima possible.

3.5. CONCLUSIONS

- ♦ La cartographie présentée en annexe 4 n'a pas été modifiée au vu des essais géotechniques.
- ♦ On a vu que des faciès différents existent au sein d'un même étage géologique ; ces faciès peuvent induire des comportements mécaniques très différents.

Cette hétérogénéité des formations entraîne des difficultés :

- au niveau cartographie naturaliste (limites géométriques réelles de ces faciès) ;

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

- au niveau des essais géotechniques (attention aux lieux de prélèvement, dans quel faciès est-on vraiment ? Egalement au niveau de la dispersion inévitable des résultats, et du nombre trop limité d'essais).

En terme de niveau d'aléa, on considère généralement l'hétérogénéité comme un facteur aggravant, ayant tendance à faire classer la formation dans le rang supérieur. Ceci n'est qu'imparfaitement traduit par les essais géotechniques si leur nombre est limité, comme c'est le cas en cartographie préventive.

♦ Au vu des résultats acquis sur la commune de Pierrevert, il a été décidé de traiter le territoire urbanisable de la ville de Manosque avec les options suivantes :

- importance de la prise en compte des données existantes issues de rapports ou d'expertises, de déclarations de sinistres ;
- recherche plus systématique de points de prélèvements, y compris par un moyen mécanique semi-lourd (tracto-pelle), avec essais géotechniques, en plus grand nombre et combinaison avec des résultats d'essais issus des études antérieures.

La connaissance géologique locale acquise à Pierrevert contribuera à la cartographie de Manosque.

Les règles retenues par ailleurs, (pente, hydrographie, ...) restent inchangées.

♦ Les résultats méthodologiques acquis à Pierrevert n'ont pas pour objet d'être utilisés dans une optique réglementaire et ne peuvent pas se substituer au P.E.R. existant.

4. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALEA "RETRAIT/GONFLEMENT" SUR LA COMMUNE DE MANOSQUE (04)

L'annexe 7 indique les secteurs urbanisables de Manosque qui font seuls l'objet de l'étude méthodologique.

L'annexe 8 recense les zones ayant fait l'objet de déclarations de sinistres entre 1989 et 1992. On constate qu'elles se regroupent en 2 secteurs bien individualisés : Manosque Village et le Pain de Sucre.

4.1. FACTEURS PERMANENTS

Les annexes 9, 10 et 11 fournissent respectivement l'expression cartographique des 3 facteurs permanents pris comme référence : pentes, hydrologie et géologie (ce dernier facteur est détaillé dans l'annexe 12 qui rend compte des descriptions des fouilles réalisées).

Avec ces seuls éléments, on peut constater que Manosque Village est situé sur des pentes variant entre 5 et 25% (moyennes à fortes), avec un réseau hydrographique dense, dans les Marnes de Viens.

Quant au Pain de Sucre, il présente des pentes fortes à très fortes (15 à plus de 25%), un réseau hydrographique dense ; il se situe dans les Marnes de Viens, et aussi en partie dans les calcaires de Vachères.

On constate qu'à part ces 2 quartiers, les zones présentant les mêmes facteurs permanents sont très localisées (ravin de Drouye, est de Manosque Village).

Celles présentant une hydrographie dense, des pentes variables (mais supérieures à 5%), tout en étant dans les zones urbanisables, sont au nombre de quatre environ :

- 1 - à l'est immédiat de Manosque Village ;
- 2 - à l'est et au nord de Bellevue ;
- 3 - au nord et nord-ouest du vieux bourg ;
- 4 - la zone NA à l'ouest de Saint-Michel-l'Aiguille.

Le secteur 1 se situe dans les Marnes de Viens ; le 2 dans la formation de Valensole et de ses épandages locaux ; le 3 dans les colluvions würmiens ; le 4 dans les grès et marnes de Bois d'Asson.

4.2. DESCRIPTION DES DIFFERENTES UNITES GEOLOGIQUES DE LA COMMUNE DE MANOSQUE

4.2.1. Formations oligocènes

4.2.1.1. Niveau de Bois d'Asson (Stampien)

Argiles sableuses parfois très colorée (grises, beiges, rouges), à intercalations de calcaires et de grès souvent à passées de graviers. Vers le sud, les bancs calcaires passent latéralement à des conglomérats.

Ce niveau forme le sommet des reliefs dominant la commune (Mont des Spels, Saint-Michel-l'Aiguille, ...).

Ces terrains sont globalement estimés peu à moyennement sensibles au retrait/gonflement.

4.2.1.2. Calcaires et marnes de Vachères (Stampien)

Importante formation à dominante calcaire, comportant, de bas en haut, trois ensembles lithologiques :

- calcaires en plaquettes avec schistes bitumineux avec, à la base quelques intercalations de lignites (Mine de Gaude) ;
- calcaires argileux et calcaires feuilletés en bancs minces (décimétriques), donnant dans la topographie une zone déprimée ;
- calcaires en gros bancs, avec minces intercalations de marnes blanchâtres, vertes ou grises.

Les variations latérales de faciès sont nombreuses, avec des passées à marnes épaisses, ou des faciès sableux et gréseux verdâtres (dans l'ouest de la commune), faisant la transition avec les marnes de Viens.

Cette formation se redresse au nord de la ville de Manosque, constituant la base des collines de Saint-Michel-l'Aiguille, du Mont des Spels et de la colline de Pimayon.

Le contraste du comportement mécanique entre les calcaires, les marnes et les grès de cette formation, rend ce niveau oligocène redoutable pour les constructions.

4.2.1.3. Marnes de Viens (Oligocène supérieur)

Sur la commune de Manosque, cette formation marquant la fin des dépôts de l'Oligocène est constituée d'argiles sableuses grises à la base (carrière de la Tuilerie) surmontées par des marnes beiges à grises collantes, parfois à intercallations de lignite ou mélangées à des cailloutis calcaires au sud, au contact de la transgression molassique. Elle est généralement recouverte de quelques décimètres de colluvions.

Cette formation affleure largement en position subhorizontale à l'ouest de la ville (Manosque Village, Saint-Alban) et se redresse au nord de la ville (la Rochette, le Pain de Sucre) où elle montre des bancs calcaires durs intercallés dans des marnes meubles.

L'hétérogénéité de cette formation et surtout sa forte teneur en argiles gonflantes, la rend très problématique pour les constructions. Notons également que les colluvions qui la recouvrent sont de mauvaise qualité géotechnique.

4.2.2. Formations miocènes

La période miocène est marquée, dans la région de Manosque, par la transgression molassique calcaire et gréseuse puis par l'immense cône de déjection fluviatile formant aujourd'hui le plateau de Valensole (poudingue), et dont l'épaisseur peut dépasser 1000 m au sud-ouest.

4.2.2.1. Molasse (Burdigalien)

La molasse bioclastique forme un relief induré à la périphérie de la ville de Manosque (quartiers de Bonety, de la Rochette, ..., colline de Toutes Aures), et forme une barre en saillie au nord de Manosque.

Cette formation est insensible au retrait ou au gonflement des sols.

4.2.2.2. Sables marneux et molassiques (Vindobonien marin)

Cette épaisse formation sur laquelle est construite la vieille ville de Manosque et la plupart des quartiers périphériques proches, montre de nombreuses variations de faciès : passages marneux gris, niveaux molassiques, et vers le NE de la ville d'importantes intercalations calcaires (2 à 5 m) ainsi que des brèches (reprenant des fragments de calcaires lacustres oligocènes, de molasse miocène, de sables marneux indurés).

Cette formation est estimée peu sensible au gonflement des sols.

4.2.2.3. Poudingue de Valensole (Miocène supérieur - Villafranchien)

La formation de Valensole est une vaste accumulation de matériaux détritiques provenant de l'érosion des zones subalpines : marnes, graviers et galets, mis en place par d'anciennes circulations fluviales, d'âge mio-plio-quadernaire, correspondant au remplissage d'un bassin subsident qui a commencé avec les molasses marines burdigaliennes ou helvétiques.

Les faciès sont très variés, avec des marnes et argiles (ocres, jaunes ou rouges), des paléosols calcaires rubéfiés, des conglomérats comportant de nombreuses intercalations.

Au niveau de la commune de Manosque, c'est-à-dire sur la bordure ouest de cet ancien bassin alluvial, les faciès de conglomérats indurés et de marnes, (recouvertes par des éluvions de galets) forment les collines situées au NE de la ville : Mont d'Or, Bois Premier, Bois Hospitalier, Bois d'Agut et sont visibles à l'affleurement dans les ravins de Valveranne et de la Tuilerie.

Ces niveaux, le plus souvent indurés, sont très peu sensibles aux variations de teneur en eau.

4.2.3. Formations quaternaires

4.2.3.1. Alluvions anciennes (Riss) : moyenne terrasse (Fx)

Cette moyenne terrasse alluviale de la Durance est formée de cailloutis et graviers de grande taille, hétérogènes (éléments cristallins et sédimentaires). Les galets calcaires repris des conglomérats de Valensole sont plus abondants que dans le matériel de la basse terrasse.

Sur la commune de Manosque, cette moyenne terrasse n'affleure que de manière discontinue, masquée par les colluvions (Py) et les cônes de déjection (Jy) au sud de la voie ferrée au niveau de la zone industrielle Saint-Joseph, et plus au sud-ouest vers Pimontiers et les Bastides Blanches.

Ces alluvions sont estimées peu sensibles au gonflement des sols.

4.2.3.2. Cônes de déjection (Jy)

Ils sont largement développés sur la commune de Manosque au débouché des ravins de Valveranne, des Cinq Heures, de la Tuillière.

Ils sont formés de matériaux assez variés : cailloutis conglomératiques auxquels s'ajoutent des débris calcaires crétacés ou oligocènes et une grande abondance de marnes. Ils recouvrent indifféremment les épandages locaux (RyH ou Py), la moyenne terrasse Fx ou la basse terrasse Fy.

Ces formations conglomératiques de faible pente, sont globalement peu à très peu sensibles au gonflement. La grande abondance de marnes peut expliquer une faible sensibilité locale ; cependant attention aux tassements de consolidation dus à d'éventuels abaissements de nappe.

4.2.3.3. Epandages locaux de la formation de Valensole (RyH)

C'est une accumulation de galets provenant de la dégradation des conglomérats de la formation de Valensole. Elle est insensible aux variations de teneur en eau.

4.2.3.4. Colluvions (Würm) (Py)

Ces colluvions sont formés de limons sableux et de cailloutis en provenance des reliefs crétacés ou oligo-miocènes ; ce matériel, peu évolué, a été mis en place au Würm et se rencontre essentiellement en rive droite de la Durance. Sur la commune de Manosque, on les trouve sous la vieille ville, le Soubeyran, les Séminaires, le Colombier, le Clos de Portales, ainsi que de part et d'autre de la N96 dans le quartier des Naves en direction de Sainte Tulle.

La présence de limons, de marnes sableuses sur plusieurs mètres d'épaisseur (en particulier dans le secteur sud de la commune, le long de la N96), peut conférer à cette formation, localement, une sensibilité faible au gonflement.

4.2.3.5. Alluvions récentes (Fz)

Formées de galets, cailloutis, sables et limons, ces alluvions de la plaine de la Durance sont insensibles au gonflement.

4.3. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

La recherche documentaire a permis de prendre en compte les résultats d'investigations géotechniques déjà réalisées (cf. annexe 14) ; la localisation de ces différentes études est fournie en annexe 13.

Les fouilles et prélèvements spécifiques à l'étude sont détaillées en annexes 12 et 15.

4.3.1. Résultats d'essais

Une synthèse des mesures obtenues, type d'essai par type d'essai, a été réalisée et consignée dans les annexes 15 à 18.

Les données documentaires sont complémentaires des reconnaissances spécifiques, au sens où elles ont recueilli des paramètres différents. Par contre, il est parfois plus difficile de rattacher une valeur d'essai à une unité précise par la seule implantation, sans savoir s'il existe ou non des niveaux de surface particuliers. Par ailleurs, ces données anciennes relèvent en général plus d'expertises que d'études préalables, donc témoignent principalement de secteurs construits et à problèmes.

Dans tous les cas, le nombre d'essais à disposition est insuffisant et il est probable que l'extension des zones gonflantes est plus variable que le maillage des essais disponible.

Les tendances globales sont les suivantes :

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

*** Grès et Marnes de Bois d'Asson (g2b)**

Une seule valeur au bleu est disponible, donnant un potentiel faible à moyen.

*** Calcaires de Vachères (g2c)**

Une seule valeur au bleu est également disponible, correspondant à un potentiel moyen à fort.

*** Marnes de Viens (g3)**

♦ 17 valeurs de bleu sont disponibles dont 11 indiquent un potentiel faible à moyen, 1 un potentiel moyen à fort, 4 un potentiel très élevé.

C'est également dans cette formation que 3 pressions capillaires de quelques centaines de kPa sont relevées.

♦ 16 essais de dessiccation sont à disposition :

- 1 correspond à un potentiel faible à moyen,
- 9 indiquent un potentiel moyen à fort,
- 6 indiquent un potentiel très élevé.

♦ Les 23 essais à l'oedomètre, sur la base du coefficient C_g , fournissent :

- pour 3 d'entre eux, un potentiel faible,
- pour 9 d'entre eux, un potentiel moyen,
- pour 9 d'entre eux, un potentiel fort,
- pour 2 d'entre eux, un potentiel très élevé.

♦ Enfin, 13 limites d'Atterberg ont été recensées :

- 3 indiquent un potentiel faible,
- 6 indiquent un potentiel moyen,
- 4 indiquent un potentiel fort.

L'hétérogénéité des Marnes de Viens est clairement mise en évidence, avec des potentiels qui vont du faible (10%), moyen (39%), fort (33%), à très fort (18%).

Compte tenu de la répartition non uniforme des prélèvements sur l'ensemble de la surface occupée par cette formation, les Marnes de Viens doivent être considérées comme présentant un potentiel élevé.

*** Molasse bioclastique (m1)**

Aucun résultat d'essai ne caractérise cette formation.

* Molasse sableuse (m2)

Seules 2 valeurs au bleu sont disponibles, indiquant un potentiel faible.

* Formation de Valensole (RH), et épandages associés (RyH)

1 seule valeur au bleu fournit un potentiel faible à moyen.

* Enfin, 2 valeurs associent un potentiel faible respectivement aux épandages würmiens et au cône de déjection. Comme dans le cas des marnes de Bois d'Asson et des calcaires de Vachères, ces 4 dernières formations ne sont pas caractérisées par un nombre suffisant d'essais.

4.3.2. Conclusion

Elles sont les suivantes :

- les valeurs géotechniques sont globalement dispersées ;
- les corrélations entre essais différents ne sont pas toujours satisfaisantes au droit d'un site donné ; par contre, en grand, c'est-à-dire pour une formation donnée, en l'occurrence les Marnes de Viens, la sensibilité au gonflement est clairement mise en évidence, malgré la dispersion constatée ;
- les autres formations sont insuffisamment ou pas du tout renseignées. Il y a là une lacune qui fait reposer la cartographie sur les seules données naturalistes.

4.4. ZONAGE DE L'ALEA SUR LA COMMUNE DE MANOSQUE

4.4.1. Règles d'expertise : paramètres utilisés pour le zonage de l'aléa

La réalisation du zonage de l'aléa "retrait-gonflement des sols" sur le territoire de la commune de Manosque, est le produit du croisement de plusieurs paramètres auxquels ont été affecté un critère d'importance : ceci constitue ce que l'on nomme la "règle d'expertise".

Les paramètres intervenant dans la règle d'expertise du zonage sont les suivants :

→ la nature géologique et le comportement mécanique des terrains : *facteurs permanents (fondamentaux)*

- la présence ou non d'argiles gonflantes et degré de sensibilité à de fortes variations de la teneur en eau (conforté par les essais géotechniques des sols, les études et expertises).
- l'homogénéité ou l'hétérogénéité lithologique :
 - . distribution des différents faciès (marneux, argileux, calcaires, conglomératiques, ...) au sein d'une même formation,
 - . contraste de comportement mécanique entre les faciès résistants et meubles.

- le pendage des couches ;
- le contexte hydrogéologique.
- la pente : orientation par rapport à l'ensoleillement, possibilité de solifluxion, circulation des eaux superficielles, nécessité de terrasser, ...;
- l'hydrographie : densité du réseau de drainage, potentiel d'infiltration.
 - l'environnement de surface : facteurs occasionnels (éventuellement aggravants)
- la couverture végétale : succion d'eau dans le sous-sol (arbres), évapotranspiration ;
- l'occupation du sol : différences de potentiel d'évaporation (sol nu, sol aménagé).
 - l'ensemble est examiné à la lumière des sinistres existants.

4.4.2. Classes de sensibilité des terrains (molasse miocène)

La formation g2b (grès et marnes de Bois d'Asson) étant particulièrement mal connue, il ne lui est pas attribuée de degré de sensibilité. Une attention particulière devra lui être appliquée.

→ Classe 1 : Zones insensibles à très peu sensibles

Ce sont les terrains ne présentant aucune variation volumétrique significative avec les variations de teneur en eau.

Ce sont généralement :

- les terrains rocheux durs : molasse miocène, bancs calcaires, ...
- les graves et sables alluviaux : alluvions anciennes et récentes (Fx, Fy, Fz), cônes de déjection (Jy), épandages locaux du poudingue de Valensole (Py),
- les épandages colluviaux de la formation de Valensole et des séries oligo-miocène comportant des argiles gonflantes (Py), mais entièrement recouvertes par des aménagements humains (pas d'infiltration, pas d'évaporation) : c'est le cas du centre ville de Manosque,
- les bancs de sables molassiques, comportant moins de 25% de fines,

→ Classe 2 : Zones peu sensibles à moyennement sensibles

Ce sont les terrains pouvant présenter une petite variation volumétrique avec les variations de teneur en eau, uniquement en retrait, sans possibilité de gonflement ultérieur. Des fondations mal adaptées peuvent y subir de petits réajustements lors de sécheresses importantes. Ce sont en particulier :

- les terrains granuleux comportant au moins 25% de fraction fine peu à moyennement gonflante, à pente faible : épandages colluviaux de la formation de Valensole et des séries oligo-miocènes comportant des argiles gonflantes (Py) ;

→ Classe 3 : Zones moyennement sensibles à sensibles

Une variation volumétrique importante des formations marneuses et argileuses est possible lors de fortes variations de teneur en eau. C'est en particulier le cas pour :

- les formations géologiques de l'Oligocène moyen à supérieur (calcaires et marnes de Vachères ; marnes de Viens) caractérisées par :
 - la présence dans certains niveaux d'argiles dont les essais de laboratoire donnent des valeurs de gonflement moyennes à élevées,
 - leur faible pendage,
 - leur pente faible,
 - leur couverture végétale herbacée ou arbustive relativement homogène,
 - leur exposition vers le sud,
 - l'aménagement urbain moyen à faible.

→ Classe 4 : Zones sensibles à très sensibles

Les variations volumétriques des terrains argileux et marneux, sont très importantes lors de variations de la teneur en eau.

La sensibilité du terrain est aggravée par :

- une pente moyenne à forte (> 15%),
- un pendage faible des couches,
- des variations rapides de faciès durs et meubles, ou argileux et sableux, ...
- la présence de grands arbres à système racinaire développé,
- un drainage peu important, linéaire (forte pente) ou diffus (pente moyenne à faible).

Ces conditions sont réunies dans :

- le sommet de la formation des marnes de Viens de faible pendage, affleurant à l'ouest de la ville, en particulier dans le secteur nouvellement loti de Manosque Village,
- certains secteurs à fort pendage du sommet de la formation des marnes de Viens, faisant alterner des bancs de roche dure et de marnes meubles (fort contraste de comportement mécanique des sols), affleurant sur une bande située au nord de la ville, en piedmont des collines du Mont de Spels.

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

Dans ces contextes, tous les bâtiments peuvent subir des désordres importants et sont difficiles à stabiliser, en particulier lorsqu'il s'agit :

- de bâtiments bas (1 à 2 niveaux), à fondations peu profondes (40 à 80 cm) peu ou pas armées reposant sur un sol argileux,
- de bâtiments construits dans une pente dont les fondations amont et aval ne sont pas situées sur un terrain d'assise homogène,
- de bâtiments construits sur des terrains hétérogènes, présentant de forts contrastes (niveaux durs/niveaux meubles),
- de bâtiments entourés d'arbres à système racinaire profond et développé, et en particulier des chênes, peupliers, frênes, et de façon moindre des robiniers (acacias), marronniers, tilleuls, saule, aubépine, hêtre, ...

5. APPROCHE METHODOLOGIQUE A L'ECHELLE DEPARTEMENTALE (ALPES DE HAUTE PROVENCE)

5.1. METHODOLOGIE PROPOSEE

Les étapes retenues sont les suivantes :

- recherche de tous les faciès argileux du département ;
- cartographie des faciès estimés sensibles au retrait-gonflement des sols ; utilisation de résultats d'essais existants avec prélèvements supplémentaires si nécessaire (formation mal connue) ;
- inventaire des secteurs déclarés sinistrés du département ;
- croisement des faciès sensibles au retrait-gonflement et des zones ayant subi des sinistres ;
- inventaire des zones urbanisables à l'horizon 2025 ;
- croisement des 2 ;
- cartographie des zones exposées.

5.2. SENSIBILITE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES DU DEPARTEMENT DES ALPES DE HAUTE PROVENCE (04) A L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS

5.2.1. Cadre géologique du département

Le département des Alpes de Haute Provence couvre plusieurs régions naturelles très différentes (fig. 3) :

- **les zones alpines internes**, à l'Est avec en particulier les nappes de l'Embrunais-Ubaye ;
- **les zones subalpines** : couverture sédimentaire plissée de la Montagne de Lure, des chaînons de haute-Provence au Sud (arcs de Digne, de Castellane) ; ...
- **les bassins sédimentaires tertiaires effondrés** puis remplis de plusieurs milliers de mètres de sédiments à l'Oligocène ; ils seront plissés au mio-pliocène :
 - . *bassins de Manosque et de Forcalquier,*
 - . *plateau de Valensole*, formé par un épais remplissage détritique provenant de l'érosion de la chaîne alpine.

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale - Approche méthodologique

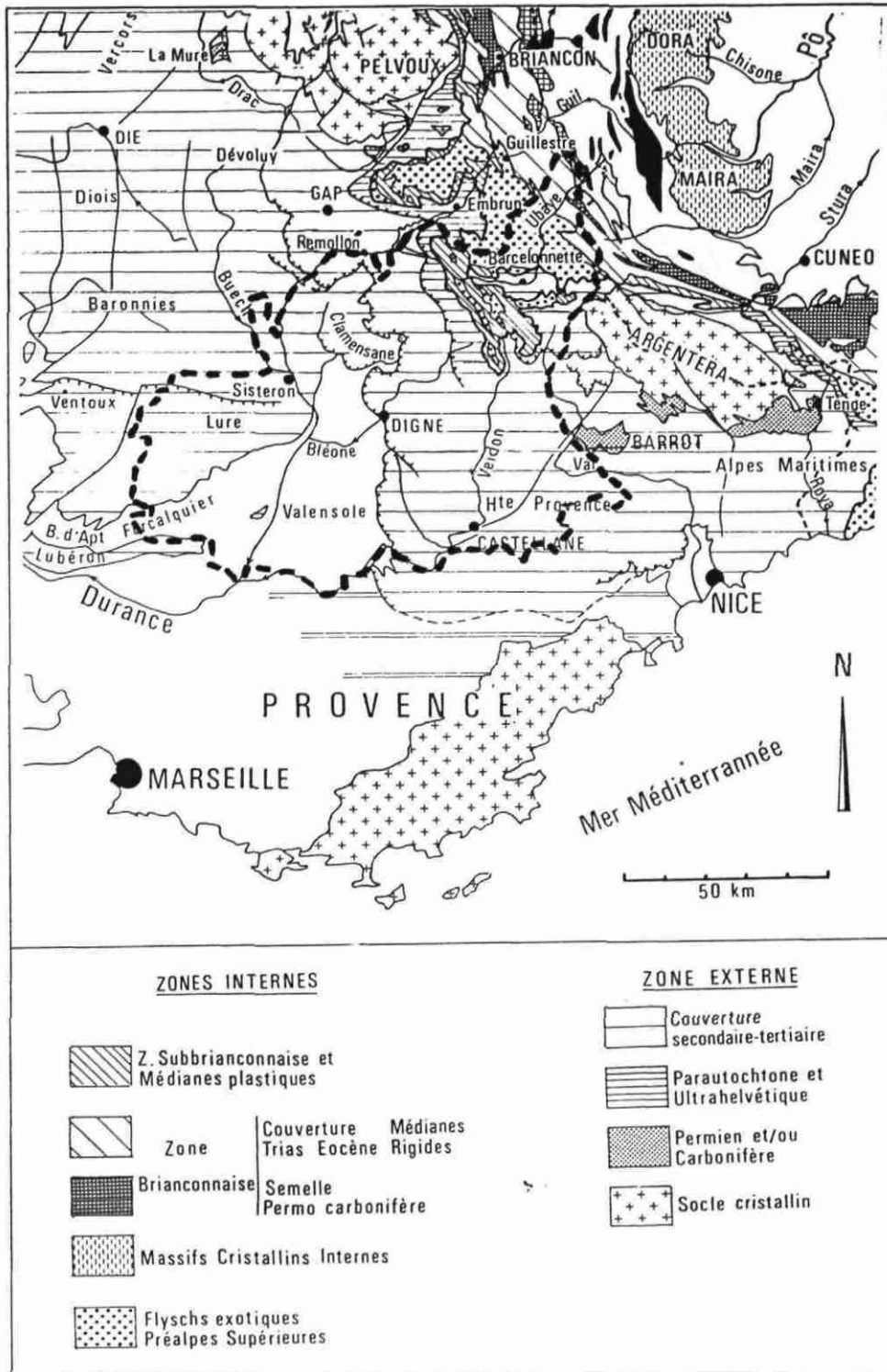



Fig. 3 - Grandes unités structurales alpines du département des Alpes de Haute Provence

 limites du département

**Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique**

Ces trois grands ensembles géologiques liés à la formation de la chaîne alpine comprennent tous des formations argileuses ou marneuses. Mais selon la nature des argiles contenues dans ces terrains, ceux-ci pourront être ou non affectés par des mouvements de retrait et de gonflement dommageables.

5.2.2. Faciès argileux du département des Alpes de Haute Provence

5.2.2.1. Zone alpine interne

- nappes de l'Embrunais-Ubaye (du col de Vars au col de Larche : région de la haute-Ubaye) ;
- zone subbriançonnaise (du lac de Serre-Ponçon à la haute vallée du Verdon : col d'Allos, Colmars, ...

Dominée par les nappes de flysh, cette zone est essentiellement formée de matériel schisteux et calcaréo-gréseux. Il n'y a pas de formation argileuse significative dans cette zone interne.

5.2.2.2. Zone subalpine

La couverture sédimentaire plissée en nappes, formée de séries mésozoïques marines et d'un tertiaire continental, comprend en particulier les faciès marneux ou argileux suivants :

	Age géologique	Etage géologique (et indice)	Nature des terrains	Secteurs concernés dans le département (04)
MESOZOIQUE	CRETACE supérieur	<i>Cénomaniens (C₁)</i>	Calcaires et marnes grises	Vallée de la Durance
	CRETACE inférieur	<i>Aptien supérieur (C_M)</i>	Marnes sombres	Région de Tartonne (à l'ouest de Digne) ; région de Peipin ;
		<i>Barrémien (n₄₋₅) Bédoulien (Aptien inférieur)</i>	Calcaires marneux (de la zone vocontienne)	Montagne de Lure, vallée du Jabron
	JURASSIQUE moyen	<i>Bathonien-Bajocien (J_N)</i>	Terres noires et calcaires argileux (de la zone vocontienne)	A l'Ouest de Digne ; au NE de Sisteron (rive gauche de la Durance)
JURASSIQUE inférieur (Lias)	<i>Toarciens (l₆₋₇)</i>	Marnes noires à intercallations calcaires	Région de Digne	

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

5.2.2.3. Bassins tertiaires

Le remplissage des bassins d'effondrement tertiaires par d'épaisses formations sédimentaires à l'Oligocène, puis au Miocène, a fourni de nombreux faciès marneux et argileux d'origine marine ou continentale, dont le comportement de retrait et de gonflement varie très rapidement.

	Age géologique	Etage et/ou formation géologique (et indice)	Nature des terrains	Secteurs concernés dans le département (04)
TERTIAIRE	MIO-PLIOCENE	<i>formation de Valensole</i>	argiles rouges, marnes blanches, conglomérat marneux	<i>Moustiers Ste Marie ; plateau de Valensole ; Puimoisson, Valensole, Puimichel, ...</i>
	MIOCENE	<i>Vindobonien (Helvétien) (m2)</i>	Molasse marneuse (marine) et marnes	<i>A l'Est de Digne : Aiglun, Mallemoisson, Mirabeau, St Jurson, Châteauredon</i>
	OLIGOCENE supérieur	Marnes de Viens (g3)	Argiles sableuses grises à plaquettes calcaires	<i>Rive droite de la Durance : région de Manosque et Forcalquier</i>
	OLIGOCENE moyen et inférieur	<i>Stampien</i> Calcaires et marnes de Vachères (g2C) <i>Stampien</i> niveau de Bois d'Asson (g2b) <i>Sannoisien</i> Calcaires et marnes de Montfuron (g2a) <i>Sannoisien</i> niveau de la Mort d'Imbert (g1e)	Intercalations de marnes grises et calcaires marnes sableuses Marnes épaisses intercalées dans des calcaires Marnes rouges sableuses	<i>Région de Manosque : Pierrevert, Ste Tulle, Peipin, ...</i> <i>Région de Manosque : Pierrevert, Ste Tulle, Peipin, ...</i> <i>A l'Ouest de Manosque : Peipin, Montfuron, ...</i> <i>A l'Ouest de Manosque</i>

5.2.3. Faciès argileux ayant subi des mouvements de retrait et/ou gonflement

L'individualisation de ces faciès a été faite à partir de l'analyse des communes sinistrées en 1989-92.

5.2.3.1. Communes sinistrées pendant la sécheresse

La liste des communes sinistrées, pour la sécheresse durant les années 1990, fournie par la Préfecture des Alpes-de-Haute-Provence (04)-Protection Civile est la suivante :

Commune	Date de l'arrêté	Auteurs des études
Aiglun	12/08/91	<i>CETE Méditerranée</i>
Champtercier	12/08/91	<i>CETE Méditerranée</i>
Digne (2 cantons)	25/01/93	<i>Van Gerdinge</i>
Mallemoisson	12/08/91	<i>Sol Concept</i>
Manosque	28/03/91+7/02/93+30/06/94	<i>De Sartiges</i>
Mirabeau	28/03/91	<i>Rostan</i>
Peipin	31/08/90 + 15/11/94	<i>Sol Concept</i>
Pierrevert	28/03/91	<i>Sol Concept</i>
Thoard	28/03/91	<i>CETE Méditerranée</i>

En outre, les communes de Beuvons, St Etienne-les-Orgues, Castellard-Mélan, Limans, Puimichel, Tartonne, les Omergues ont fait des demandes de reconnaissance de l' "état de catastrophe naturelle" qui n'ont pas abouti pour des raisons diverses (avis défavorable du RTM, absence d'étude géologique, ...).

5.2.3.2. Terrains suspects de mouvements de retrait et de gonflement à l'échelle du département

En fonction :

- des désordres constatés dans les constructions,
- de tests de laboratoire sur le gonflement/retrait des argiles,

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

les terrains a priori suspects de mouvements de retrait-gonflement à l'échelle du département seraient :

→ *les marnes aptiennes :*

région de Peipin

→ *les argiles et marnes oligocènes :*

- + argiles sableuses de la Mort d'Imbert,*
- + marnes de Montfuron,*
- + argiles de Bois d'Asson,*
- + calcaires et marnes de Vachères,*
- + marnes de Viens.*

→ *les conglomérats d'argiles oligocènes*

→ *les argiles et marnes miocènes :*

*régions de Digne, Champiercier,
Mallemoison, Mirabeau, Aiglun, Thoard*

→ *les argiles et marnes mio-pliocènes :*

plateau de Valensole

→ *les colluvions issus de toutes ces formations géologiques par érosion.*

Les autres formations argileuses du département sont :

- *soit reconnues comme non sensibles au retrait/gonflement (après essais de laboratoire) :*
 - . marnes noires du Cénomanién,
 - . marnes noires du Callovo-Oxfordien.
- *soit de sensibilité au gonflement non connue :*
 - . absence d'essai ;
 - . absence d'observation de désordres ;
 - . désordres liés au gonflement masqués par des mouvements de versant importants.

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

En conclusion, l'examen rapide de l'ensemble des formations argileuses susceptibles de retrait/gonflement à l'échelle du département et des désordres et dommages produits au cours des années 1989-92 conduit à retenir quatre formations géologiques des Alpes de Haute Provence :

- *le Mio-Pliocène* (plateau de Valensole)
- *le Miocène terminal marin, (et non continental)*
- *l'Oligocène terminal*
- *le Crétacé terminal* (Albien)

Notons cependant, qu'il est quelquefois difficile de distinguer les dommages liés au "retrait/gonflement" proprement dit de ceux consécutifs à des phénomènes comme le tassement par consolidation, différentiel ou non (cas d'un abaissement de nappe par exemple, accompagnant une sécheresse).

6. CONCLUSIONS GENERALES

L'approche méthodologique d'étude de l'aléa "retrait-gonflement des sols" (liée à l'alternance de périodes de sécheresse intense et de fortes pluies) a d'abord été tentée sur 2 communes du département des Alpes-de-Haute-Provence : Pierrevet et Manosque ; puis une extension méthodologique à l'échelle départementale est abordée.

→ Au niveau des 2 communes-test, les critères d'évaluation suivants ont été utilisés :

- prise en compte des données existantes issues de rapports ou d'expertises, des déclarations de sinistres, pour orienter la cartographie et connaître les mécanismes locaux ;
- géologie (présence d'argiles sensibles ou non au retrait/gonflement, conditions paléogéographiques de formation, distribution des différents faciès, hétérogénéité, pendage des couches, ...)
- comportements mécaniques associés, étayés par des essais géotechniques variés en nombre suffisant et bien répartis ;
- pente, hydrogéologie et hydrographie.

Des facteurs occasionnels modulent les éléments précédents : couverture végétale, occupation du sol, exposition, ...

→ Au niveau départemental, la méthodologie générale a été légèrement adaptée :

- inventaire de l'ensemble des formations argileuses et/ou marneuses du département ;
- inventaire des désordres et sinistres dans les communes ;
- inventaire des formations sensibles au retrait-gonflement, avec prise en compte des expertises et études géotechniques, et réalisation d'essais sur des formations mal connues.

Les facteurs comme la pente, et l'hydrographie, ainsi que les éléments comme la couverture végétale, l'occupation du sol et l'exposition sont plus difficilement utilisables.

Le croisement avec les zones urbanisables à l'horizon 2025 permet de prendre en compte de manière simplifiée les enjeux.

- Les études présentées dans le présent document sont méthodologiques et n'ont pas vocation à être utilisées dans une optique réglementaire.

*Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de
Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) -
Echelle communale et départementale -Approche méthodologique*

- Dans l'avenir, il est proposé de développer les points suivants :
 - traitement informatique pour le zonage et la restitution ;
 - rhéologie des argiles sensibles au niveau national et régional ;
 - contribution à une meilleure prise en compte des mécanismes par les essais géotechniques ;
 - tentative de prise en compte de l'évolution des conditions météorologiques régionales pour aller dans le sens d'une cartographie d'un véritable aléa et non d'une susceptibilité.

BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE

MOUROUX P., MARGRON P., PINTE J.C., 1988 - La construction économique sur sols gonflants, *Manuels et méthodes n° 14 du BRGM, éditions BRGM.*

DUCHAUFOUR .,1979 - Pédologie, *tomes 1 et 2 . Edition Masson.*

Guide technique. Réalisation des remblais et couches de forme. *LCPC/SETRA, T.1 et 2, 1982.*

MAGNAN D., 1983 - Caractérisation in-situ des sols gonflants : l'essai expansol. *Thèse soutenue à l'Université Joseph Fourier, Grenoble.*

FACCENDINI J.P., 1982 - Les effets de la sécheresse dans le domaine de la construction : évaluation et cartographie des dommages et des risques. *DEA, septembre 1982.*

Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. *CEBTP, Fascicules 1 à 3, 1991.*

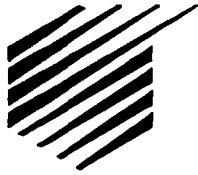
PHILIPONNAT G. - Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Revue Française de Géotechnique, n° 57.*

FLAVIGNY E. - Discussion de l'article de PHILIPONNAT G. - *Revue Française de Géotechnique, n) 59.*

LOGEAIS L., 1990/91 - Tassement de fondations dus à la sécheresse. *Sycodes informations, n° 8.*

TOULEMONT M., COJEAN R., FACCENDINI J.P., 1994 - Cartographie prévisionnelle des sols sensibles à la sécheresse : un outil d'information préventive. *Mappemonde, 4/94.*

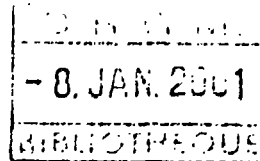
Cartographie des terrains sensibles à la sécheresse. Rapports d'études SOL CONCEPT pour les communes de Pierrevet, Peipin, Sainte-Tulle, 1981.



Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur



DOCUMENT PUBLIC

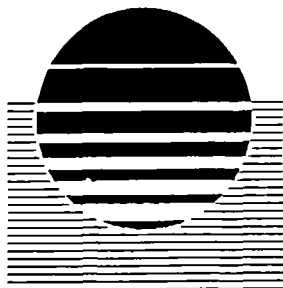


Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes de Haute Provence)

Echelle communale et départementale

Approche méthodologique

ANNEXES



BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM
94 H 259 et 95 H 011

novembre 1995
Rapport du BRGM n° R 38695

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département utilisation et protection de l'espace géologique
Groupe Risques naturels et Géoprospective
BP 167 - 13276 MARSEILLE CEDEX 09 - FRANCE
Tél. : (33) 91 74 74 - Fax (33) 91 17 74 75


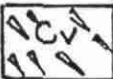
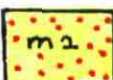
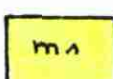


ANNEXE 1

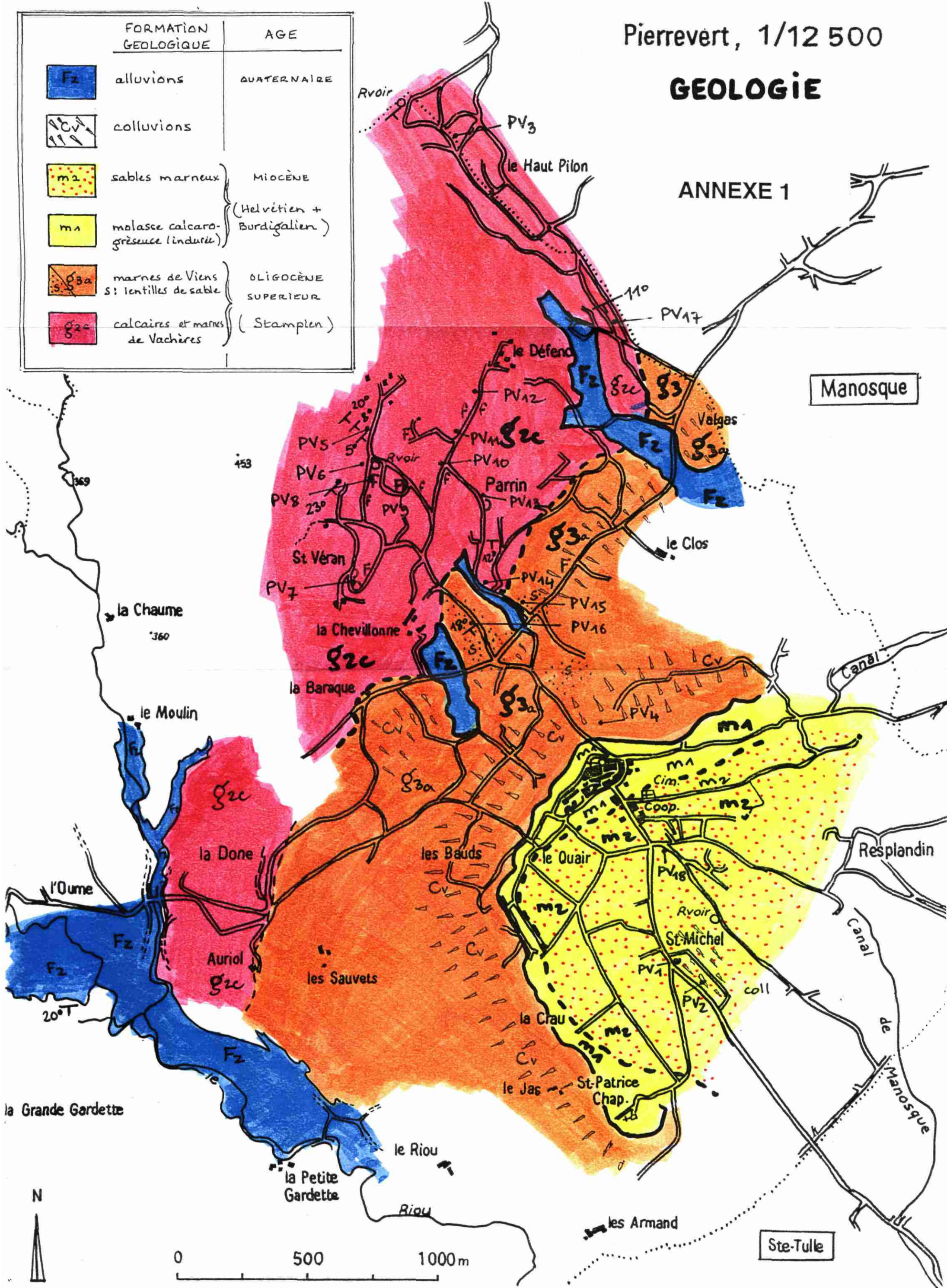
PIERREVERT : GEOLOGIE

1/25000

GEOLOGIE

ANNEXE 1

FORMATION GEOLOGIQUE	AGE	
 Fz	alluvions	QUATERNAIRE
 Cv	colluvions	
 m ₂	sables marneux	MIOCÈNE (Helvétien + Burdigalien)
 m ₁	molasse calcaro-gréseuse (indurée)	
 g _{3a}	marnes de Viens s: lentilles de sable	OLIGOCÈNE SUPERIEUR (Stampien)
 g _{2c}	calcaires et marnes de Vachères	



ANNEXE 2

PIERREVERT : HYDROGRAPHIE

1/12 500

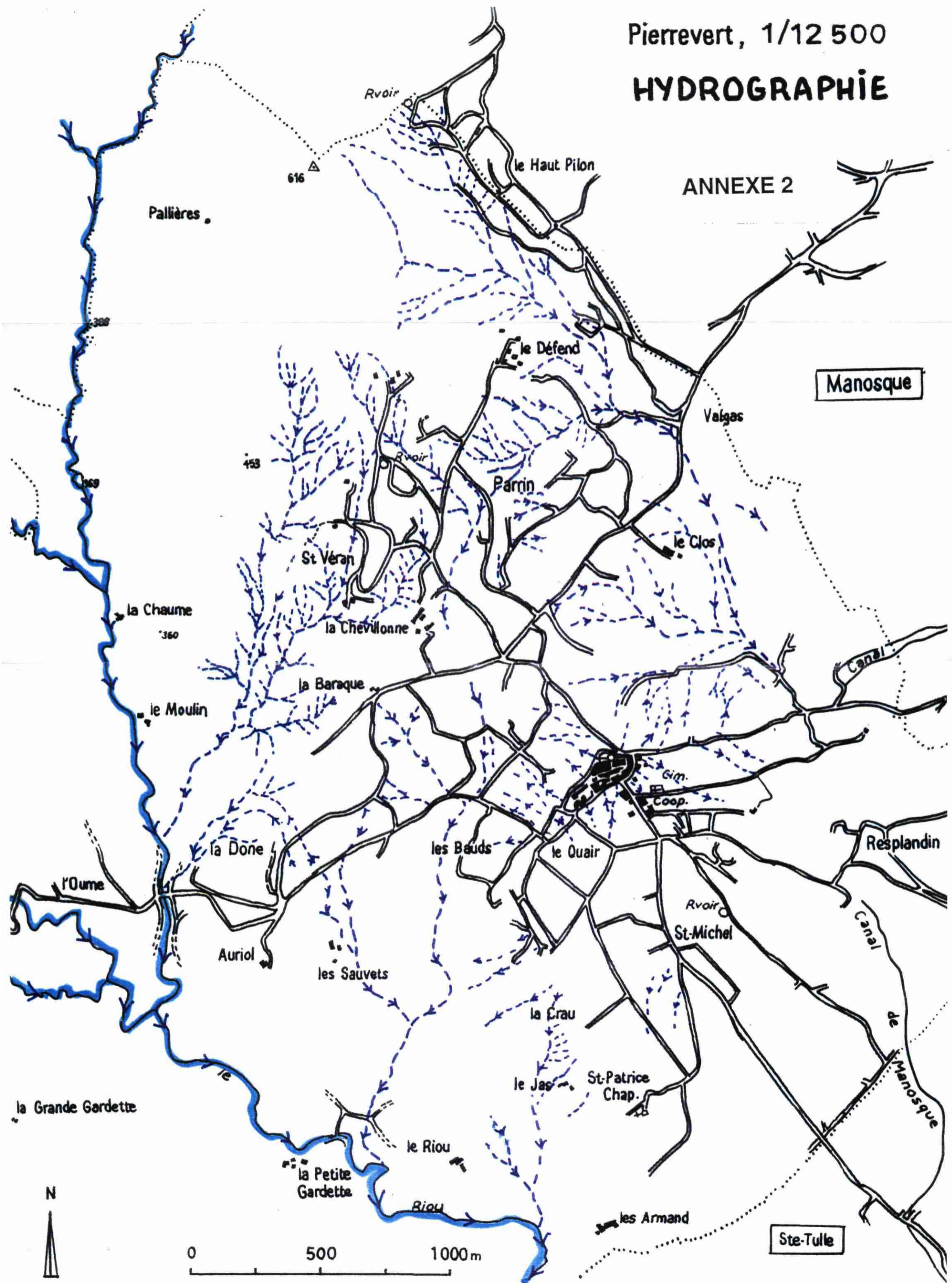
Pierrevert, 1/12 500

HYDROGRAPHIE

ANNEXE 2

Manosque

Ste-Tulle



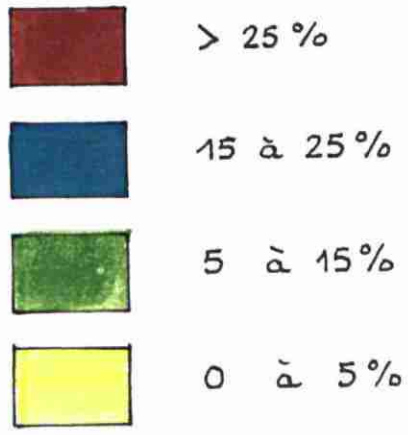
ANNEXE 3

PIERREVERT : CARTE DES PENTES

1/12 500

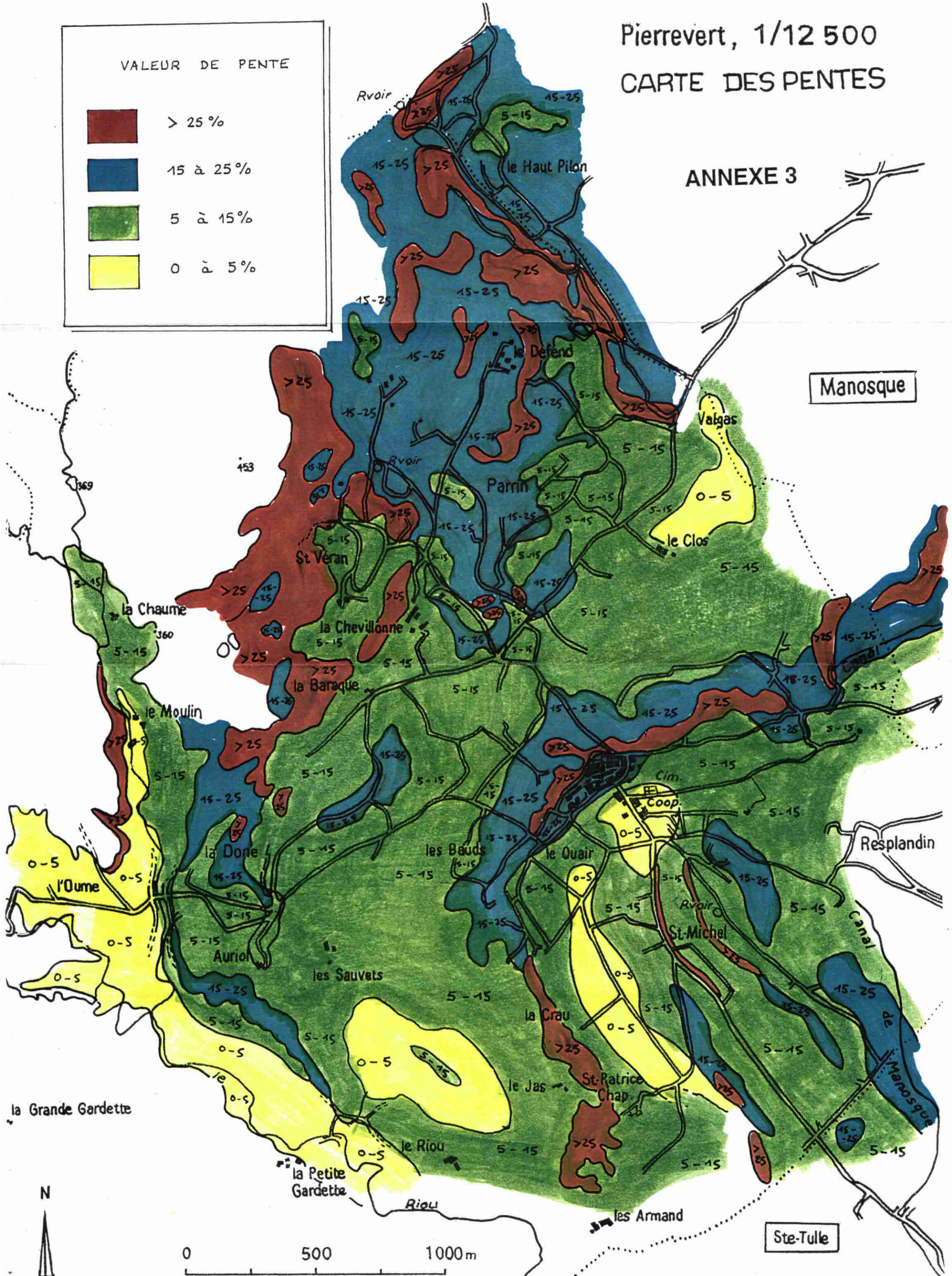
Pierrevert, 1/12 500
CARTE DES PENTES

VALEUR DE PENTE



ANNEXE 3

Manosque



0 500 1000m




ANNEXE 4

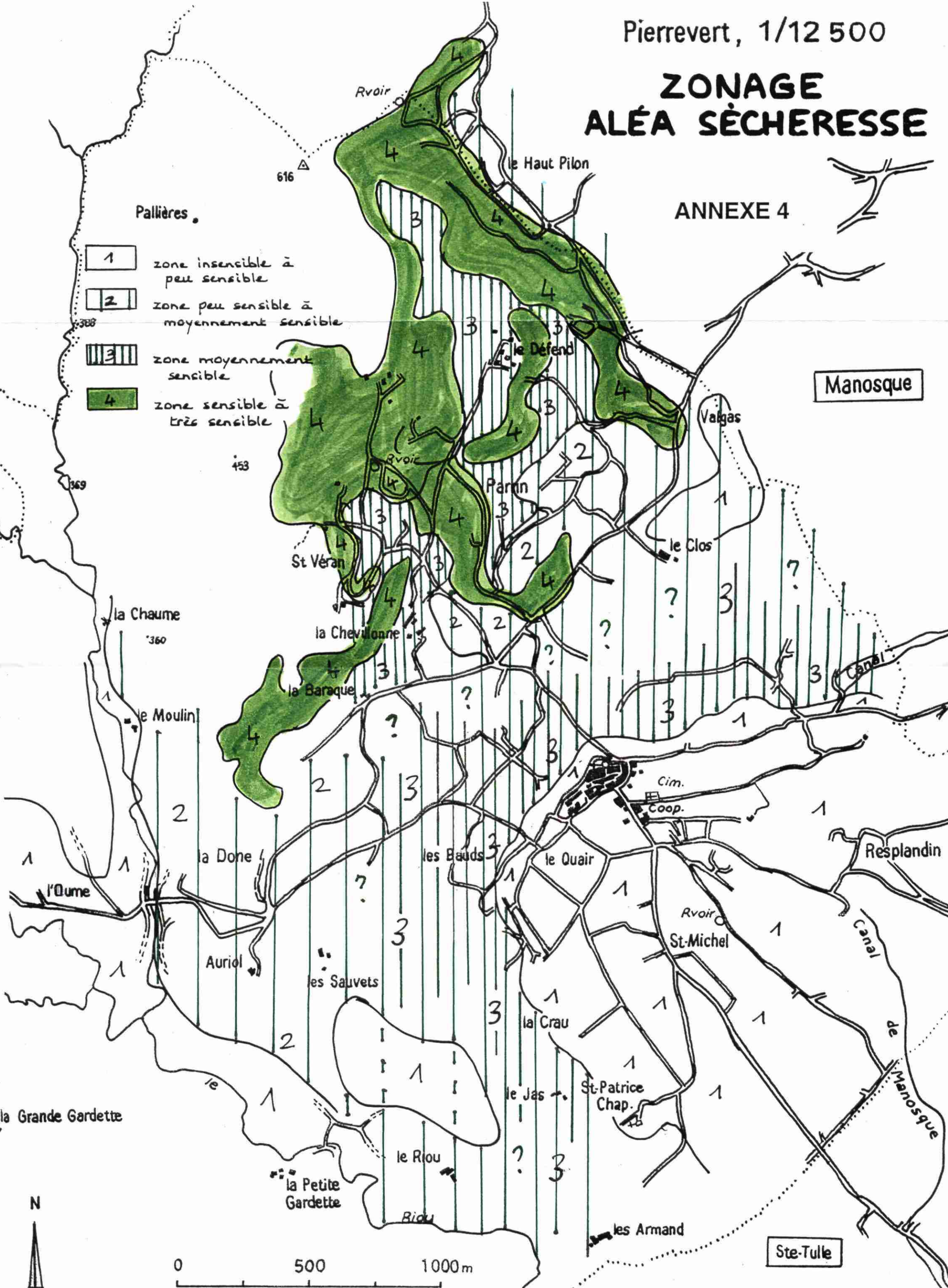
PIERREVERT : ZONAGE ALEA SECHERESSE

1/12 500

ZONAGE ALÉA SÈCHERESSE

ANNEXE 4

-  zone insensible à peu sensible
-  zone peu sensible à moyennement sensible
-  zone moyennement sensible
-  zone sensible à très sensible



Manosque

Ste-Tulle

0 500 1000m

ANNEXE 5

MODE OPERATOIRE DE L'ESSAI AU BLEU DE METHYLENE

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Approche méthodologique

1. — But de l'essai

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins du sol à adsorber du bleu de méthylène.

Cette capacité d'adsorption rend compte globalement de l'activité de surface des argiles (c'est-à-dire de leur surface spécifique), ainsi que de celle des matières organiques et des hydroxydes de fer, éléments qui adsorbent préférentiellement le bleu de méthylène.

Un sol adsorbe proportionnellement d'autant plus de bleu de méthylène :

- qu'il contient davantage d'argile,
- que cette argile est active (qu'elle développe une surface spécifique élevée).

2. — Principe de l'essai

Il consiste à introduire, dans le bain aqueux contenant la prise d'essai, des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives, et à contrôler après chaque ajout l'adsorption du bleu au moyen du test « de la tache » (cf. 5) jusqu'à ce que les particules argileuses du matériau soient saturées de bleu (test de la tache devenant positif).

3. — Matériel nécessaire

3.1. — Appareillage

- Une burette
 - capacité : 100 à 50 cm³,
 - graduation : 1/10 ou 1/5 cm³.
- Papier filtre : quantitatif et sans cendre (> 0,010) ; grammage : 95 g/m², épaisseur : 0,20 mm, vitesse de filtration 75 ; rétention : 8 μm.
- Une baguette de verre : longueur 300 mm ; diamètre 8 mm.
- Un agitateur à ailettes, tournant entre 400 et 700 tr/mn.
- Un récipient de 500 ml en verre ou en matière plastique, de diamètre environ 100 mm.
- Une balance dont la portée limite est compatible avec la masse de la prise d'essai et qui permet de peser à 1% près.
- Un chronomètre ou un compte-minutes.
- Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau ainsi qu'un écrêtage éventuel des gros éléments (>10 mm).

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Approche méthodologique

3.2. — Produits utilisés

- Solution de bleu de méthylène de qualité médicale à 10 g ± 0,1 g/l.
- Eau déminéralisée ou distillée.

4. — Exécution de l'essai

4.1. — Préparation de l'échantillon

Il est souhaitable d'avoir dans la prise d'essai une masse F d'environ 30 grammes (en poids sec) de fines, c'est-à-dire de particules inférieures à 0,080 mm.

Connaissant la teneur en eau du sol w et sa teneur en fines f^* , la masse de la prise d'essai à sa teneur en eau en l'état est alors donnée par la formule :

$$M = F \frac{(w + 100)}{f}$$

Cette valeur sera ajustée au gramme près.

4.2. — Mise en place de la prise d'essai

La prise d'essai est placée dans un béccher de 500 ml avec 200 cm³ d'eau déminéralisée ou distillée. L'ensemble est soumis à une agitation d'une minute à 700 tr/mn, puis permanente à 400 tr/mn pendant toute la durée de l'essai à l'aide de l'agitateur, les ailettes étant situées à 1 cm au-dessus du fond du récipient.

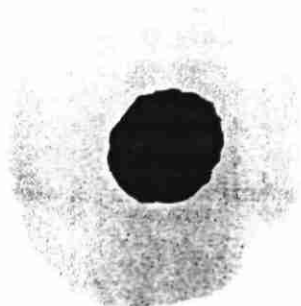
4.3. — Dosage de la quantité de bleu adsorbée

A l'aide de la burette, on injecte dans le récipient, une dose de 5 cm³ de solution de bleu de méthylène et on procède **au test de la tache** :

— Le test consiste à prélever, à l'aide de la baguette de verre, une goutte de suspension et à déposer celle-ci sur le papier filtre. Il se forme une tache composée d'un dépôt de sol coloré en bleu soutenu, entouré d'une zone humide en général incolore.

— La goutte prélevée doit être telle que le diamètre du dépôt soit compris entre 8 et 12 mm.

— Le test est dit positif si, dans la zone humide, il apparaît autour du dépôt central une auréole bleu clair. Celle-ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation des particules argileuses du sol.



Tache sans auréole (test négatif)



Tache avec auréole bleu clair (test positif)

$$* w = \left(\frac{\text{poids d'eau}}{\text{poids de sol sec}} \times 100 \right)$$

$$f = \left(\frac{\text{poids sec des fines}}{\text{poids sec du sol}} \times 100 \right)$$

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Approche méthodologique

LA CONSTRUCTION ÉCONOMIQUE SUR SOLS GONFLANTS

Si le test de la tache est négatif, on injecte de nouvelles doses de 5 cm³ de solution de bleu et on procède après chaque addition au test de la tache, jusqu'à ce qu'il devienne positif. A ce moment, on laisse s'opérer l'adsorption du bleu sur le sol, sans rien ajouter, tout en effectuant des tests de minute en minute.

Si l'auréole bleu clair disparaît de la tache avant la cinquième minute, on procède à de nouvelles additions élémentaires de bleu qui sont :

– soit de 5 cm³ comme précédemment si le volume de la solution de bleu déjà introduit est supérieur ou égal à 30 cm³,

– soit de 2 cm³ si ce volume est inférieur à 30 cm³.

Chaque addition est suivie de tests effectués toujours de minute en minute.

L'essai est terminé lorsque le test de la tache demeure positif pendant 5 minutes consécutives.

5. Expression des résultats

La « valeur de bleu » de fines exprimée en grammes de bleu pour 100 g de fines est donnée par la formule :

$$VB = \frac{V}{F}$$

V étant le volume final de solution injectée, en centimètres cubes.

F poids sec de fines, en grammes, de la prise d'essai.

Dans les sables et graviers argileux, de granulométrie 0/D, si l'on a procédé à un écrépage du sol et effectué l'essai au bleu sur la fraction granulaire 0/d (présente en proportion « % d » dans le sol 0/D),

on passe de la valeur de bleu mesurée sur la fraction 0/d à celle du sol total par l'expression :

$$VB(0/D) = VB(0/d) \times (\%d)$$

6. – Commentaires

L'ordre de grandeur de la valeur de bleu va :

de 0,5 - 2 pour les sables courants,

à 10 - 12 pour les sols cohérents.

L'essai est rapide : de 10 à 40 minutes selon le type de sol.

On peut évidemment procéder à l'essai directement sur les fines obtenues par tamisage à 0,080 mm au lieu d'opérer sur le sol total (cf. 4.1).

L'appareillage doit être nettoyé et rincé à grande eau après les essais.

Extrait de l'ouvrage :

*"La construction économique sur sols gonflants"
par P. MOUROUX, P. MARGRON, J.C. PINTE*

Manuels et Méthodes, n° 14, Editions du BRGM, 1988

ANNEXE 6

ESSAI AU PAPIER FILTRE

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) - Approche méthodologique

Méthode du papier-filtre

Un échantillon de sol est placé en contact avec un papier-filtre dont on connaît la courbe de rétention d'eau. A l'équilibre, le potentiel du sol et le potentiel du papier-filtre sont égaux, et la succion du sol est évaluée par la détermination de la teneur en eau du papier-filtre. On obtient ainsi la succion du sol dans son état de référence.

1. – Origines et évolutions de la méthode

La méthode du papier-filtre est basée sur l'hypothèse qu'à l'équilibre, le potentiel de l'eau d'un échantillon de sol et le potentiel de l'eau d'un papier-filtre en contact avec l'échantillon sont les mêmes.

La première utilisation de cette méthode pour mesurer directement les contraintes dans un sol est due à Gardner (1937). Celui-ci utilisait un papier-filtre de type « Schleider et Schuell n° 589 White Ribbon » traité au chlorure de mercure ($HgCl_2$) pour éviter la décomposition du papier.

Cette méthode fut modifiée par la suite par Fawcett et Collis George (1966) qui préconisent l'emploi d'un papier Whatman n° 42, puis par MC Queen et Miller (1968). Ces deux derniers auteurs utilisent un papier Schleicher and Schuell n° 589, traité par une solution de pentachlorophénol « Dowcide-7 » concentrée à 3% pour minimiser la croissance bactérienne et la décomposition biologique.

Le papier-filtre est préalablement étalonné à l'aide d'appareillages classiques (appareil de Richard, psychromètre, solutions salines) afin de déterminer sa courbe de rétention d'eau. L'emploi de papier toujours préalablement mouillé évite les phénomènes d'hystérésis (on se situe alors toujours sur la branche drainage de la courbe de rétention d'eau du papier).

Si le papier-filtre est placé en contact direct avec le sol, il permet de mesurer la succion matricielle de l'échantillon (par transfert d'eau liquide). Si au contraire, il n'est pas en contact direct avec le sol, il permet de mesurer la somme de la succion matricielle et de la succion osmotique (par transfert d'eau vapeur sans ions).

Enfin Al-Khafaf (1972), montre que l'équilibre entre le sol et le papier est obtenu au bout de cinq jours environ, et que l'influence de la température n'est pas prépondérante pourvu que celle-ci soit à peu près constante au cours du temps.

Il est à remarquer que si cette technique permet de mesurer la succion réelle du sol dans un état donné, c'est que les transferts d'eau entre sol et papier sont très faibles et ne modifient pas la teneur en eau du sol (donc son état de référence).

Elle est de plus utilisable sur une très vaste gamme de succion (de pF 0 à pF 7) ce que ne permettent pas l'essentiel des autres méthodes précédemment décrites prises séparément.

Elle est enfin très facile à mettre en œuvre et le coût de l'appareillage est faible.

2. — Technique opératoire

Matériel nécessaire

- papier-filtre Whatman n° 42
- feuilles de plastique souple
- boîte de plastique rigide
- balance au 0.0001 gramme.

Déroulement de l'essai

L'échantillon de sol est taillé en forme cubique d'environ 3 cm d'arête et partagé en deux par son milieu.

Trois papiers-filtres de forme carrée de 3 cm de côté et préalablement mouillés sont introduits entre les deux demi-échantillons. Seul le papier central sera utilisé pour la mesure de teneur en eau, les deux papiers extérieurs servant à empêcher la pollution du papier central par des particules d'argile.

L'ensemble échantillon + papier est soigneusement emballé dans une feuille de plastique souple en évitant de piéger des bulles d'air, et le tout est scellé par un ruban adhésif.

L'échantillon est alors déposé dans une boîte plastique rigide préhumidifiée puis scellée à l'aide de ruban adhésif.

Au bout de sept jours, l'échantillon est déballé, et très vite le papier-filtre central est pesé au 1/1000 de gramme. Cette pesée doit être effectuée très rapidement, car dès la sortie du papier celui-ci se met à sécher.

Le papier-filtre est ensuite séché dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis pesé à nouveau à sa sortie de l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau. On procède de même avec l'échantillon de sol.

La lecture sur la courbe d'étalonnage du papier-filtre permet d'obtenir son pF, qui est aussi le pF de l'échantillon à la teneur en eau de référence.

Extrait de l'ouvrage :

*"La construction économique sur sols gonflants"
par P. MOUROUX, P. MARGRON, J.C. PINTE*

Manuels et Méthodes, n° 14, Editions du BRGM, 1988

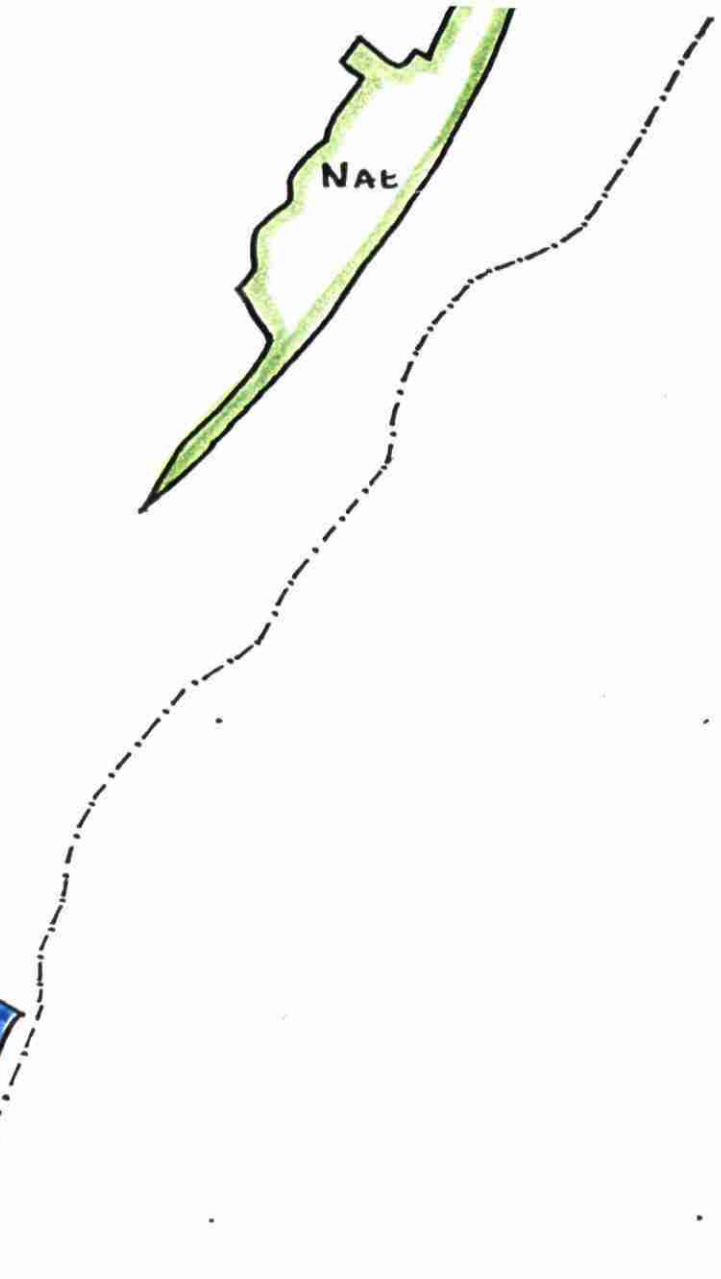
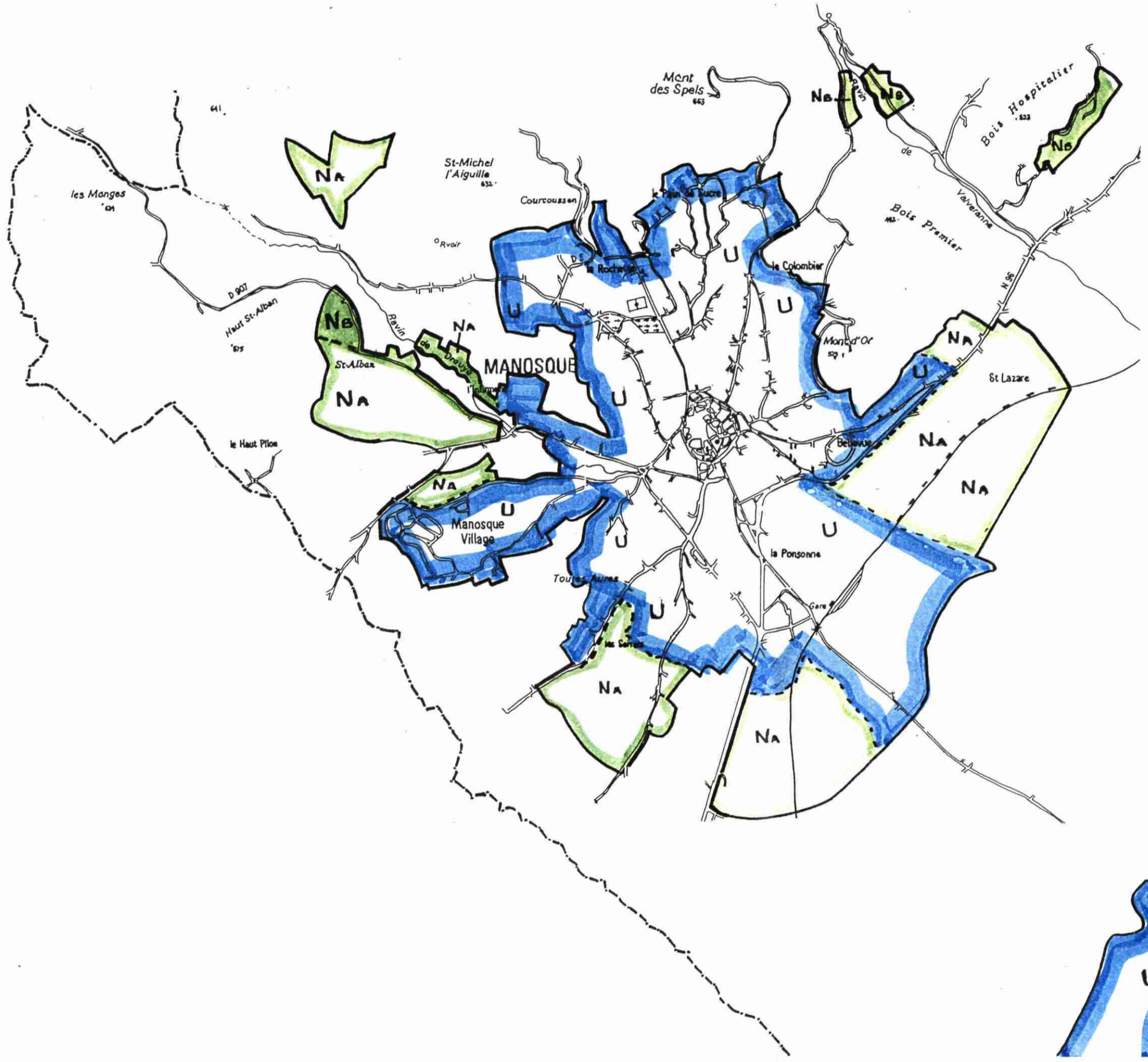
ANNEXE 7

MANOSQUE : ZONES URBANISABLES

ANNEXE 7

ZONES URBANISABLES

- - - limite communale
- U zones urbaines
- N zones naturelles
- Na à vocation d'habitat, de commerces et de services
- Nb zones pavillonnaires non occupées




ANNEXE 8

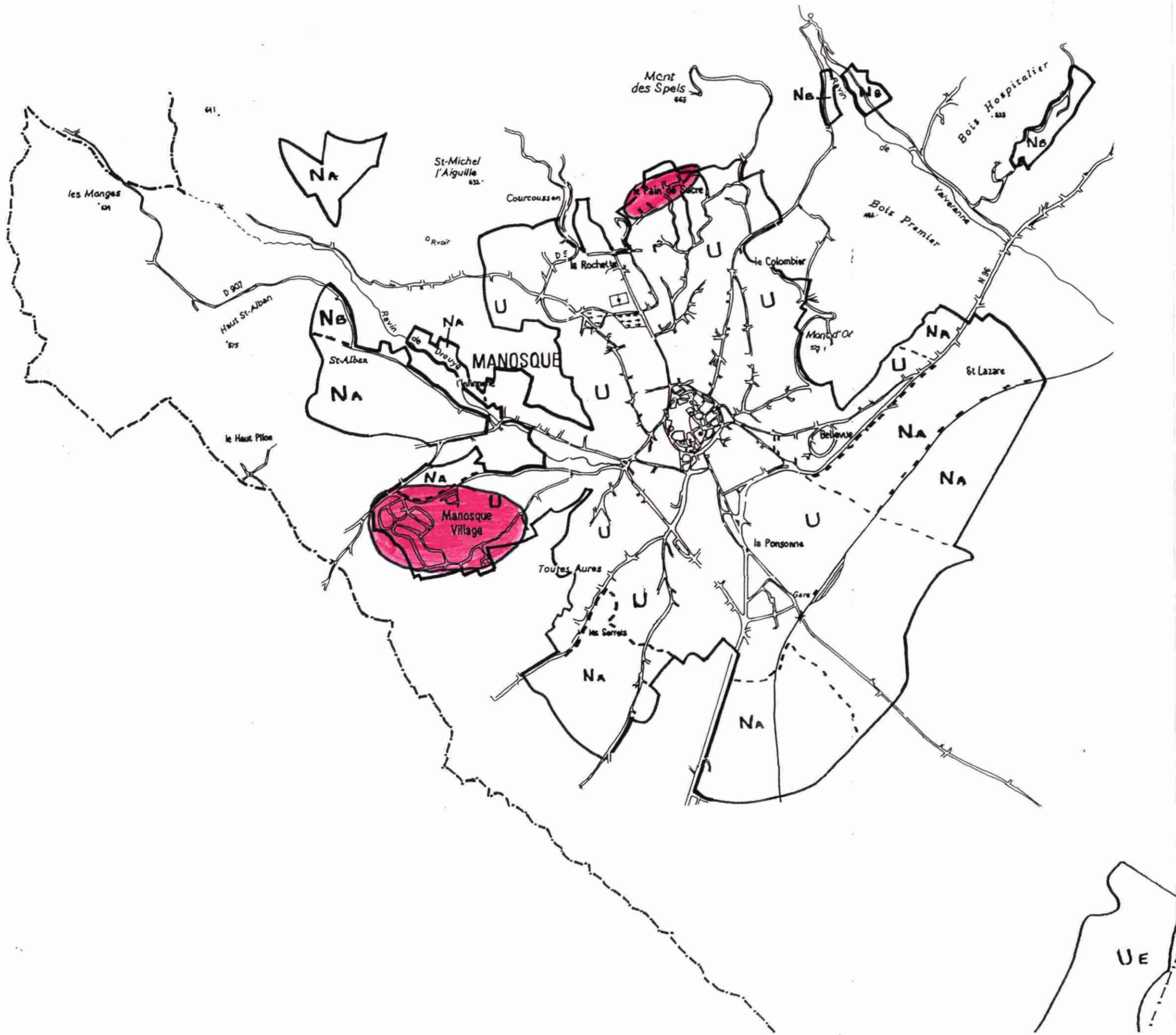
MANOSQUE :

**ZONES SINISTREES PAR LES PERIODES DE SECHERESSE DE
1989 A 1992**

ANNEXE 8

ZONES SINISTREES
par les périodes de sécheresse
de 1989 à 1992

 zone ayant fait l'objet de nombreuses
déclarations de sinistres
(entre 1989 et 1992)



ANNEXE 9

**MANOSQUE :
CARTES DES PENTES**

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols
(sécheresse/pluie)

Commune de Manosque
(Alpes de Haute Provence)

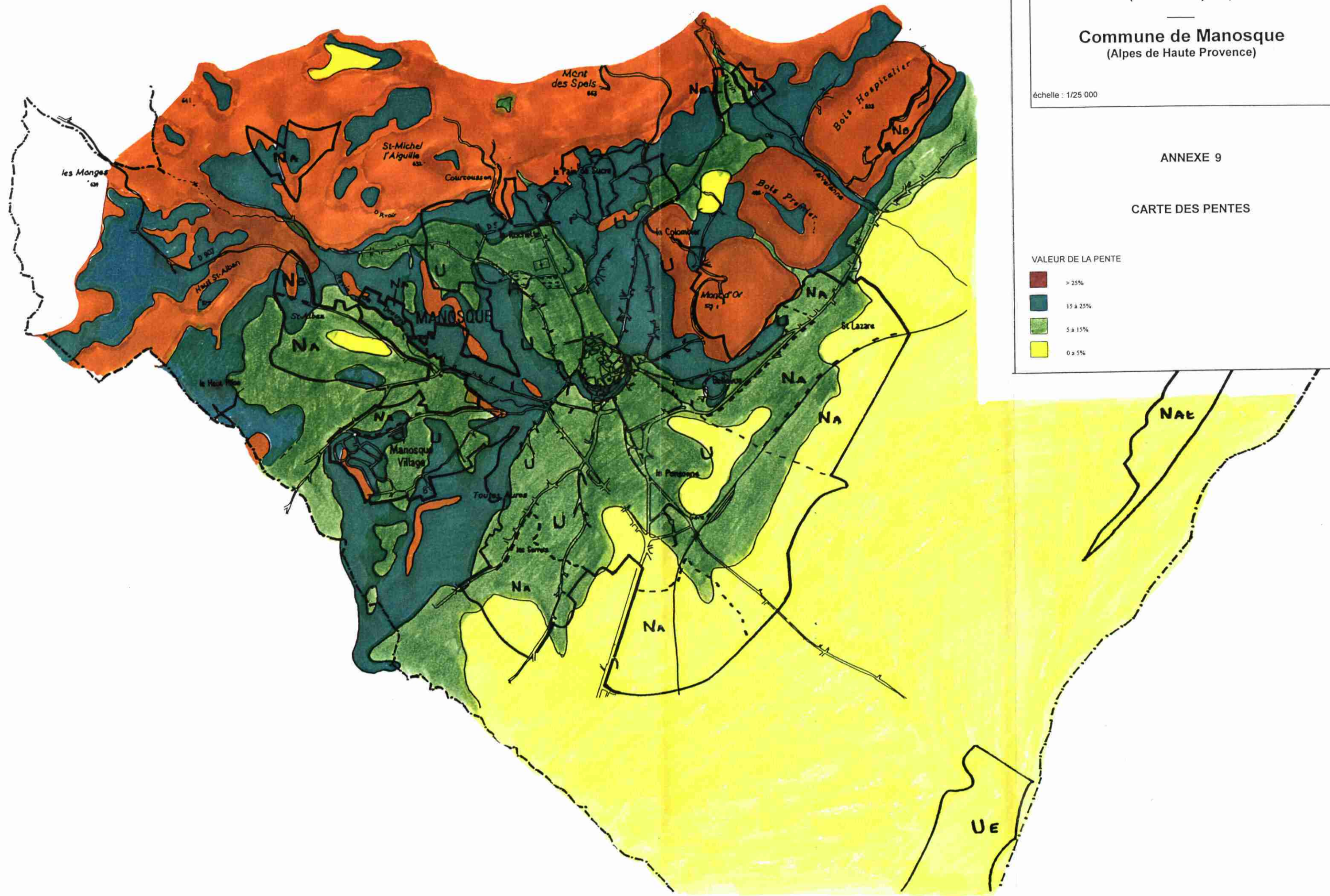
échelle : 1/25 000

ANNEXE 9

CARTE DES PENTES

VALEUR DE LA PENTE

	> 25%
	15 à 25%
	5 à 15%
	0 à 5%



ANNEXE 10

**MANOSQUE :
HYDROGRAPHIE**




Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols
(sécheresse/pluie)

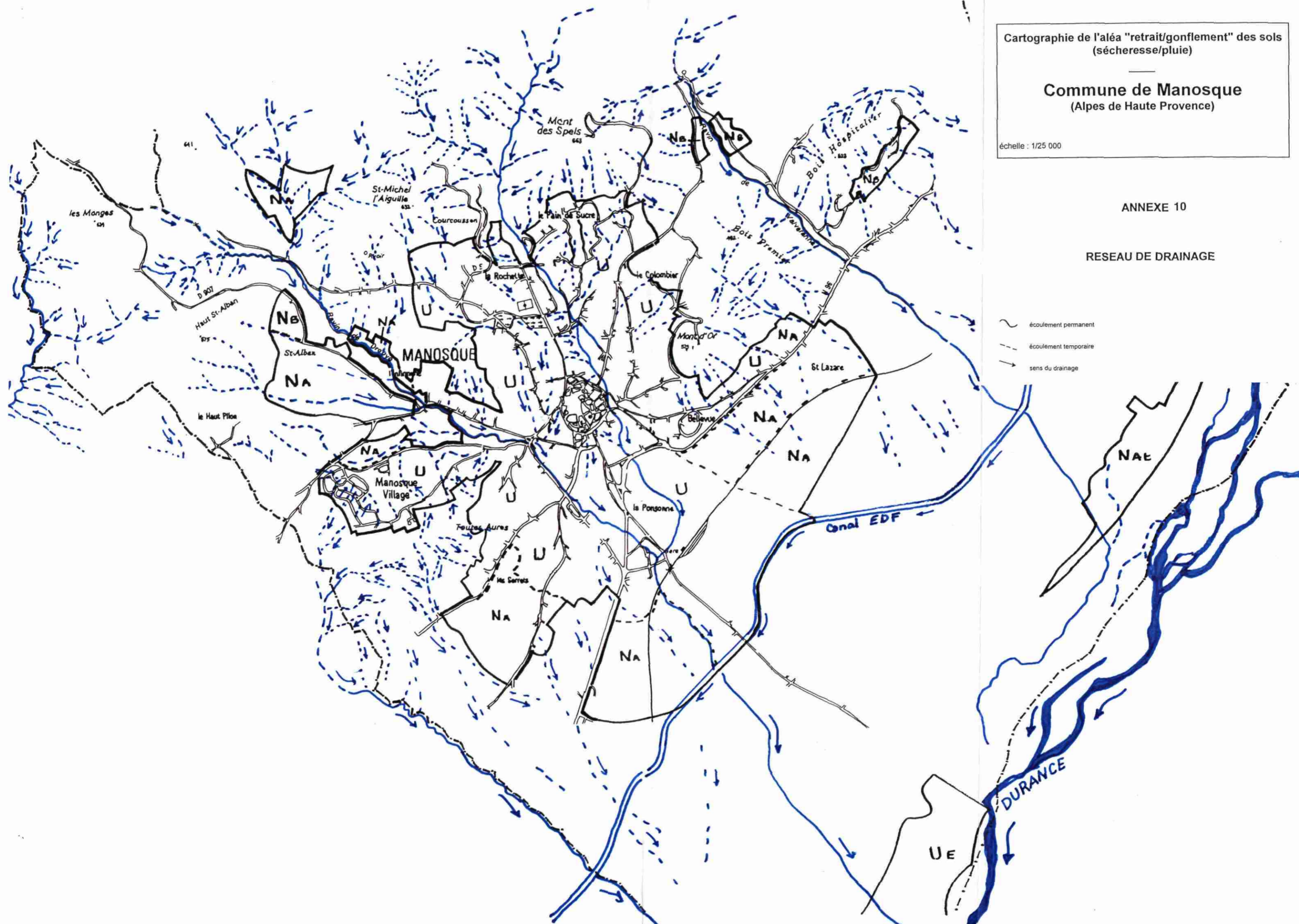
Commune de Manosque
(Alpes de Haute Provence)

échelle : 1/25 000

ANNEXE 10

RESEAU DE DRAINAGE

-  écoulement permanent
-  écoulement temporaire
-  sens du drainage



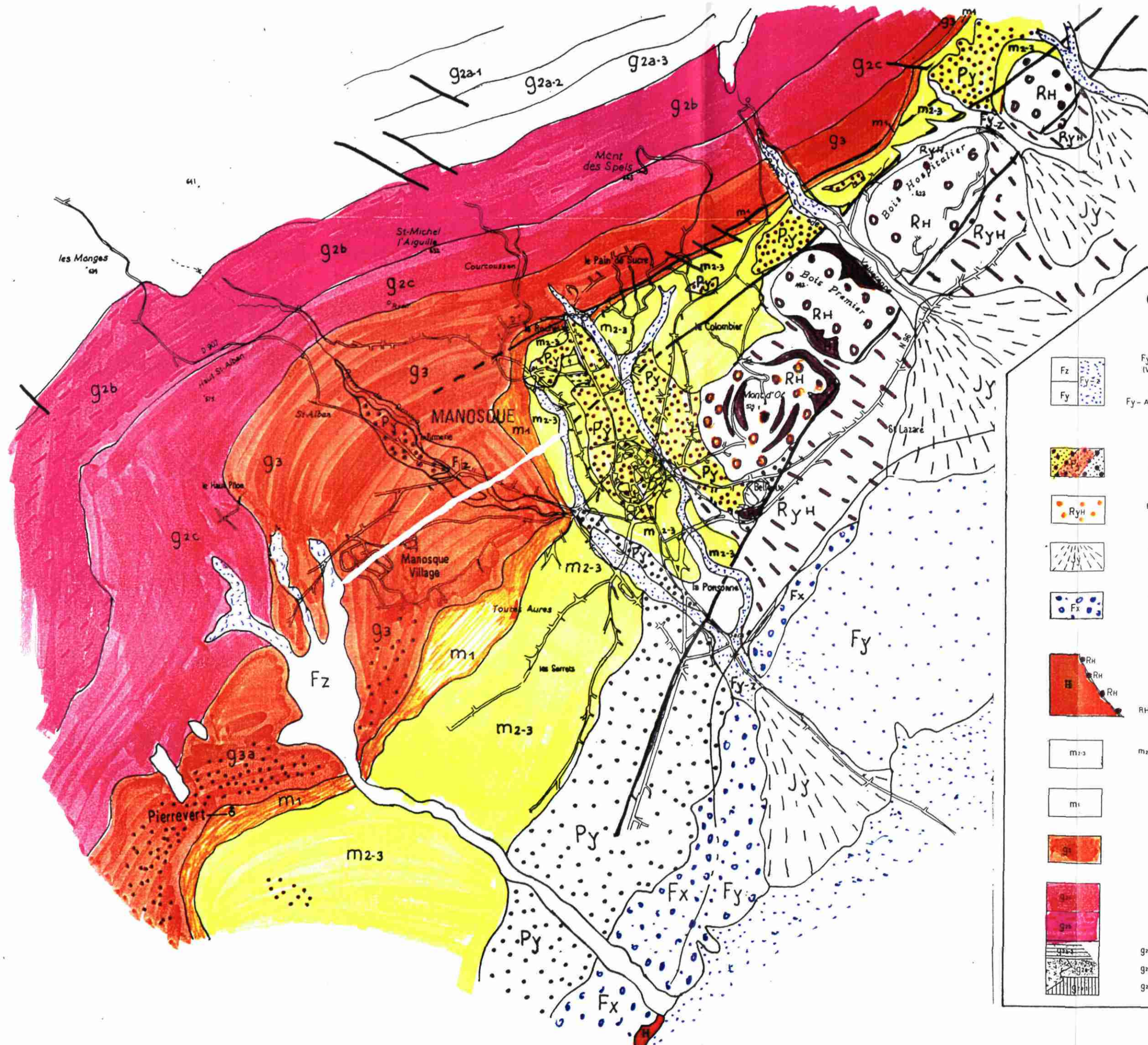
ANNEXE 11

**MANOSQUE :
CARTE GEOLOGIQUE**

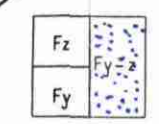
Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie)
 Commune de Manosque (Alpes de Haute Provence)
 échelle: 1/25 000

ANNEXE 11

CARTE GEOLOGIQUE



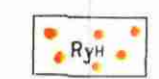
GÉOLOGIE



Fy-z - Alluvions de fond de vallons (Würm à actuel) - Cailloutis et galets
 Fz - Alluvions récentes
 Cailloutis, galets, sables et limons
 Fy - Alluvions anciennes de la Durance (Würm)
 Cailloutis, galets et sables (Basse terrasse)



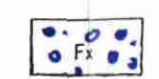
Epanches locaux, colluvions, de provenances diverses (Würm)



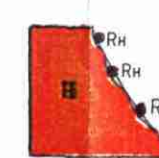
Epanches locaux provenant en grande partie de la formation de Valensole



Cône de déjection



Alluvions anciennes (Riss)
 Cailloutis et graviers (Moyenne terrasse)

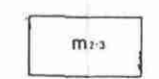


H - Formation de Valensole poudingues et marnes (Miocène supérieur - Villafranchien)

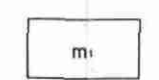
RH - Formation de Valensole couverte de galets éluviaux

Quaternaire

Miocène



m2-3 molasse sableuse (Vindobonien marin)



Molasse bioclastique (Burdigalien)



Marnes de Viens



Calcaires de Vachères



Grès et marnes de Bois d'Asson



g2c Calcaires en "petits cubes"



g2a-2 Marnes brunes, grès et calcaires

g2a-1 Calcaires en plaquettes

Oligocène

ANNEXE 12

MANOSQUE :

**RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE ET PRELEVEMENTS
SPECIFIQUES A L'ETUDE METHODOLOGIQUE**

ANNEXE 13

MANOSQUE :

**INVENTAIRE DES EXPERTISES GEOTECHNIQUES REALISEES
DE 1982 A 1994**

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols
(sécheresse/pluie)

Commune de Manosque
(Alpes de Haute Provence)

échelle : 1/25 000

ANNEXE 13

INVENTAIRE DES EXPERTISES GEOTECHNIQUES

réalisées de 1982 à 1994

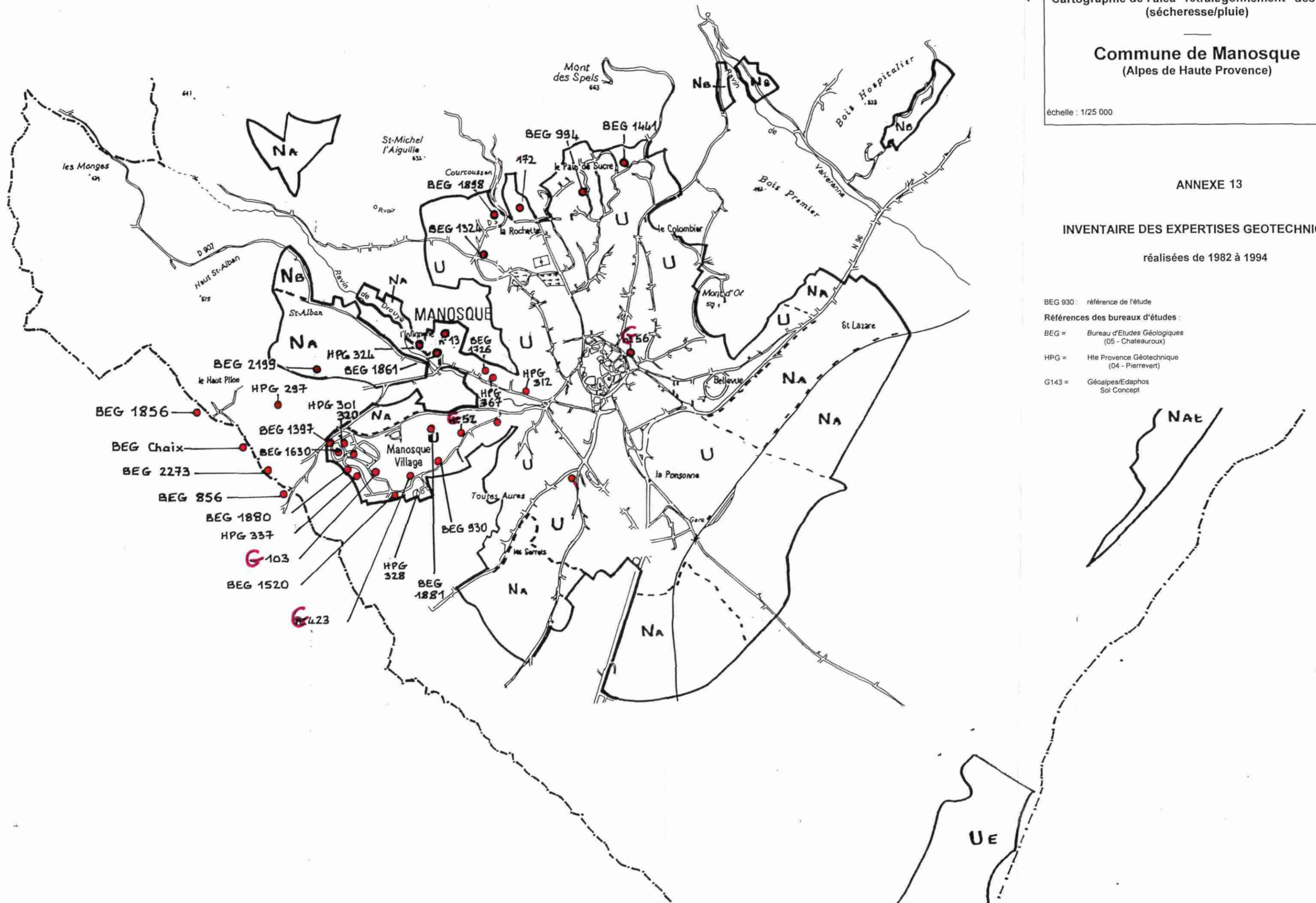
BEG 930 : référence de l'étude

Références des bureaux d'études :

BEG = Bureau d'Etudes Géologiques
(05 - Chateauroux)

HPG = Hte Provence Géotechnique
(04 - Pierrevet)

G143 = Géocalpes/Edaphos
Sol Concept



ANNEXE 14

MANOSQUE :

SYNTHESE DOCUMENTAIRE

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Rostan - Chateauroux

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Chemin des Ubacs Manosque Village M. Tardy	1990	930	Colluvions Marnes altérées	3 - 4 m	Cg = 0,053		Ajout de construction non fondé dans le substratum
Le Paradou M. Pierson	1991	1415	Colluvions	5 m	Pénétromètre Vb = 9,3 Cg = 0,068		Fondations sur 2 terrains différents Fort retrait Gonflement notable
Pain de Sucre Montée des Genêts	1986	Sol Essai 994	Limons de surface Colluvions Marnes altérées (de Viens)	1,5 - 4 m 6-7m	Pénétromètre WL = 36,5 WP = 21 IP = 15,5		
Manosque Village M. Siméini	1992	Simecsol	Colluvions	1 - 2m			Défaut de fondation Retrait linéaire = 0,52
Manosque Village M. Avril	1988	1397	Colluvions Marnes de Viens	~2 m	Cg = 0,048 Teneur en eau = 10%		Fondations sur colluvions (argiles et argiles graveleuses)
Manosque Village rue des Chênes M. Vincent	1993	1880	Colluvions Marnes grises Marnes de Viens légèrement sableuses	~3-4 m >10-12m	Pénétromètre Forage Pressiomètre Oedomètre : Cg = 0,053 WL = 45,8 WP = 27,4 IP = 18,4 Vb = 2,7 (?) Coefficient de dessiccation = 0,53		Fondations sur marnes compactes à l'arrière et colluvions à l'avant
Manosque Village M. Vinciguerra	1982	1630	Marnes de Viens Plus grande résistance vers l'Est Colluvions	1,5 - 2m	Pénétromètre Vb = 8,2 Limites d'Atterberg WL = 45 WP = 19,5 IP = 25,5 Coefficient de dessiccation = 0,4		Fondations sur colluvions

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Rostan - Chateauroux

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Le Paradou	1993	1881	Colluvions	~2m	teneur en eau = 23%		Fondations sur colluvions
M. Perret			marnes altérées		Vb = 3,5		
			pendage Est		Cg = 0,058 σ_g = 0,45		
					WL = 53,2 WP = 32,4 IP = 23,8 Coefficient de dessiccation = 0,53		

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Sol Concept - Géopalpes - Edaphos

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Villa Boulard (Bouygues)	1984	Géopalpes 132	Sol végétal argilo-sableux Colluvions (limons argilo-sableux Molasse gréso-sableuse (Burdigalien)	1,5 m 0,5 - 2,7 m > 1,5 m	Pénétromètre Rp < 10 bars Rd = 15 à 60 b Rd = 60 à 500 b		Peu sensible à la sécheresse Fondations à 1,6 m minimum
Filippini	1985	Géopalpes 103	Colluvions argileuses	0 - 1 m	Pénétromètre (7): Rd = 15 à 200 b		Très sensible à la sécheresse
Expertise judiciaire			Molasse	4 m	Oedomètre :		Reprise à 3,5m/TN
Manosque Village			Marnes et sables de Viens	3,5 m	Cg = 0,08		
					σc = 4 à 10 b (forte surconsolidation) Sondage pelle (7) : W = 18 à 19 % Diffractomètre : Calcaire = 32% Montmorillonite = 20 % Illite = 31% Kaolinite = 17% Tarière		
Gendarmerie de Manosque N 96	1986	Géopalpes 261	Colluvions Wurmiens Terre végétale Limons sableux Limons graveleux Limons sableux	0 - 0,8 m 1 - 2 m 1,7 - 3 m >4,5 m	Pénétromètre dynamique (10) : Rd moyen = 30 à 90 b Forage (1) Oedomètre (1) Triaxial (2)	Etude préalable à la construction Tendance à la thixotropie Construction parasismique (I > VIII MSK)	Peu sensible à la sécheresse Fondations à 1 m
Traverse du Séminaire Avis géotechnique sur glissement de terrain	1986	Géopalpes 267	Colluvions limono-argileuses Substratum gréseux (safre)		Cohésion = 0,07 b φ = 35 °	Mise en charge rapide par eaux de ruissellement	Peu sensible à la sécheresse

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Sol Concept - Géopalpes - Edaphos

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Lotissement Plein Sud Lot n° 4	1982	Géopalpes 13	Colluvions sur calcaires de Vachères	4-5 m	Pénétrromètre dynamique	Etude préalable à la construction Fondation de 1,5 à 2 m	Très sensible à la sécheresse Reptation du recouvrement
Lotissement Toutes Aures Parcelle 2903 Sec F	1982	Géopalpes 15	Sol brun Colluvions	0,8 - 1,4 m 0,2 - 1 m	Pénétrromètre dynamique	Fondations de 1 à 2,5 m	Peu sensible
			Limons sableux	0 - 2 m			
			Sables Vindoboniens		Rd > 100 b		
Lotissement Le Paradou Manosque Village	1987	Edaphos 423	Marnes de Viens + bancs calcaires en plaquettes	> 2m	Pénétrromètre dynamique Oedomètre Cg = 0,08 W = 20% Cc = 0,19	Pente = 15% bancs soulevés de 2-3 cm cloisons soulevées et fracturées	Expertise Très sensible à la sécheresse Fondations à 0,9 m insuffisantes.
Lotissement les Aures	1983	Géopalpes 52	Colluvions Marnes + argilites + calcaires + lignites + argiles plastiques	1 - 2 m 3,5 - 4 m (marnes altérée)	Pénétrromètre Oedomètre	Etude préalable à la construction de lotissement	Très sensible Fondations à 2 m
Immeuble le Dauphin Centre Manosque	1983	Géopalpes 56	limon bariolé sablo-argileux jaune orangé (alluvions)	1 - 2 m 2 m	Pénétrromètre dynamique	Etude préalable à la construction d'immeuble	Tassements annoncés : 0,5 cm pour 5T/ml 0,8 cm pour 10 T/ml 1,2 cm pour 20 T/ml
							Peu sensible à la sécheresse Fondations à 1,5 m minimum
Hoirie Dosseto (HLM) 2 km au Sud de Manosque	1987	Edaphos 394	Argilites pendage 15-20° Sud (Marnes de Viens)	1 - 4 m		Avis de constructibilité	Très sensible à la sécheresse Mouvements de terrain
Nouveau cimetière Manosque - Quartier Rochette	1987	Géopalpes 386	Marnes + calcaires (50 à 60% du terrain) Marnes de Viens Molasse Burdigalienne	1 2 m	$\phi = 16,5^\circ$	Glissements de terrains	Marnes de Viens très sensibles à la sécheresse. Molasse burdigalienne insensible

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Sol Concept - Géoalpes - Edaphos

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Nouveau cimetière de Manosque	1985	Géoalpes 172	Molasse calcaire Burdigalienne Marnes + argilites vertes Calcaires tendres à lignite + marnes grises Marnes + argiles grises Marnes et grès	~ 20 m ~ 20 m ~ 40 m	Teneur en eau : 24 % marne, argile gris -vert Limites d'Atterberg : Ip ~15 à 30 Oedomètre (consolidation/gonflement) Sondages à la pelle Pénétrromètre : Rd sain = 40 à 120 b Cisaillement : c = 0,4 à 0,6 b (pic) argiles gonflantes c' = 0,15 à 0,25 b (résiduelle) frange d'altération c résid = 0,15 b marnes vertes et noires φ résiduel =	17 glissements circulaires coulées boueuses jusqu'à 40 m	Marnes de Viens très sensibles à la sécheresse. Molasse burdigalienne insensible
Immeuble le Galet	1986	Géoalpes 320	Molasse sableuse Miocène Sol Colluvions + remblai Molasse sableuse Miocène	0 -1 m 2,5 m >1,3 m	Pénétrromètre dynamique (4)	Etude préalable à la construction	Peu sensible à la sécheresse Fondations hors gel ou à 3,6 m
Z.I. St Maurice	1986	Géoalpes	Limon gris Gravier sableux (alluvions)	1-2 m ?	c = 0,3 à 0,7 bars φ = 35°	Etude préalable à la construction	Peu sensible à la sécheresse Fondations hors-gel

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Haute Provence Géotechnique

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Haut Pilon M. Fabre	09/91	HPG n° 297	Marnes de Viens Pendage 10° NE Colluvions argileuses marron Marnes beiges + calcaires intercallés	- 0 -0,4 m > 3 m	Pénétrromètre Sondages à la pelle oedomètre : Cg = 0,01 Limites d'Atterberg : WL = 30 WP = 21,6 Coefficient de retrait : R = 0,195 Teneur en eau = 8,8%	Sur argile	Gonflement potentiel faible
St Maurin M. Henocq	06/92	HPG n° 367	Marnes de Viens Colluvions argileuses marron Argiles grises	3 -4 m	Pénétrromètre Sondages à la pelle Limites d'Atterberg : WL = 30 WP = 21,6 Coefficient de retrait : R = 0,332 Teneur en eau = 28%		Fort potentiel de gonflement Argiles très sensibles aux variations de teneur en eau
Manosque Village M. Buisson	02/92	HPG n° 337	Marnes de Viens Colluvions argileuses Argiles d'altération Argiles et marnes inercallées	0,8 - 4,9 m	Pénétrromètre Sondage à la pelle oedomètre : Cg = 0,113 Limites d'Atterberg : WL = 68 WP = 33 IP = 35% Coefficient de retrait : R = 0,356 Teneur en eau = 27%		Argiles très gonflantes Sensibles aux variations de teneur en eau
Manosque village	01/92	HPG n° 328	Marnes de Viens Argiles, argilites, marnes et petits bancs calcaires en alternance	0,7 - 1,5 m	Pénétrromètre Sondage à la pelle oedomètre : Cg = 0,063 Limites d'Atterberg : WL = 56 WP = 26 IP = 30% Coefficient de retrait : R = 0,27 Teneur en eau = 12%		

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Haute Provence Géotechnique

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Lotissement Plein Ciel Manosque Village	08/89	HPG n° 105	Marnes de Viens Terre végétale Colluvions argileuses Colluvions sableuses Molasse jaune Argiles grises et jaunâtre	0 - 0,3 m 0 - 1,8 m 0 - 0,6 m 0 - 1,5 m > 3 m	Pénétrromètre oedomètre : Cc = 0,96 Cg = 0,061		tassements différentiels 4 à 10 cm pour 5 à 8 T/ml de charge
Les Balcons du Soleil Manosque village Lot 1	06/89	HPG n° 106	Marnes de Viens Pendage 10-15° E Terre végétale Colluvions argileuses jaunâtres Argiles grises ou jaunâtres humides Sables argileux gris Marnes altérées Marnes	0 - 0,2 m 0 - 1,5 m indéterminé 0 - 2 m 0 - 1,8m	Pénétrromètre Sondages à la pelle Oedomètre : Cc = 0,148 Cg = 0,058 (argile) Cg = 0,021 (marne blanche)		Tassements élevés : 45 à 85 mm selon charges Gonflements non négligeables
Manosque Village M. Buisson	10/91 12/91	HPG n° 301 n° 320	Marnes de Viens Colluvions argileuses marnes marno-calcaires	0,5 - 1,1 m 1 - 4,3 m > 5 m	Pénétrromètre Sondage à la pelle oedomètre : Cg = 0,043 Limites d'Atterberg : WL = 33,5 WP = 22,7 IP = 10,8% Coefficient de retrait : Rl = 0,45 Teneur en eau = 18%		Argiles très gonflantes Sensibles aux variations de teneur en eau

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Rostan - Chateauroux

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Lotissement La Musardière (près Paradou) M. Cuthberson - Smith	1993	n° 2007	Colluvions Substrat compact (refus pénétro)	2 - 2,5m -	fondations sur colluvions -pénétrömètre Vb : 4,3 (argile brune) 3,8 (argile jaune) Oedomètre : Cg = 0,049 Dessiccation : R = 0,34 Teneur en eau = 26,6%		
Les Bas du Paradou (étude préliminaire au lotissement)	Gueygand n°1986		Colluvions Marnes de Viens	3 - 4 m	forages		
L'Infirmierie M. Conejo	1993	n° 1861	Colluvions Marnes de Viens + sable	5 - 6 m	Pénétrömètre Teneur en eau 27-30% Coeff dessiccation : 0,52 (fort) oedomètre : Cc = 0,21 Cg = 0 065 Vb = 5,7 et 4,2 Rc = 0,7		
Chemin de Villemus M. Horst-Scheuron	1990	1324	Colluvions Marnes altérées (marnes de Viens)	4 m	Pénétrömètre Cg = 0,044 Vb = 7,8 et 8,3		
Bastide des Genêts	1992	1726 2051 1922 2316	Colluvions Marnes de Viens	5 - 6 m	Pénétrömètre Rd-20 - 30 bars hétérogène Vb = 10,2 Essai de dessiccation : R = 0,44 Teneur en eau = 16%		
Lotissement les hauts de Manosque (La Pinède - Le Deffends)	1994	2273	colluvions (très faibles) calcaires de vachères et marnes fétides (soulèvement des bancs calcaires)	0+	Sondage pelle mécanique Oedomètre : Cg = 0,044 Sgo = 0,025 bars Dessiccation : R = 0,43		Peu gonflant Très dessiccant.
Lotissement les Hauts de Manosque (M. Drouan) Pierrevert	1992	1856	Calcaire et marnes de Vachères (Marnes altérées)	Vb = 7			

Carte de sensibilité des terrains à la sécheresse

Commune de Manosque

Bureau d'étude : Rostan - Chateauroux

Localisation	Date	N° Etude	Géologie	Epaisseur	Géotechnique	Divers	Commentaires
Lotissement les hauts de Manosque M. Giner	1992	836	Calcaires dominants avec marnes intercallées	-	Matériau gonflant.		Maison ancrée sur substratum (amont), mais posée à l'aval sur substrat avec intercallation de marnes
Lotissement les hauts de Manosque M. Chaix Pierrevert	1987		Calcaires dominants avec marnes intercallées		Maison sur substratum. Pb retrait et gonflement lié aux interbanes marneux.		
Haut Pilon - St Alban M. Goletto	1994	2199	Marnes et calcaires de Vachères (près de la limite des marnes de Viens)		Maison sur substratum Cg = 0,066 $\sigma_g = 0,1$ bar Vb = 2,8		
Chemin du Relais Pain de sucre M. Rouit	1991	1441	Colluvions épais, jouxtant un matériau dur	~10m	Pénétromètre Cg = 0,033 Vb = 4,8 Coefficient de dessiccation = 0,35 (peu élevé)		
Montée de la Mort d'Imbert (au dessus de la Rochette)	1993	1898	Colluvions (marnes altérées puis compactes de Viens)	0 - 4m	Pénétromètre Vb = 3 Oedomètre : Cg = 0,024 Coefficient de dessiccation : 0,27 Limites d'Atterberg : WL = 31 WP = 25 IP = 6	Fondations sur substratum d'un côté, sur colluvions de l'autre : tassements différentiels.	
Manosque Village Chemin des Ubacs M. Peray	1991	1520	Colluvions Marnes altérées (de Viens)	1,5-2m	Pénétromètre Vb = 4 Cg = 0,044 Coeff. de dessiccation = 0,39	Fondations à cheval sur marnes altérées et colluvions dans un paléo vallon. Dessiccation du substratum.	

ANNEXE 15

MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES :

- VALEURS AU BLEU DE METHYLENE ET PRESSION CAPILLAIRE SPECIFIQUE A L'ETUDE
- VALEURS AU BLEU ISSUES DE L'ETUDE DOCUMENTAIRE

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie)

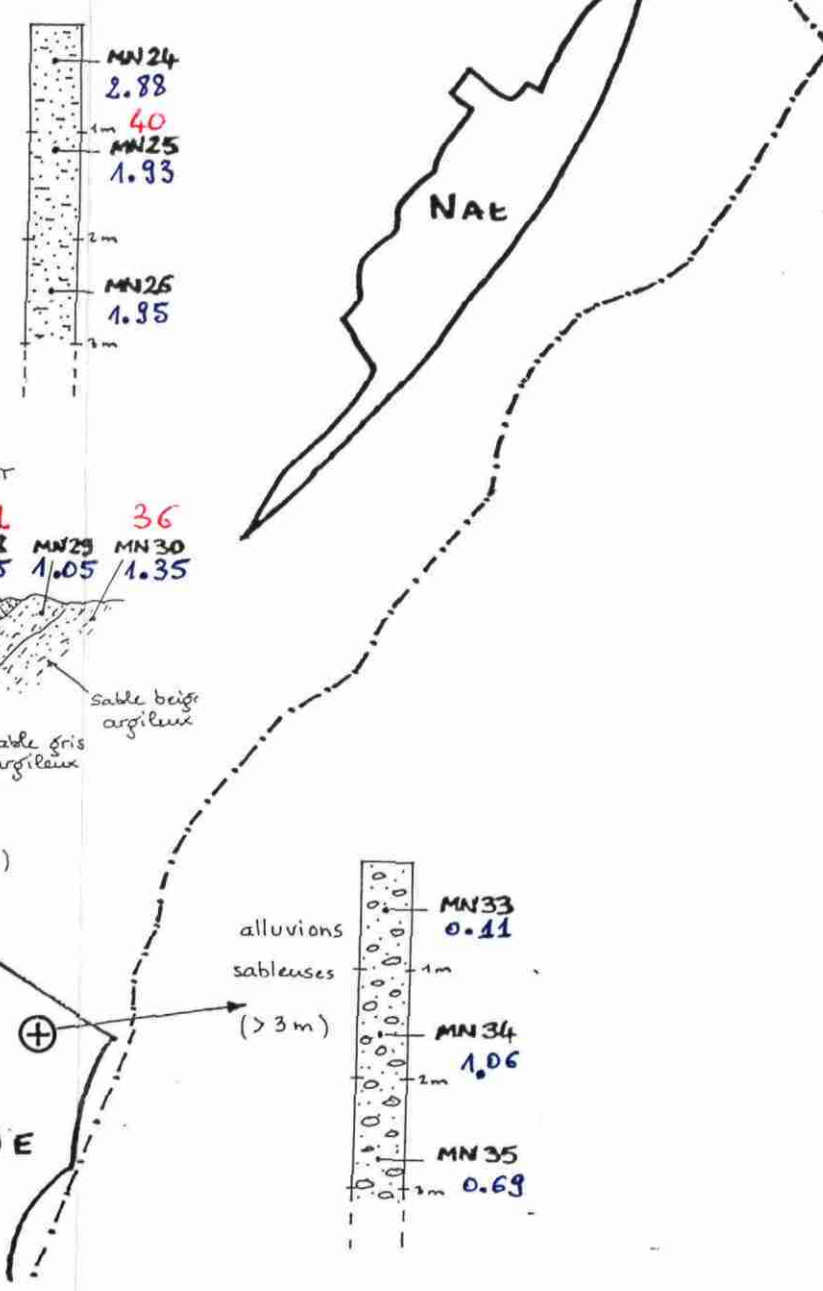
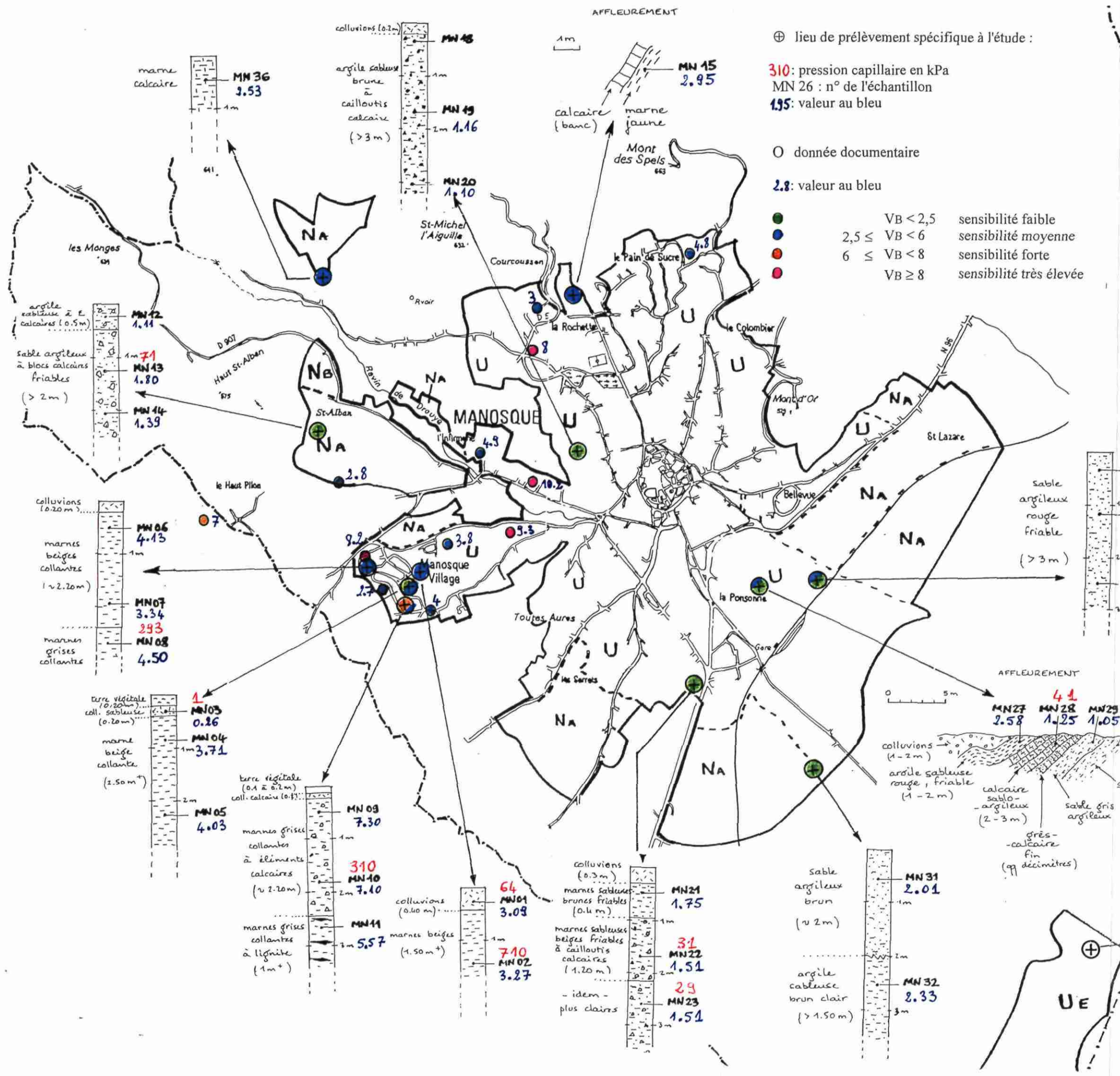
Commune de Manosque (Alpes de Haute Provence)

échelle : 1/25 000

ANNEXE 15

MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES :

- VALEURS AU BLEU DE METHYLENE ET PRESSION CAPILLAIRE SPECIFIQUE A L'ETUDE
- VALEURS AU BLEU ISSUES DE L'ETUDE DOCUMENTAIRE



ANNEXE 16

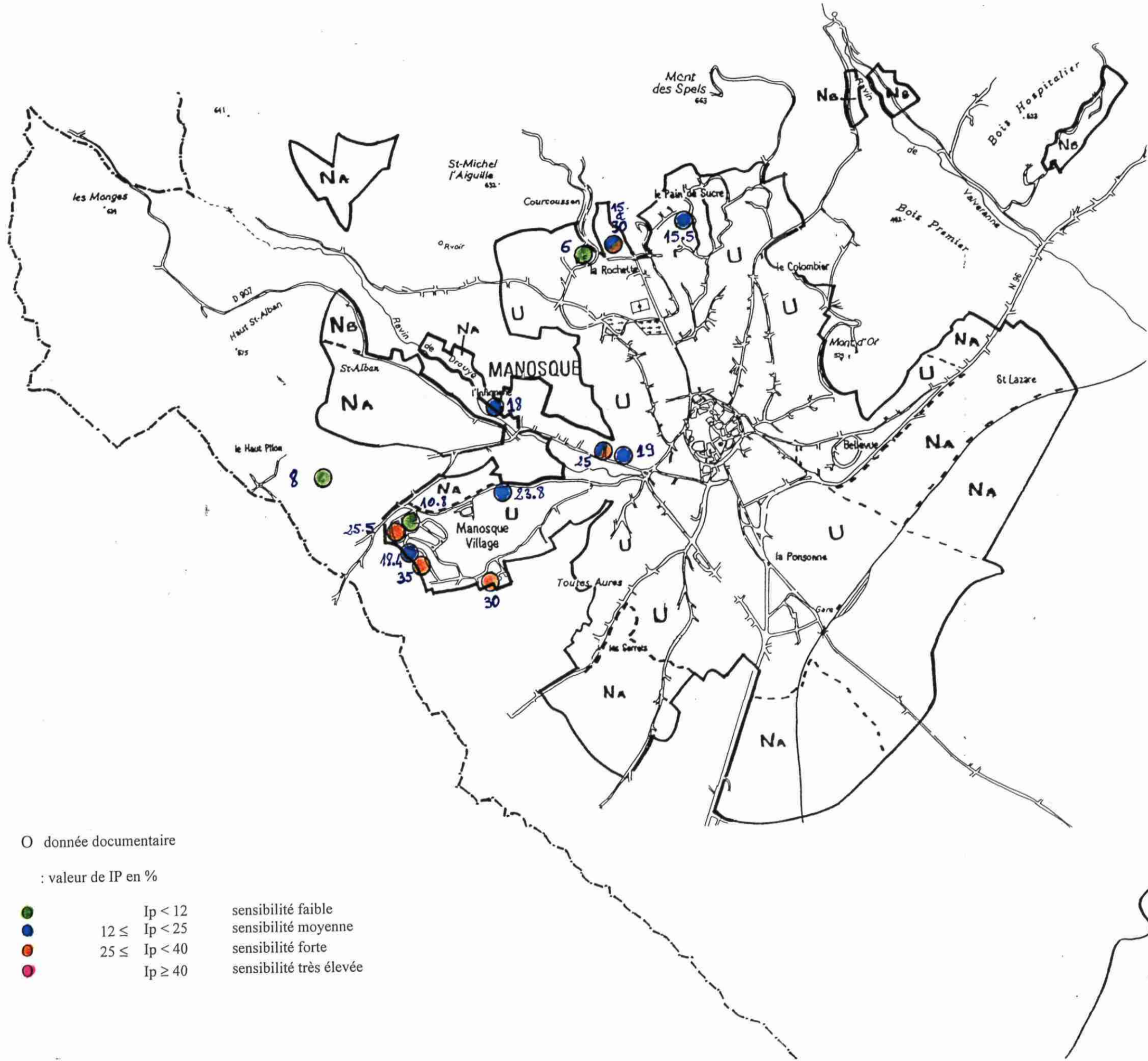
MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES

INDICES DE PLASTICITE (ETUDE DOCUMENTAIRE)

ANNEXE 16

MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES

INDICES DE PLASTICITE (ETUDE DOCUMENTAIRE)



O donnée documentaire

: valeur de IP en %

●	$I_p < 12$	sensibilité faible
●	$12 \leq I_p < 25$	sensibilité moyenne
●	$25 \leq I_p < 40$	sensibilité forte
●	$I_p \geq 40$	sensibilité très élevée

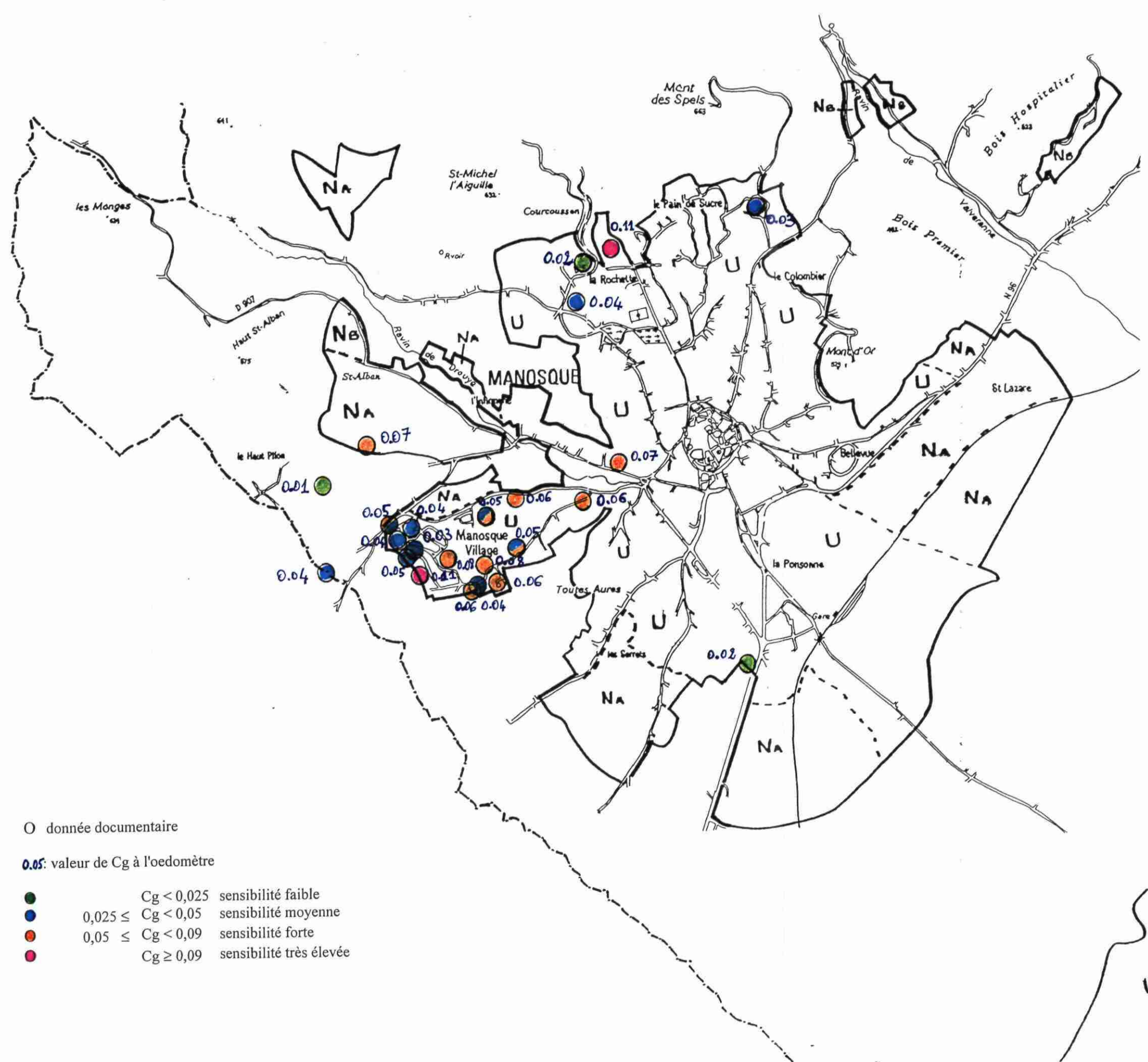


ANNEXE 17

MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES

COEFFICIENT DE GONFLEMENT A L'OEDOMETRE

(ETUDE DOCUMENTAIRE)



ANNEXE 17

ESSAIS GEOTECHNIQUES :

coefficient de gonflement (Cg)
(oedomètre)

(ETUDE DOCUMENTAIRE)



○ donnée documentaire

0.05: valeur de Cg à l'oedomètre

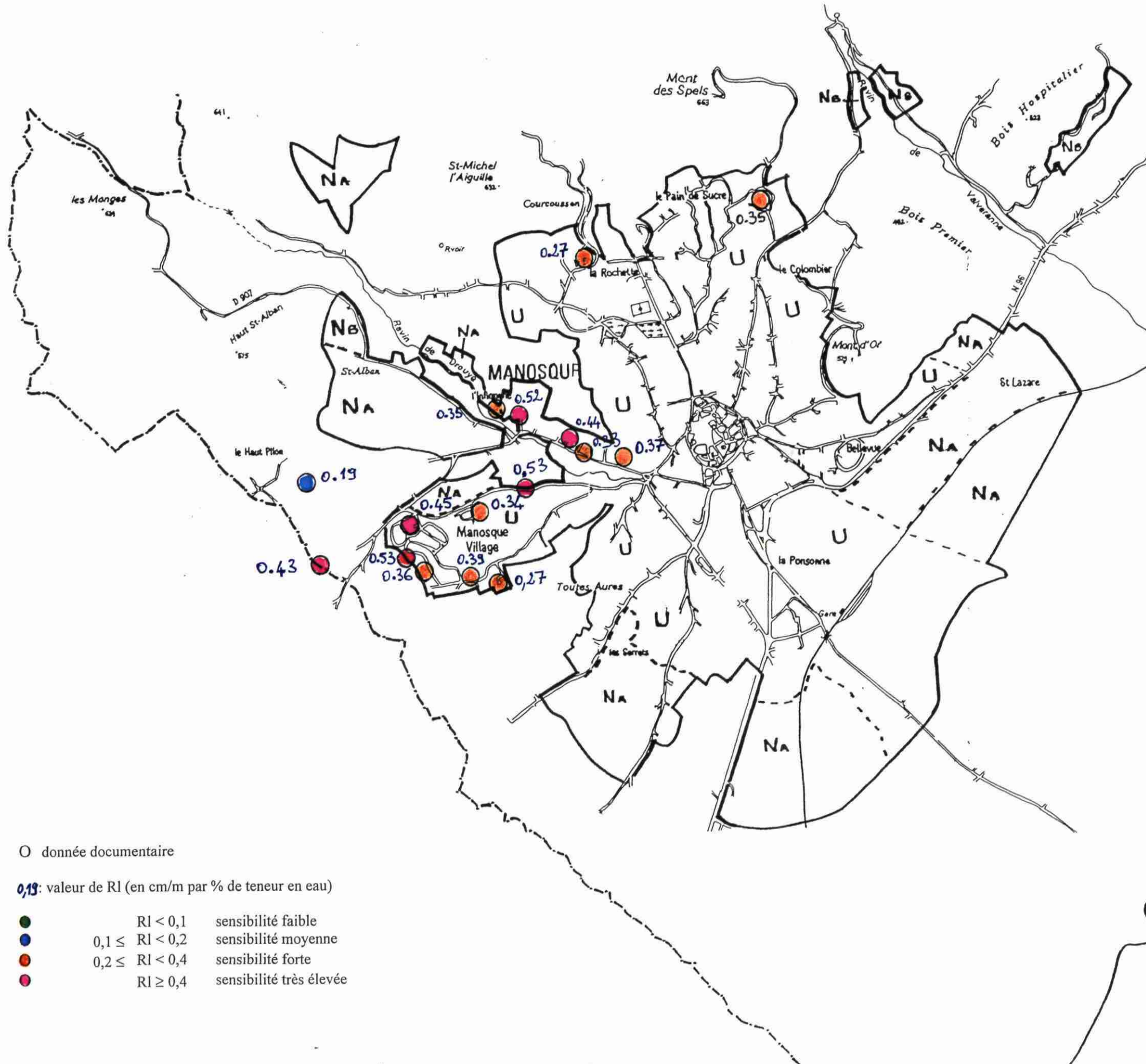
- Cg < 0,025 sensibilité faible
- 0,025 ≤ Cg < 0,05 sensibilité moyenne
- 0,05 ≤ Cg < 0,09 sensibilité forte
- Cg ≥ 0,09 sensibilité très élevée

ANNEXE 18

MANOSQUE : ESSAIS GEOTECHNIQUES

COEFFICIENT DE DESSICCATION

(ESSAI "ROSTAN")



○ donnée documentaire

0,19: valeur de RI (en cm/m par % de teneur en eau)

- | | | |
|---|----------------|-------------------------|
| ● | RI < 0,1 | sensibilité faible |
| ● | 0,1 ≤ RI < 0,2 | sensibilité moyenne |
| ● | 0,2 ≤ RI < 0,4 | sensibilité forte |
| ● | RI ≥ 0,4 | sensibilité très élevée |



ANNEXE 19

MANOSQUE :

ZONAGE DE L'ALEA

Cartographie de l'aléa "retrait/gonflement" des sols (sécheresse/pluie)

Commune de Manosque
(Alpes de Haute Provence)

échelle : 1/25 000

ANNEXE 19

ZONAGE DE L'ALEA

RETRAIT/GONFLEMENT DES SOLS

-  zone insensible à peu sensible
-  zone peu sensible à moyennement sensible
-  zone moyennement sensible à sensible
-  zone sensible à très sensible

