UNIVERSITE D'AIX-EN-PROVENCE - MARSEILLE II

INSTITUT DE GEOGRAPHIE

THESE

présentée par

Jean MAZET

pour obtenir le titre de Docteur d'Université

RECHERCHES SUR L'EVOLUTION DU KARST DANS LE MASSIF DE LA STE BAUME

Soutenue le 3 Décembre 1984
devant la commission d'examen :

MM. P. GABERT — Président
P. BOTTNER
G. FABRE
J. NICOD
J. VAUDOUR
— Examinateurs

AVANT PROPOS

Lorsque jeune spéléologue au Club Alpin Français j'explorais les "chourums" du Dévoluy, dans les Hautes Alpes françaises, j'étais loin de me douter que vingt ans plus tard je gravirais de nouveau ces interminables "casses" en compagnie de Monsieur le professeur Jean NICOD qui allait me faire découvrir et aimer la géomorphologie karstique. Aussi quand il me proposa d'étudier l'évolution actuelle du karst du massif de la Ste Baume, dans le cadre d'une thèse d'université, j'acceptai avec enthousiasme. Je voudrais au terme de ce travail lui exprimer ma profonde grattitude pour la confiance amicale qu'il n'a cessé de me témoigner et pour sa présence au sein du jury.

Ma grattitude va aussi à Monsieur le professeur Jean VAUDOUR qui m'a d'abord enseigné la pédologie à l'Institut de Géographie d'Aix-en-Provence puis qui m'a si cordialement guidé sur le terrain comme au laboratoire dans la délicate étude des sols rouges méditerranéens et qui accepte de faire partie du jury.

Je voudrais remercier Monsieur le professeur Pierre GABERT dont j'ai pu suivre également les enseignements à l'Institut de Géographie et qui me fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie Monsieur Paul LOSSAINT, chef du Département d'Ecologie du Sol au Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis EMBERGER du C.N.R.S. de Montpellier pour l'accueil qu'il m'a réservé dans son laboratoire.

Je remercie Monsieur Pierre BOTTNER, maître de recherches au centre Louis EMBERGER du C.N.R.S. pour ses précieux conseils dans le difficile domaine des mesures physico-chimiques des sols et qui me fait le plaisir de siéger dans le jury

Je remercie Monsieur Guilhem J.J. FABRE, maître de recherches à l'E.R.A. 282 du C.N.R.S. qui à plusieurs occasions m'a fait bénéficier de son expérience de terrain et qui a bien voulu accepter de faire partie du jury.

Mais si ce travail a pu être mené à bien, je le dois tout particulièrement à:

Madame Dorith SISTACH technicienne au laboratoire de physique de l'Institut de Géographie d'Aix-en-Provence qui a réalisé les analyses d'eau et les dosages du fer dans le sol.

Monsieur André DELGIOVINE, technicien à l'E.R.A. 282 du C.N.R.S., qui a exécuté la plupart des analyses de sols et de roches.

Monsieur Jean Louis GUENDON, ingénieur à l'E.R.A. 282 du C.N.R.S., qui étudia les argiles et me fit profiter de ses conseils tout au long de ce travail.

A tous, je leur exprime mes remerciements les plus amicaux.

Je remercie enfin Monsieur Gérard ACQUAVIVA, spéléologue et ami au Spéléo-Club de Marseille - C.A.F. pour les documents récents qu'il m'a communiqués sur les grandes cavités du massif de la Ste Baume.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	I
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DES SITES EXPERIMENTAUX DU MASSIF DE LA STE BAUME	8
Chapitre I : Le site de la Citerne	I0
Chapitre II : Le site de la Lare	I6
Chapitre III : Le site de l'Hôtellerie	2I
Chapitre IV : Le site des Béguines	30
Conclusion	38
DEUXIEME PARTIE : LES SOLS DES SITES EXPERIMENTAUX	40
Chapitre I : Les sols du site de la Citerne	42
Chapitre II : Les sols du site de la Lare	49
Chapitre III : Les sols du site de l'Hôtellerie	52
Chapitre IV : Les sols du site des Béguines	57
Conclusion	65
TROISIEME PARTIE : MESURES PHYSICO-CHIMIQUES ET MESURE DE LA VITESSE DE DISSOLUTION DES CALCAIRES DANS LES SOLS DES STATIONS EXPERIMENTALES	66
Chapitre I : Données climatiques régionales	68
Chapitre II : Mesures d'humidité des sols	72
Chapitre III : Mesures de perméabilité des sols	76
Chapitre IV : Mesures de la température des sols	78
Chapitre V : Mesure du CO2 des litières	83
Chapitre VI : Mesures du pH des sols	85
Chapitre VII : Mesure de la vitesse de dissolution	89
SYNTHESE ET CONCLUSION GENERALE	98
ANNEXES	I02
BIBLIOGRAPHIE	I22
TABLE DES MATIERES	I35

INTRODUCTION

A - Le massif de la Ste Baume

généralités

Cet ensemble montagneux situé à une quarantaine de kilomètres à l'Est de l'agglomération marseillaise (fig.I), couvre une superficie d'environ I80km^2 et culmine à II47m d'altitude. L'unité centrale est caractérisée par une crête rectiligne, longue d'une quinzaine de kilomètres, orientée approximativement Est-Ouest, qui ne s'abaisse jamais en deçà de I000m. Son profil, trés dissymétrique est composé d'un versant sud en forte pente et d'un versant nord, abrupt, dominant un plateau étroit et allongé , séparé des reliefs plus septentrionaux par une dépréssion qui se creuse vers l'Est(fig.2).

Du point de vue géologique, les roches qui composent ce massif sont essentiellement des calcaires et des dolomies avec toutes les variantes qui leurs sont associées. Les trois grandes unités structurales que sont la haute chaine, le plateau et le relief de la Lare au nord, sont issues d'une orogenèse complexe : La haute chaine représente une écaille renversée sur le plateau synclinal Plan d'Aups-St Cassien, par un pli chevauchant vers le nord, à la fin de l'Eocène. A l'Oligocène, des mouvements verticaux de grande amplitude disloquent la couverture allochtone , soulèvent en horst, par la faille du Plan d'Aups, le plateau surmonté de la haute chaine et ploient en anticlinal le relief de la Lare au nord et ses prolongements orientaux (fig.3).

A la surface du massif on observe des sols rouges discontinus, le plus souvent réduits à des poches et presque toujours de faible épaisseur. L'érosion intense qui sévie est liée à la trés forte dégradation du couvert végétal dont la multiplicité des incendies représente la cause majeure. Malgré tout, la végétation rescapée traduit encore assez bien l'étagement clima-

tique : Aux résineux et taillis de feuillus, succède en altitude la chênaie pubescente, elle-même relayée grâce à un micro-climat exeptionnel par la hêtraie, à l'hubac des grands escarpements sommitaux.

Le climat général est du type méditerranéen, mais la hauteur du relief provoque conjointement une augmentation des précipitations et une baisse des températures.

Le degré de karstification varie considérablement d'un point à l'autre du massif. Là où il est le plus fort, il imprime au paysage des traits originaux - c'est le cas des lapiés géants du plateau Plan d'Aups-St Cassien - et il conditionne l'hydrologie : Le réseau hydrographique est embryonnaire, les sources sont des résurgences ouvertes sur des réseaux souterrains, aux débits importants mais limités dans le temps. L'ablation karstique actuelle est concrétisée par la quantité de carbonates dissous dans les eaux des sources et les formes précipitées qui en découlent comme les tufs- barrages des rivières.

Nous savons qu'une partie de l'ablation karstique provient de la zone superficielle du karst et en particulier de la dissolution des calcaires au contact des sols. Mais qu'elle est actuellement son intensité dans le massif de la Ste Baume? Est-elle toujours en rapport avec l'ampleur des formes que l'on observe? Qu'elle est l'influence des facteurs de station (type de roche, sol, végétation, climat local etc ...) ?

Ce sont les questions que nous nous sommes posées et qui ont motivé ce travail.

B - L'érosion karstique, état de la question

Dans le domaine de la karstologie, les travaux de CORBEL (1957) ont constitué une base de départ qui a permi de chiffrer l'érosion karstique globale d'une région en mesurant la quantité de calcaire enlevée annuellement par les cours d'eau, rapportée

à la surface de l'impluvium. C'est à partir de la "formule de CORBEL" que l'on a pu mesurer l'érosion karstique de nombreuses régions calcaires. En Provence, l'ablation karstique globale serait de 4Imm par millénaire selon R.MUXART et T.STCHOUZKOY - MUXART (I969) et de 38,7mm par millénaire sur l'Agnis (unité voisine de la Ste Baume) d'aprés J.NICOD (I977). Plus récemment, G.FABRE (I980) a dressé une carte synthétique du taux d'érosion karstique du sud méditerranéen Français : La basse Provence connaitrai actuellement une ablation variant de IO à 25 mm par millénaire. Il est interressant de comparer ces chiffres avec ceux obtenus dans d'autres régions du bassin méditerranéen. Au Liban par exemple, B.HAKIM (I982) a montré que la tranche érodée variait de 40 à 60mm par millénaire dans la montagne où les précipitations sont de l'ordre de I500mm/an, à moins de IOmm par millénaire dans la partie septentrionale de l'Anti-Liban, en raison de l'indigence des pluies et de la dégradation du couvert végétal.

Les valeurs de l'érosion calcaire au contact des sols sont moins connues :

En I967, J.NICOD montre que la crypto-corrosion est active là où le sol est en formation, même dans les régions où celui-ci est réduit à des poches à condition que l'humidité soit suffisante. Il citait comme exemples les massifs marseillais et le Primorje Dalmate. En I972, BOTTNER précise que sous les conditions bioclimatiques actuelles, la décarbonatation des sols fersiallitiques à réserve calcique du midi de la France parait réduite. En I980, M.KUPPER, en utilisant la méthode des plaquettes-témoins, obtient dans les sols rouges de Pontevès, dans le Var, une valeur de dissolution de 4,2mm par millénaire mais avec un calcaire étranger à la région (âge Tournaisien) et pendant une période trop courte pour permettre à la dissolution pelliculaire, telle qu'elle a été définie par LAMOUROUX (I967), de s'exercer totalement.

C - But et organisation du travail

Nous nous proposons dans ce travail, d'une part, de mesurer les vitesses d'altération des calcaires dans les sols des différentes régions karstiques de la partie septentrionale du massif de la Ste Baume par la méthode des plaquettes et d'autre part, de corréler ces vitesses à leur environnement physico-chimique.

Nous avons choisi 4 sites (fig.3) parmi les plus représentatifs, qui seront présentés dans une première partie.

Dans la seconde partie, nous étudierons les sols de ces sites afin de définir leurs caractères physico-chimiques. Nous la complèterons par un aperçu de la pédogenèse.

Enfin, dans la troisième partie, nous commenterons les différentes mesures que nous avons effectuées et les conditions dans lesquelles nous avons employé la méthode des plaquettes. Nous analyserons les résultats obtenus aprés une période expérimentale de deux ans.

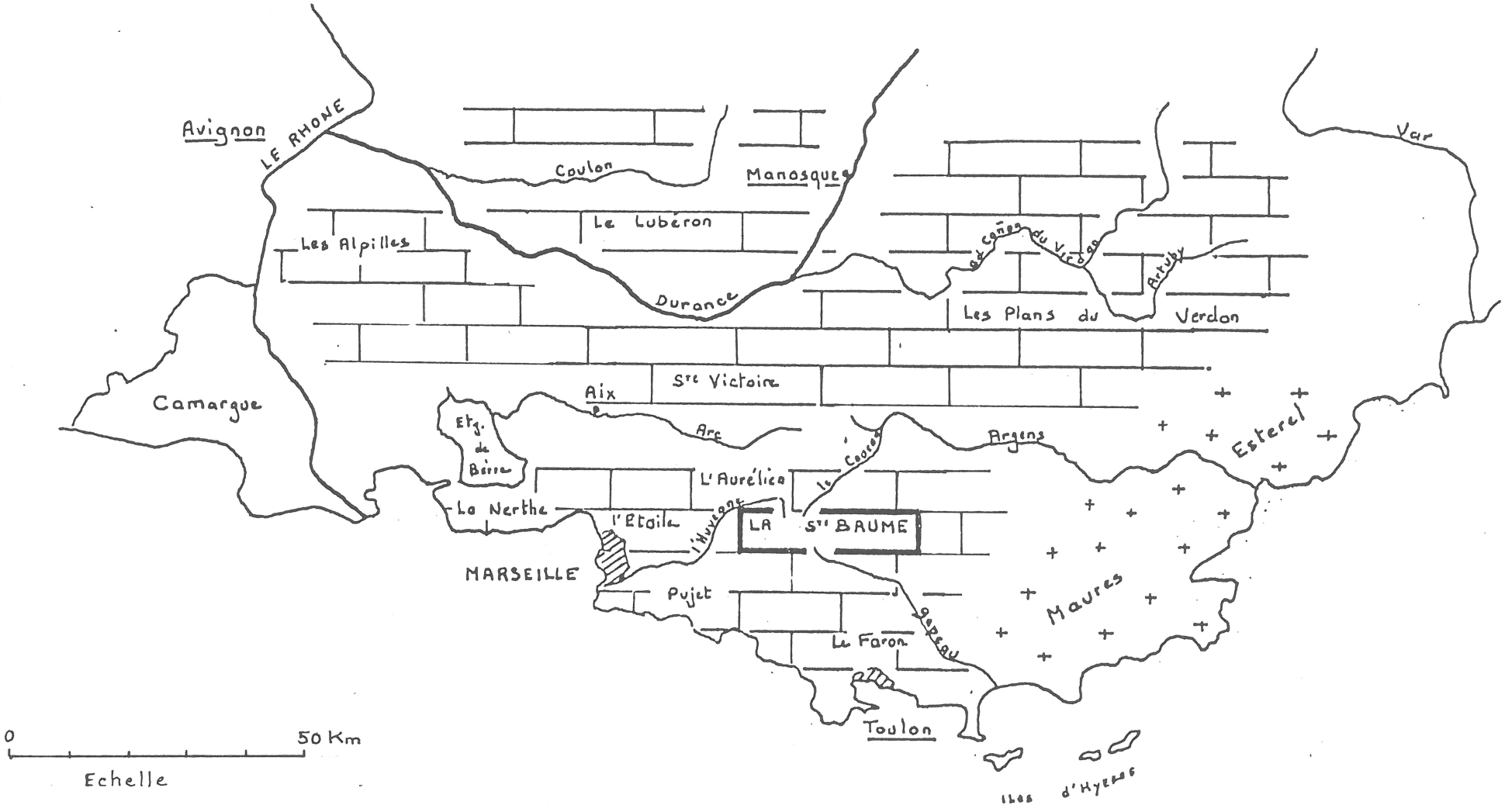


Fig.I Le massif de la STE BAUME dans son cadre Provençal

Provence calcaire Provence cristalline

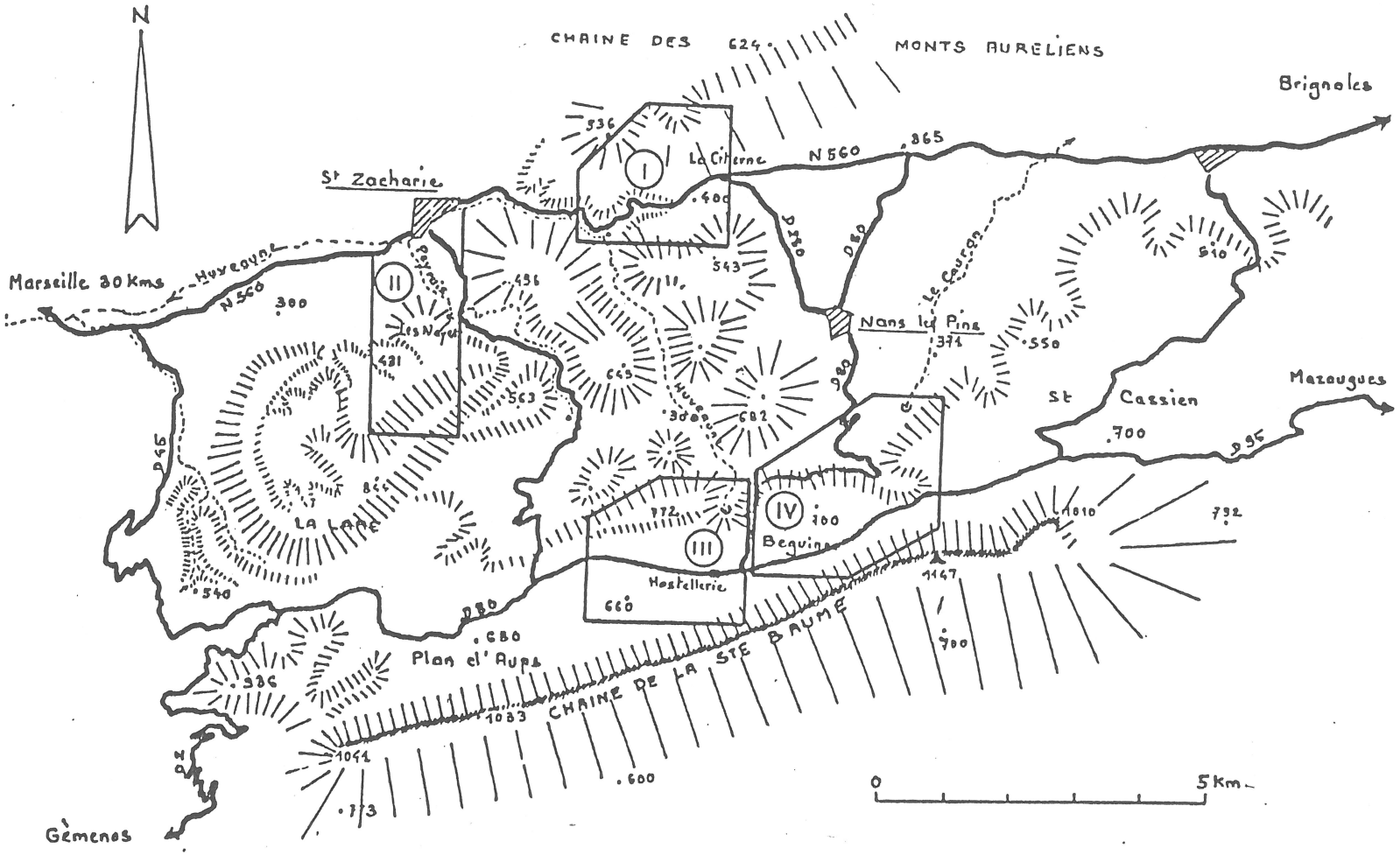


Fig.2 Le massif de la STE BAUME : Carte topographique et situation des sites étudiés

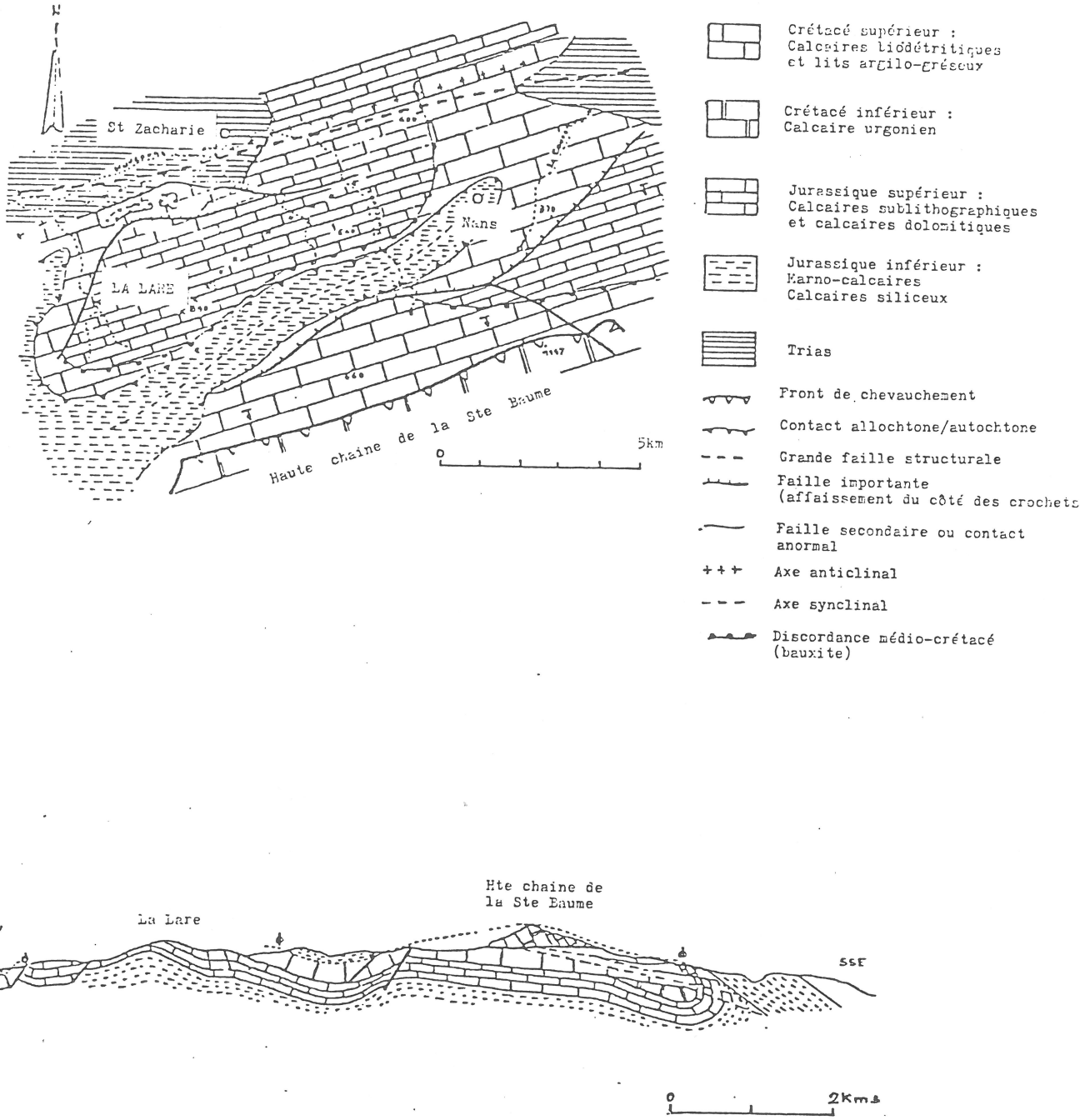


Fig 3 Le massif de la STE BAUME : Carte et coupe structurales (coupe extraite du guide géologique régional "Provence", réalisée par JPH CARON, G.GUIEU, C.TEMPIER)

PREMIERE PARTIE

Présentation des sites expérimentaux du massif de la Ste Baume

---

Critères de sélection :

Nous avons sélectionné 4 sites en fonction des critères suivants :

I) Des roches karstifiées dans la gamme des calcaires aux dolomies

2) La présence de sols rouges en couverture ou en remplissage de fissures.

3) Une situation géographique qui tienne compte des différences locales de climat.

4) une topographie variée.

5) Un couvert végétal représentant les essences les plus caractéristiques.

Caractères généraux :

Ils sont résumés dans le tableau ci-dessous

	I La Citerne	II La Lare	III l'Hôtellerie	IV les Béguines
roches	calcaires à pâte fine et dolomies		calcaires biodétritiques	
épikarst	crypto-lapiés	lapiés partiellement exhumés	poljé, lapiés géants exhumés	lapiés géants
endokarst	néant	néant	réseau souterrain	réseau souterrain
sols	rouge en couverture	rouge en poches	jaune à rouge en couverture dicontinue	rouge couverture et poches
topographie	fond de vallée faible pente	flanc de montagne forte pente	bord de dépression faible pente	plateau
exposition	sud	nord	sud	nord
altitude	400m	450m	670m	700m
végétation	pinède, feuillus ajonc Provence	feuillus arbousier	pelouse pins et feuillus	chenaie pubescente

Tableau I Caractéristiques principales des sites expérimentaux

CHAPITRE I

Le site de la Citerne

C'est une courte vallée formant un col à 400m d'altitude qui relie d'Est en Ouest la plaine de Nans- les-pins à la dépression de St Zacharie, entre le massif de l'Aurélien au Nord et la chaine de la Ste Baume au Sud.

Végétation (fig 5):

Le versant Sud, exposé à l'hubac, a conservé une végétation assez dense de feuillus et de résineux échappés aux incendies qui ont ravagé le versant opposé. Sur celui-ci, la repousse s'exprime par une garrigue à chênes kermès sur le haut des pentes et des taillis de feuillus, envahit par l'ajonc de Provence à la base, sur des sols plus profonds.

Structure (fig 4):

La vallée est modelée dans les faciès calcaréo-dolomitiques du Jurassique supérieur. Ces calcaires sont en position anticlinale par rapport au Crétacé de la plaine de Nans-les-pins, mais ils sont traversés par un accident tectonique d'importance régionale qui crée une zone de broyage orientée Est-Ouest.

Géomorphologie (fig 6):

La vallée s'inscrit trés exactement sur la zone broyée. Le versant sud est un versant régularisé d'érosion à concavité basale. Le versant nord se différencie par un replat trés localisé au I/3 de sa hauteur. Les deux versants se raccordent à la base à une surface d'érosion. Cette surface d'érosion, datée de l'Oligo-miocène (NICOD 1967), s'étend largement à l'Est. Elle est par contre rapidement dégradée à l'Ouest par de profonds vallons, autour du bassin de St Zacharie. Le paysage karstique est discret: Ce sont des lapiés enfouis sous la couverture pédologique dans le fond de la vallée, ou partiellement détruits par l'érosion sur les versants.

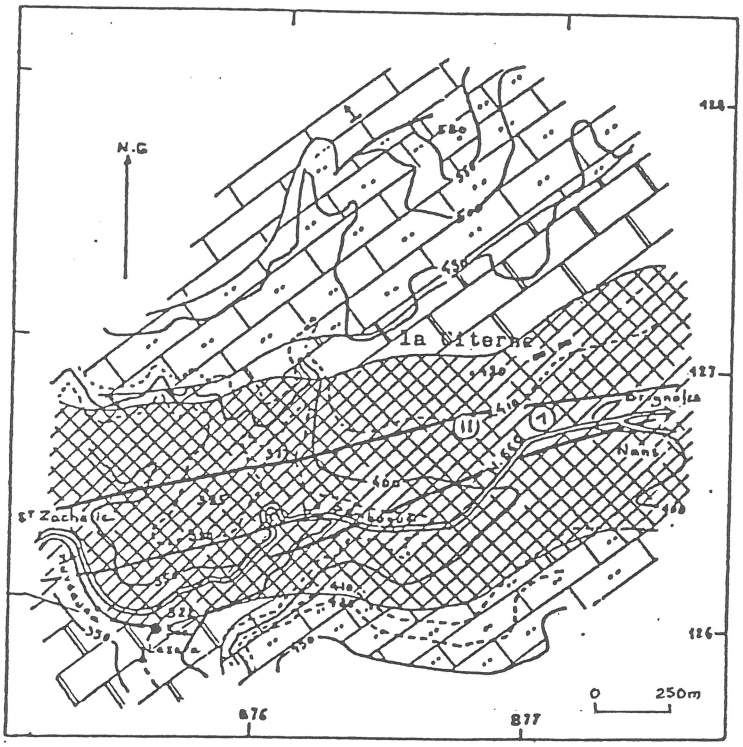


Fig 4 Carte structurale du site de la Citerne

- calcaire massif à pâte trés fine, beige ou gris
- dolomie cristalline, grise en surface, rose à la cassure, caverneuse. Altérée, elle libère une arène abondante.
- zone broyée
- faille, contact anormal

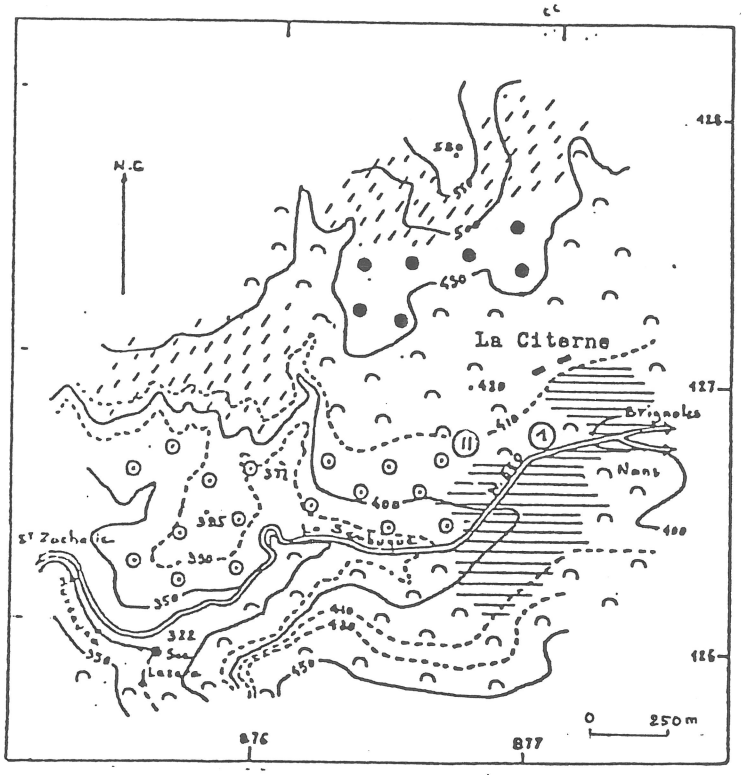


Fig 5 Carte de la végétation du site de la Citerne

- taillis de chênes verts (Quercus ilicis)
- chenaie mixte (Quercus ilicis et pubescens)
- bois de pins d'Alep
- garrigue à chêne kermès (Quercus coccifèras)
- friches

note : la chenaie mixte est envahie par l'ajonc de Provence (Ulex parviflora)

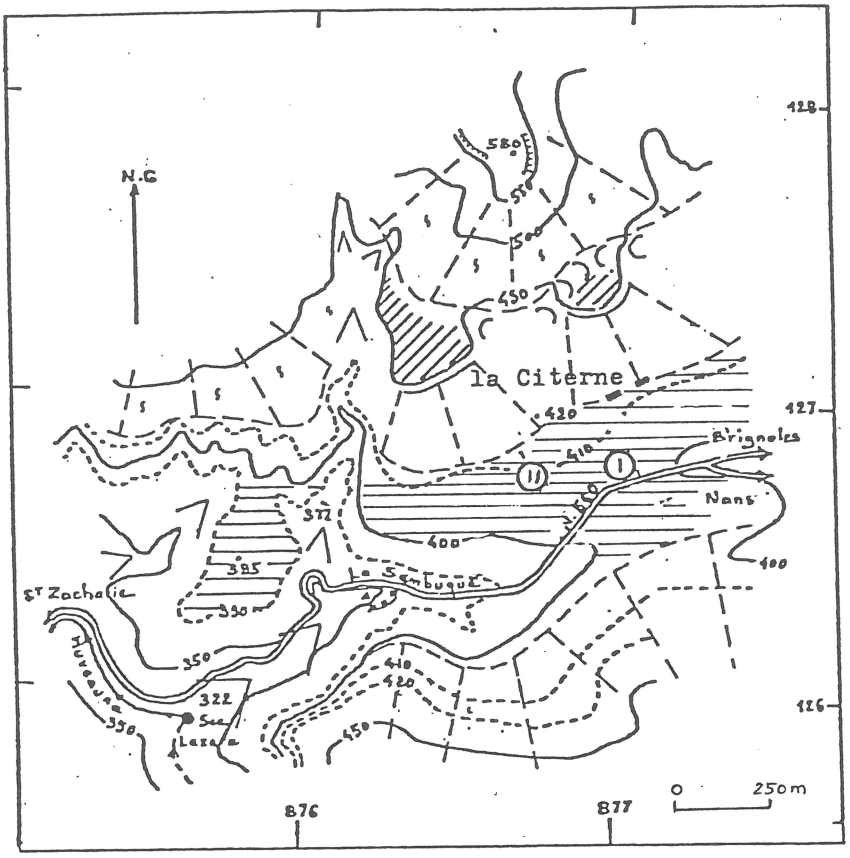


Fig 6 Carte géomorphologique du site de la Citerne

surface Oligo-miocène

banquette de corrosion

versant rectiligne-concave

versant convexo-concave

vallons : en V, en berceau

corniche importante gradin blocs éboulés

(I) et (II) emplacements des stations expérimentales

Hydrogéologie (fig 7 et 8):

La structure du site (zone broyée) est favorable au développement d'un aquifère dont l'exutoire pourrait être à première vue les nombreuses sources qui jaillissent à l'ouest, en bordure de l'Huveaune, dans l'axe de la fracturation (fig 7). Or ces sources ont un régime hydrologique trés différent entre elles. Il est donc probable que l'aquifère qui les alimente soit plus complexe et étendu au-delà du site de la Citerne.

Nous avons pû étudier la source Lazare qui est la plus proche du site (fig 8). La mesure de son débit n'est pas possible lorsque l'Huveaune est alimentée dans sa partie amont car certains griffons de la source sont situés dans le lit de la rivière. Nous avons néanmoins constaté à l'observation que la réponse de la source était amortie et que la décroissance du débit était trés lente en régime non influencé. Parmi les caractéristiques de la source, on remarquera que la température oscille autour d'une valeur moyenne de I3º5. Les valeurs les plus basses apparaissant aprés la période trés pluvieuse du mois de janvier I978, lorsque commence le déstokage de ces eaux froides. La minéralisation totale, représentée par la résistivité diminue en même temps. La source Lazare semble donc restituer les eaux d'un aquifère poreux et fissuré dont nous avons évalué le volume des réserves à partir de la courbe de tarissement relevée en I978 (fig 8).

$$W = \frac{Qo \quad 86400}{a} \quad ; \quad a = \frac{\text{Log } Qo - \text{Log } Qt}{0,43t}$$ (formule de MAILLET)

Qo: débit à l'origine du tarissement = 68l/s

Qt: débit à la fin de la période d'étiage = I5l/S

t: période séparant les mesures de Qo et Qt = I50 jours

Le calcul donne un volume disponible de $0,587.I0^6$ m^3

L'utilisation des courbes de ROQUES (fig 8) indique des eaux sous-saturées tout au long de l'année.

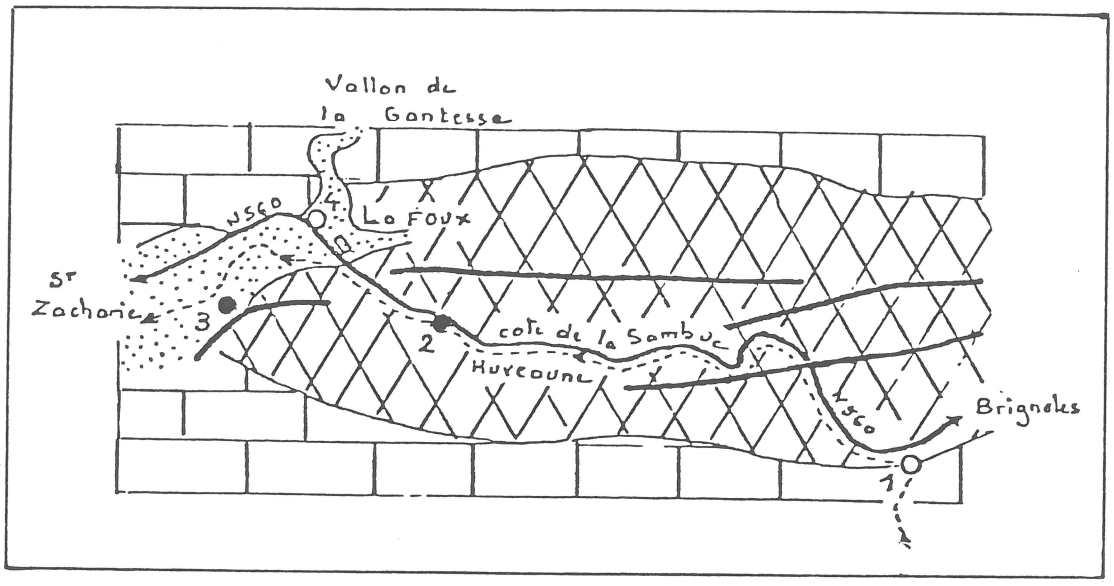


Fig.7 Situation des sources basses (I) de l'Huveaune.

I: Source Lazare : Alt.:322m, pérenne, débit moyen: 50ℓ/s

2: Source de la Foux : Alt: 280m, tarissement estival, débit moyen: 15ℓ/s, captée

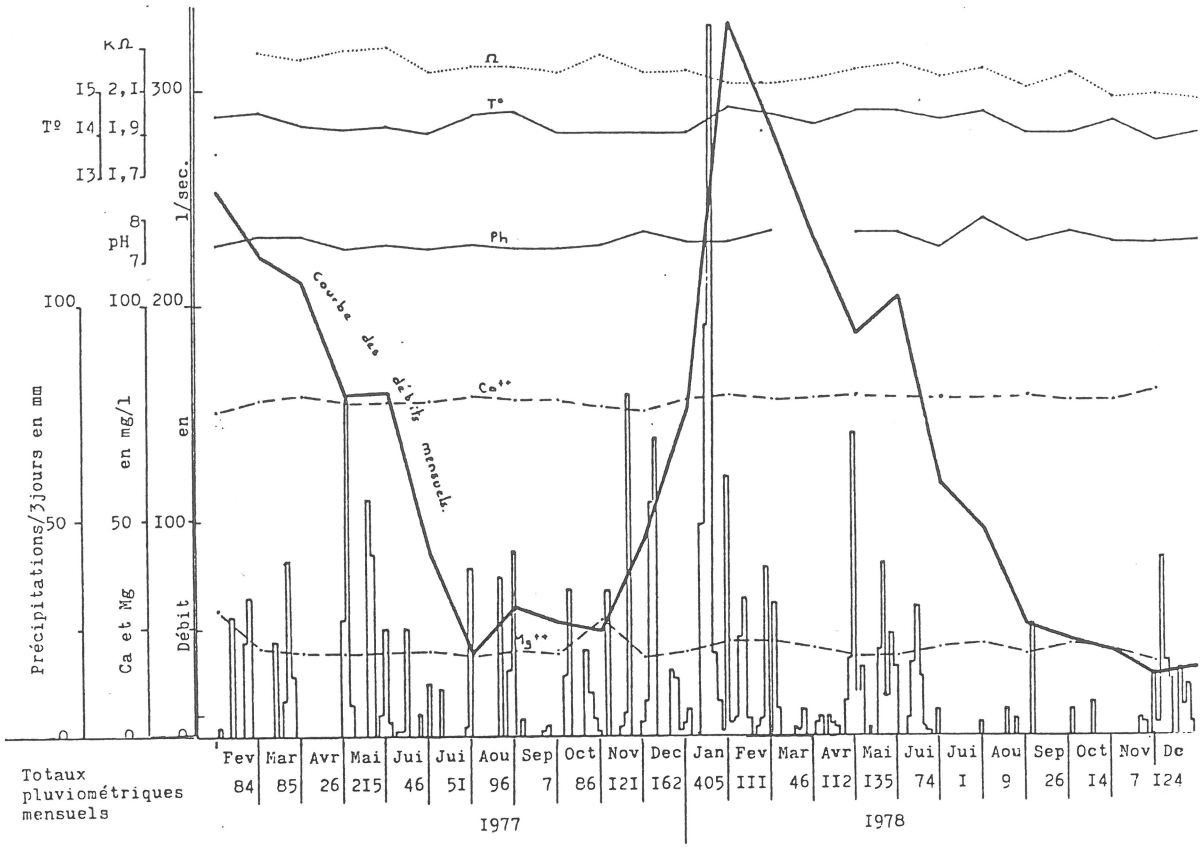
3: Source de la brise : Alt.: 270m, pérenne, débit moyen 50ℓ/s, captée

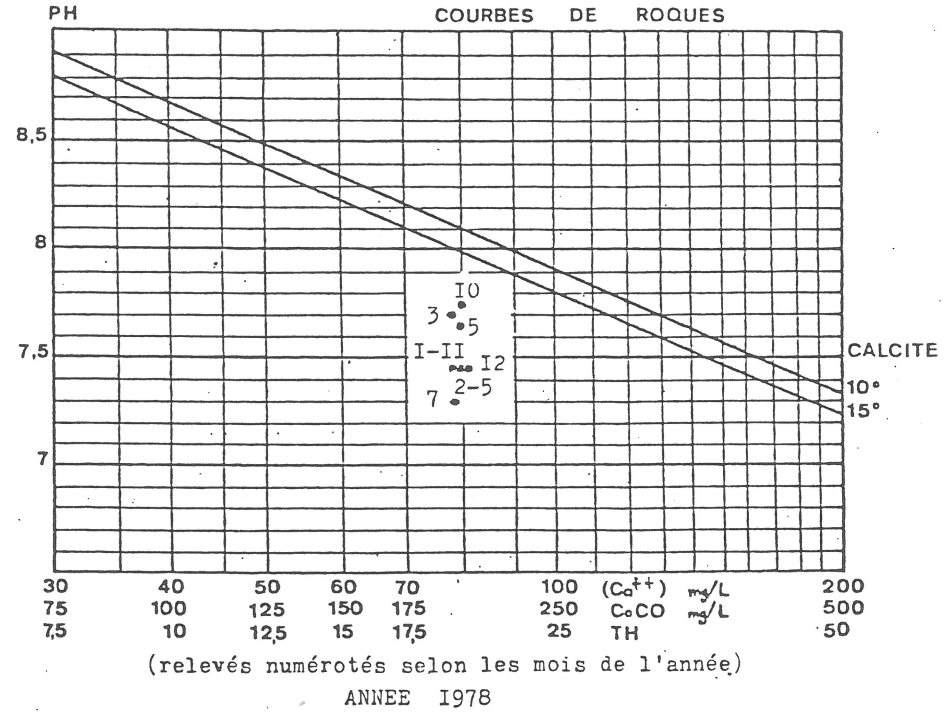
4: Source Sicard Alt.: 277m, temporaire.

(I) Les sources hautes sont situées dans le vallon de Castelette, au pied de la chaine de la Ste Baume.

calcaires alluvions zone broyée

fractures importantes





(relevés numérotés selon les mois de l'année)

ANNEE I978

Fig. 8 Caractéristiques hydro-chimiques de la source Lazare

CHAPITRE II

Le site de la Lare

Le massif de la Lare est un dôme trapu, culminant à 846m, bien individualisé du contexte montagneux de la Ste Baume.

La partie NE du massif, à laquelle nous nous intéressons ici, forme un versant en forte pente interrompu à mi-hauteur par un plateau étroit, profondément disséqué par de nombreux vallons.

Végétation (fig I0):

Les sommets de la Lare sont recouverts sur le versant septentrional, d'une forêt de chênes pubescents qui font place dans les altitudes plus basses aux taillis de chênes verts. On notera au sein des Yeuses, la présence de l'arbousier (Arbutus unido) qui se plaît sur des sols à texture sableuse. Enfin la pinède et la garrigue à chênes kermès se partagent les pentes inférieures selon l'état de dégradation du couvert végétal.

Structure (fig 9):

Le massif est constitué pour l'essentiel de calcaires et de dolomies appartenant aux différents faciès du Malm.

Du point de vue tectonique, GUIEU (I966) définit la Lare comme "un brachyanticlinal faillé, dissymétrique, d'axe WSW-ENE."

Au NE, un faisceau de failles parallèles à l'axe du pli, effondre le flanc nord de l'anticlinal mais les couches restent trés redressées. Une faille plus importante encore, à regard nord, abaisse à la périphérie du massif l'enveloppe crétacée.

Géomorphologie (fig II):

Trois grands traits appartenant à des morphogenèses différentes, caractérisent le versant NE de la Lare :

- A mi-hauteur, un plateau étroit, morcelé: Il représente un lambeau de la surface fondamentale oligo-miocène (NICOD I967).
- Reliant le plateau au bassin de St Zacharie, un versant régularisé qui n'est autre que l'escarpement hérité de la grande faille.
- Au-dessus du plateau et jusqu'au sommet de la montagne,

un versant complexe à chevrons et reliefs majeurs ruiniformes (quilles, tourelles ...) où sont conjugées les actions cryptogènes et subaériennes de l'érosion.
Les formes de relief mineures sont plus particulièrement associées aux faciès. Sur les calcaires sublithographiques, on observe des crypto-lapiés partiellement exhumés et en voie de démantellement par les actions météoriques (clapiers). Dans les secteurs dolomitiques au contraire, les roches affleurantes sont caverneuses et déchiquetées. Leur forte altération libère une arène abondante.

Hydrogéologie (fig I2):

Au pied de l'escarpement de faille émerge l'importante source des Nayes. Il s'agit en fait de plusieurs griffons aveugles, alignés sur l'accident tectonique. En régime influencé, les réactions de la source aux précipitations sont amorties. Mais on remarquera qu'aux débits maxima produits par les pluies hivernales correspond une légère augmentation des températures. Il y a donc un effet de chasse des eaux initialement stokées dans l'aquifère. En régime non influencé, le débit est soutenu et le tarissement total n'a pas été atteint pendant la période de déficit pluviométrique des années I98I à I983. Le cube des réserves disponibles calculé à partir de la courbe de tarissement de l'année I978, est de $I,035.I0^6$ m^3. Les eaux sont sous-saturées toute l'année et ont une dureté un peu inférieure à la source Lazare.

L'aquifère, constitué par les dolomies suprajurassiques, reçoit essentiellement les eaux d'un impluvium que le dispositif structural permet de situer sur le flanc nord, effondré, de l'anticlinal, avec un éventuel prolongement vers l'Est, sur les reliefs de la Mouère et du Chambeyron, soit une étendue approximative de $7km^2$.

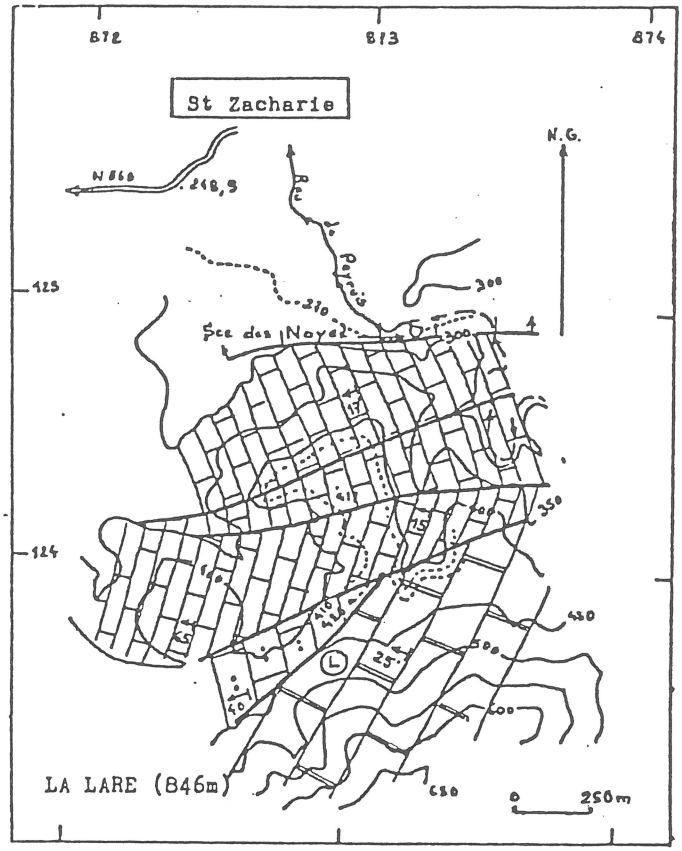


Fig 9 Carte structurale du site de la Lare

- calcaire massif à pâte trés fine, beige ou gris
- dolomie cristalline, grise en surface, rose à la cassure, caverneuse. Altérée, elle libère une arène abondante.
- calcaires et dolomies : des bancs calcaires à pâte fine alternent avec des dolomies en plaquettes.
- faille importante avec direction du regard
- faille secondaire, contact anormal

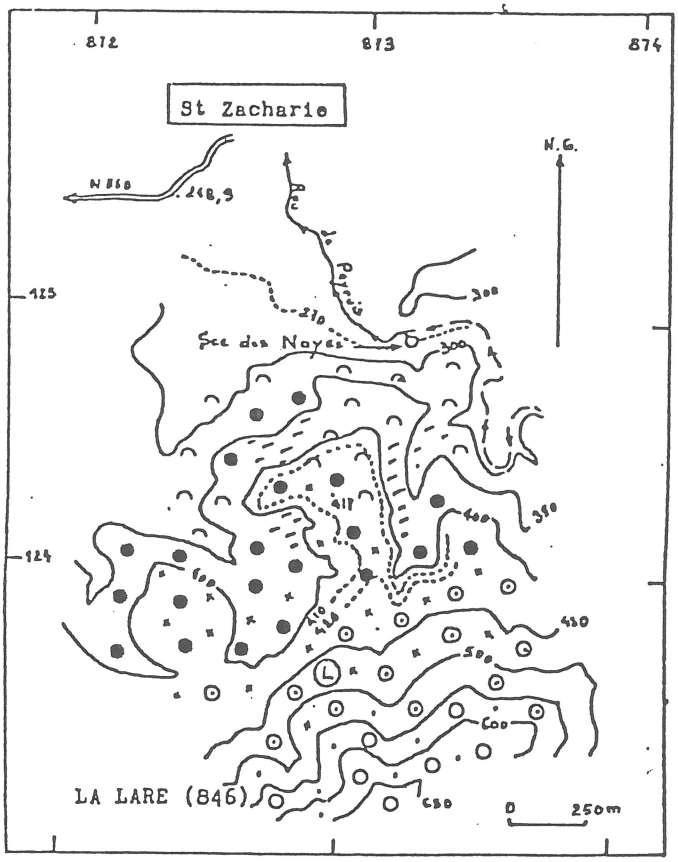


Fig IO Carte de la végétation du site de la lare

- chenaie pubescente (Quercus pubescens)
- taillis de chênes verts (Quercus ilicis)
- chênaie mixte
- bois de pins d'Alep
- garrigue à chênes kermès (Quercus coccifèra)

notes : l'érable (Acer opalus) est associé à la chenaie pubescente (o .) l'arbousier (Arbutus unido) aux taillis de chênes verts.

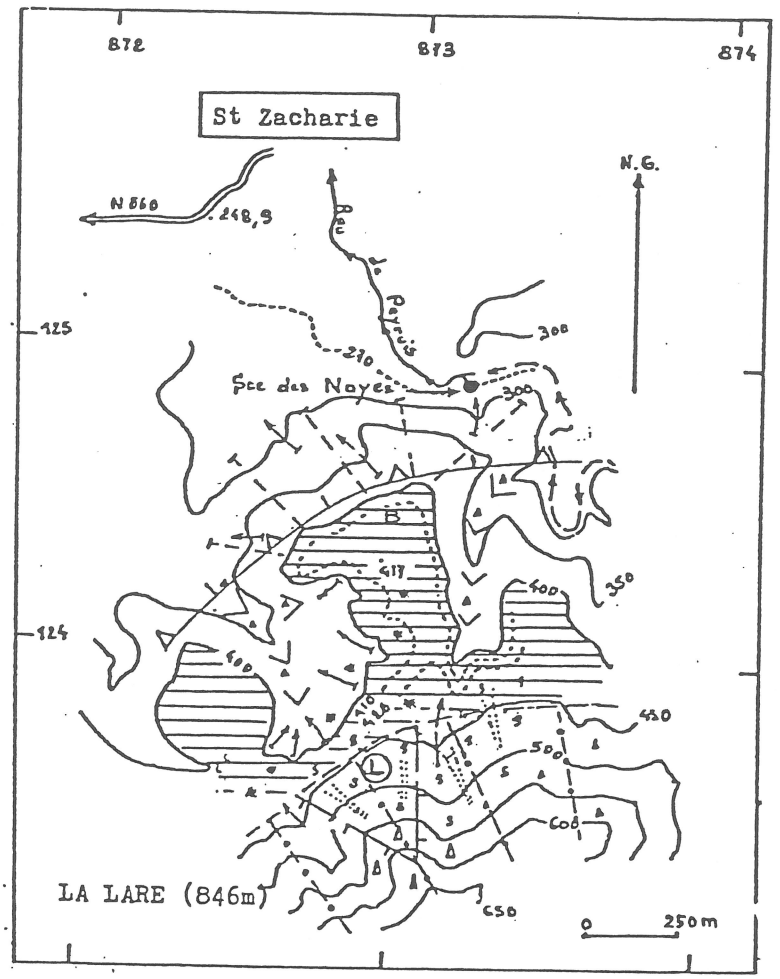


Fig II Carte géomorphologique du site de la Lare

Surface Oligo-miocène

versant régularisé

versant à relief ruiniforme

chevron

escarpement de faille

vallon en V

ravin

bloc éboulé

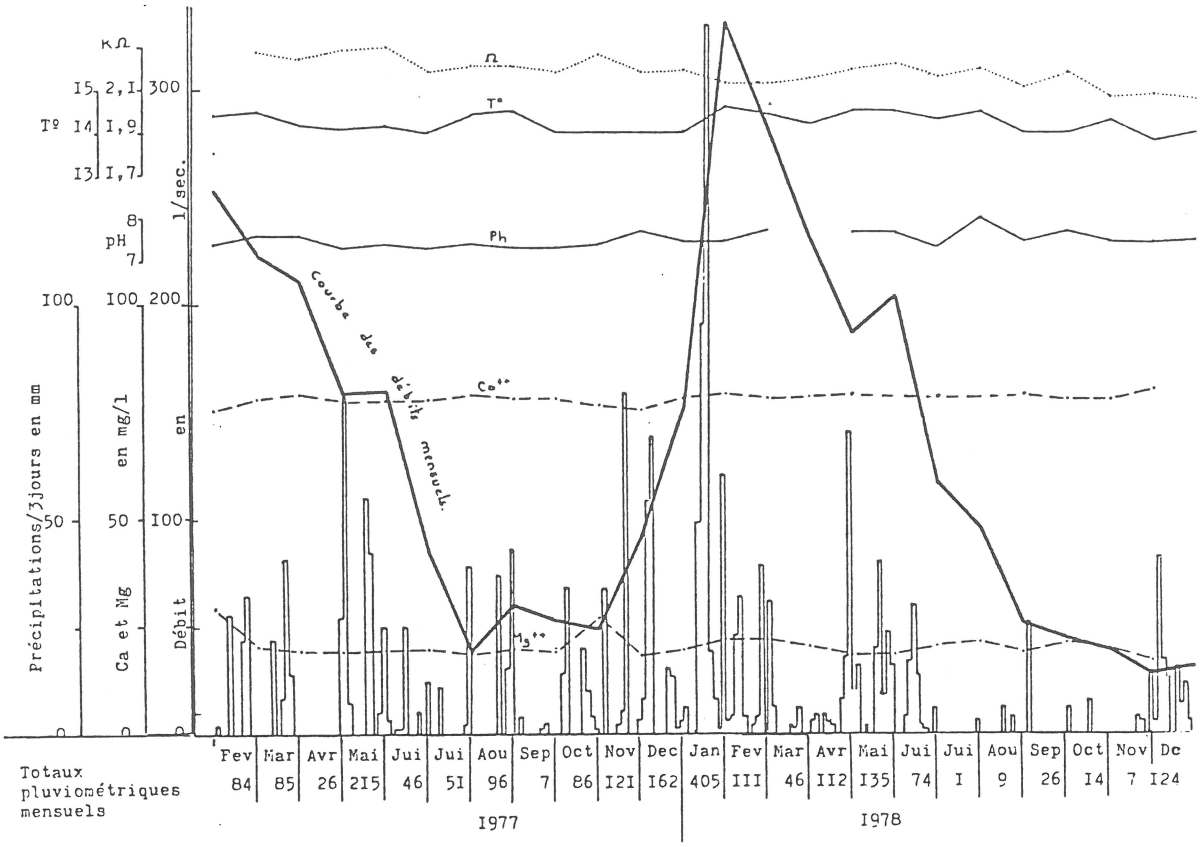
relief ruiniforme majeur (quille)

relief ruiniforme mineur (chicot)

S petit lapié

clapier

L emplacement de la station expérimentale



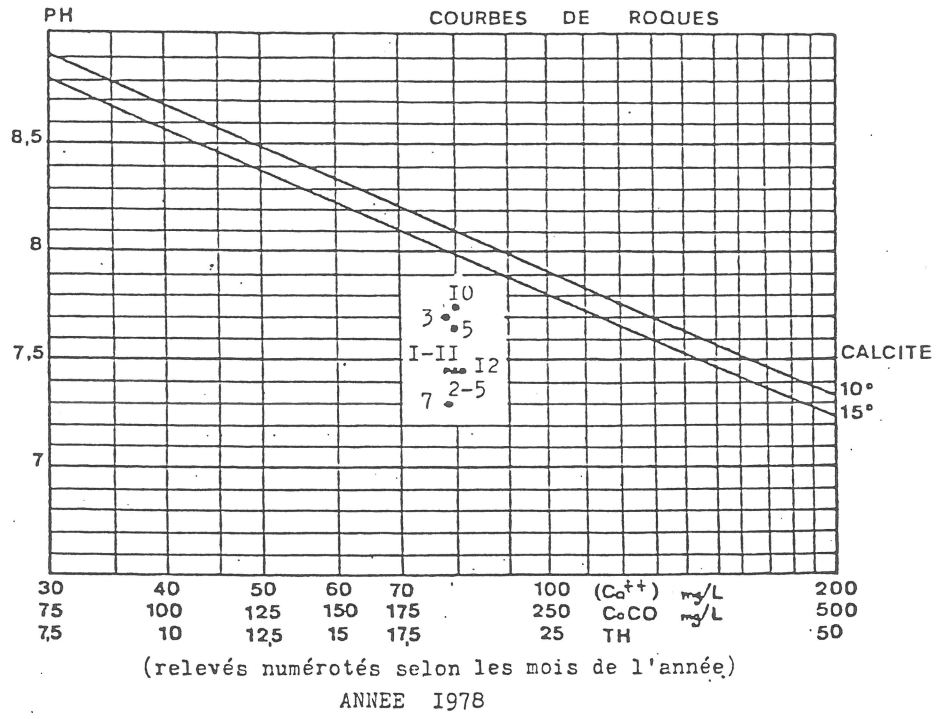


Fig. I2 Caractéristiques hydro-chimiques de la source des Nayes

CHAPITRE III

Le site de l'Hôtellerie

Le site de l'hôtellerie correspond à la partie orientale du plateau du Plan d'Aups. Ce plateau, long de 5kms sur I,5km de large au plus, est situé à 670m d'altitude de moyenne, au pied des escarpements occidentaux de la haute chaine de la Ste Baume (II47m) et il est séparé des massifs septentrionnaux (Lare, Chambeyron) par une profonde dépression qui se creuse vers l'Est.

Le plateau, légèrement déprimé en son centre, a son rebord nord trés relevé par le relief saillant de la Caïre (770m).

Végétation (fig I4) :

Bien abritée sous les grandes barres rocheuses, la forêt domaniale, aux essences septentrionales, bénéficie d'un microclimat exeptionnel qui assure sa survie. Son extension vers le nord est limitée par des cultures. Au delà, une végétation trés dégradée de chênes et de genévriers, sur fond de pelouse à Brachypodium, colonise les maigres sols qui ont subsisté entre les affleurements rocheux. Par contre, dans les secteurs fissurés, plus humifères et plus humides, le chêne vert parait se développer avec aisance.

Structure (fig I3) :

Des bancs de calcaire biodétritique dur , d'âge Santonien, séparés par des lits argilo-gréseux, reposent en discordance soulignée par de la bauxite, sur les assises calcaréo-dolomitiques du Jurassique supérieur. La puissance de la formation crétacé est de 30m environ au niveau de l'hôtellerie et ses couches pendent de IO à 20 degrés vers le sud. Elles correspondent au flanc nord d'un synclinal écaillé dans sa partie sud par la phase tangentielle Provençale, fini-Eocène, puis porté en altitude à l'Oligocène. Cette unité est séparée par faille des structures anticlinales de la Lare et du Chambeyron.

Sur le site de l'hôtellerie, la photo aérienne révèle des cassures d'orientation subméridienne , affectées de légers décro-

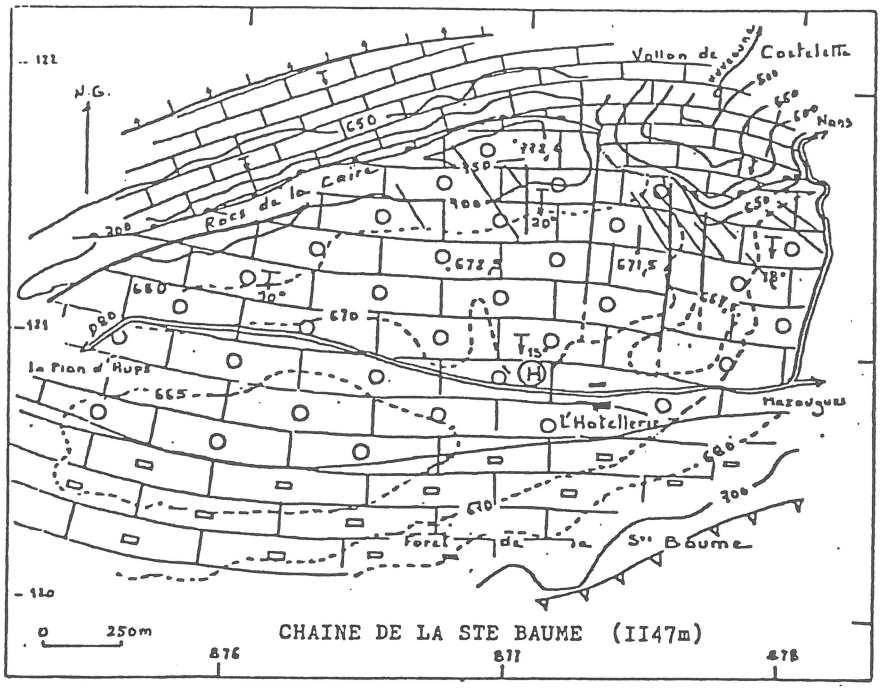


Fig I3 Carte structurale du site de l'Hôtellerie

- calcaire à rudistes alternant avec des lits argilo-gréseux
- calcaire noir alternant avec des argilites ligniteuses
- calcaires et dolomies : des bancs calcaires à pâte fine alternent avec des dolomies en plaquettes
- faille importante avec direction du regard
- front de chevauchement
- faille, contact anormal
- discordance médio-crétacé
- diaclase ouverte

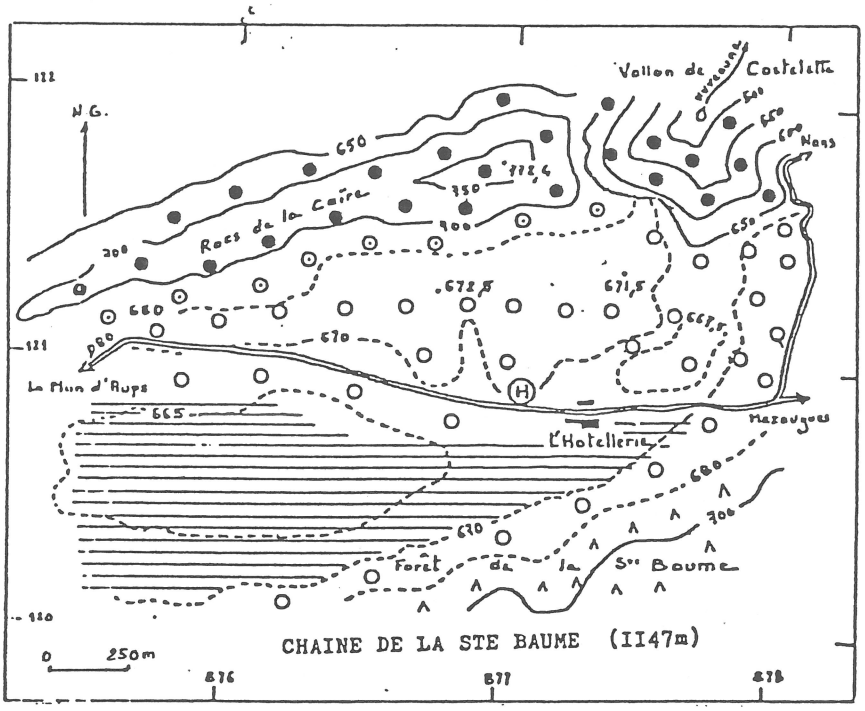


Fig I4 Carte de la végétation du site de l'Hôtellerie

- chenaie pubescente (Quercus pubescens)
- taillis de chênes verts (Quercus ilicis)
- chenaie mixte (ili. et pub.)
- hêtraie (Fagus silvatica)
- cultures

note : Sur le plateau, le chêne pubescent, le plus souvent à l'état arbustif, forme avec le genévrier (Junipérus communis) et le pin sylvestre, des ilôts entourés d'une pelouse discontinue à brachypodium

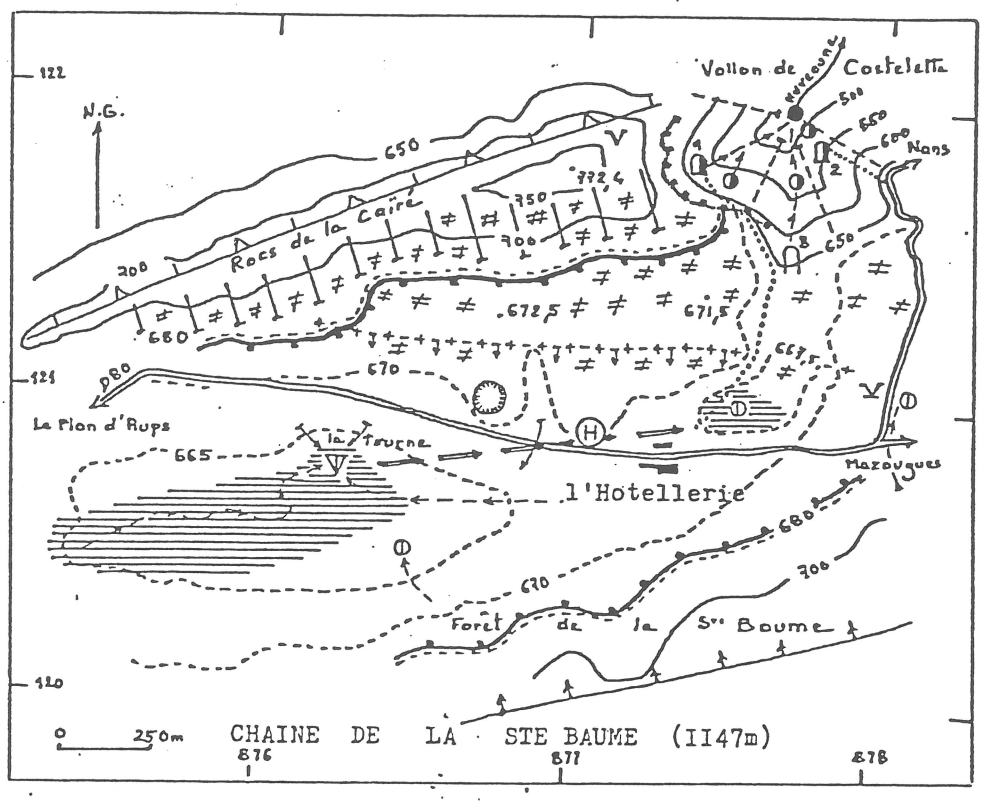


Fig I5 Carte géomorphologique du site de l'Hôtellerie

Zone inondable — versant régularisé — versant structural

front de chevauchement — escarpement de faille

crête de micro-cuesta, avec direction du revers

bord de poljé — doline — corniche importante

aven, avec regard sur écoulement temporaire

perte temporaire impénétrable, pénétrable

réseau souterrain exploré, liaison probable

grotte, avec écoulement temporaire

grands lapiés exhumés, table de lapié

source pérenne, temporaire

écoulement pérenne, temporaire

chements et recoupant un faisceau de diaclases ouvertes, elles mêmes orientées NW-SE. Ces cassures ne semblent pas se poursuivre au nord, sur les affleurements jurassiques.

Géomorphologie (fig I5) :

La coupe faite à l'ouest des batiments de l'hôtellerie (fig25) montre un profil tranversal en baquet qui tranche les calcaires santoniens entre l'escarpement de chevauchement de la haute chaine et le versant structural de la Caïré , perforé de lapiés géants. La partie sud, plus basse, collecte en période pluvieuse les eaux de ruissellement qui sont absorbées par plusieurs embuts dont le principal, la "Tourne"(I), est situé au centre. Cependant, lorsque les pluies sont trés abondantes, ces pertes s'avèrent insuffisantes et l'eau inonde la plaine : C'est le poljé du Plan d'Aups . Toutefois, J.NICOD (I967) a souligné qu'il ne s'agit pas ici d'un poljé typique formé par la remontée de la nappe karstique, mais d'une accumulation d'eaux météoriques sur un fond imperméable.

Le fond du poljé est composé de 3 niveaux emboités qui correspondent à des planchers successifs:

I) Le plancher supérieur : Il nivelle les calcaires santoniens à la côte 680. Ce plancher débouche dans le vide au vallon de Castelette, au NE du poljé.

2) Le niveau médian : Il est matérialisé par la côte 670 qui cerne une surface déprimée, réduite en une bande étroite vers le vallon de Castelette, nettement surimposée à la structure dans cette région.

3) Le plancher inférieur : Il forme à la côte 665, la zone actuellement inondable. et un secteur beaucoup plus restreint situé au NE de l'hôtellerie.

(I) La Tourne : Plans page I03

Hypothèses sur la formation du poljé du Plan d'Aups (fig 16):

Le poljé est emboité dans la surface oligocène que l'on observe nettement plus à l'Est, sur le plateau de St Cassien. Mais son rebord est localement détruit par le recul du vallon de Castelette, lieu d'émergence des eaux du poljé. La dépression délimitée par la côte 670 et dirrigée vers ce vallon, à toutes les apparences d'un ravinement. A partir de ces observations, deux hypothèses sur la genèse du poljé peuvent être envisagées.

Ière hypothèse:

I) Formation du plancher supérieur (côte 680). Evacuation des eaux du poljé par les ponors actuels et développement du réseau souterrain aboutissant aux résurgences.

2) Recul de la corniche et destruction du rebord du poljé jusqu'au plancher.

3) Les eaux du poljé se déversent alors, au moins en partie, directement dans le vallon, creusant le couloir délimité par la côte 670. L'érosion entraine l'argile de décalcification qui colmate le fond du poljé et ouvre les nombreuses fractures existantes en amont du vallon.

4) Le drainage subaérien est ainsi désorganisé par ces nouvelles pertes. Les eaux se concentrent de nouveau autour des premiers ponors, élaborant le plancher actuel (côte 665). Le plancher primitif est modelé par l'érosion différentielle et les grands lapiés sont exhumés.

2ème hypothèse:

I) Les premières pertes du poljé ont lieu immédiatement derrière le vérrou qui domine le vallon de Castelette, dans les trés nombreuses fractures existantes.

Elles provoquent le cavernement sous-jacent, trés important que l'on connait. L'alimentation des pertes entraine le ravinement du plancher primitif (côte 670).

2) Conjointement au recul du vallon, un cours hypogée s'élabore sous le drainage de surface, par l'ouverture de nouvelles pertes, dont les ponors actuels.
3) L'ancienne artère de drainage est donc progressivement abandonnée tandis que l'hydrographie s'organise autour des ponors actuels, réalisant le plancher emboité de la côte 665.
4) L'érosion différentielle dégage dans le plancher primitif une micro-cuesta au revers perforé de lapiés. Toutefois, la taille exeptionnelle des lapiés s'expliquerait selon J. NICOD (I967) par les grandes accumulations neigeuses des périodes froides du Quaternaire récent.

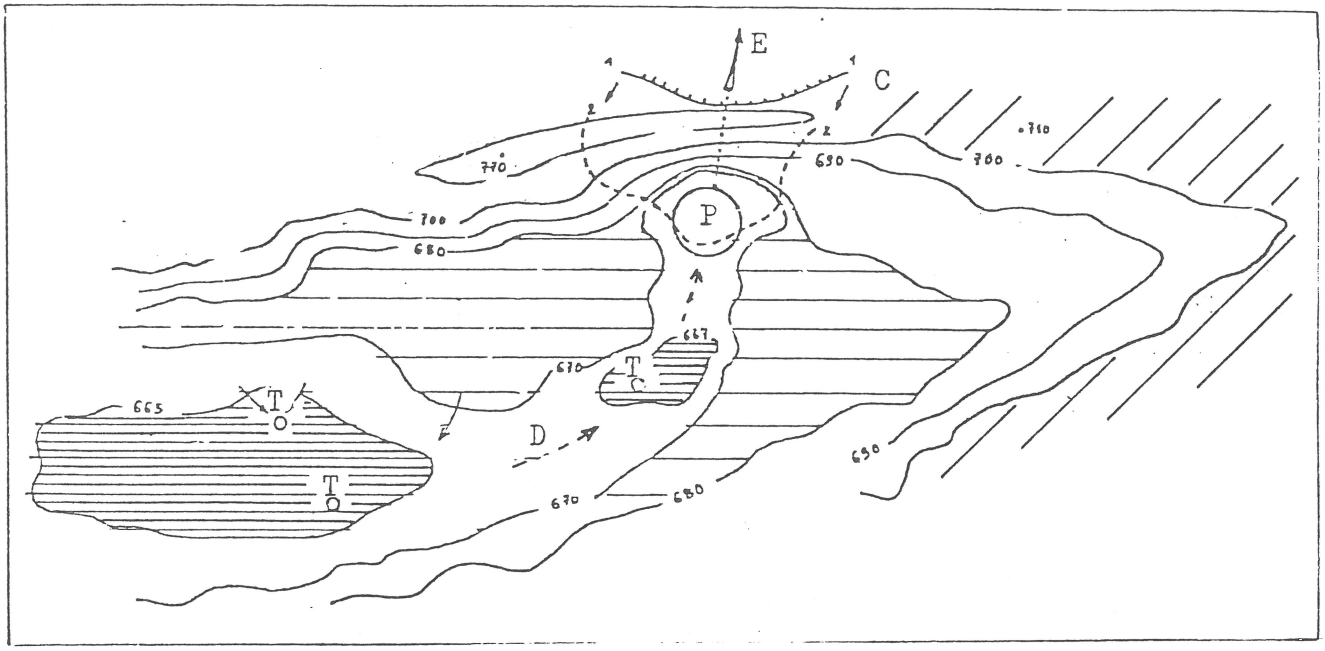


Fig. I6 Formation hypothétique du poljé du Plan d'Aups

Surface oligocène

Plancher primitif

Plancher actuel

P: Pertes diffuses hypothétiques

T: Ponors actuels

E: Emergence des eaux du poljé

D: Drainage subaérien disparu

C: Corniche du vallon de Castelette. Recul de I à 2

Le vallon de Castelette (fig I5):

Ce vallon échancre le poljé au nord de l'Hôtellerie. Une imposante corniche taillée dans les faciès sommitaux du Jurassique supérieur le ferme au sud et domine des versants réglés sur les calcaires dolomitiques néojurassiques. Depuis le creux du vallon, des ravins relient les émergences étagées , plus ou moins fonctionnelles, qui constituent les sources supérieures de l'Huveaune. L'exploration de ces diverses résurgences révèle un endokarst évolué:

En amont, tout proche de la surface du poljé, est située une résurgence colmatée par un remplissage sablo-argileux durci. Le porche est effondré. La résurgence se trouve dans l'axe d'une fracture.

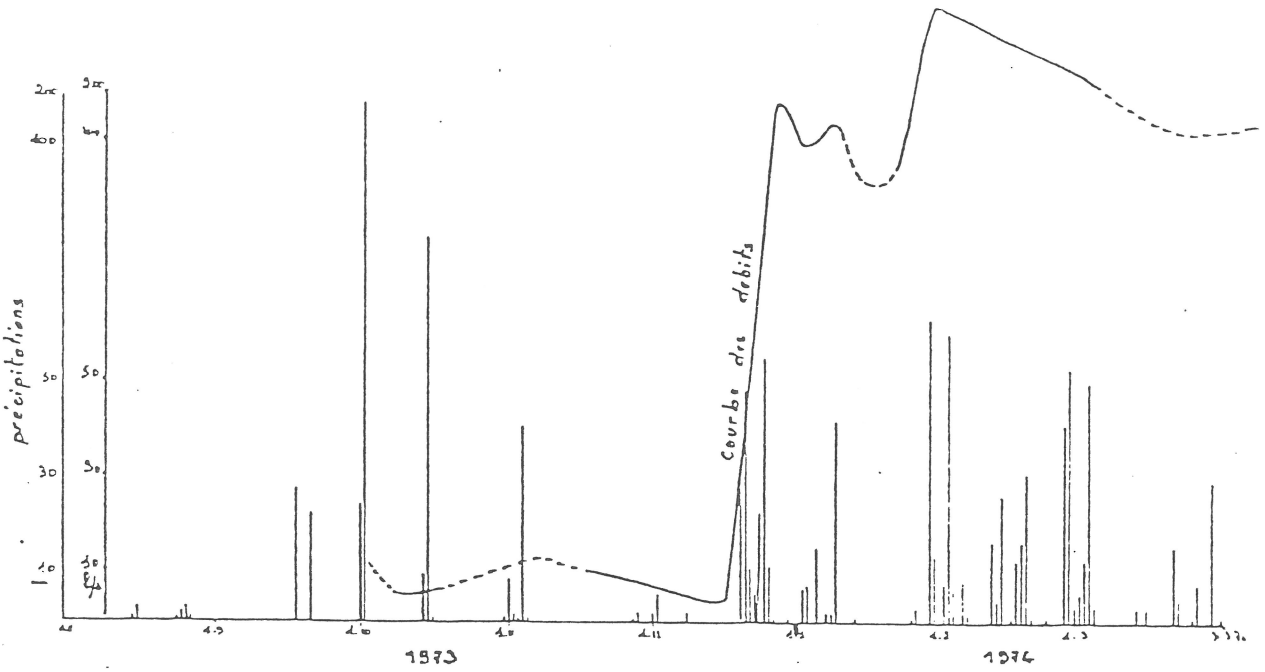
Plus bas, mais plus à l'ouest, s'ouvre à la côte 570 la grotte dite de "Castelette"(I). Cette trés importante cavité exploite au sud, sur plusieurs centaines de mètres, le maillage des fractures. Elle est parcourue en période pluvieuse par une circulation vadose, entrecoupée de siphons.

Enfin tout au bas du vallon, le "Trou des Moulins"(2) permet d'accéder à un karst noyé, drainé par des orifices inférieurs impénétrables.

L'étude hydro-chimique de cette émergence a été réalisée par J.L. GUILLET et R.NAVARRO (I974), fig I7.

(I) Le réseau souterrain de la grotte de Castelette:
Plans pages I04 et I05

(2) Le Trou des Moulins: Plans page I06



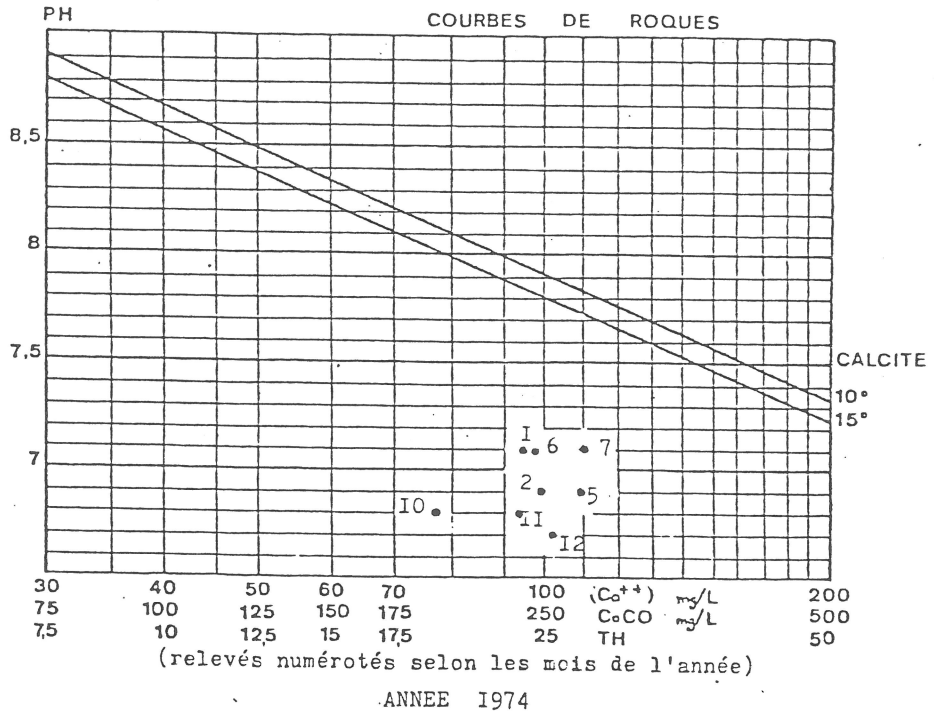


Fig I7 Caractéristiques hydro-chimiques du sous-écoulement du Trou des Moulins. (D'après JL GUILLET et R NAVARRO)

CHAPITRE IV

Le site des Béguines

C'est un plateau qui se situe dans le prolongement oriental du plateau du Plan d'Aups avec lequel il ne connait pas de limite précise. Sa distinction étant surtout toponymique. Par contre à son extrémité opposée, un profond vallon l'isole presque du plateau de St Cassien à peine plus élevé. Dans le sens nord-sud, le plateau des Béguines forme un palier entre le versant raide qui borde la plaine de Nans-les-Pins et l'imposant abrupt sommital de la Ste Baume.

Végétation (fig I9) :

La végétation sur le site des Béguines traduit bien dans son étagement l'influence climatique. Sur le plateau, c'est une futaie de chênes pubescents qui domine une strate herbacée. Au fur et à mesure que l'on gagne des altitudes plus basses sur le versant septentrional, Quercus pubescens cède progressivement la place aux taillis d'Yeuses ponctués par le pin d'Alep de plus en plus fréquent à l'approche de la plaine de Nans-les-Pins.

Structure (fig I8) :

Elle appartient à l'unité du Plan d'Aups que nous avons précédemment décrite. Cependant cette unité est brisée au NE par une faille orientée ESE-WNW à regard NE de faible rejet. De même au nord, le rejet croissant (300m à la plaine de Nans) de la grande faille amorcée depuis le Plan d'Aups, isole de plus en plus cette unité des autres structures septentrionales. Sur le plateau, les calcaires santoniens sont toujours trés fracturés selon le modèle du Plan d'Aups. On observe au nord, un maillage au pas de 2m de diaclases ouvertes, orientées 60ºN et I35ºN.

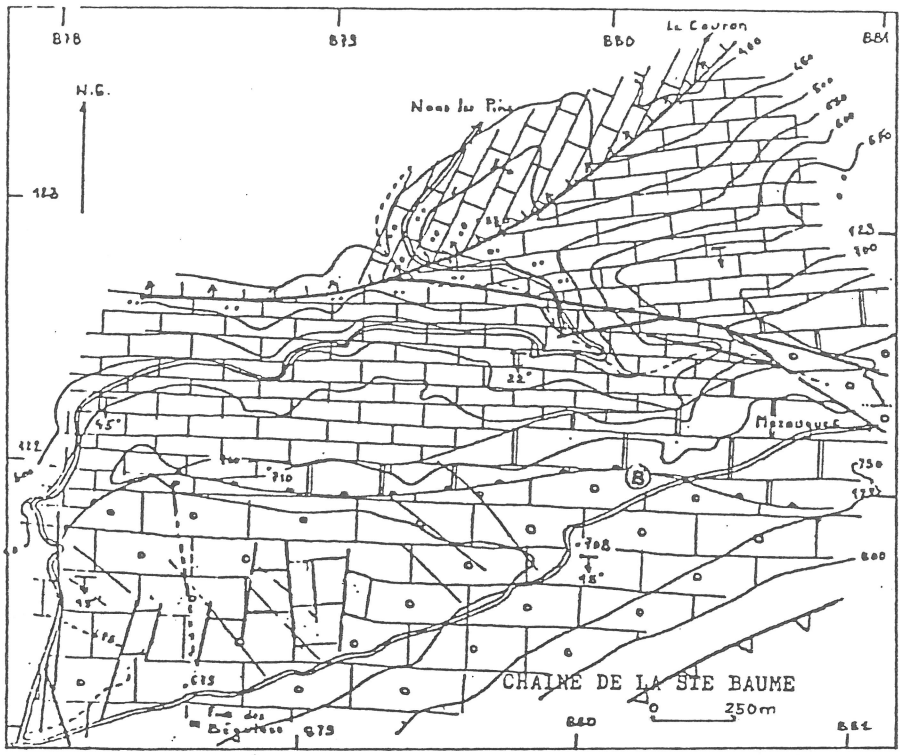


Fig I8 Carte structurale du site des Béguines

calcaire à rudistes alternant avec des lits argilo-gréseux

calcaire massif à pâte très fine, beige ou gris

calcaires et dolomies : des bancs calcaires à pâte fine alternent avec des dolomies en plaquettes

faille importante avec direction du regard B : bauxite

front de chevauchement

discordance médio-crétacé

faille, contact anormal

diaclase ouverte

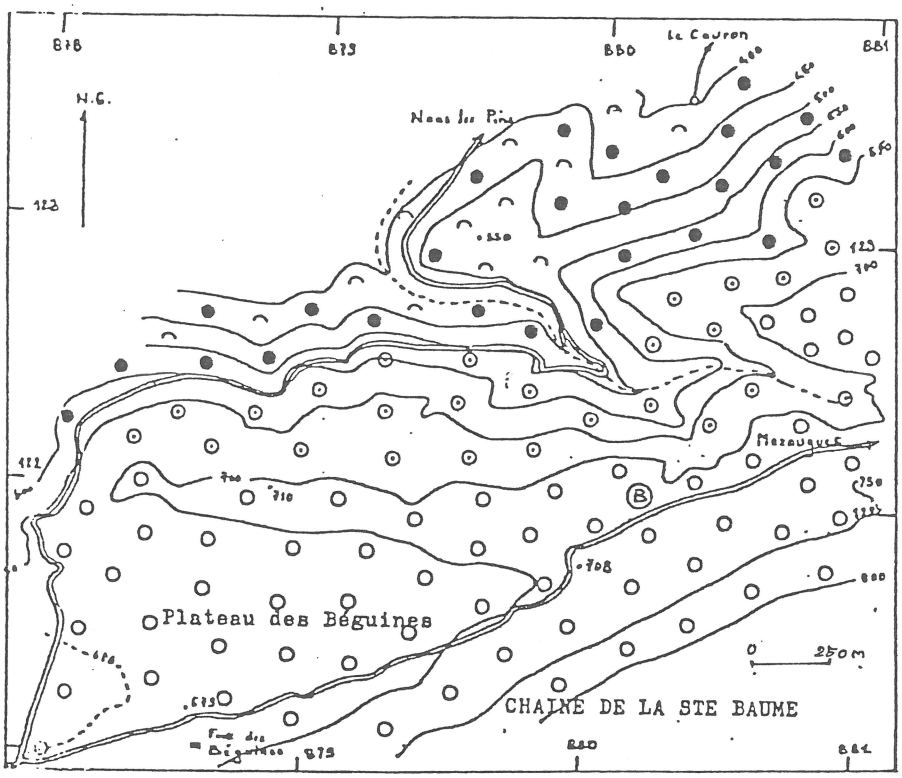


Fig I9 Carte de la végétation du site des Béguines

chenaie pubescente (Quercus pubescens)

taillis de chênes verts (Quercus ilicis)

chenaie mixte (ili. et pub.)

bois de pins d'Alep

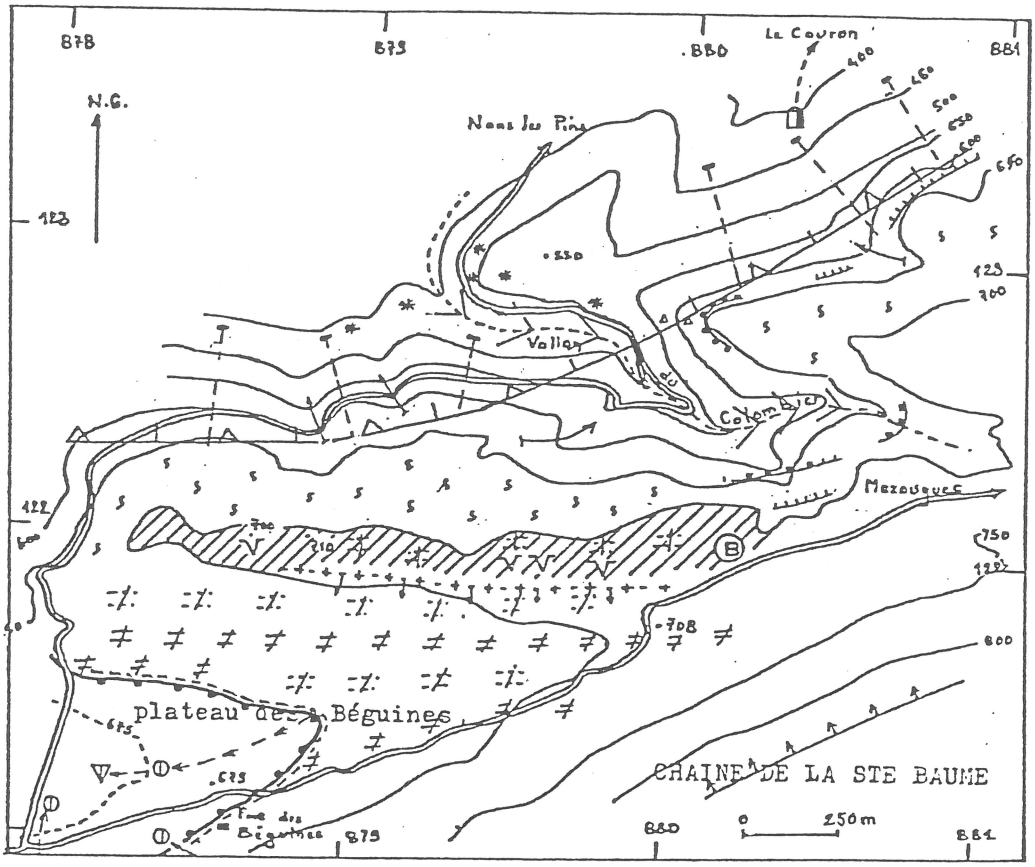


Fig 20 Carte géomorphologique du site des Béguines

banquette de corrosion — versant régularisé

escarpement de faille — front de chevauchement

vallon en V — ravin — corniche importante

gradin — bloc éboulé — relief ruiniforme

crête de micro-cuesta avec direction du revers

aven — grotte avec écoulement temporaire

perte temporaire pénétrable, impénétrable

écoulement pérenne, temporaire

grand lapié totalement exhumé, partiellement exhumé

petit lapié — bord de poljé

emplacement de la station expérimentale

Géomorphologie (fig 20):

Le modelé du plateau est dominé par l'emboitement dans la surface oligocène de la partie orientale du poljé du Plan d'Aups. Cet emboitement forme une large dépression ouverte à l'ouest, dans laquelle on retrouve, affleurants, les bancs de calcaire biodétritiques perforés de lapiés. Ces lapiés ne sont vraiment exhumés que le long de deux axes Est-ouest, de part et d'autre de la dépression.

C'est sur l'axe sud que les lapiés sont les plus ouverts, là où les bancs calcaires bloquent les écoulements hypodermiques du piedmont de la haute chaine. Le soutirage est d'ailleurs trés actif au NW de la ferme des Béguines où l'on observe de trés nombreuses pertes fonctionnelles.

Le plateau des Béguines est relié à la plaine de Nans par l'escarpement hérité de la faille du Plan d'Aups. Le rebord du plateau est nivelé par une étroite bande d'érosion qui pourrait appartenir à la surface oligocène. A l'approche du versant, la dalle calcaire horizontale émerge de la terra-rossa avec son cortège de crypto-lapiés que les phénomènes de détente et de cryoclastie ont tôt fait de transformer en chicôts rocheux et clapiers.

Sur cette surface, 4 avens peu profonds sont alignés dans la direction du Trou des Moulins.

Le karst profond (fig 2I):

Bien que situé sur le plateau voisin de St Cassien, séparé seulement par le vallon sec du Colombier, nous nous devons de parler brièvement du complexe karstique St Cassien-Grande Foux, à cause de ses conséquences sur l'hydrogéologie locale et des implications possibles du site des Béguines.

Sur ce plateau, plusieurs avens sont alignés sur un accident tectonique orienté Est-Ouest. Dans l'un d'eux, le gouffre du "petit St Cassien"(I), les explorateurs ont atteint aprés d'importants travaux d'élargissement, la profondeur de 3I0m. Trés schématiquement, cet aven est formé par une série de puits à fond plat, séparés par des secteurs méandriformes, qui débouchent au niveau des calcaires massifs kimméridgiens, sur un réseau de galeries subhorizontales de plusieurs kilomètres de longueur, parcourues de circulations vadoses et entrecoupées de siphons selon un ittinéraire complexe.

A I,8km à l'WNW du gouffre, s'ouvre au pied de l'escarpement de faille, la grotte de la "grande Foux"(2). Cette grotte est en réalité une émergence temporaire ascendante qui a donné naissance au Cauron. Elle est pénétrable à l'étiage jusqu'à une profondeur de 35m, par l'intermédiaire de puits et de conduits horizontaux étagés.

(I) Le gouffre du petit St Cassien : Plans pages I07 et I08

(2) La grotte de la Foux : Plans page I09

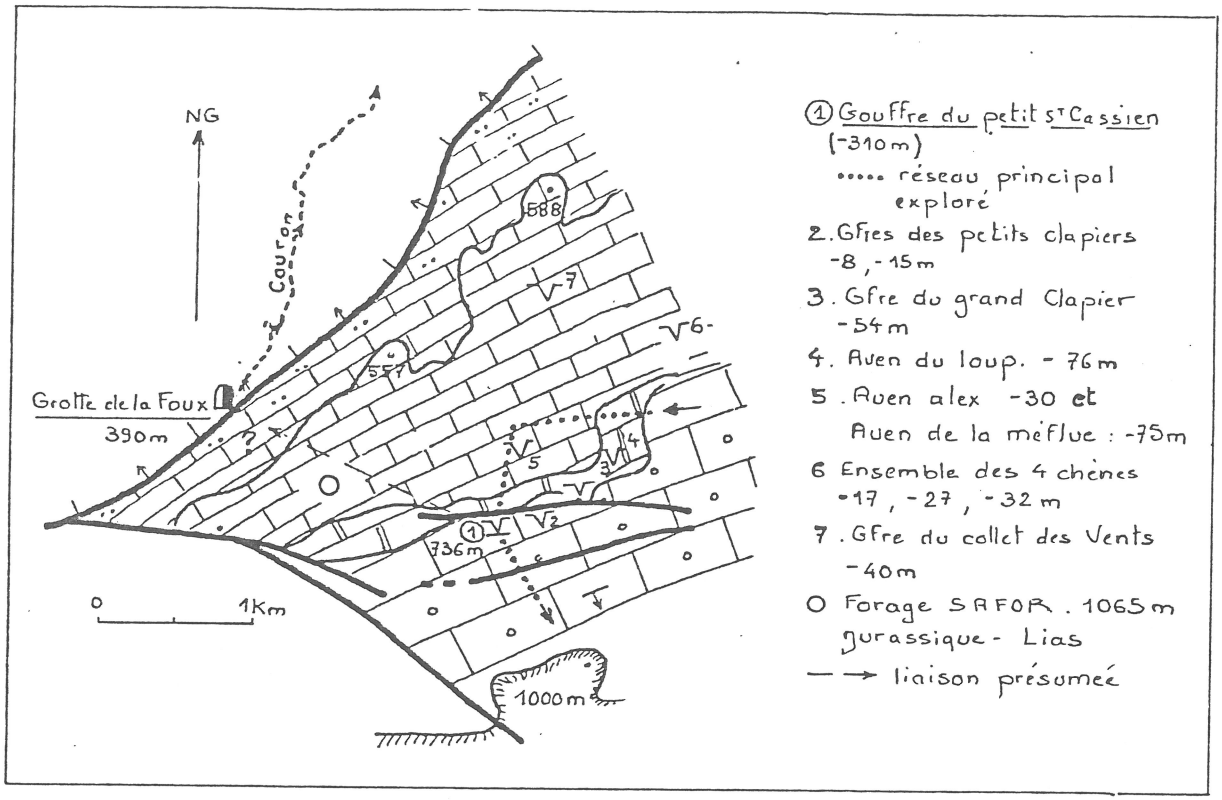


Fig 2I Le karst du plateau de St Cassien

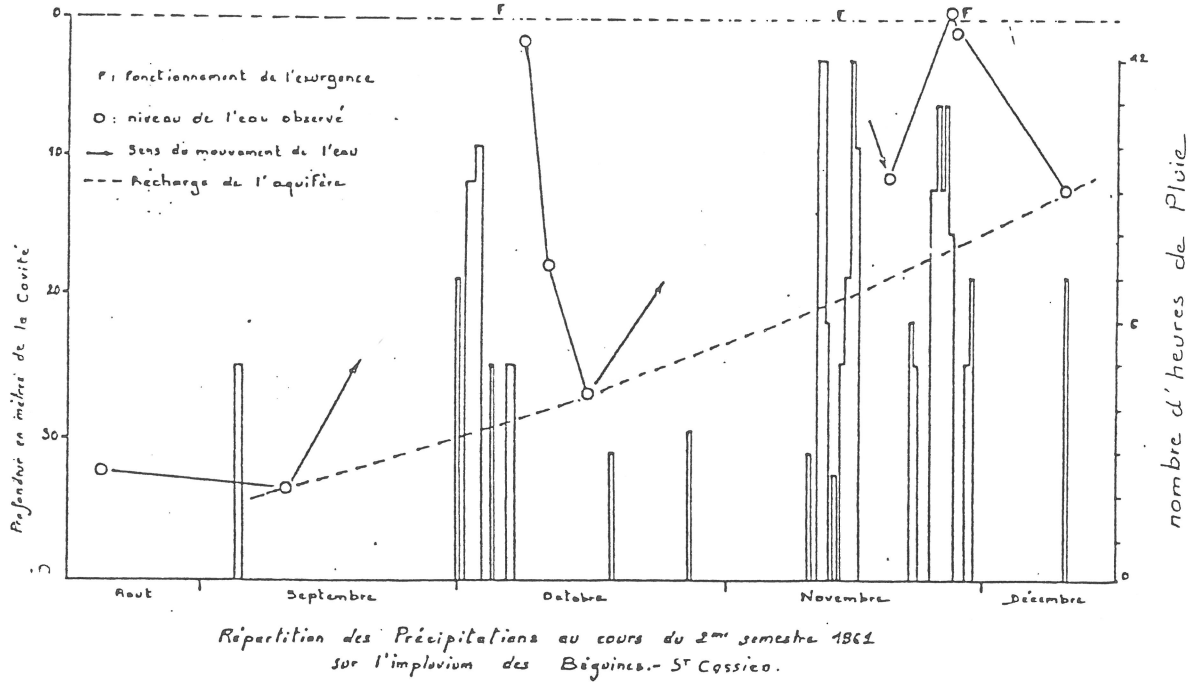


fig 22 Régime hydrologique de la grotte de la Foux à Nans les Pins.

Hydrogéologie :

C'est la grotte de la Foux qui permet le mieux d'étudier l'aquifère karstique de cette région de la Ste Baume.

En période trés pluvieuse, la grotte connait des mises en charge brèves dont le débit peut atteindre 8m^3/sec (P.GALLOCHER 1957). Le fonctionnement se déclenche plus ou moins brutalement au maximun de l'averse et cesse avec celle-ci. Il est alors intéressant d'observer le retrait de l'eau dans la cavité. La courbe représentée en fig.22 traduit bien les recharges successives des interstices de l'aquifère à transmissivité lente, à partir du stockage réalisé dans la zone épinoyée par les circulations vadoses. Des essais de pompage en vue d'un captage, (actuellement réalisé par la commune de Nans-les-Pins) ont été fait par le Spéléo-Club de Marseille et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, dont la publication de la note suivante: "... tout se passe comme si l'aquifère était homogène et isotrope. Le prélèvement à 80m^3/h est réalisé avec un rabattement pseudo-stabilisé inférieur à 2m. L'exhaure de 23.000m^3 en 23j n'a pas provoqué d'effets mesurables. On peut prévoir que le rabattement aprés 100j de pompage à 80m^3/h ne dépasserait pas 5m. (G.DUROZOY et P JONQUET 1968)."

L'aquifère possède des exutoires secondaires à l'aval de la Foux, le long du lit du Cauron. Principalement les sources pérennes de la Liene (376m), de la Blanche (370m) et du moulin de Rougiers (350m).

L'aquifère a été recoupé par le forage pétrolier NANS I, réalisé à mi-chemin entre le gouffre du petit St Cassien et la grotte de la Foux (importantes venues d'eau à la côte 290m).

Il s'agit maintenant d'évaluer l'importance de l'aquifère et d'en situer l'impluvium:

Dans le sens nord-sud, ses limites paraissent nettes. Les dolomies suprajurassiques sont barrées au nord par l'accident du Plan d'Aups, tandis qu'au sud, les plans de cisaillement du chevauchement sont suceptibles de faire obstacle au drainage.

Dans le sens Est-Ouest, la réponse est plus délicate. Les formations jurassiques et crétacées s'étendent loin vers l'Est avec un certain fléchissement et l'on connait un karst fonctionnel recoupé par les gorges du Caramy au nord de Mazaugues. A l'ouest, l'incertitude est plus grande encore avec la présence du réseau suspendu "Tourne-Castelette" qui draine la partie ouest du plateau et du système apparamment autonome du Trou des Moulins.
On suppose alors une trés hypothétique ligne de partage des eaux le long de la faille du vallon du Colombier. Or un forage récent de 150m de profondeur, réalisé dans le vallon par la commune de Nans-les-pins, en vue d'un approvisionnement en eau n'a donné aucun résultat. Il semble donc que la nappe karstique soit localisée autour du complexe "gouffre du St Cassien-grotte de la Foux" avec une extension possible vers l'Est, le long de la flexure structurale. La liaison St Cassien-Gde Foux n'a cependant pas été confirmée, ni par coloration, ni par l'exploration du réseau noyé du gouffre qui s'éloigne au contraire vers le Sud.

Conclusion

Cette présentation montre bien la différence de karstification qui existe entre l'unité centrale du massif de la Ste Baume et ses contreforts septentrionaux.

A la citerne et sur la Lare, les formes superficielles qui émergent des sols sont mineures ou détruires par l'érosion sur les versants. Le karst profond semble réduit à un réseau de fissures d'aprés le régime des sources. Leurs eaux sont cependant chargées en carbonates mais non saturées. Ceux-ci précipitent à l'aval des émergences sous forme de tufs-barrages.

A l'Hôtellerie comme aux Béguines par contre, les manifestations karstiques de grande envergure sont omniprésentes. Aux lapiés géants succède un endokarst évolué qui conditionne l'hydrologie : Le transfert des eaux est rapide dans l'aquifère bien que des réserves importantes aient pu se constituer à la faveur du style tectonique (karst barré). Leur dureté est comparable à celle des eaux des régions précédentes mais on n'observe pas de précipitations à la sortie des émergences.

Par rapport à la géologie, tous les faciès calcaréo-dolomitiques du Jurassique supérieur sont karstifiés, mais ce sont les calcaires biodétritiques du Sénonien qui le sont le plus. Dans tous les cas, les formes les plus développées se situent dans l'unité centrale du massif, où la fracturation est la plus importante.

Les conditions morpho-climatiques sont également plus favorables dans cette région. La surface oligocène forme à 700m d'altitude une étendue subhorizontale où les eaux de pluie, aidées par le pendage des couches, tendent à s'accumuler:
C'est l'origine du paléo-poljé du Plan d'Aups.

La présence d'une forêt dense exceptionnelle dans ce même lieu, a vraisemblablement contribué aussi au développement des grands lapiés par la production de sols humifères abondants.

Aujourd'hui, l'argile de décalcification a pratiquement disparue de la surface des lapiés, absorbée par le soutirage karstique. Mais il subsiste encore des poches ou de faibles étendues qui perpétuent la crypto-corrosion des calcaires. Ce sont ces sols que nous allons étudier dans la seconde partie.

La présence d'une forêt dense exceptionnelle dans ce même lieu, a vraisemblablement contribué aussi au développement des grands lapiés par la production de sols humifères abondants.

Aujourd'hui, l'argile de décalcification a pratiquement disparue de la surface des lapiés, absorbée par le soutirage karstique. Mais il subsiste encore des poches ou de faibles étendues qui perpétuent la crypto-corrosion des calcaires. Ce sont ces sols que nous allons étudier dans la seconde partie.

DEUXIEME PARTIE

Les sols des sites expérimentaux

Répartition générale des sols :

Les sols que l'on rencontre sur les sites expérimentaux se présentent sous deux formes principales :

I) En couverture du substratum, généralement peu étendue : C'est le cas de la Citerne.

2) Beaucoup plus fréquemment en remplissage des fissures du karst, comme sur la Lare et aux Béguines.

Le site de l'Hôtellerie représente un cas intermédiaire où les sols décrivent des bandes organisées par l'affleurement des couches calcaires.

Analyse des sols :

Les sols ont été analysés au laboratoire de géographie physique de l'Institut de Géographie d'Aix-en-Provence par les méthodes suivantes :

- Granulométrie : prise de 30g sur tamis AFNOR
- Densimétrie : méthode MERIAUX
- Dosage du CaCO3 total : méthode BERNARD
- Dosage de la matière organique : méthode WALKLEY
- Dosage du fer libre : méthode DEB
- Dosage du fer total : attaque par l'Eau-régale, puis dosage par la méthode DEB.
- Humidité : par différence de poids avec l'échantillon séché I2h à I05ºC
- pH : mesures avec l'appareil Métrhom, sur échantillon immergé pendant 72h.
- Détermination des argiles par diffraction aux rayons X.

Les résultats d'analyse figurent pages 63, 64, II0, III, II2, II3, II4.

CHAPITRE I

Les sols du site de la Citerne

A) Généralités:

Absents du haut des versants, au nord, les sols rouges font leur apparition au fur et à mesure que l'on gagne le fond de la vallée, d'abord en poches dans les fissures des lapiés, puis en couverture de plus en plus épaisse à l'approche du talweg.

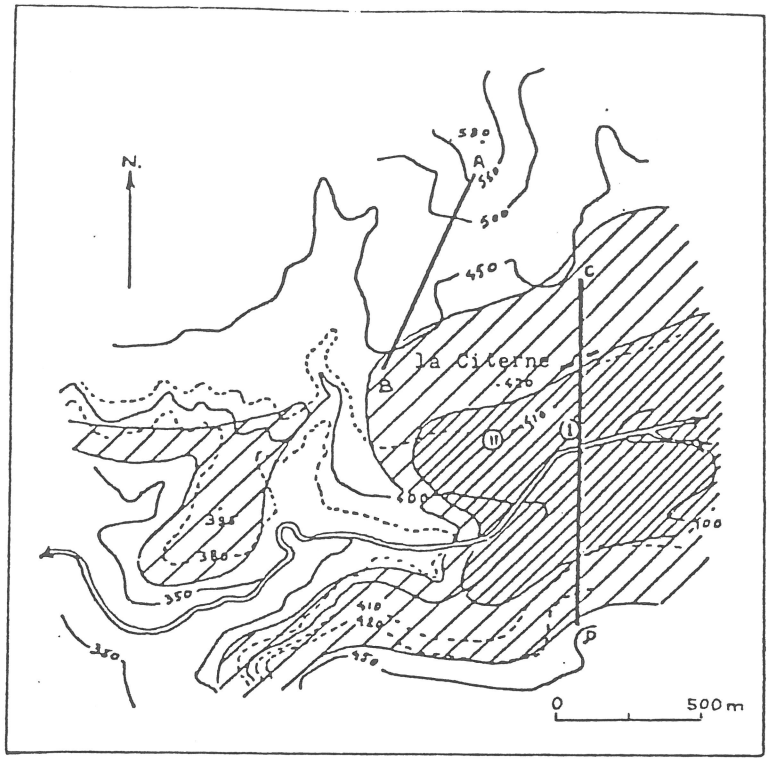
Les coupes (fig 23) montrent des profils de plus en plus différenciés vers l'aval, mais qui conservent des caractères morphologiques communs qui sont:

I) Une couleur rouge plus accentuée en profondeur.

2) Un horizon de surface limoneux et souple.

3) Un horizon profond, argileux et compact.

Sur la surface horizontale, proche de la base du versant, nous avons choisi deux emplacements différents, dominés par une végétation mixte de feuillus et de résineux pour installer les stations expérimentales. La station CI repose sur un substrat calcaire, dans un site ombragé, tandis que la station CII est située sur des dolomies avec un couvert végétal moins dense.



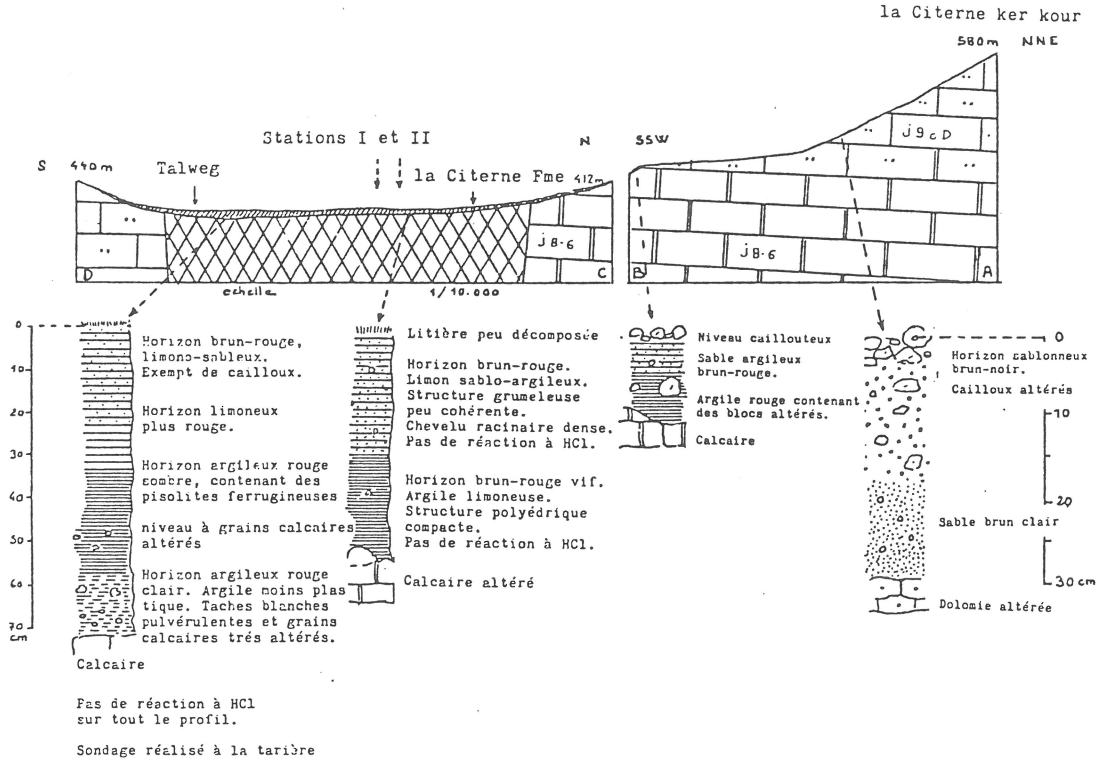


Fig 23 Le site de la Citerne: Répartition spatiale des sols rouges (en poches ///// , en couverture ////////) et profils caractéristiques le long des coupes AB, CD

B) Description du profil des stations expérimentales

Profil CI

Horizon	Profondeur (cm)	
		Litière de pins et de feuillus, peu décomposée, de 4 à 5cm d'épaisseur.
AII	0 - 4	Limon sablo-argileux, brun-noir. structure grumeleuse peu cohérente. Cailloux fréquents. La pénétration racinaire est trés bonne. Nombreux lombricidés. Il n'y a pas de réaction de la terre fine à HCl dilué. Le passage à l'horizon inférieur est diffus.
AI2	4 - 9	Cet horizon a les mêmes caractères morphologiques que l'horizon supérieur, mais il parait plus clair.
AI3	9 - I4	Cet horizon se distingue seulement par sa couleur brun-jaune. La transition avec l' horizon sous-jacent reste diffus.
Bt	I4 - 26	Limon argilo-sableux de couleur brun-rouge. La structure est polyèdrique avec des faces mates. Il y a trés peu de cailloux. La terre fine ne réagit pas à HCl dilué. Seules, les racines moyennes pénètrent cet horizon et on y trouve encore des lombricidés. L'été, cet horizon est trés compact. Le contact avec le substratum est brutal, mais celui-ci est altéré sur plusieurs centimètres.

Substratum:

Calcaire cristallin à pâte fine.

Densité: 2,6 Porosité: I,2%

Ca CO3: 878,6mg pour Ig de roche, Mg CO3: 0g

Résidu sec: 0,5mg pour Ig de roche

Profil C II

Horizon	Profondeur (cm)	
		Litière discontinue de pins et de feuillus peu décomposée. Epaisseur: 0 à 2cm.
A I	0 - IO	Limon argilo-sableux, brun-rouge. La structure est grumeleuse et peu cohérente. Il y a peu de cailloux. La pénétration racinaire est trés bonne, ainsi que l'activité biologique (lombricidés surtout). Il n'y a pas de réaction à HCl dilué sur la terre fine. Le passage à l'horizon inférieur est trés diffus.
Bt	IO - 2I	Horizon rouge-jaunâtre à texture argilo-limoneuse. La structure est nettement polyèdrique à facettes mates. La pénétration racinaire et l'activité biologique sont toujours bonnes. Cet horizon renferme quelques grains calcaires altérés à la périphérie. Il est également trés compact à la saison estivale. Il n'y a pas de réaction à HCl dilué sur la terre fine. Le contact avec le substratum est brutal. Celui-ci est trés légèrement altéré.

Substratum:

Dolomie cristalline.
Densité: 2,4 Porosité: 8,7%
Ca CO3: 7II,6 mg pour Ig de roche
Mg CO3: I80,6 mg pour Ig de roche
Résidu sec: 2,3mg pour Ig de roche

C) Commentaire :

Les deux profils ont une profondeur du même ordre de grandeur avec deux horizons principaux qui se différencient morphologiquement par les caractères que nous avons précédemment évoqués.

La faible cohésion de l'horizon de surface semble dû à sa micro-division par un système racinaire dense, mais vraisemblablement aussi par d'autres causes telles que : Animaux fouisseurs, pipkrakes (gel en hiver), actions humaines (épiérrage visible des surfaces horizontales).

Le profil C2 est deux fois plus argileux que le profil CI mais dans les deux cas, les taux d'argile augmentent dans un rapport sensiblement égal à deux avec la profondeur. Cette augmentation du matériel fin en profondeur, s'explique au moins en partie par un lessivage provoqué par les phases successives d'humectation et de dessication propres au climat méditerranéen (FEDOROFF I969, BOTTNER I972, VAUDOUR I977).

Dans le profil CI, la moyenne des pH mesurés est neutre (pH=7). Dans le profil C2, elle est un peu plus acide, notamment en surface (pH=6,4), avec des valeurs minimales de 5,8. Il est à noter également que la litière de ce dernier profil est aussi la plus acide (4,55 contre 5,25 en CI).

La décarbonatation s'observe à tous les niveaux. Aussi bien à l'encontre du caillouti de surface que du substratum. A ce point de vue, il n'y a pas de différence macromorphologique nette dans l'attaque des deux types de substrat, qu'il soit calcaire ou dolomitique.

C'est surtout à proximité du talweg, dans un sol plus profond (50cm), que les figures de corrosion sont les plus nettes :

Les grains de quelques mm3 ont leur périphérie réduite en une pâte blanche, onctueuse, alors que le noyau central se brise facilement entre les doigts. Au contact du sol, le substrat se débite en s'émiettant aisément au marteau.

La terre fine est trés légèrement carbonatée (0,6 à 3%). Ce léger taux est généralement attribué à des remaniements ou à des remontées biologiques (BOULAINE I957, VAUDOUR I977).

D) Pédogénèse et évolution:

Deux éléments vont dans le sens d'une pédogénèse fersiallitique:

I) Le fer libéré dans les deux profils (sauf dans l'horizon de surface de CI), se trouve par rapport au fer total, dans une proportion (60 à 68%) comparable aux valeurs qui caractérisent les sols fersiallitiques à réserve calcique du midi méditerranéen (65 à 70% selon BOTTNER I972).

2) La teneur en fer total à travers les profils, évolue parallèlement à l'argile. Ce qui est une constante des sols fersiallitiques (VAUDOUR I977).

La composition des argiles montre un mélange d'illite, de chlorite et de kaolinite. On remarquera dans ces deux profils l'absence de smectite. La kaolinite semble plus abondante à la base des profils, bien que en CI sa répartition soit plus irrégulière. Comme l'ont montré de nombreux auteurs, ces minéraux sont le plus souvent hérités: " Les sols fersiallitiques à réserve calcique du midi de la France, constituent un milieu peu lessivant et peu hydrolysant vis à vis des argiles"(BOTTNER I972).

Les deux profils contiennent un peu de matière organique qui augmente vers la surface (4%), corrélativement avec la teinte des profils qui devient plus brune (brun-noir pour l'horizon de surface de CI). Selon BOTTNER (I972), le développement d'un horizon organique, protégé par la réserve calcique,correspondrait à la tendance actuelle de la pédogénèse.

Le décapage du haut des versants et l'épaississement régulier des sols en direction du talweg font à priori penser à un entrainement de ceux-ci sur la pente par des mouvements lents du type creeping ou par des ruissellements diffus car on n'observe pas de ravines ni de formes solifluées. En fait, les paramètres de la phase sableuse apportent une infirmation à cette hypothèse, en montrant un sédiment parfaitement trié et non remanié.

Les sols rouges de la Citerne apparaissent ainsi comme des sols autochtones de la surface oligocène.

CHAPITRE II

Les sols du site de la Lare

A) Généralités:

Sur le site, les sols rouges occupent les fissures du karst ou sont mêlés à des nappes d'éboulis.(fig. 24)

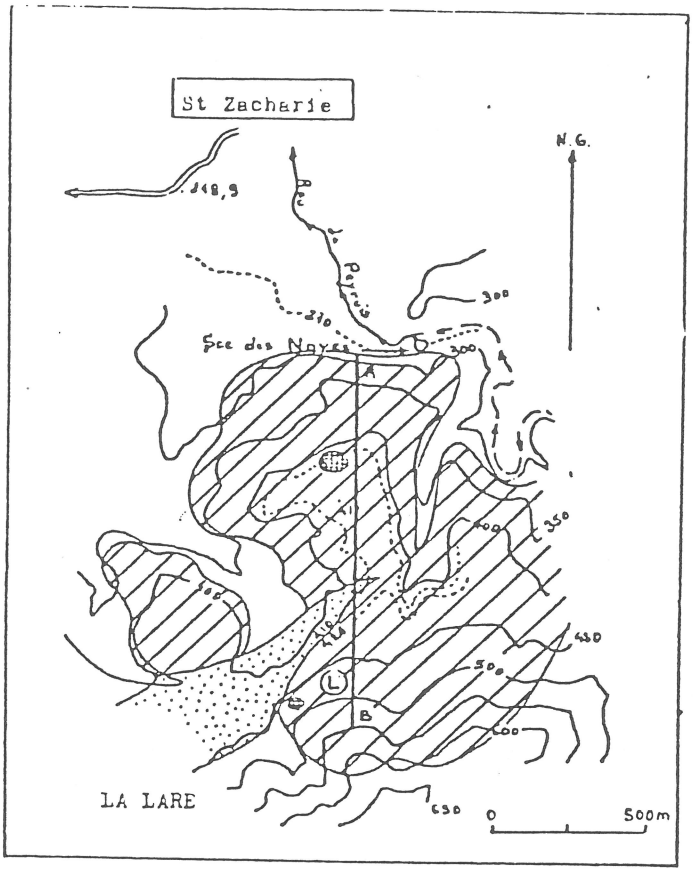
L'emplacement retenu pour effectuer les mesures de dissolution est situé sur le versant en forte pente, dans une zone de lapiés. Le profil étudié, est caractéristique des poches de sol, qui sont de dimension modeste et trés caillouteuses.

B) Description du profil de la station expérimentale (L)

Horizon	Profondeur (cm)	
		Litière de chênes et d'arbousiers, peu décomposée et trés peu épaisse (2 à 3cms)
AI	0 - II	Limon argilo-sableux, brun-rouge, contenant des blocs calcaires de grande taille. La terre fine a une structure grumeleuse peu cohérente. Bonne pénétration racinaire. Il n'y a pas de réaction de la terre fine à HCl dilué. Cet horizon passe insensiblement à l'horizon inférieur.
Bt	II - 25	Limon argileux rouge à structure subanguleaire, contenant également des blocs de grande taille, trés légèrement altérés en surface. La terre fine ne fait pas réaction à HCl dilué. Cet horizon est également pénétré par les racines. La base de l'horizon se perd dans la fissure.

Roche encaissante:

Calcaire cristallin à pâte fine.
Densité: 2,7 Porosité: 0,6%
Ca CO3: 878,2mg pour Ig de roche. Mg CO3: 0g
Résidu insoluble sec: 4,2mg pour Ig de roche.



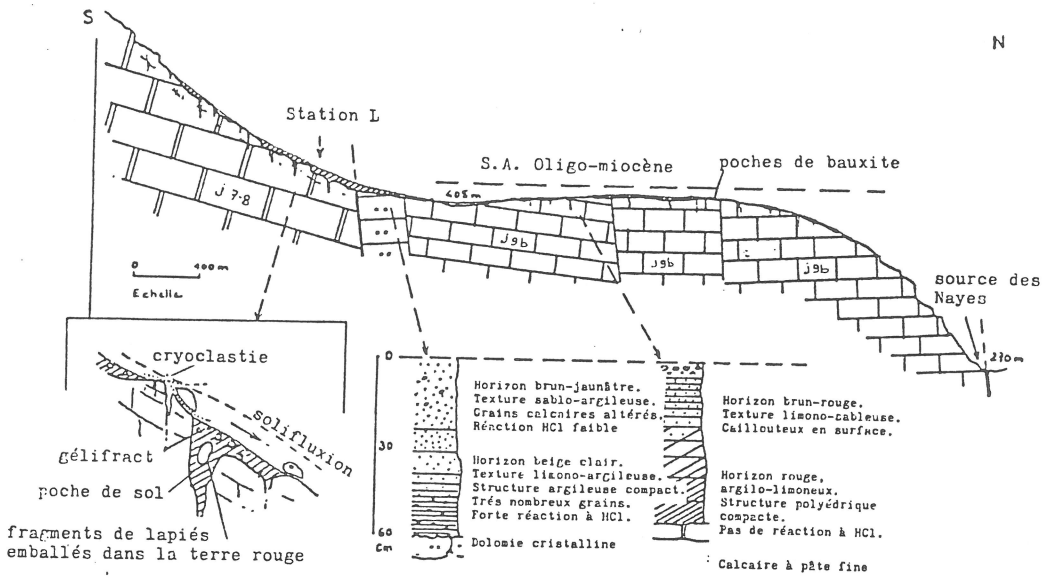


Fig 24 Le site de la Lare: Répartition spatiale des sols rouges ///, arène dolomitique ⁘ et bauxite ▦. Profils caractéristiques le long de la coupe AB.

C)Commentaire :
==========

Dans cette épaisseur réduite de sol, les caractères texturaux et géochimiques sont peu modifiés. C'est un limon argileux dont la structure montre la même évolution que sur le site de la Citerne (fig.27). A un horizon de surface meuble, succède rapidemen t en profondeur, un horizon compact. L'augmentation légère des éléments fins en profondeur suggère ici encore un léssivage d'origine climatique.

La poche est bien drainée comme l'indique la couleur rouge du profil mais il faut noter que le drainage n'est assuré que par la pluie qui tombe directement sur la poche.

La décarbonatation parait faible d'aprés l'état des blocs contenus dans le sol et de la roche encaissante, qui montrent à leur périphérie une simple et fine péllicule d'altération.

Un certain équilibre est maintenu entre la décarbonatation qui entretient un milieu légèrement basique (pH=7,5) au fond de la poche et un drainage suffisant pour éviter le confinement.

D) Pédogenèse et évolution :
==========

Comme à la Citerne, nous retrouvons dans l'horizon profond les caractères d'un sol fersiallitique et dans l'horizon de surface (horizon brun-rouge -7,5YR 5/4- contenant 3,8% de matière organique), ceux qui vont dans le sens d'une brunification telle que la conçoit BOTTNER (I972).

Une autre particularité caractérise cet horizon de surface : C'est un enrichissement en silice par rapport à l'horizon profond en la présence d'argile de type smectite et de concrétions siliceuses (tableaux 2 et 3 p.63, 64). L'héritage ou la formation in-situ de ces sables et argiles est à ce niveau difficile à expliquer. Nous imaginons plus aisément une contamination du profil par des apports extérieurs. L'hypothèse d'une solifluxion ancienne expliquerait également les positions de certains blocs jonchant la pente.

Ainsi, à une époque donnée, des sols venus de l'amont ont pu transiter sur le versant et recouvrir des racines de sol fersiallitique piégées dans les profondes fissures des lapiés.

CHAPITRE III

Les sols du site de l'Hôtellerie

A) Généralités:

Deux types de sols occupent le site. Au sud, ce sont des alluvions épandus par les ruisseaux du poljé, sur une argile de décalcification et remaniés par les cultures. Ces sols peuvent dépasser Im d'épaisseur (fig.25).

Au nord, en bordure de la dépréssion, des sols brun-rouges à brun-jaunes, trés caillouteux, s'étirent avec un profil en coin entre les affleurements des couches calcaires.

La station expérimentale, est placée sur ces sols rouges dont le profil est examiné ci-dessous.

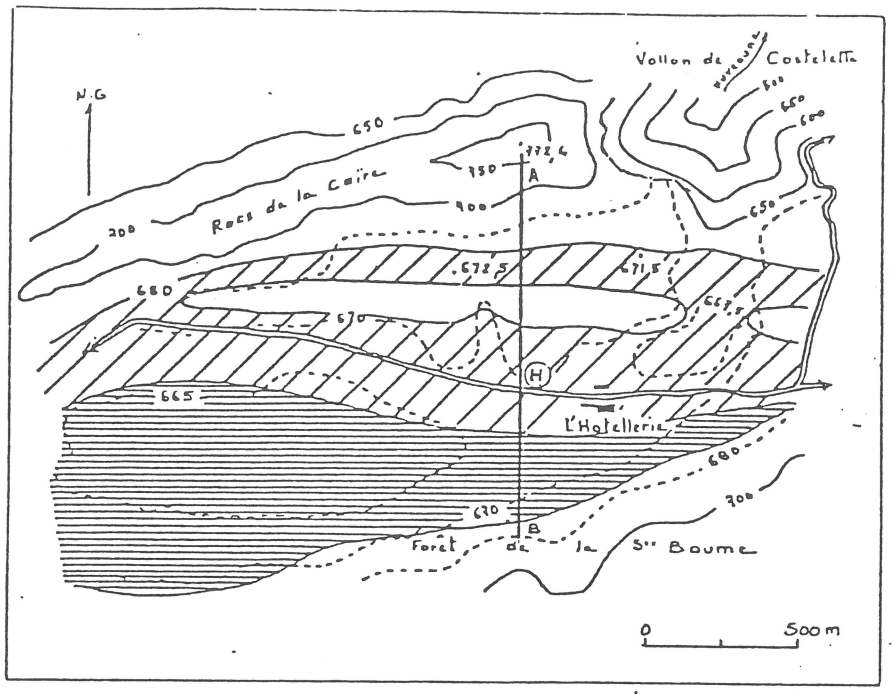
B) Description du profil de la station expérimentale (H)

Horizon	Profondeur (cm)	
		Pelouse à Brachypodium, discontinue.
AI	0 - IO	Limon argilo-sableux, brun-rouge. La structure est grumeleuse et peu cohérente. La charge calcaire, caillouteuse, est trés importante, ainsi que le chevelu racinaire. Il n'y a pas de réaction à HCL dilué de la terre fine. Cet horizon passe insensiblement à l'horizon inférieur.
Bt	IO - 23	Horizon argilo-limoneux de couleur rouge. La structure est polyèdrique à facettes grenues et mates. La charge calcaire à nettement diminuée ainsi que le nombre de racines. Cet horizon est trés compact l'été.

Il ne fait pas réaction à HCl dilué.
Le contact avec le substratum est net, mais celui-ci est altéré sur plusieurs centimètres.

Substratum:

Calcaire biodétritique.
Densité: 2,7 Porosité: I,2%
Ca CO3: 8I5,7mg pour Ig de roche.
Mg CO3: 8,9mg pour Ig de roche.
Résidu insoluble sec: 28,9mg pour Ig de roche.



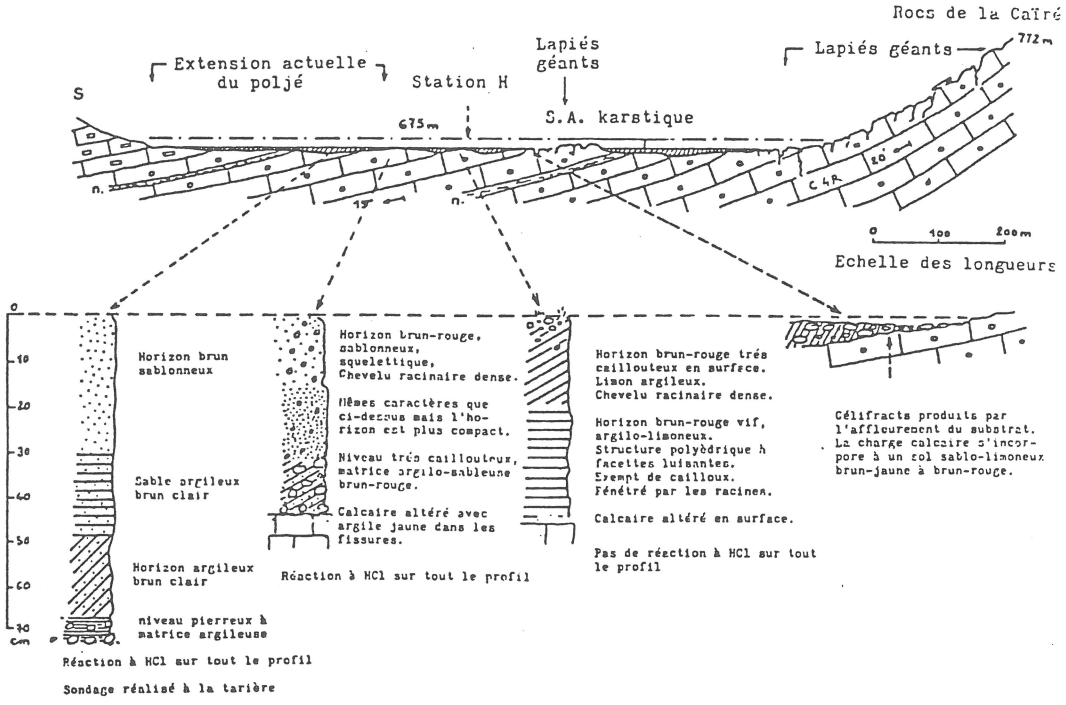


Fig 25 Le site de l'Hotellerie: Répartition spatiale des sols rouges //// et des alluvions du poljé ≡≡≡
Profils caractéristiques le long de la coupe AB

C) Commentaire:
==========

La morphologie du profil ne se distingue guère des sols examinés jusqu'ici, si ce n'est une différenciation plus nette entre l'horizon de surface et l'horizon profond, dans la couleur qui passe de 7,5YR 5/4 à 5YR 4/4 et par une diminution importante en profondeur de la charge calcaire et de la densité racinaire.

La charge calcaire est fournie par les affleurements des calcaires sénoniens qui produisent un gélifract abondant.

Le chevelu racinaire appartient à la pelouse à brachypodium et thym qui constitue l'essentiel de la couverture végétale.

La texture reste dans la classe des limons-argileux avec toutefois une augmentation du matériel fin en profondeur dans un rapport de I,77. L'important taux d'argile et la rareté d'éléments hétérogènes favorisent la compacité de l'horizon profond.

Le drainage du profil ne reflète pas les conditions générales. Il faut en effet distinguer deux secteurs séparés par un relief de micro-cuesta. Au nord, dans la légère dépression orthoclinale, le drainage est ralenti. Il confère aux sols une couleur brun-jaune fréquente. Dans la partie qui s'effile sur le revers, il est oblique, concentré à la surface du banc calcaire faiblement incliné. Au sud, dans la zone où se trouve le profil, le drainage n'est pas freiné par les conditions structurales. Il garde une composante oblique vers les pertes karstiques.

La terre fine est trés peu carbonatée (0,4 à 2,5%) malgré une charge calcaire caillouteuse importante.

La décarbonatation est difficile à observer sur ces cailloux qui ont un état de surface naturellement grenu. Par contre, l'altération du substratum est beaucoup plus nette: La roche se brise trés facilement au marteau, les fissures sont pénétrées d'argile parfois jaune.

Les pluies élèvent le pH dans tout le profil vers une valeur moyenne de 7,5, mais dès leur interruption, le pH dans l'horizon profond tend à redescendre rapidement à des valeurs inférieures à la neutralité. A ce niveau, les conditions d'agressivité semblent donc supérieures.

D) Pédogénèse et évolution:

Les sols recouvrant le plancher primitif ont disparu avec celui-ci. Les sols actuels sont donc relativement jeunes et vraissemblablement remaniés par le fonctionnement du poljé.

Ces sols rouges n'ont pas un indice d'altération (fer libre/fer total) aussi élevé (22 à 37%) que les sols fersiallitiques à réserve calcique auquels nous nous sommes référés (POTTNER 1972). Ils renferment cependant, comme les profils précédemment étudiés, de la matière organique dans des proportions comparables. La composition minéralogique des argiles est l'habituel mélange illite-chlorite-kaolinite, auquel s'ajoute un peu de smectite dans l'horizon profond.

La présence de cette argile gonflante à la base du profil et surtout le faible taux de fer libéré dans ce même horizon, sont des caractères nouveaux qui, s'ils se confirmaient dans d'autres profils, pourraient être des indices d'une argilification actuelle.

CHAPITRE IV

Les sols du site des Béguines

A) Généralités:

Sur ce site de grands lapiés, les sols sont trés irrégulièrement répartis. Totalement absorbés par soutirage karstique sur la périphérie du poljé, ils sont au centre de la dépression caillouteux et jaunes par l'hydratation excessive des eaux de drainage. Le caillouti issu de la gélifration des calcaires sénoniens, obstrue par ailleurs de nombreuses fissures de lapiés, masquant ainsi d'éventuels sols sous-jacents.

Ce n'est que tout à fait au nord, sur la banquette d'érosion qui limite le plateau, que les poches de sol rouge sont les plus importantes sous un couvert végétal dense.

C'est en raison de son accessibilité que nous avons choisi d'implanter la station expérimentale dans une légère dépression dominée par le piesmont de la haute chaine.

Les sols rouges reposent ici sur les calcaires biodétritiques sénoniens qui représentent le toit de la bauxite affleurant principalement au NW du plateau où d'anciennes exploitations sont encore visibles.

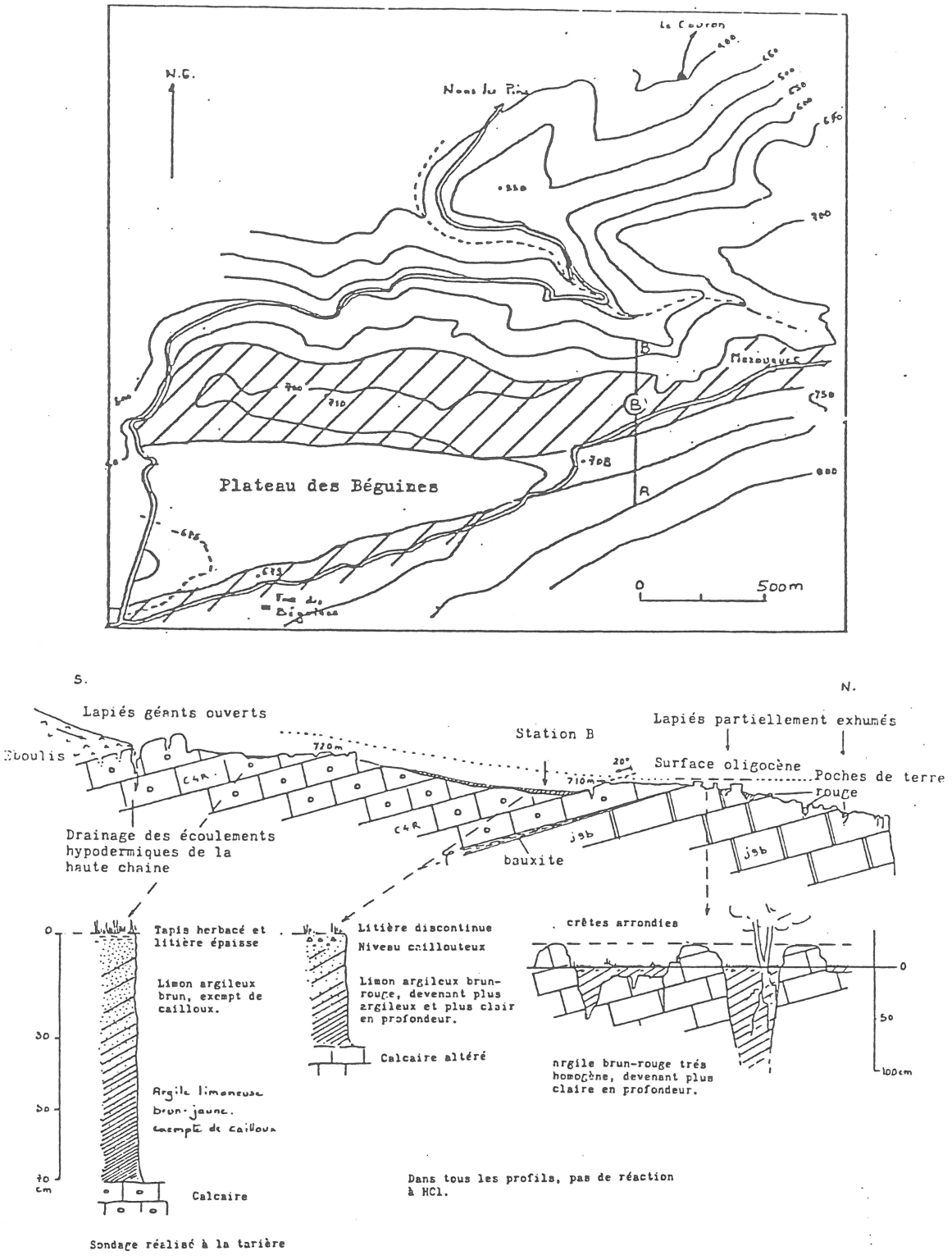


Fig 26 Le site des Béguines: Répartition spatiale des sols rouges et profils caractéristiques le long de la coupe AB.

B) Description du profil de la station expérimentale (B)

Horizon	Profondeur (cm)	
		La litière est surtout composée de feuilles de chênes. Elle est trés peu épaisse (I à 2cm) et discontinue.
AI	0 - I0	Limon argilo-sableux brun-rouge à structure grumeleuse peu cohérente. Cet horizon est caillouteux. La terre fine ne fait pas réaction à HCl dilué. Bonne pénétration racinaire Il y a passage progressif aux caractères de l'horizon inférieur.
Bt	I0 - I8	Cet horizon est rouge, argilo-limoneux. La structure est subangulaire. Il contient de gros blocs calcaires dont on peut rayer facilement la surface avec l'ongle. Il n'y a pas de réaction de la terre fine à HCl dilué. La base de l'horizon adhère directement au substratum qui est également légèrement altéré.

Substratum:

Calcaire biodétritique
Densité: 2,6 Porosité: I,9%
Ca CO3: 878,6mg pour Ig de roche
Mg CO3: 0g
Résidu insoluble sec: 4,3mg pour Ig de roche

C) Commentaire:

Ce profil a la même couleur que celui de l'Hôtellerie: 7,5YR 5/4 en surface, 5YR 4/4 en profondeur.

L'augmentation du matériel fin avec la profondeur est également comparable (dans un rapport de I,65), mais le taux d'argile est ici le plus élevé de tous les profils (58%) (fig.27).

La structure évolue toujours de la même façon avec la profondeur. Le climat étant plus froid, il faut donner plus d'importance à l'action du gel dans l'ameublissement du sol prés de la surface. D'autre part, les nombreux blocs calcaires emballés dans la terre fine constituent autant d'éléments hétérogènes qui atténuent la compacité de l'horizon profond.

Le fond argileux adhère directement au substratum qui n'est altéré que sur quelques millimètres. On observe la même chose sur les blocs.

Le drainage du profil semble assuré malgré le taux important d'argile, mais l'humidité reste relativement élevée (30% environ).

Le pH dans tout le profil parait se maintenir en permanence un peu au dessus de la neutralité (pH=7,5 en moyenne)

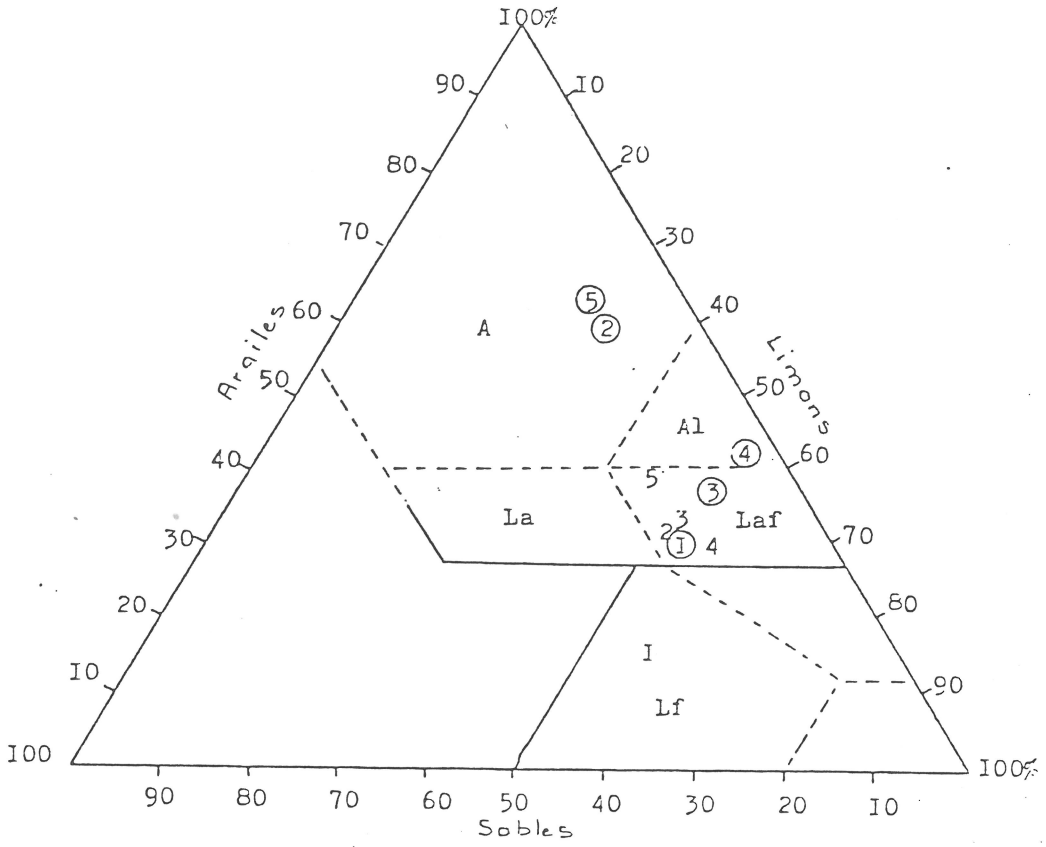
D) Pédogénèse et évolution:

La caractéristique principale du profil réside dans la présence d'une argile gonflante de type smectite, qui domine quantitativement tous les autres minéraux argileux (tableau 2).

On notera ensuite dans l'horizon profond, une baisse du taux de fer libre encore plus forte que dans le profil de l'Hôtellerie (I8%). Ces caractères qui nous avaient déjà permis d'envisager sur le site de l'Hôtellerie une éventuelle argilification, renforcent donc ici cette hypothèse.

Il faut enfin remarquer que, dans l'horizon profond, les smectites sont associées à des concrétions siliceuses comme dans les sols superficiels de la Lare. Cette similitude pose le problème d'une origine commune.

Etant donné la grande variété de sols sur le site des Béguines, nous n'étendrons pas ces considérations à tout le plateau.



A: Argile Al: Argile limoneuse La: Limon argileux
Laf: Limon argileux fin Lf: Limon fin

	Horizon A	Horizon B
Citerne I	I	①
Citerne II	2	②
Lare	3	③
Hotellerie	4	④
Béguines	5	⑤

Fig 27 Texture des sols des stations expérimentales

Profils	Horizon	Kaolinite	Illite	Chlorite	Smectite
CI	AII	X	XX	XX	-
	AI2	XX	X	X	-
	AI3	X	XX	XX	-
	Bt	XXX	XX	X	-
CII	AI	T	XX	XXX	-
	Bt	XX	XX	XX	-
LI	AI	XX	XX	XX	XX
	Bt	XX	XX	XX	-
HI	AI	X	X	XXX	-
	Bt	X	X	X	X
BI	AI	X	X	-	XXX
	Bt	X	X	-	XXX

Tableau 2 Composition minéralogique des argiles dans les sols des stations expérimentales

Légende: CI: station de la Citerne I; CII: station de la Citerne II; LI: station de la Lare; HI: station de l'Hotellerie; BI: station des Béguines

XXX: trés abondant; XX: abondant; X: peu abondant

T: traces

Profils		Constituants principaux			
		Quartz non-usés	Agrégats (Qz+argile)	Fer (pyrite)	Concrétions siliceuses
CI	AI2	XX (250-500)	X	XX	-
	Bt	XX (250-500)	X	XX	-
CII	AI	XX (250-500)	-	X	-
	Bt	XX (250-500)	X	X	-
LI	AI	X (250-500)	-	X	XX (800-I250)
	Bt	XX (250-500)	-	-	-
HI	AI	XX (250-I250)	X	X	-
	Bt	XX (250-I250)	X	X	-
BI	AI	XX (250-800)	X	X	-
	Bt	XX (C) (250-800)	X	X	XX (800-I250)

Tableau 3 Composition des sables des sols des stations expérimentales.

Légende: CI: station de la Citerne I; CII: station de la Citerne II; LI: station de la Lare; HI: station de l'Hôtellerie; BI: station des Béguines.

XX: abondant, X: peu abondant, (C): quartz carrié.

( ): fraction granulométrique, en microns, des éléments considérés

Conclusion

Les cinq profils étudiés présentent une grande identité de caractères morphologiques. Ce sont des sols rubéfiés, argilo-limoneux, granoclassés verticalement et de faible épaisseur. Ils reposent directement sur des substratums variés.

Les caractères chimiques sont plus nuancés. Le milieu est généralement un peu au dessus de la neutralité, mais certains profils peuvent devenir momentanément acides (la Citerne).

Malgré une teneur en argile parfois assez élevée, ces sols sont bien drainés. Il n'est apparu nulle part de traces d'hydromorphie.

La décarbonatation est active aussi bien prés de la surface à l'encontre des cailloux contenus dans la terre fine, qu'envers le substratum, quel que soit son faciès. Elle se présente sous la forme d'une frange plus ou moins friable de la roche et son intensité, déduite de l'épaisseur de cette frange, est variable d'un profil à l'autre mais parait plus grande sur le site de la Citerne.

Le transfert des bases à travers les profils est en général complet. Il est rare d'observer à leur base une accumulation carbonatée.

Les sols de la Citerne et de la Lare présentent les caractères d'une pédogenèse fersiallitique ancienne.

Sur le plateau des Béguines par contre, on constate des modifications qui s'éloignent un peu des caractères des sols précédents. Certaines particularités nous permettraient même, sous réserve d'une étude plus approfondie, d'envisager une argilification actuelle.

TROISIEME PARTIE

Mesures physico-chimiques et mesure de la vitesse de dissolution des calcaires, dans les sols des stations expérimentales

---

Conditions expérimentales générales

I) La nécessité de préserver au mieux l'environnement naturel des stations expérimentales, nous a obligé à limiter le nombre de prélèvements de sol destinés aux analyses et à renoncer à certains types de mesures comme par exemple le prélèvement des solutions à la base des profils à partir de tuyaux de drainage.

2) Nous n'avons pas pu installer à demeure des appareils coûteux (enregistreurs) car les stations n'étaient pas protégées.

3) Enfin, les conditions climatiques particulièrement défavorables par la pénurie des pluies, ne nous ont pas permis de réaliser certaines mesures (humidité, pH) pendant toute la période d'exposition des plaquettes.

CHAPITRE I

Données climatiques régionales

Ces données nous sont communiquées par les services de la météorologie nationale. Elles proviennent des stations météorologiques des Béguines, à la Ste Baume et de St Maximin, à IOkms au nord. La connaissance de la pluviosité à St Maximin, permet une meilleure appréciation des conditions climatiques régnants à la périphérie du massif, sur les sites de la Citerne et de la Lare.

Ces données concernent les précipitations journalières et les moyennes mensuelles des températures. Elles sont reproduites en annexe, pages II5 et II6

Les courbes de la figure 28 ci-dessous, montrent la répartition des précipitations sous forme de totaux pluviométriques mensuels et les variations des températures moyennes.

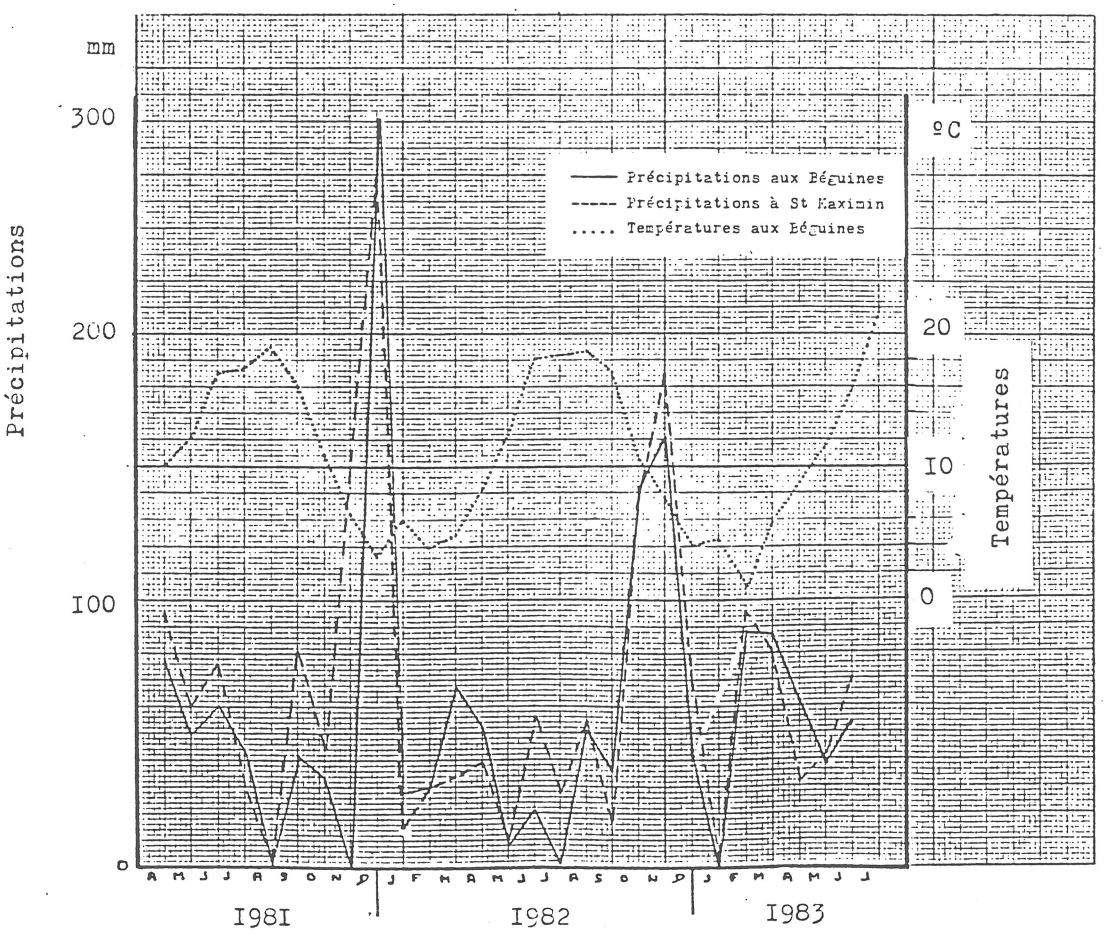


Fig 28 Précipitations et températures mensuelles aux Béguines et à St Maximin.

Commentaire:

La hauteur d'eau tombée à St Maximin au cours de l'année I982 atteint 670mm, alors que la moyenne annuelle relevée sur la carte climatique détaillée de la France est de 838mm, soit un déficit de 20% par rapport à cette dernière valeur. Un déficit du même ordre a été enregistré en I98I et I983.

Aux Béguines, pendant l'année I982, la pluviosité a été un peu plus faible qu'à St Maximin (637mm), mais le nombre de jours de pluie y est plus élevé (88 contre 77jours). Celà signifie qu'à St Maximin les pluies sont plus violentes.

La carte de la répartition des pluies,fig 28 , montre d'autre part que les précipitations estivales sont généralement plus abondantes à St Maximin. Il s'agit en fait d'orages qui ont peu d'influence sur les réserves car l'eau ruisselle et s'infiltre mal. De plus l'E.T.P. est trés importante à cette époque.

A la Ste Baume, au contraire, les pluies principales ont lieu l'hiver lorsque l'E.T.P. est faible et elles sont, sur le plateau des Béguines, rapidement absorbées par les pertes karstiques. Ainsi, malgré une pluviosité globale un peu plus faible qu'à St Maximin, les pluies à la Ste Baume ont un meilleur rendement.

Evapotranspiration :

La connaissance des températures moyennes et du rayonnement global d'origine solaire(pII9)permet de calculer l'Evapo-Transpiration Potentielle à partir de la formule de TRUC:

$$E.T.P.\ mm/mois = 0,40 \frac{t}{t + I5} (Ig + 50)$$

t: température moyenne mensuelle de l'air sous abri
Ig: rayonnement global d'origine solaire
en petite calorie/cm2/jour
0,40: coefficient mensuel (0,37 pour février)

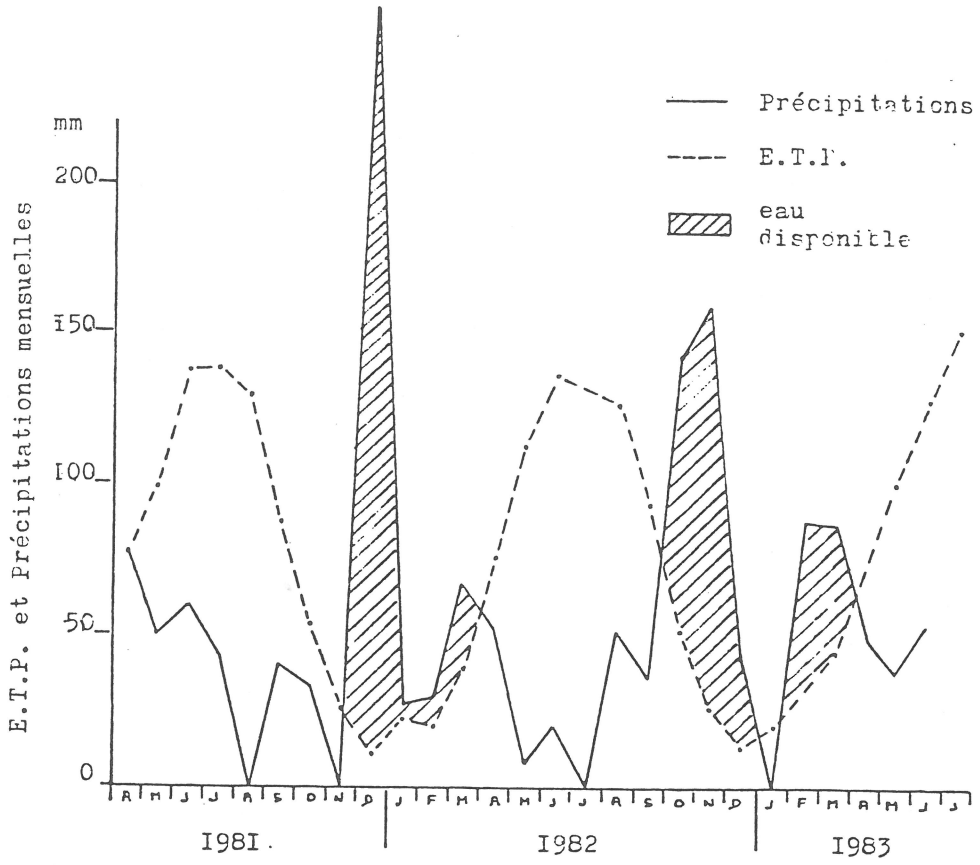


Fig 29 Courbes de l'E.T.P. et des précipitations sur le site des Béguines.

Commentaire :

La superposition de la courbe des variations de l'E.T.P. sur celle des précipitations (fig 29), fait nettement apparaitre aux Béguines les périodes pendant lesquelles les pluies sont excédentaires, c'est à dire capables de reconstituer les réserves du sol et d'atteindre les nappes. Ces périodes sont localisées à la saison froide, donc à une époque où les pluies ont le meilleur rendement. On comprend donc que la pénurie constatée en cette saison (0mm en novembre I98I) a eu de grandes conséquences pour la recharge des aquifères.

On peut, à partir des courbes de la figure 29, calculer le pourcentage d'eau suceptible d'atteindre la nappe, en déduisant au total des précipitations les valeurs de l'E.T.P. Nous obtenons ainsi 42% des précipitations qui peuvent intéresser l'aquifère. Soit une tranche d'eau de 640mm recueuillie sur l'impluvium en 27 mois.

Conclusion:

Ces résultats montrent que pendant la période considérée, le climat méditerranéen, caractérisé par une période chaude et sèche, s'est trouvé considérablement renforçé par un recul des précipitations vers la saison froide et une réduction trés importante de celles-ci. Les conséquences sont une baisse anormale du niveau des nappes et un assèchement prématuré et prolongé de nombreuses sources, mais aussi, vraisemblablement un fort ralentissement de la décarbonatation dans les sols.

Nous avons vu que le climat de St Maximin différait surtout par l'importance des précipitations orageuses, ce caractère s' atténuant à l'approche du massif de la Ste Baume. On peut donc considérer le régime pluviométrique des sites de la Citerne et de la Lare trés proche de celui du plateau des Béguines.

CHAPITRE II

Mesures d'humidité dans les sols des stations expérimentales

Les données climatiques précédentes nous ont permis de situer les époques au cours desquelles le drainage des sols était possible. Ces mesures d'humidité devraient maintenant préciser l'hydratation des sols aux stations expérimentales et nous permettrent de déceler, connaissant la capacité de rétention, les mouvements conduisant à la lixiviation des bases. En fait, il n'est pas nécessaire que le sol soit saturé pour drainer (BIROT).

Méthode utilisée:

Nous n'avons pas pu employer la sonde neutronique car nos sols sont trop caillouteux (difficultés d'étalonnage) et pas suffisamment épais (il faut 40cm pour distinguer deux mesures).

Nous avons donc utilisé la méthode pondérale en prélevant à la tarière, sur la station expérimentale, un échantillon de sol aux deux niveaux concernés par les mesures de dissolution. Les échantillons sont dès leur extraction placés dans des containers étanches et acheminés au laboratoire pour la détermination de l'eau à 105ºC.

Afin de ne pas trop perturber le sol aux environs des plaquettes, nous avons volontairement limité les prélèvements à la période la plus représentative.

Résultats :

Ils sont donnés par le tableau 4 , ci-dessous.

Stations	Dates des prélèvements				
	30/I/83	I2/3/83	23/4/83	3/6/83	8/7/83
Cit. I A	I9,8	I9,I	22,2	I7,8	I2,2
Cit. I B	I9,2	23,2	I8,0	22,5	I3,5
Cit. II A	I7,3	25,I	I7,0	I6,9	5,5
Cit. II B	24,9	26,5	24,I	25,6	I7,0
Hot. A	30,0	28,6	32,4	I9,5	II,9
Hot. B	28,0	27,4	27,0	I9,I	20,9
Lare A	23,7	24,2	28,I	I3,8	I7,9
Lare B	23,4	22,6	2I,8	I6,6	I5,7
Beg. A	25,7	29,I	25,3	23,I	23,4
Beg. B	28,9		36,I	32,6	26,5

tableau 4 Humidité des sols aux stations expérimentales

Valeurs en % du poids de l'échantillon sec
A : horizon de surface
B : horizon de base

Commentaire :

Les mesures sont suffisamment éloignées des pluies capables de marquer le sol par des mouvements gravifiques rapides, pour ne prendre en compte que l'eau de rétention ou à mouvement lent.

On remarquera d'abord que les sols de la Ste Baume (hôtellerie et Béguines) sont un peu plus humides que les autres. Pour tous les sites, l'humidité se maintient autour d'une valeur à peu prés constante, jusqu'à une époque variable où le taux baisse d'une façon plus ou moins importante. Cette baisse est

en partie, due aux facteurs de station (pente, exposition, épaisseur des sols...).

La deuxième remarque que l'on peut faire concerne le taux d'humidité à travers les profils: L'hydratation est assez homogène sauf pour deux profils (Citerne II et Béguines) où l'horizon profond est sensiblement plus humide.

Il est intéressant de comparer par exemple les deux stations (espacées de 250m) du site de la Citerne où l'on est sûr d'une même pluviosité :

Au 30/I/I983 , l'humidité dans ces deux sols est en équilibre car il n'a pas plu durant tout le mois précédent et l'évapotranspiration est trés faible en cette saison.

Les mesures du I2/3 montrent une humidité plus grande dans l'horizon profond de la station I, alors qu'à la station II c'est l'horizon de surface qui est plus humide. Ainsi ces deux sols ont enregistré différemment les pluies tombées les I2 et I3 février (52mm) et les 25 et 26 février (23mm).

Le 23/4/I983 , la station II a retrouvé la situation d'équilibre du 30 janvier, contrairement à la station I qui garde en surface la petite pluie (I0mm) tombée 48 heures auparavant. Mais la station I est dans un site plus ombragé.

Au 3/6/I983 , le gradient d'humidité dans les deux stations est comparable. Les pluies du I4 et I5 mai (46mm) ont légèrement marqué les horizons profonds.

Enfin au 8/7/I983 , l'humidité baisse dans les deux profils et plus particulièrement en surface de la station II à cause de l'ensoleillement intense qu'elle reçoit.

Sur les autres stations on observe des variations analogues, pas toujours en rapport avec l'hydratation que les pluies auraient dû apporter (pas de répercution des précipitations du mois de février sur le site de l'hôtellerie).

Conclusion :

Nous voyons par ces quelques résultats, que des pluies relativement faibles sont capables de pénétrer jusqu'à la base des sols de nos stations expérimentales, même lorsque l'E.T.P. est supérieure aux précipitations (au mois de mai ETP>2P). Les possibilités de drainage sont donc supérieures aux prévisions des données climatiques.

La stabilité du taux moyen d'hydratation pendant la période où les pluies sont excédentaires par rapport à l'E.T.P. est une indication de la capacité de rétention qui varie ainsi de de 20 à 30% en poids de l'échantillon.

Ces résultats font également apparaitre la grande influence des facteurs de station.

Par contre ils traduisent assez mal les effets que l'on pouvait attendre des variations de texture des horizons.

Enfin la baisse d'humidité, à partir du mois de juin, annonce l'épuisement des réserves. Réserves dont il faut souligner l'entière autonomie par rapport aux nappes beaucoup plus basses.

CHAPITRE III

Mesures de perméabilité dans les sols des sites de la Citerne et des Béguines

Il nous a paru intéressant de mesurer la perméabilité des sols sur les sites où ils sont les plus représentatifs, car c'est elle qui conditionne le drainage des solutions et qui par conséquent assure le renouvellement des eaux agressives au contact des calcaires.

A l'observation, la perméabilité semble bonne, car même aprés les fortes averses, il ne subsiste pas de flaques et les ruissellements sont à peu prés inexistants dans les talwegs. D'autre part, la couleur de la majorité des profils est brun-rouge ou rouge, ce qui est le signe d'un bon drainage.

Méthode utilisée :

C'est la méthode LOSSAINT (1973) dérivée de celle de MUNTZ :

Des cylindres de hauteurs différentes, sont enfoncés par battage dans le sol et l'on mesure le temps d'écoulement d'un volume d'eau connu tout en maintenant le niveau constant dans les cylindres.

Les cylindres sont en tôle fine d'acier galvanisé de IIImm de diamètre.

A la Citerne, nous avons enfonçé à 80cm l'un de l'autre deux cylindres, le premier à IOcm de profondeur, le second à I8cm. Aux Béguines, un seul cylindre a été enfoncé à IOcm de profondeur.

Résultats :

	8/4/83 (sol humide)	II/8/83 (sol sec)	
temps d'infiltration	30min.	20min. début(4min)	fin(I6min)
Citerne	cylindre I 4,3mm/min. cylindre II 32,7mm/min.	5I,9mm/min. 48,5mm/min.	II,3mm/min. I3 mm/min.
Béguines	trop faible, non mesurable	64,6mm/min.	8,4 mm/min.

tableau 5 Perméabilté des sols de la Citerne et des Béguines

Commentaire:

Les résultats sur sol sec diffèrent nettement de ceux obtenus sur sol humide, par des vitesses d'infiltration plus élevées et plus homogènes.

Les mesures du II/8/I983 montrent une diminution importante et rapide des vitesses d'infiltration, au début de l'expérience, qui correspond à la recharge des vides du sol. Ces vitesses se stabilisent ensuite à des valeurs trés voisines sur les deux sites.

Les résultats du 8/4/I983, sur sol humide, sont plus délicates à interpréter, en particulier sur le site de la Citerne où l'on constate des vitesses trés différentes dans les deux cylindres. Il faut remarquer que la colonne de sol emprisonnée n'est pas la même et que le vide réalisé par l'interface cylindre-sol peut être important par rapport à la porosité du sol. Dans ce cas, l'eau percole à la périphérie et c'est la couche qui ferme le cylindre à la base qui règle la perméabilité.

Dans ces conditions on devrait retrouver dans les mesures d'été les mêmes écarts de vitesse. Sans expliquer tout à fait les valeurs enregistrées, on peut dire que la dessication estivale provoque une modification profonde de la structure (apparition de fentes de retrait) qui modifie considérablement, pendant cette période, la porosité des sols.

Conclusion:

Etant donné leur homogénéité, nous retiendrons les vitesses d'infiltration sur sol sec qui sont de l'ordre de IOmm/minute
Ce sont les conditions d'infiltration d'une pluie d'été

En saison humide, la méthode utilisée ne nous parait pas adaptée à ce type de sol. Il s'en suit que les résultats obtenus ne nous semblent pas correspondrent aux conditions réelles de perméabilité.

CHAPITRE IV

Mesures de la température des sols aux stations expérimentales de la Citerne et des Béguines

Nous avons procédé à la mesure des températures du sol et de l'air à son contact, pendant la période d'exposition des plaquettes, aux deux stations de la Citerne et des Béguines qui nous paraissent par leur altitude et leur exposition, avoir les températures extrêmes.

Méthode utilisée :

Des thermo-couples fer-constantan, placés dans des tubes inoxydables, scellés à l'Araldite, sont disposés dans le profil pédologique et laissés en place pendant toute la période de mesure. Les fils du thermo-couple qui dépassent légèrement la surface du sol, sont raccordés au moment de la mesure à un thermomètre électronique portatif. La fréquence des mesures a été bimensuelle à la Citerne et mensuelle aux Béguines pour des raisons pratiques.

Remarque : La protection du thermo-couple par un tube inoxydable crée une inertie supplémentaire, mais qui est négligeable par rapport à la mise en température du sol et à la fréquence des mesures.

Résultats :

Les valeurs des températures enregistrées sont indiquées en pages II7 et II8, dans les tableaux 20 et 2I.

Les figures 30 et 3I, ci-aprés, montrent leurs variations.

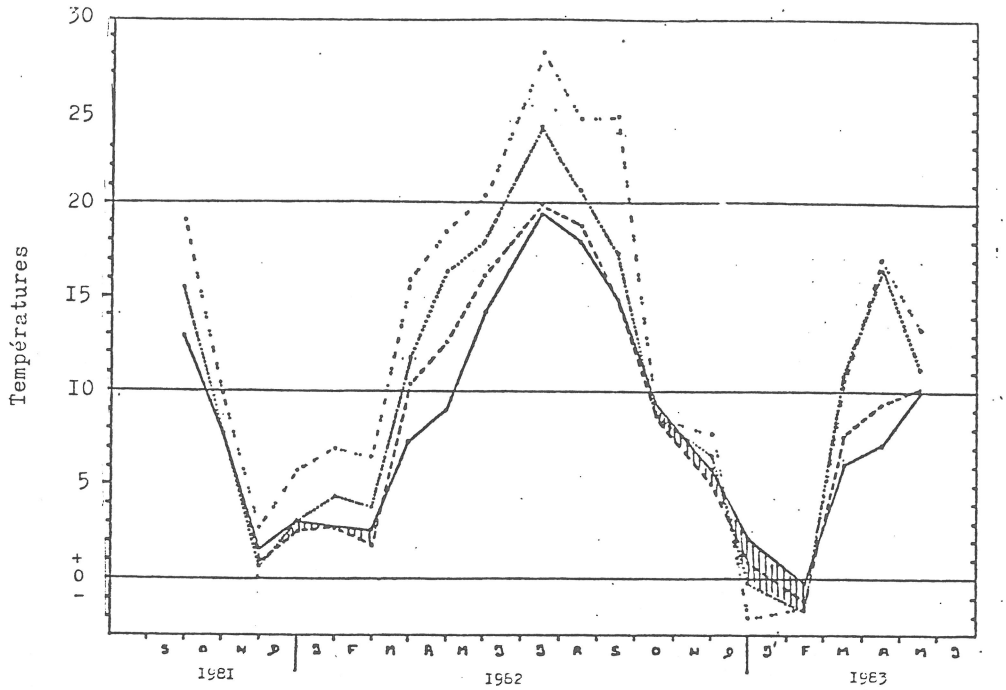


Fig30 Températures du sol en degrés C à la station des Béguines

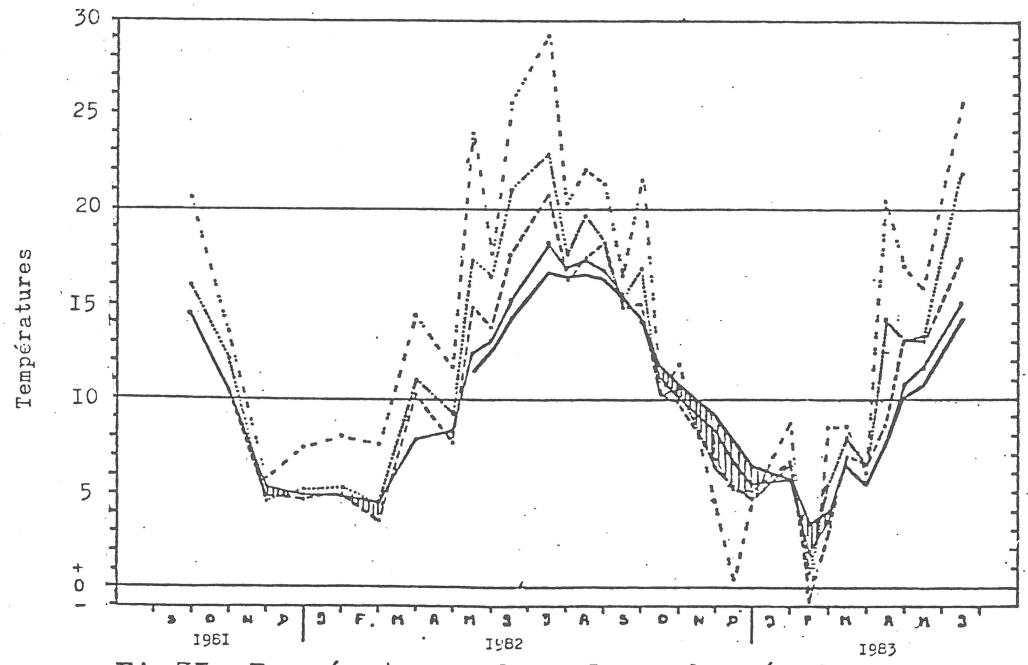


Fig3I Températures du sol en degrés C à la station I de la Citerne

..... air au sol ..... sous litière ---- -4cm ——— -50cm
——— -20cm (béguines) ——— -25cm (Citerne)
IIIIIIII gradient thermique inversé

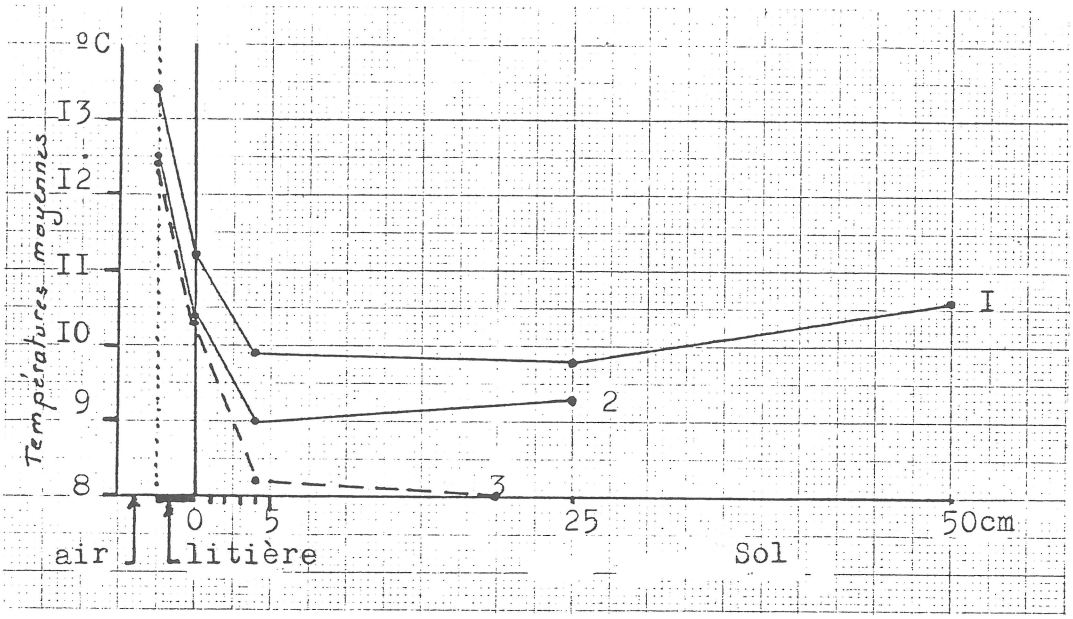


Fig32 Gradient thermique des sols de la Citerne et des Béguines

I et 2 : la Citerne. 3 : les Béguines

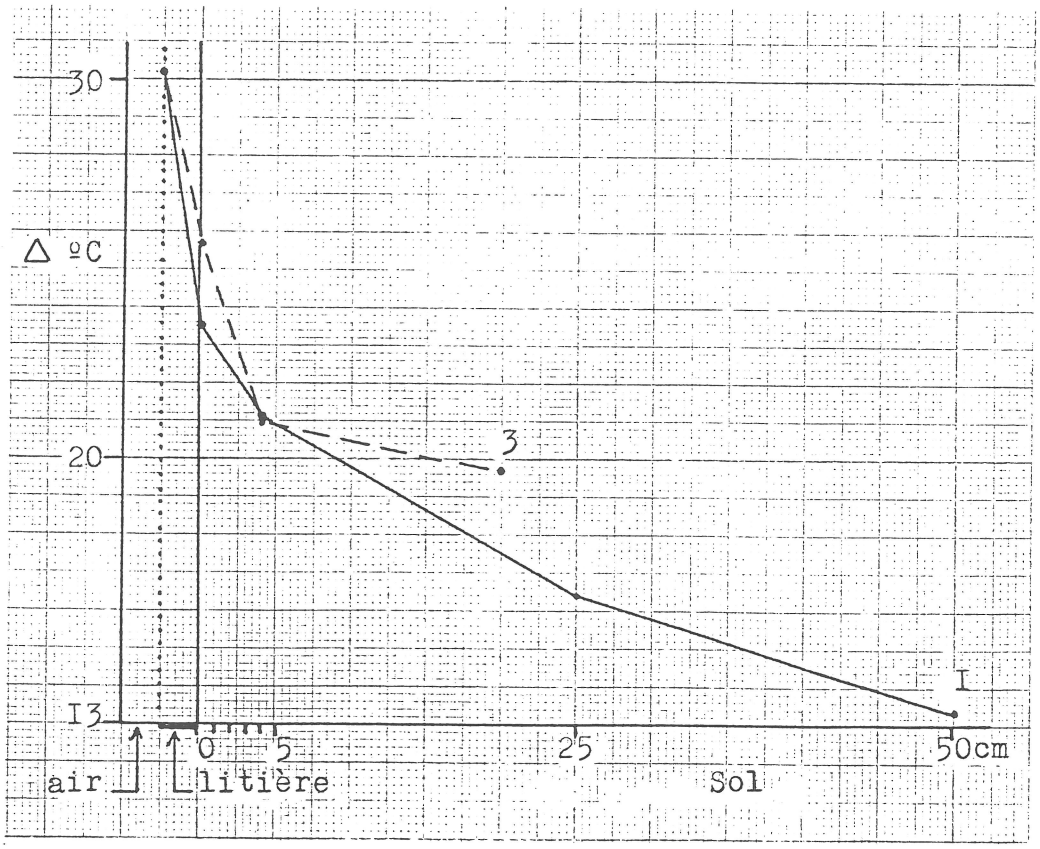


Fig33 Ecarts maxima des températures dans les profils des sols des sites de la Citerne et des Béguines

Commentaire :

Les courbes des figures 30 et 31 montrent à la Citerne une oscillation semestrielle des températures autour d'une valeur de 10º, délimitant ainsi une période "chaude" de mai à octobre et une période "froide" de novembre à avril. On observe en outre des températures supérieures à 16º dans le sol pendant les mois de juillet-août et une courte période de gel en février 1983.

Aux Béguines, l'inversion semestrielle se produit sensiblement aux mêmes époques de l'année mais à une température plus basse (8º5). Le froid est plus important. Le sol est gelé dans les premiers centimètres pendant un mois environ au cours de l'hiver 1983.

L'influence de l'inertie du sol se manifeste par une inversion du gradient thermique représentée par les zones hachurées dans les figures.

La figure 32 donne le gradient thermique moyen dans les profils des deux stations. A la Citerne, la courbe I est établie avec 31 points de mesure (du 1/10/81 au 15/5/83), alors que la courbe 2 ne l'est qu'avec 19 points pour être comparée avec la courbe 3 établie aux Béguines avec le même nombre de mesures et aux mêmes époques. Les moyennes de l'air au sol traduisent mal la différence de climat qui existe entre les deux stations, car les mesures sont trop peu nombreuses pour enregistrer toute l'amplitude des variations thermiques. Par contre, en profondeur où ces variations sont plus faibles, les résultats sont plus significatifs. La différence des Tº est de 1,2º à -20 cm entre le sol de la Citerne et celui des Béguines.

La figure 33 montre les écarts maxima de température qui se produisent aux différentes profondeurs du profil pédologique. La réduction de ces écarts avec la profondeur est bien sur une conséquence de l'inertie des sols et l'on remarquera que l'absorption est très rapide dans les premiers centimètres du sol. De même, l'influence des litières est importante. Aux Béguines, où la litière est moins épaisse, l'atténuation est plus faible.

Conclusion:

La différence de climat entre les deux stations, causée par une dénivellation de 300m et une exposition opposée d'adret à hubac, se traduit dans le sol par une différence de température relativement faible. L'écart moyen est de IºC environ à -20cm.

On peut donc estimer qu'à cette profondeur les températures moyennes des autres stations dont le climat est intermédiaire, sont comprises entre 8 et IOºC.

L'examen du gradient thermique révèle une zone superficielle de quelques centimètres, à fortes fluctuations, où l'influence des facteurs de station (épaisseur des litières par exemple) est grande. Elle est suivie d'une zone de plusieurs dizaines de centimètres où s'équilibrent les variations extérieures avec les réserves thermiques du sol. C'est la zone où les températures moyennes sont les plus basses. Au delà et vraisemblablement vers Im de profondeur, les températures tendent vers celles des roches encaissantes (I3ºC dans des poches karstiques non ventilées).

CHAPITRE V

Mesures du CO2 des litières des sols aux stations expérimentales

Méthode utilisée :

Cette mesure a été faite aux différents sites, pendant le premier semestre I983, avec l'appareil détecteur Dräger. Le CO2 a été prélevé sous la litière en prenant la précaution d'effectuer la mesure aux mêmes heures de la journée (entre I4h et I6h) pour éviter l'influence de la variation diurne. On mesure en même temps la température au point de prélèvement.

Résultats :

dates des mesures	stations				
	CiterneI	CiterneII	Lare	Hotellerie	Béguines
22/I/83	0,03(3°I)	0,05(2°I)	0,02(I°I)	0,0I(I°5)	0,03(0°8)
5/3/83	0,I7(5°)	0,03(6°9)	0,06(7°7)	0,0I(4°5)	0,02(3°5)
24/4/83	0,04(I3°I)	0,04(II°8)	0,02(II°I)	0,03(II°9)	0,03(II°8)
3/6/83	0,04(I4°7)	0,04(2I°5)	0,04(I7°)	0,05(I9°)	0,05(I4°5)

Tableau 6 Teneurs en % de CO2 et températures (°) de l'air des litières aux stations expérimentales.

Commentaire :

Les résultats montent des teneurs en CO2 trés faibles sur l'ensemble des sites et pour toute la période considérée, malgré une élévation importante de la température. Il ya deux raisons à celà : D'abord les litières sont peu épaisses (2 à 4cm) et discontinues, ensuite lorsque la température augmente à l'approche de la saison estivale, l'humidité baisse fortement à la surface du sol. Dans ces conditions la décomposition des litières se fait mal et la production de CO2 reste faible.

Nous avons fait quelques mesures à -I0cm dans le sol en enfonçant le tube détecteur Dräger. Les valeur de pCO2 étant du même ordre de grandeur, (à la limite de détection du tube) nous n'avons pas jugé utile de poursuivre des mesures systématiques.

Conclusion :

Ces résultats concernent la production de CO_2 pendant le premier semestre I983. Ils peuvent être divisés en deux groupes. Le premier groupe se rapporte à la période hivernale lorsque les températures sont inférieures à IOºC : Les teneurs en pCO_2 sont normales pour la saison. Le second groupe est constitué par les mesures de printemps. Là, les valeurs de pCO_2 sont trop faibles. Elles ont pour cause un déficit pluviométrique exeptionnel. Lorsque l'on sait que ces conditions climatiques peu favorables ont également caractérisées les années I982 et I98I, on est assuré que la production de CO_2 est restée trés faible pendant toute la période d'exposition des plaquettes.

CHAPITRE VI

Mesures du pH des sols aux stations expérimentales

Ces mesures concernent le pH des sols pendant le Ier semestre 1983. Elles correspondent aux mesures d'humidité effectuées pendant la même période.

Méthodes utilisées :

a) Sur le terrain, en employant un pH-mètre portatif associé à une électrode à bout renforcé du type Schott Geräte N48 A Cette méthode présente un certain nombre d'inconvénients :

1) L'enfoncement de l'électrode dans le sol nécessite un avant-trou parfaitement calibré au diamètre de l'électrode même dans un sol humide.

2) La longueur de l'électrode (10cm) limite les mesures à proximité de la surface.

3) La mesure est instable. Nous avons constaté des dérives lentes pouvant atteindre plusieurs unités pH.

Pour toutes ces raisons la méthode a été abandonnée.

b) Au laboratoire, des échantillons de sol provenant des mêmes carottages que ceux destinés à la mesure d'humidité sont recueillis et stockés Les mesures sont effectuées à la fin de la campagne d'échantillonnage et en une seule séance pour éviter les erreurs de dérive instrumentale. Le protocole est le suivant :

pH eau :

1 - Immersion de 20g de terre dans 50cc d'eau distillée
2 - Dilution puis sédimentation pendant 72 heures
3 - mesure faite dans le surnageant avec une électrode simple associée à une électrode de référence.

pH Kcl :

4 - Adjonction de 3,72g de Kcl à la solution
5 - Reprise des opérations 2 et 3

Résultats :

Les valeurs des pH sont données en annexe, page I20. Elles ont servies à établir les courbes de la figure 34 ci-dessous, qui montrent leurs évolutions pendant le premier semestre 1983.

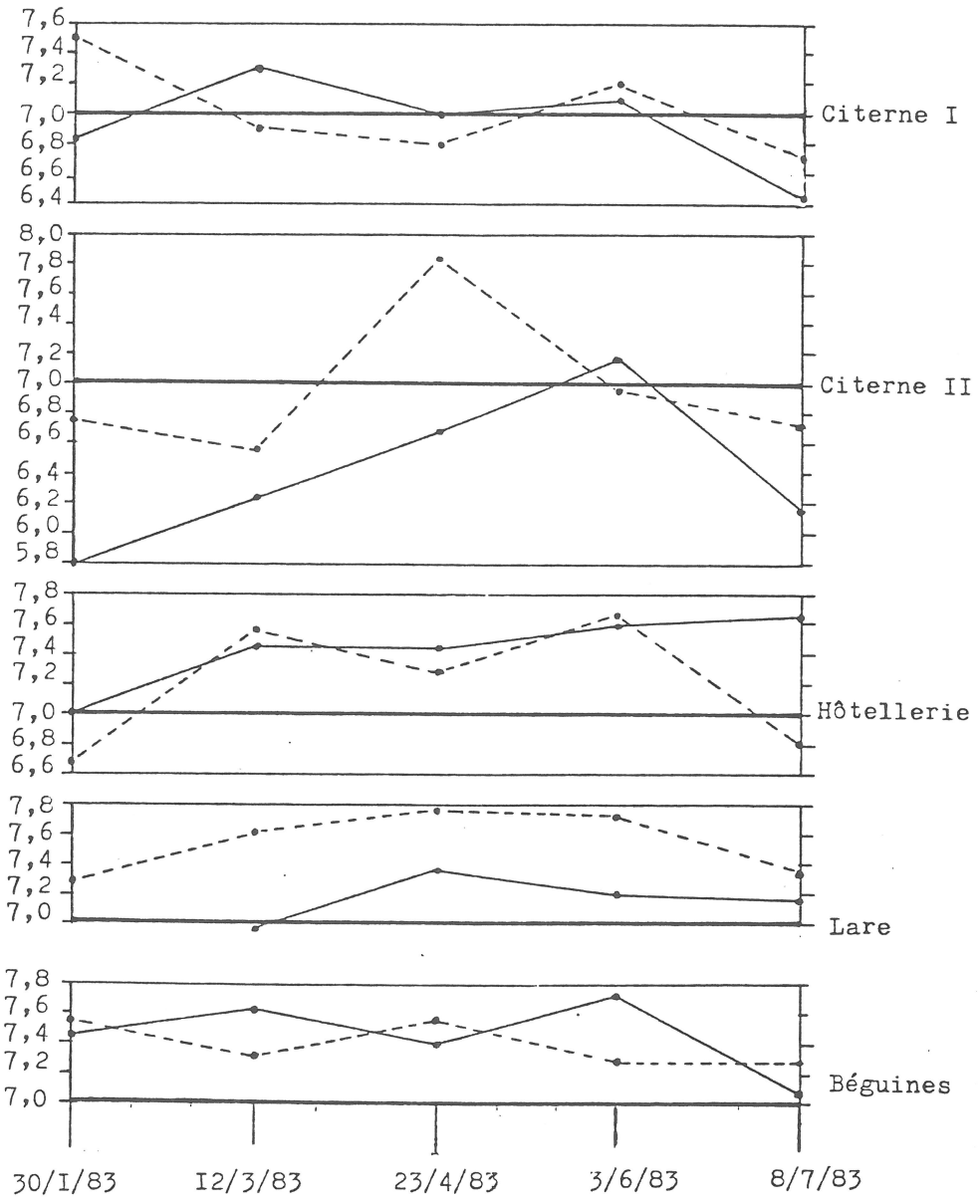


Fig.34 Evolution du pH-eau des sols des stations expérimentales

• point de mesure

—— horizon supérieur (-5cm)

--- horizon inférieur (-20cm)

La moyenne des pH/eau est indiquée dans le tableau ci-dessous, classée par valeurs croissantes. Il y est adjoint le pH des litières.

	CiterneII	Citerne I	Hotellerie	Lare	Béguines
pH/eau du sol	6,70	7,00	7,35	7,37	7,40
pH/eau des litières	4,55	5,25	5,85	5,45	6,60

tableau 7 pH moyen des sols et des litières aux stations expérimentales.

Commentaire :

On voit dans le tableau 7 que les pH des sols se situent autour de la neutralité avec une tendance acide sur le site de la Citerne, basique sur les autres sites. Les pH des litières correspondantes ont sensiblement le même classement. On notera que les litières les plus acides sont constituées essentiellement d'aiguilles de pins alors que la moins acide (aux Béguines) est alimentée par la chenaie pubescente.

A l'examen des graphiques de la fig34 on observe une augmentation sensible des pH au printemps suivie d'une chute quasi-généralisée à l'approche de la saison estivale. Cette augmentation des pH coïncide avec la période où les pluies ont percolé à travers les sols (voir "l'humidité des sols" page 73). Par conséquent nous pensons qu'elle résulte de la mise en solution des carbonates. A l'approche de l'été, les pluies pénétrantes ont cessé et l'activité des micro-organismes producteurs d'ions H^+ s'accroit. Ces raisons peuvent expliquer le retour des pH vers des valeurs plus faibles.

Les différentes évolutions des pH à travers les profils soulignent la spécificité des milieux. Mais nous n'avons pas pu établir de corrélation précise avec leurs constituants (taux de carbonates, de matière organique etc...).

Conclusion:

Ces mesures de pH sont insuffisantes pour caractériser complètement le chimisme des sols aux stations. Néanmoins elles nous renseignent assez bien sur la période de mise en solution des carbonates dans l'intervalle de temps considéré.

Il est également intéressant de noter le rapport entre la composition des litières, leur acidité et le pH des sols.

CHAPITRE VII

Mesure de la vitesse de dissolution des calcaires par la méthode des plaquettes-témoins

---

Principe de la méthode :

Il est basé sur la perte de poids d'un échantillon calcaire parfaitement connu, soumis pendant un laps de temps déterminé aux conditions physico-chimiques du milieu à étudier.

A - Expérimentation

I) Calcaire utilisé:

La nécessité de disposer d'un calcaire représentatif de la région à étudier, sain et suceptible d'être façonné, constitue une première difficulté. En effet les affleurements naturels anciens sont généralement altérés et les roches des carrières fissurées par les tirs de mines. C'est donc à partir d'une carotte de forage, fournie par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières de Marseille, que nous avons extrait les plaquettes.

Il s'agit d'un calcaire de faciès urgonien, cristallin, à patine trés blanche, présentant aprés la coupe une surface trés lisse au toucher.

2) Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon:

Densité: 2,6

Porosité: 2,9%. Cette porosité s'accorde avec celle des calcaires micritiques (cristaux $< 50\mu$).

Teneur en $CaCO_3$: 99,9I%

Résidu insoluble: 0,09%

3) Préparation des plaquettes:

L'échantillon étant un court cylindre de 9,5cm de diamètre, nous l'avons tronçonné en disques d'un centimètre d'épaisseur environ, que nous avons recoupés en deux selon le diamètre pour disposer d'un nombre suffisant de plaquettes.

Chaque plaquette a été identifiée par un chiffre gravé sur la tranche.

4) Calcul de la surface des plaquettes:

Il a été fait à partir de mesures effectuées au pied-à-coulisse sur chaque échantillon.

5) Pesée des plaquettes:

La pesée est réalisée au début et à la fin de l'expérience selon le protocole suivant:

a) Lavage modéré des échantillons à l'eau distillée.
b) Séchage à l'étuve à 105ºC pendant 24 heures.
c) Refroidissement des échantillons au dessicateur.
d) Pesée des échantillons au moyen d'une micro-balance (précision: $I.10^{-4}g.$)

6) Mise en place des plaquettes:

Elles sont disposées aux emplacements et dans les sols étudiés dans la deuxième partie.

Un petit puits est creusé dans le sol et des logements horizontaux d'une taille légèrement inférieure aux plaquettes sont aménagés dans le profil de façon à faciliter l'introduction des plaquettes qui ne doivent pas être rayées par d'éventuels grains du squelette. A chaque niveau concerné, les plaquettes sont doublées pour améliorer la précision. Les niveaux sont au nombre de deux. Le niveau supérieur est situé dans l'horizon A à 4cm de profondeur. Le niveau inférieur se trouve dans l'horizon B, à une profondeur variable selon l'épaisseur du sol, mais de

l'ordre de 20cm. Un fil de nylon relie les plaquettes entre elles pour faciliter leur repérage à la fin de l'expérience (cette précaution s'est avérée fort utile). Le puits est ensuite rebouché en respactant au mieux l'ordre des horizons. Sur chaque station deux puits sont ainsi aménagés à quelques mètres de distance l'un de l'autre pour satisfaire à deux prélèvements distincts.

7) Durée de l'expérience:

La faible porosité de l'échantillon le classe dans la catégorie des roches dures. Au contact du sol, ce calcaire subira donc une dissolution de type pelliculaire telle qu'elle a été définie par LAMOUROUX (I975), c'est à dire conditionnée par une alternance de saisons humides et sèches. Cette condition impose une durée d'exposition au moins égale à un cycle climatique annuel.

Nous avons donc constitué deux séries de plaquettes. Une première série séjournera un an dans le sol, de mai I98I à juin I982, soit pendant un cycle climatique tandis que la seconde série sera exposée deux ans, de mai I98I à juin I983 afin de voir éventellement qu'elle est l'évolution de la dissolution dans le temps.

8) Retrait des plaquettes:

C'est une opération trés délicate qui nécessite un sol souple pour ne pas risquer de rayer les plaquettes. Il faut donc éviter la période estivale où les horizons argileux sont extrêmement durs et l'hiver, les jours de gel.

9) Etat des plaquettes à l'extraction:

Les plaquettes présentent en surface des plages discontinues de couleur rouge qui correspondent aux zones où le sol à parfaitement adhéré. L'examen à la loupe binoculaire (grossissement x 30) ne montre pas de modifications notables de l'état de surface

B - Résultats

Stations	Ière série (I cycle)	2ème série (2 cycles)
Citerne I		
niveau sup.	2,0(6,4)-2,6(9,0)	3,8(I4,0)-3,7(I2,9)
niveau inf.	0,6(2,5)-I,I(4,0)	4,0(I4,0)-3,I(9,8)
Citerne II		
niveau sup.	I,6(5,9)-I,5(4,9)	5,3(I9,3)-4,9(I7,2)
niveau inf.	I,8(6,I)-2,2(8,0)	3,5(II,5)-4,5(I5,6)
Lare		
niveau sup.	I,2(4,4)-I,3(4,4)	I,0(3,5)-I,6(4,5)
niveau inf.	I,8(6,I)-2,3(8,0)	I,0(3,3)-0,5(I,7)
Hotellerie		
niveau sup.	0,7(2,4)-I,0(3,8)	I,3(4,7)-I,2(3,9)
niveau inf.	2,I(5,6)-2,0(6,3)	I,7(6,2)-I,2(4,5)
Béguines		
niveau sup.	0,9(3,4)-I,0(3,6)	I,3(4,3)-I,0(4,7)
niveau inf.	0,5(I,7)-I,4(6,9)	I,2(4,2)-0,6(2,3)

tableau 8 Perte de poids des plaquettes et épaisseur de la tranche érodée correspondante

Dans chaque série, il y a deux plaquettes par niveau. La perte de poids de chaque plaquette est exprimée en ‰ du poids initial. La valeur entre parenthèses correspond à l'épaisseur en microns de la tranche érodée, calculée de la façon suivante:

V (volume exporté)= P/d, d = densité de l'échantillon

e (épaisseur dissoute) = V/s, s = surface totale de la plaquette

On admet ainsi que l'altération a été uniforme sur toute la surface.

C - Analyse des résultats

Ces résultats montrent d'abord une assez grande dispersion des valeurs de dissolution dans les deux séries, que ce soit entre plaquettes d'un même niveau pédologique ou d'une station à l'autre.

Les écarts de dissolution entre plaquettes situées dans un même puits et au même niveau, varient de 0,I‰ à I‰ .
Le milieu étant le même pour ces plaquettes, nous pensons que ces écarts sont dûs à l'état de l'interface plaquette-sol. Ils définissent donc la précision de la mesure.

Dans le tableau 9, ci-dessous, nous avons indiqué les valeurs moyennes de dissolution aux deux niveaux de chaque station en précisant pour chacunes d'elles le taux de dispersion. Les valeurs de dissolution les plus significatives, dont la dispersion est inférieure à I0%, ont été soulignées.

série I	Citerne I	Citerne II	Lare	Hotellerie	Béguines
niveau sup.	2,3 (26)	I,5 (6,4)	I,2 (8)	0,8 (35)	0,9 (I0)
niveau inf.	0,8 (59)	2 (20)	2 (25)	2 (5)	0,9 (I00)
série 2					
niveau sup.	3,7 (2,6)	5,I (7,8)	I,2(48)	I,2 (8)	I,I (26)
niveau inf.	3,5 (24)	4 (25)	0,7(66)	I,4 (34)	0,9 (66)

tableau 9 Taux de dissolution moyens en ‰ dans les profils des stations et entre parenthèses, valeur de la dispersion en %.

Ce tableau permet également de voir que dans la première série, la dissolution est généralement plus forte en profondeur alors que dans la deuxième série la tendance est inverse. L'influence de l'horizon pédologique n'est donc pas significative dans ces résultats.

Si l'on classe maintenant par valeurs croissantes, les taux de dissolution moyens, globaux de chaque station, nous obtenons le tableau IO ci-dessous.

série I				
0,9 (Béguines)	I,4 (Hot.)	I,5 (Cit I)	I,6 (Lare)	I,7 (Cit II)
série 2				
I (Lare)	I (Béguines)	I,3 (Hot.)	3,6 (Cit I)	4,5 (Cit II)

tableau IO Taux de dissolution moyen en ‰ dans chaque station.

Ce classement montre d'abord que les valeurs de dissolution sont les plus fortes sur le site de la Citerne et en moyenne plus faibles aux Béguines. mais il montre aussi la non-proportionalité des valeurs en fonction du temps lorsqu'on compare les deux séries.

En fait celà ne veut pas forcément dire que la dissolution n'a pas été linéaire car les deux séries de plaquettes ne sont pas rigoureusement situées aux mêmes endroits et les conditions physico-chimiques peuvent être suffisamment éloignées d'un emplacement à l'autre pour faire varier de façon importante les vitesses d'altérations.

D - Calcul des vitesses d'altération et valeurs de la tranche érodée par millénaire

Nous admettons par hypothèse une dissolution uniforme des plaquettes. Connaissant la surface de celles-ci, nous pouvons calculer l'épaisseur de la pellicule dissoute au cours d'une année. Les vitesses d'altération ainsi obtenues sont exprimées en millimètres par millénaire dans le tableau II ci-dessous.

	Béguines	Hôtellerie	Lare	Citerne I	Citerne II
série I	3,9	4,7	5,7	5,4	6,2
série 2	I,9	2,4	I,6	6,3	7,9

Tableau II Epaisseur de la tranche érodée dans chaque station, en millimètres par millénaire.

E - Conclusion relative à la méthode

La méthode des plaquettes-témoins, utilisée pour la mesure de la décarbonatation dans les sols, apporte des informations chiffrées sur l'intensité de la dissolution au niveau des micro-sites où les plaquettes sont situées.

Les valeurs que nous avons obtenues sont assez dispersées. Elles résultent bien évidemment de l'environnement physico-chimique, mais aussi de l'interface plaquette-sol.

Cet interface que nous ne maitrisons pas, conditionne la précision. En éffet, le sol n'ayant pas adhéré parfaitement aux plaquettes, le processus d'altération pélliculaire, tel qu'il a été définit par LAMOUROUX (1967) ne s'exerce pas pleinement. Les valeurs de dissolutions que nous avons obtenues, ne correspondent pas en toute rigueur, aux conditions naturelles d'altération des calcaires durs sous couverture pédologique.

Nous pouvons néanmoins optimiser la méthode par les quelques règles d'utilisation suivantes:

I) Le calcaire employé doit être le plus homogène possible pour justifier l'hypothèse d'une dissolution uniformément répartie.

2) La forme des plaquettes doit surtout être adaptée au mode de mise en place, mais il est indispensable qu'elle présente une surface parfaitement mesurable. Pour cela, il faut éviter l'identification des plaquettes par une gravure.

3) L'identification par une peinture est également à rejeter à cause de son altération éventuelle qui compromettrait irrémédiablement la mesure de dissolution.

4) L'installation des plaquettes à partir d'un petit puits central, telle que nous l'avons réalisée, ne peut se faire dans de bonnes conditions, que dans une tranche de sol relativement faible. Une profondeur de 50cm nous parait une limite.

5) L'emploi d'un gabarit pour effectuer les logements des plaquettes permettrait un meilleur contact avec le sol et éliminerait le risque de rayures par d'éventuels grains du squelette.

6) La récupération des plaquettes nécessite en repérage précis de celles-ci. Leur fixation à un fil de nylon par une simple boucle est une bonne formule, mais celui-ci doit être parfaitement camouflé à l'extérieur. Il est également conseillé de repérer la position des plaquettes par un système de coordonnées.

7) Il est d'autre part impératif que le sol soit souple pour placer ou extraire les plaquettes. Cette condition a des répercutions trés importantes en pays méditerranéen, car elle fixe l'époque et la durée de l'expérience.

8) Enfin, l'exposition des plaquettes doit être suffisante pour permettre une bonne adhérence du sol, si l'on veut obtenir la meilleure précision de la méthode.

Synthèse et conclusion générale

Les quarante plaquettes de calcaire urgonien, réparties en deux groupes dans les sols du massif de la Ste Baume, ont subi pendant la période expérimentale une dissolution qui, traduite en épaisseur de calcaire enlevé, s'échelonne de I,6 millième de millimètre à 7,9 millième de millimètre par an.

Ces variations se situent à deux niveaux: Sur une même station expérimentale et entre les sites.

Les écarts que l'on observe entre les deux groupes de plaquettes sur certaines stations, comme la Lare par exemple (dans un rapport 7), illustrent l'extrême complexité du milieu physico-chimique à l'échelle du micro-site, mais leur valeur moyenne traduit une tendance qui se rapporte aux conditions générales des facteurs de station. Ainsi, les dissolutions sont plus élevées sur le site de la Citerne que sur le site des Béguines par exemple.

Ces facteurs de station se rapportent à deux milieux. Un milieu externe (topographie, végétation, climat...) et un milieu interne (sol, substratum).

Tous les sites ont reçu pendant la période expérimentale à peu prés la même pluviosité qui, rappelons le, fût particulièrement faible (720mm/an). Mais ces pluies n'ont pas pénétré les sols de la même façon. Ainsi, sur la Lare, le cloisonnement des poches élimine tout écoulement hypodermique qui pourrait devenir important à la base du versant.

Les mesures d'humidité aux stations expérimentales ont montré toutefois que les sols avaient sensiblement le même taux d'hydratation. Mais cette humidité ne peut être prise en considération qu'associée à la perméabilité qui assure le renouvellement des solutions. On sait par les mesures que nous avons faites, que la perméabilité varie trés fortement au rythme des saisons. Mais nous n'avons pas pu la vérifier sur chaque station expérimentale.

La température est un autre facteur important. Etant donné la position géographique des stations, on peut dire que la température se situe entre une valeur moyenne minimale de 8ºC aux Béguines et une valeur maximale de 9ºC à la Citerne, à -20cm dans le sol. Cette variation ne va pas dans le sens des valeurs de dissolution obtenues.

Les mesures de pCO2 réalisées sous les litières ne sont pas exploitables.

Dans les sols, les constituants qui pourraient agir sur l'agressivité des solutions, comme la matière organique et les carbonates, ont des taux trés faibles et constants. Pourtant cette agressivité varie et nous l'avons mise en évidence par la mesure des pH. Le tableau I2 ci-dessous montre bien la relation qui existe entre le pH des litières, celui des sols et l'intensité moyenne de la décarbonatation.

	Citerne II	Citerne I	Hôtellerie	Lare	Béguines
pH/eau litière	4,55	5,25	5,85	5,45	6,60
pH/eau sol	6,70	7,00	7,35	7,37	7,40
érosion mm/mil.	7,9	6,3	I,6	2,4	I,9

Tableau I2 Relation entre le pH des litières et des sols et l'intensité de la décarbonatation.

Les variations de pH sont encore plus significatives (fig.34). Alors qu'aux Béguines le sol se maintient constamment au dessus de la neutralité, il devient à la Citerne franchement acide plusieurs fois dans l'année.

En définitive, nous n'avons pas pu par nos mesures identifier avec précision les facteurs déterminants de la décarbonatation aux

stations expérimentales. Seule la mesure des pH telle que nous l'avons pratiquée, nous parait un moyen efficace de reconnaissance de la crypto-corrosion.

Nous saisissons mieux ainsi la difficulté d'obtenir en milieu naturel, des informations chiffrées sur l'ablation karstique autrement que par la méthode des plaquettes.

Nous n'aborderons pas ici les questions que pourraient soulever ces résultats par rapport à la pédogenèse et qui sortent du cadre de ce travail. Nous considèrerons seulement les problèmes qu'ils posent vis à vis du karst. En effet, la décarbonatation est beaucoup plus active sur le site de la Citerne où les formes karstiques visibles sont élémentaires, qu'au milieu des grands lapiés des Béguines. Quand on sait que les sols sur ce site sont rares et que la dissolution des lapiés nus est généralement considérée comme réduite, on est assuré de la faible évolution de l'épikarst dans cette région actuellement. Dans ces conditions, l'agressivité des eaux de pluie est entièrement disponible pour le karst profond. C'est ce qui pourrait expliquer l'importance de son développement. Le même raisonnement appliqué au site de la Citerne, où l'agressivité des eaux infiltrées s'épuise dans les horizons pédologiques justifierait la structure poreuse de l'aquifère sous-jacent.

Une question demeure cependant. Dans quelles circontances se sont formés les lapiés géants? Vraisemblablement par une convergence de facteurs. Les roches sont différentes. La forêt dense exeptionnelle a, en son temps, largement débordé le plateau (le hêtre existait prés de Nans), produisant d'abondants sols forestiers. Enfin, la situation géographique du plateau permet un bien meilleur drainage du karst que les régions basses de la Citerne, engorgées tardivement par les épandages oligocènes.

Les différentes valeurs de dissolution représentent une tranche érodée moyenne de 4,6mm par millénaire. Notons que cette unité de mesure, couramment utilisée, ne préjuge nullement que l'ablation se maintienne à cette valeur pendant toute cette période. Cette valeur moyenne ne concerne que les calcaires recouverts d'un sol

c'est à dire à peu prés 30% seulement de la superficie du massif de la Ste Baume. Pour comparer à l'ablation karstique totale, nous nous réfèrerons à la valeur obtenue par NICOD (I977) sur le massif de l'Agnis tout proche, soit 38,7mm par millénaire. L'importance de la crypto-corrosion, compte tenu du rapport des surfaces, aura donc été trés faible, de l'ordre de 4% pendant la période expérimentale.

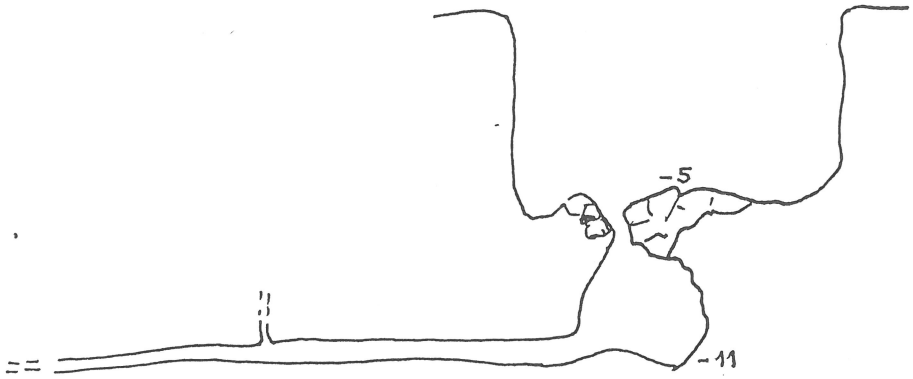
Nous remarquerons toutefois que cette épaisseur moyenne de 4,6mm s'accorde avec la valeur de dissolution (4,2mm) trouvée par KUPPER (I980) dans les sols de Pontevès (Var). Sous des conditions d'exposition assez différentes, il y a donc une certaine convergence des résultats .

Si nous prenons comme base de l'ablation karstique globale en basse Provence les valeurs retenues par FABRE (I980) -IO à 25mm par millénaire- la crypto-corrosion représenterait I6 à 45% de la dissolution totale pour une couverture des sols à I00%, ce qui n'est jamais le cas.

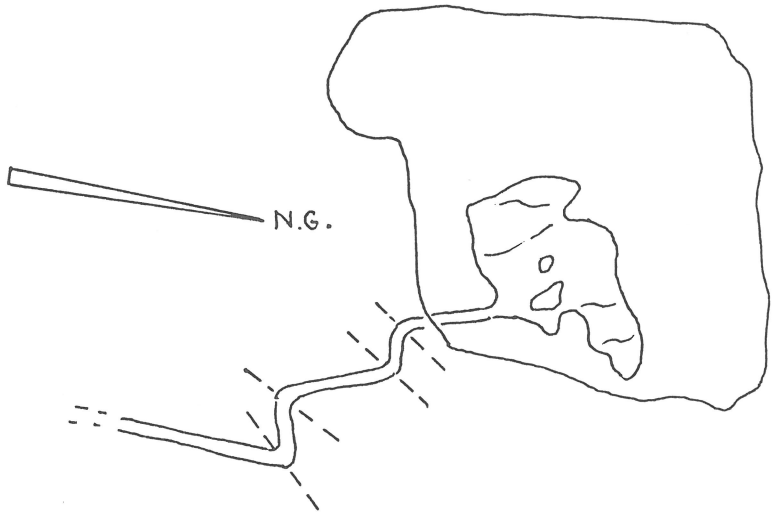
Nous voyons que ces différentes estimations sont trés imprécises car elles sont établies à partir de données appartenant à des systèmes karstiques et des époques distinctes. Il serait donc nécessaire de reprendre le problème et d'essayer sur une unité karstique bien connue de faire un bilan qui prenne en compte simultanément le volume de matière exportée et les différentes actions corrosives à tous les niveaux du karst. Et pour celà la méthode des plaquettes nous parait bien adaptée.

Nous avons vu qu'au Liban les taux d'ablation étaient comparables sous des conditions climatiques semblables. Ce bilan pourrait donc s'appliquer à d'autres régions du bassin méditerranéen.

ANNEXES



Coupe



Plan

Gouffre de la grande Tourne

X = 876,25 Y = 120,75 Z = 665

Echelle 1/250

Fig. n° 35

0 10m

Levés Topographiques 1948

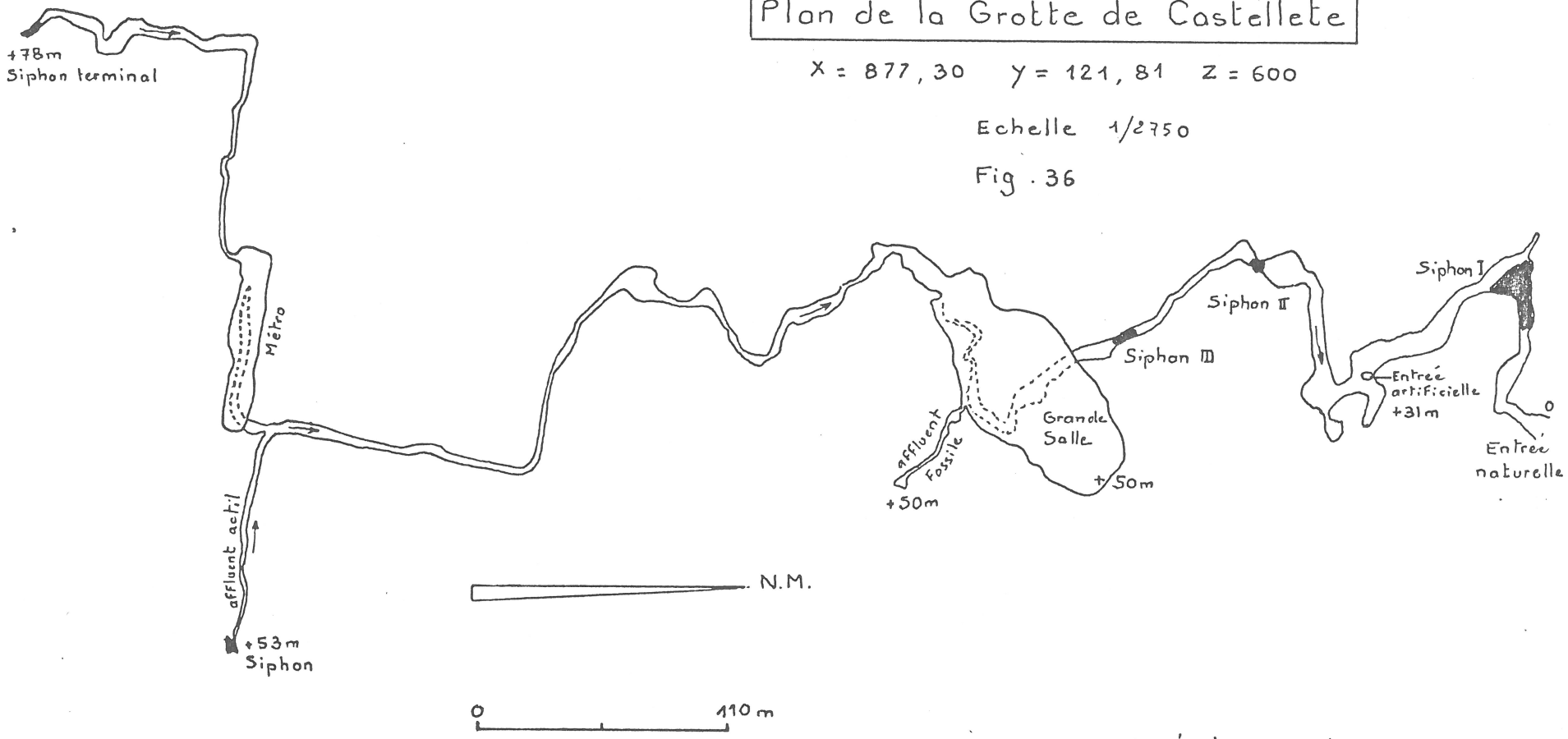
P. Gallocher

Plan de la Grotte de Castellete

X = 877,30 Y = 121,81 Z = 600

Echelle 1/2750

Fig. 36

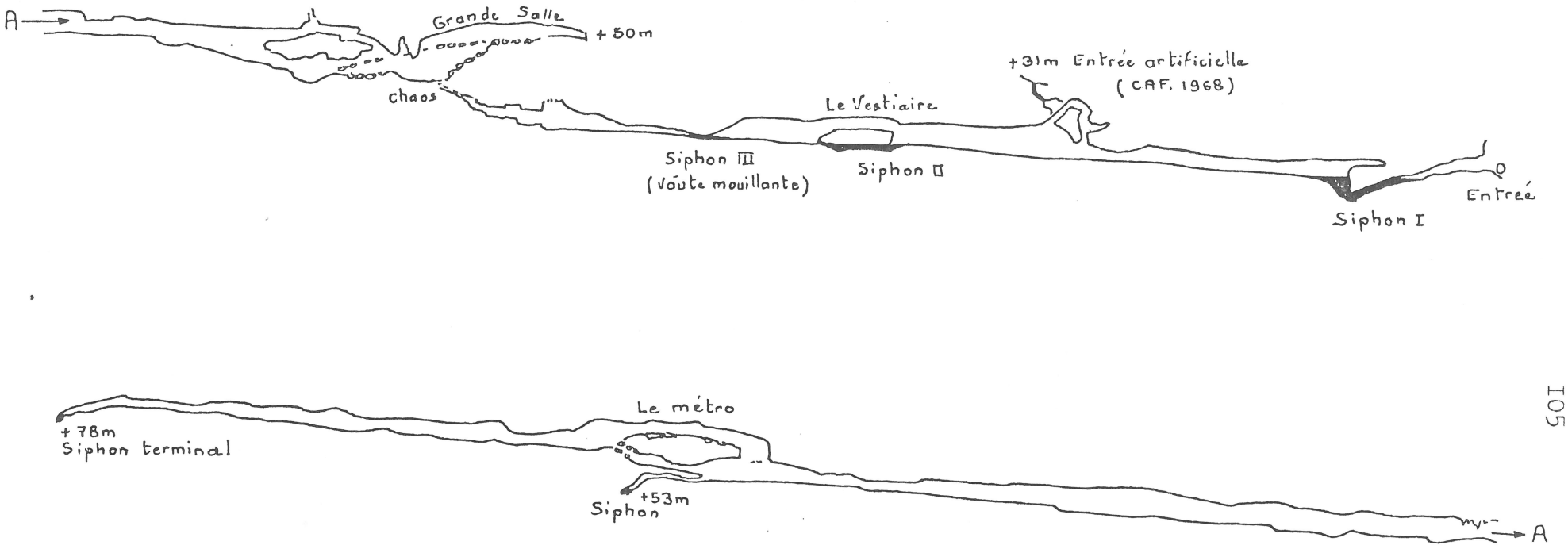


Levés topographiques 1980

S.C.M. - C.A.F

G. Acquaviva

P. Pellegrin



105

Coupe de la Grotte de Castellete

Echelle 1/2750

Fig. n° 37

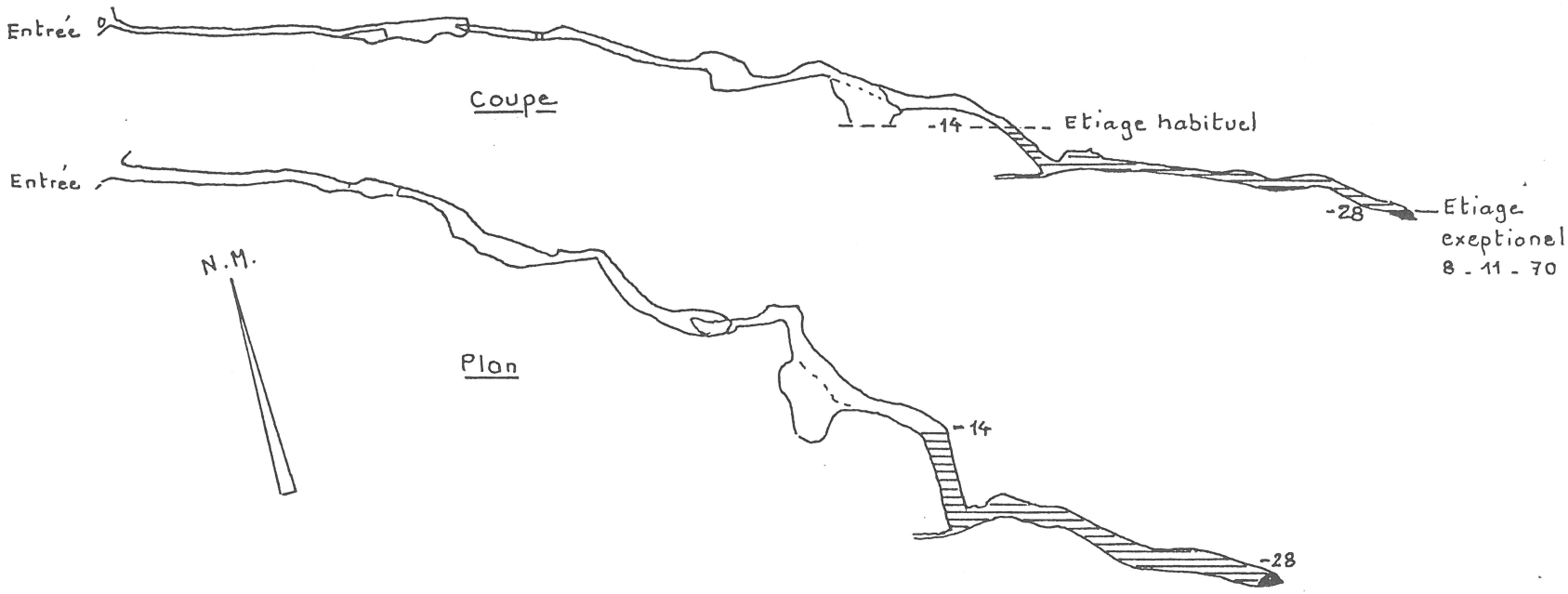
0 110 m

Levés topographiques 1980

S.C.M. - C.A.F

G. Aquoviva

P. Pellegrin



Le Trou des Moulins

x = 877,73 y = 121,95 z = 505

Echelle 1/1250

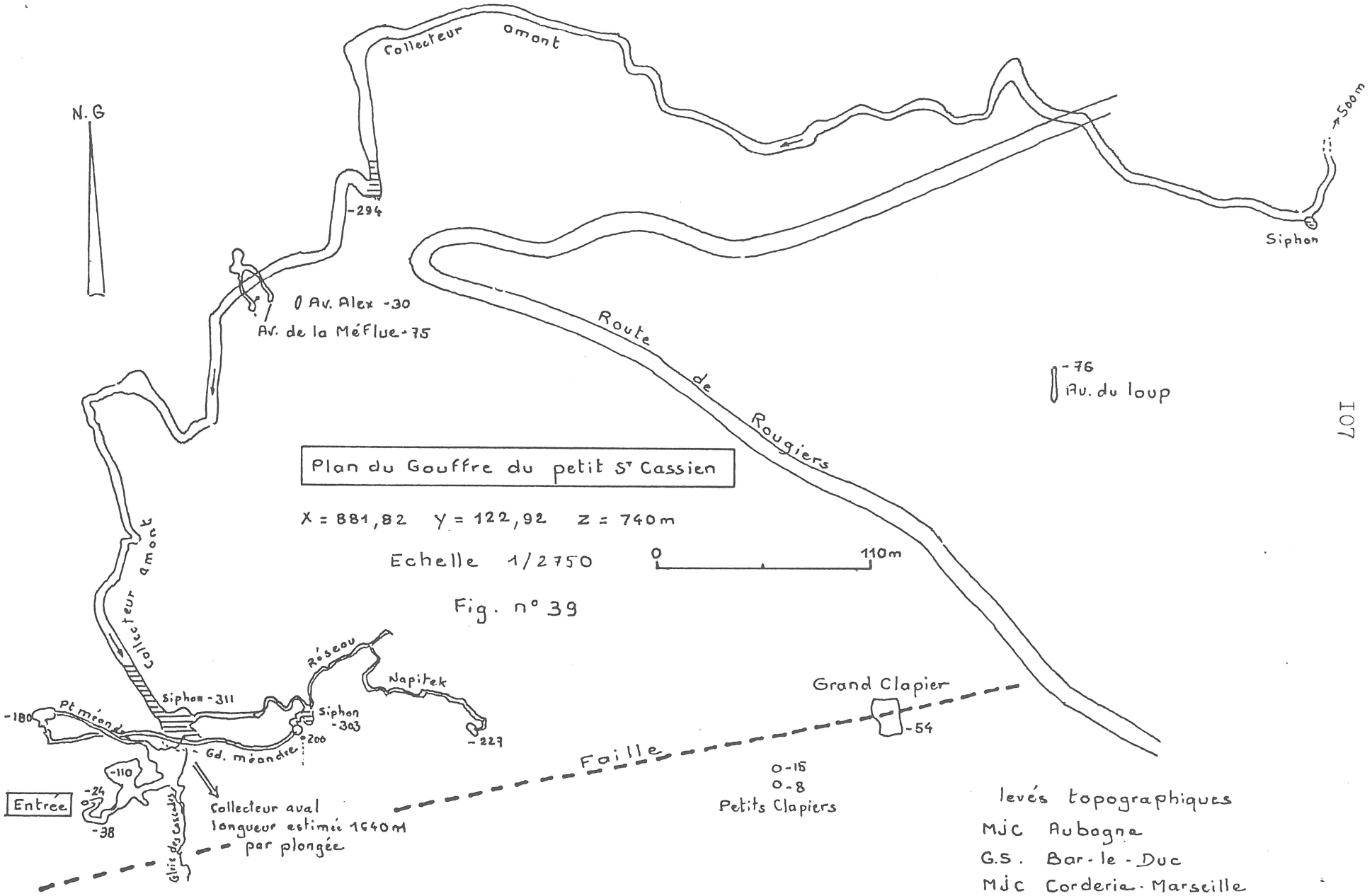
0 50 m

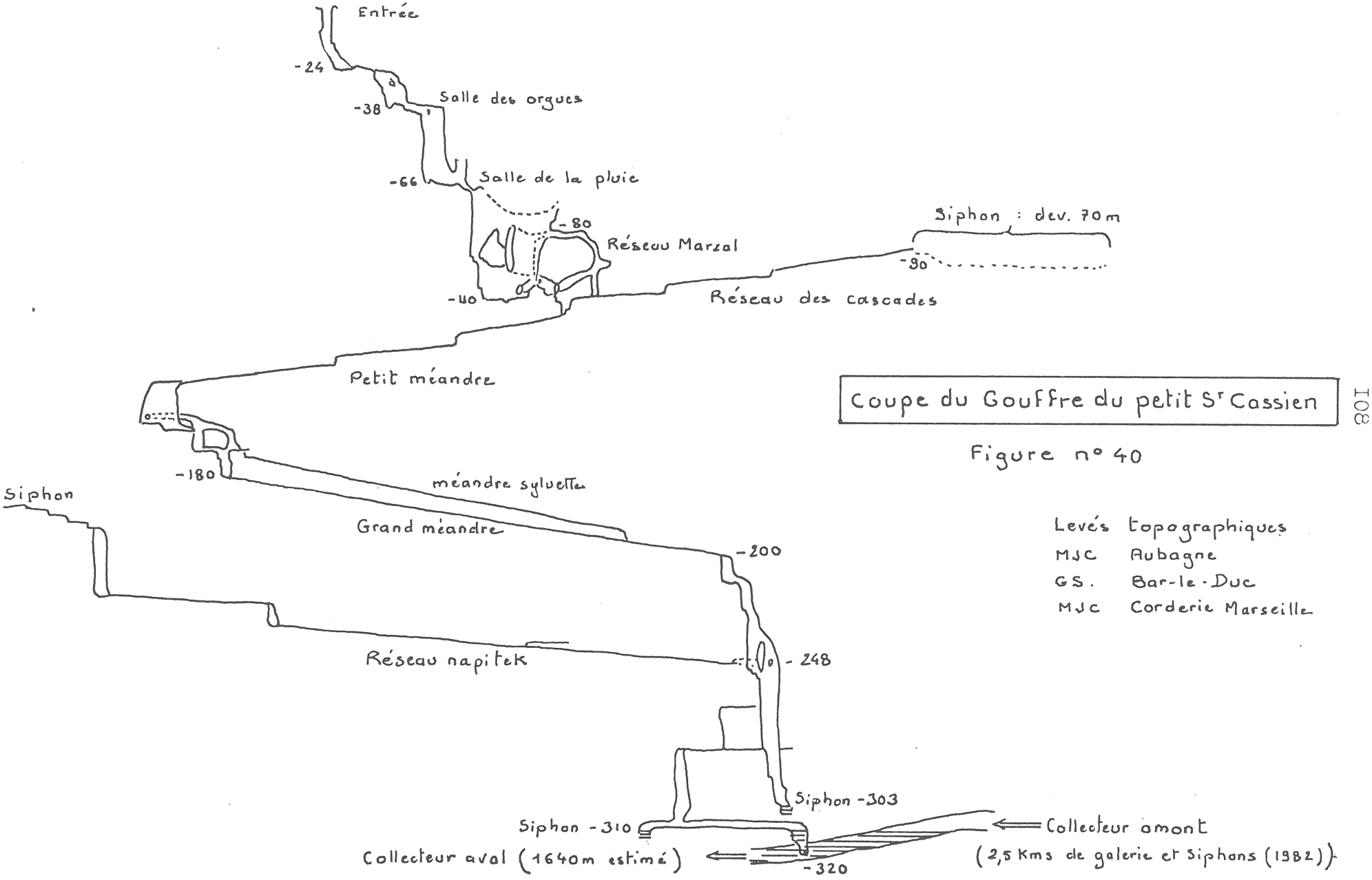
Fig. n° 38

Levés topographiques 1960 - 1970

S.C.M. - CAF

A. Aubin - J. Basso - J. Mazet

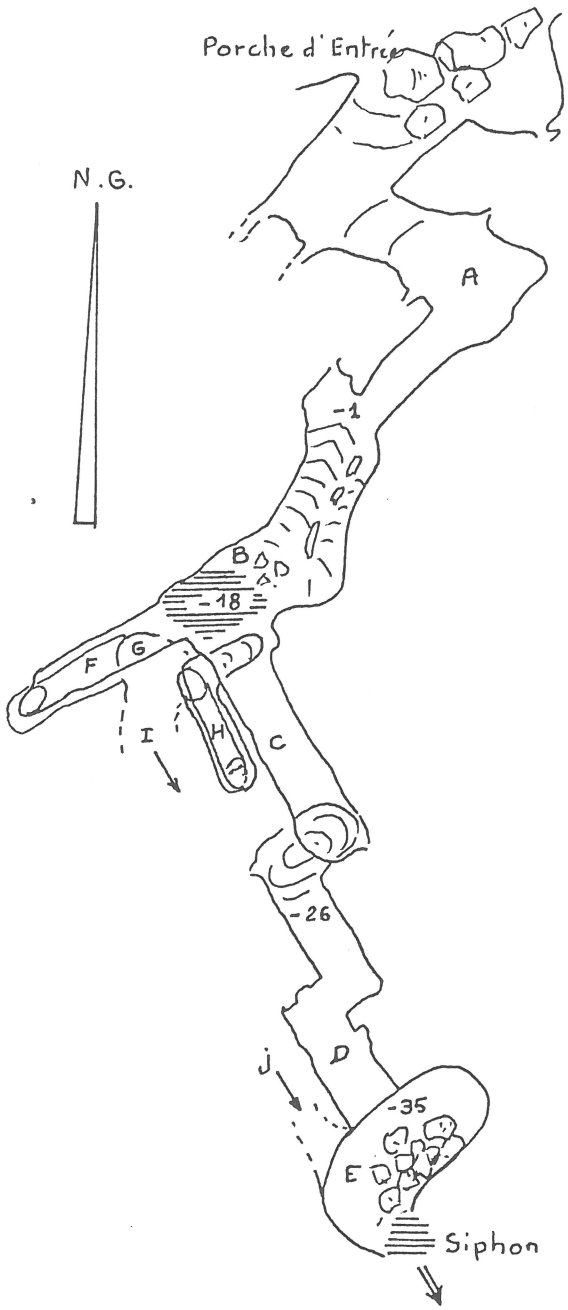

N.G
Collecteur amont
-294
Av. Alex -30
Av. de la Méflue -75
Siphon
Route de Rougiers
-76
Av. du loup
Plan du Gouffre du petit St Cassien
X = 881,82 Y = 122,92 Z = 740m
Echelle 1/2750
0
110m
Fig. n° 39
Collecteur amont
Réseau
Napitek
Siphon -311
Siphon -303
-180
Pt méandre
Gd. méandre
200
-227
Grand Clapier
-54
Faille
-110
-24
-38
Entrée
Glris des Cascades
Collecteur aval
longueur estimée 1640m
par plongée
0-15
0-8
Petits Clapiers
levés topographiques
MJC Aubagne
G.S. Bar-le-Duc
MJC Corderie-Marseille



Coupe du Gouffre du petit Sr Cassien

Figure n° 40

Levés topographiques
MJC Aubagne
GS. Bar-le-Duc
MJC Corderie Marseille



Grotte de la Grande Foux

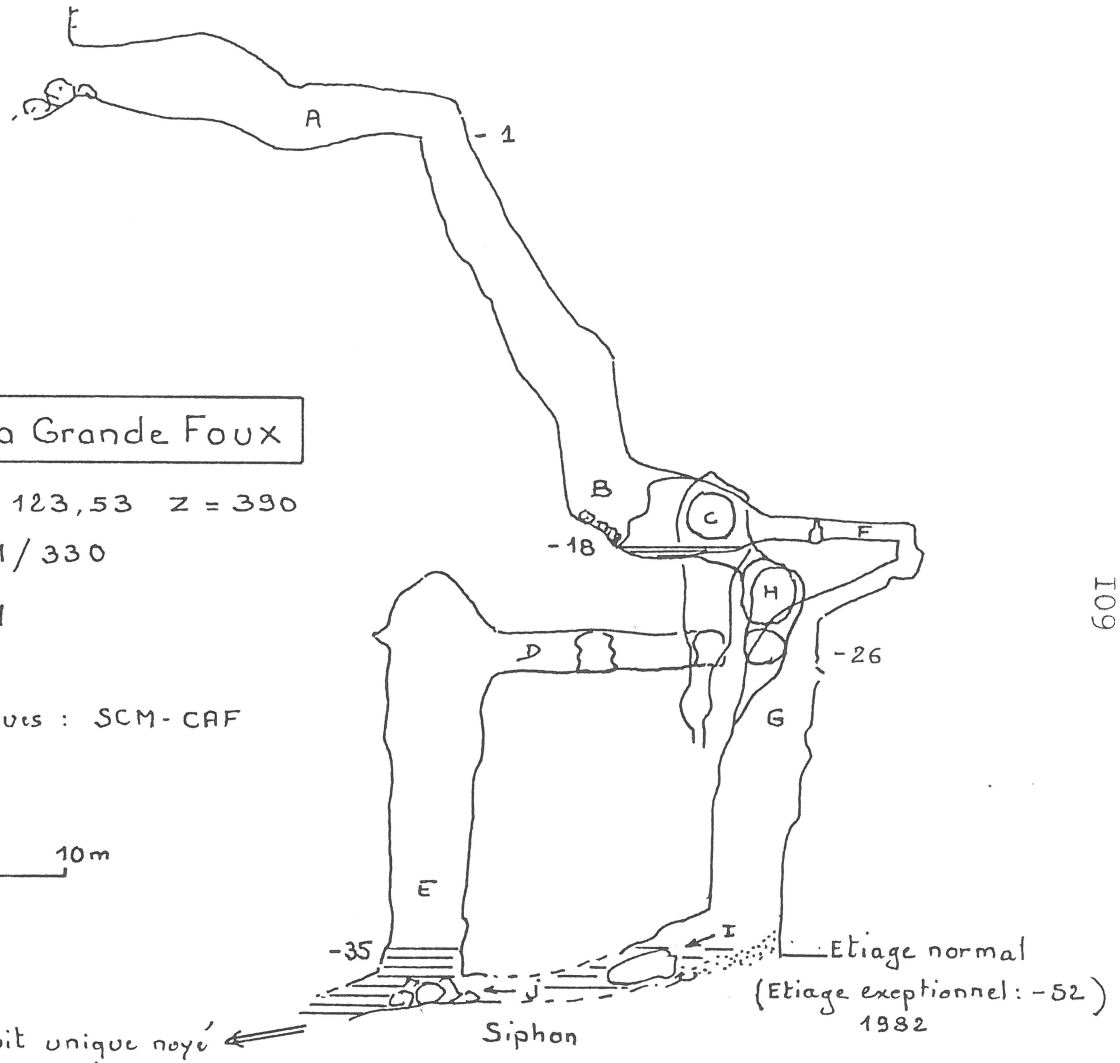
X = 880,32 Y = 123,53 Z = 390

Echelle 1/330

Fig. n° 41

Levés topographiques : SCM - CAF

0 10m



Horizon	AII	AI2	AI3	Bt
Profondeur en cm	0-4	4-9	9-I4	I4-26
Couleur Munsell (I00µ)	7,5YR 5/4	7,5YR 5/4	7,5YR 5/6	5YR 5/6
Sable gros.(2mm-500µ)%	0,57	0,53	0,58	0,25
Sable moy.(500µ-200µ)%	0,65	0,65	0,47	0,32
Sable fin (200µ-50µ)%	24,I0	27,20	25,80	I3,60
Limon gros.(50µ-20µ)%	38,60	30,50	35,40	24,40
Limon fin (20µ-2µ)%	I7,00	2I,00	20,00	28,00
Argile 2µ%	I3,00	I6,00	I4,00	29,00
Matière organique %	4,0	2,3	I,6	I,5
Humidité %	2,I	I,7	2,0	2,8
Ca CO3 %	2,5	2,5	0,4	0,6
pH eau	7,I	6,8	6,8	7,2
Fer libre %	-	0,3	-	2,2
Fer total %	-	I,8	-	3,6
Fer libre/fer total %	-	I6,6	-	6I,I
Md (µ)	7I	74	74	7I
$\bar{X}$ (µ)	68	74	72	70
So	I,I6	I,I4	I,I4	I,I5
As	+0,20	-0,07	0	0
K réel	0,23	0,24	0,24	0,24
K théorique	0,25	0,25	0,25	0,25
Sigma (α)	2,2	2,0	2,0	2,I

Tableau I3 Analyse pédologique de la station de la Citerne I

Horizon	AI	Bt
Profondeur en cm	0-I0	I0-2I
Couleur Munsell (I00µ)	5YR 4/4	5YR 5/6
Sable gros.(2mm-500µ)%	0,42	0,I5
Sable moy.(500µ-200µ)%	0,44	0,I9
Sable fin (200µ-50µ)%	I2,53	7,65
Limon gros.(50µ-20µ)%	28,00	I0,20
Limon fin (20µ-2µ)%	2I,00	I8,00
Argile 2µ%	29,00	56,00
Matière organique %	4,8	2,4
Humidité %	3,6	5,4
Ca CO3 %	2,5	3,0
pH eau	6,6	7,I
Fer libre %	I,7	2,8
Fer total %	2,7	4,2
Fer libre/fer total %	62,9	66,6
Md (µ)	88	74
$\bar{X}$ (µ)	88	72
So	I,II	I,I5
As	0	0
K réel	0,2I	0,23
K théorique	0,27	0,25
Sigma (α)	I,45	2,I5

Tableau I4 Analyse pédologique de la station de la Citerne II

Horizon	AI	Bt
Profondeur en cm	0-II	II-25
Couleur Munsell (I00µ)	7,5YR 5/4	5YR 5/6
Sable gros.(2mm-500µ)%	0,56	0,44
Sable moy.(500µ-200µ)%	0,48	0,3I
Sable fin (200µ-50µ)%	II,I2	7,63
Limon gros.(50µ-20µ)%	24,20	I9,50
Limon fin (20µ-2µ)%	26,00	29,00
Argile 2µ%	30,00	36,00
Matière organique %	3,8	2,4
Humidité %	3,8	4,6
Ca C03 %	5,9	4,2
pH eau	-	-
Fer libre %	2,5	3,0
Fer total %	3,6	4,6
Fer libre/fer total %	69,4	65,2
Md (µ)	46	57
$\overline{X}$ (µ)	-	-
So	-	I,23
As	-	-
K réel	-	-
K théorique	-	-
Sigma (α)	-	-

Tableau I5 Analyse pédologique de la station de la Lare

Horizon	AI	Bt
Profondeur en cm	0-I0	I0-23
Couleur Munsell (I00µ)	7,5YR 5/4	5YR 4/4
Sable gros.(2mm-500µ)%	0,92	0,4I
Sable moy.(500µ-200µ)%	I,I0	0,79
Sable fin (200µ-50µ)%	8,80	7,45
Limon gros.(50µ-20µ)%	I9,70	I3,00
Limon fin (20µ-2µ)%	33,00	23,00
Argile 2µ%	27,00	48,00
Matière organique %	5,4	3,4
Humidité %	5,0	3,4
Ca C03 %	2,5	0,4
pH eau	7,4	7,2
Fer libre %	I,5	I,3
Fer total %	3,9	5,7
Fer libre/fer total %	38,4	22,8
Md (µ)	77	78
$\bar{X}$ (µ)	92	I02
So	I,28	I,30
As	-0,52	-0,73
K réel	-	-
K théorique	-	-
Sigma (α)	4,6	4,9

Tableau I6 Analyse pédologique de la station de l'Hotellerie

Horizon	AI	Bt
Profondeur en cm	0-I0	I0-I8
Couleur Munsell (I00µ)	7,5YR 5/4	5YR 4/4
Sable gros.(2mm-500µ)%	I,58	0,7I
Sable moy.(500µ-200µ)%	I,75	0,95
Sable fin (200µ-50µ)%	8,92	5,36
Limon gros.(50µ-20µ)%	I9,00	I0,00
Limon fin (20µ-2µ)%	24,00	I3,00
Argile 2µ%	35,00	58,00
Matière organique %	3,2	2,5
Humidité %	3,3	6,3
Ca C03 %	0,6	0,6
pH eau	7,4	7,4
Fer libre %	3,3	I,0
Fer total %	4,0	5,5
Fer libre/fer total %	82,5	I8,2
Md (µ)	98	77
$\bar{X}$ (µ)	I3I	-
So	I,39	I,25
As	-0,8	-0,9
K réel	-	0,I3
K théorique	-	0,25
Sigma (α)	5	3,7

Tableau I7 Analyse pédologique de la station des Béguines

Tableau I8

Nombre de jours de pluie et pluviométrie mensuelle aux Béguines et à St Maximin (stations de la météorologie nationale).

	jours de pluie		millimètres d'eau	
	Béguines	St Max.	Béguines	St Max.
Année I98I				
Avril	I0	9	77	95
Mai	9	6	50	60
Juin	4	2	60	76
Juillet	5	4	43	30
Août	I	I	I	I
Septembre	I2	9	4I	80
Octobre	5	4	33	44
Novembre	0	0	0	0
Décembre	I7	I4	28I	259
total	63	49	586	645
Année I982				
Janvier	7	3	28	I5
Février	7	6	30	30
Mars	8	4	67	34
Avril	6	6	52	39
Mai	5	3	8	9
Juin	7	7	2I	56
Juillet	2	2	I	28
Août	5	5	5I	55
Septembre	6	5	36	I7
Octobre	I3	I0	I42	I35
Novembre	I2	I0	I60	I83
Décembre	I0	9	4I	69
total	88	77	637	670
Année I983				
Janvier	0	0	0	0
Février	8	5	88	95
Mars	7	5	87	8I
Avril	I2	8	6I	3I
Mai	5	5	38	42
Juin	6	8	53	70
total	38	3I	327	3I9

Tableau I9

Températures mensuelles sous abri en degrés centigrades aux Béguines (station de la météorologie nationale).

	Moyenne minimale	Moyenne maximale	Moyenne générale
Année I98I			
Avril	5,2	I5,0	I0,I
Mai	7,I	I7,0	I2,I
Juin	II,I	22,8	I7,0
Juillet	II,0	23,9	I7,4
Août	II,5	26,I	I8,8
Septembre	I0,5	2I,6	I6,I
Octobre	6,4	I5,6	II,0
Novembre	I,6	II,I	6,3
Décembre	-0,5	7,I	3,3
Année I982			
Janvier	2,7	9,3	6,0
Février	-0,3	8,4	4,0
Mars	0,2	9,4	4,8
Avril	2,8	I4,0	8,3
Mai	6,0	I9,0	I2,5
Juin	I2,5	23,8	I8,2
Juillet	I4,6		
Août	I2,2	25,I	I8,7
Septembre	II,4	23,0	I7,2
Octobre	6,0	I5,0	I0,5
Novembre	4,0	II,0	7,6
Décembre	0,2	7,7	4,0
Année I983			
Janvier	-0,3	9,4	4,5
Février	-2,9	5,0	I,0
Mars	I,2	II,0	6,0
Avril			
Mai	7,I	I6,0	II,5
Juin	I0,4	2I,7	I6,0
Juillet	I5,4	28,7	22,I

Tableau 20

Températures de l'air, de la litière et du sol, en degrés centigrades, à la station de la Citerne.

Date	Air	Litière	Sol/profondeur		
			4cm	25cm	50cm
Année I98I					
I/I0	20,5	I6,0	-	I4,5	-
I/II	I3,6	I2,I	I0,4	I0,5	-
I/I2	5,8	4,6	4,9	5,4	
Année I982					
I/I	7,4	5,2	4,7	4,9	-
I/2	8,0	5,3	5,0	4,9	-
I/3	7,6	4,4	3,5	4,5	-
I/4	I4,4	II,0	I0,2	7,9	-
I/5	II,4	9,2	7,7	8,3	-
I5/5	23,9	I7,3	I4,8	I2,4	II,4
I/6	I7,7	I6,5	I3,8	I3,I	I2,5
I5/6	25,6	2I,0	I7,5	I5,2	I4,2
I5/7	29,2	22,8	20,7	I8,2	I6,7
I/8	20,3	I7,6	I6,2	I6,9	I6,5
I5/8	22,I	I9,7	I7,4	I7,2	I6,6
I/9	2I,3	I8,2	I8,2	I6,8	I6,3
I5/9	I6,5	I5,2	I4,8	I5,6	I5,5
I/I0	2I,9	I6,8	I5,0	I4,2	I4,3
I5/I0	I0,5	I0,3	I0,2	II,2	II,8
I/II	II,8	I0,6	9,9	I0,I	I0,8
I/I2	4,7	6,4	6,8	8,3	9,I
I5/I2	0,5	5,4	5,2	6,6	7,7
Année I983					
I/I	5,7	4,7	5,I	5,5	6,5
I/2	8,7	6,5	6,7	5,7	5,7
I5/2	-I,0	-0,7	-0,4	I,8	3,4
I/3	8,5	5,4	3,0	3,4	4,0
I5/3	8,6	8,0	7,0	6,5	6,5
I/4	6,I	6,3	6,5	5,5	5,6
I5/4	20,3	I5,2	8,5	7,4	7,6
I/5	I7,0	I3,I	I3,2	I0,8	I0,I
I5/5	I5,9	I3,3	I3,I	II,6	I0,7
I5/6	25,6	2I,8	I7,4	I5,0	I4,2

Tableau 2I

Températures de l'air, de la litière et du sol, en degrés centigrades, à la station des Béguines

Date	Air	Litière	Sol/profondeur	
			4cm	20cm
Année I98I				
I/I0	I9,I	I5,5	-	I2,8
I/II	9,8	8,2	7,7	7,8
I/I2	2,7	0,6	0,7	I,5
Année I982				
I/I	5,8	3,2	2,6	3,0
I/2	7,0	4,5	2,8	2,8
I/3	6,5	3,8	I,8	2,5
I/4	I5,9	II,8	I0,3	7,3
I/5	I8,5	I6,4	I2,5	8,9
I/6	20,4	I8,0	I6,2	I4,I
I5/7	28,2	24,I	I9,9	I9,5
I5/8	24,5	20,7	I8,8	I8,0
I5/9	24,7	I7,3	I4,8	I4,9
I5/I0	8,7	9,0	9,0	9,4
I/I2	7,7	6,6	5,I	5,9
Année I983				
I/I	-2,0	-0,2	0,9	2,I
I5/2	-I,4	-I,6	-I,I	-0,2
I5/3	I0,6	I0,7	7,6	6,I
I5/4	I7,0	I6,6	9,3	7,I
I5,5	I3,3	II,2	I0,2	I0,0

Tableau 22

Rayonnement global d'origine solaire journalier, moyen, en joules/cm^2 (Ig x 4,I8) (station météo Marseille - Marignane)

Année I98I	
Avril	I774
Mai	2II8
Juin	25I3
Juillet	2520
Août	2229
Septembre	I553
Octobre	II38
Novembre	733
Décembre	479
Année I982	
Janvier	649
Février	8I9
Mars	I49I
Avril	20I2
Mai	2375
Juin	2397
Juillet	2452
Août	2I69
Septembre	I63I
Octobre	I093
Novembre	603
Décembre	492
Année I983	
Janvier	720
Février	-
Mars	I4I9
Avril	I693
Mai	2207
Juin	239I
Juillet	247I

Tableau 23

Valeurs des pH des sols des stations de la Citerne I et II, de la Lare, de l'Hotellerie et des Béguines aux deux niveaux A et B du profil pédologique.

Stations	Dates des prélèvements de sol									
	30/I/83		I2/3/83		23/4/83		3/6/83		8/7/83	
	eau	Kcl	eau	Kcl	eau	Kcl	eau	Kcl	eau	Kcl
Cit I A	6,85	6,45	7,35	7,I5	7,00	6,50	7,I0	7,65	6,45	5,95
Cit I B	7,55	7,25	6,95	6,75	6,80	5,75	7,20	6,55	6,75	6,35
Cit II A	5,80	4,75	6,25	5,80	6,75	5,95	7,20	6,30	6,I5	4,95
Cit II B	6,75	5,00	6,55	5,30	7,85	7,I0	6,95	5,85	6,75	6,20
Hot A	7,00	6,90	7,45	7,20	7,45	6,65	7,60	7,20	7,65	7,55
Hot B	6,75	5,85	7,55	6,90	7,30	6,65	7,65	7,20	7,I5	6,80
Lare A	-	-	6,95	6,85	7,35	7,05	7,20	7,I5	7,I5	7,20
Lare B	7,30	6,I5	7,60	6,90	7,75	6,70	7,70	6,95	7,35	7,05
Beg A	7,45	6,40	7,65	6,85	7,40	7,I5	7,70	7,I0	7,I0	6,85
Beg B	7,55	6,65	7,30	6,50	7,55	6,65	7,30	6,05	7,30	6,35

DOCUMENTS UTILISES

I) Cartes topographiques I.G.N. I/25.000

Aix-en-Provence Nº 7-8
Aubagne Nº 3-4
Cuers Nº I-2

2) Photos aériennes

Marseille - Aubagne I955 3I45-3245
Nº I67, I68, I69, I70, I73, I74

Martigues - Cannes I95I 3I44-3644
Nº 50, 5I

3) Cartes géologiques B.R.G.M. I/50.000

Aix-en-Provence (XXXII-44)
Aubagne-Marseille
Cuers (XXXIII-45)

4) Carte climatique détaillée de la France C.N.R.S.

coupure de Marseille
éditions Ophrys I0 r. de Nesle 75006 Paris

5) Signes spéléologiques conventionnels

Union Internationale de Spéléologie
CERGH Mémoire NºI4
éditions C.E.R.G.A. I978

ORGANISMES SOLLICITES

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
Domaine de Lumigny Marseille
(fourniture échantillon de calcaire urgonien)

CENTRE D'ETUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES Louis EMBERGER
Route de Mende BP 505I 34033 Montpellier - Cedex
(mesures physico-chimiques)

CENTRE DE METEOROLOGIE NATIONALE
Route de Galice Aix-en-Provence
(pluviométrie, températures, rayonnement solaire)

INSTITUT DE GEOGRAPHIE - LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE
24, avenue Robert Schuman I362I Aix-en-Provence
(analyses des sols)

SPELEO-CLUB DE MARSEILLE - CLUB ALPIN FRANCAIS
I2 r. Fort Notre Dame Marseille 7e
(plans cavités)

BIBLIOGRAPHIE

AGAFONOFF V. et GRAZIANSKY P. (I973) Contribution à l'étude des sols rouges méditerranéens de France. R G P G D. 6, 2, p II9-I30

A.I.H.S. (I965) Hydrologie des roches fissurées. Colloque de Dubrounik

ALLEGRE JC. et MICHARD G. (I973) Introduction à la géochimie P U F 220p

AUBERT G. (I965) Classification des sols. Tableau des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM. Ch ORSTOM Pédol. vol III 3 pp 269-288

AUBERT G. et BOULAINE J. (I967) La Pédologie "Que sais-je?" P U F 352 I26p

AUBOUIN J. BROUSSE R. et LEHMAN JP. (I968) Précis de géologie (3 tomes) Dunod

AUBOUIN J. CHOROWICZ J. et LE DORE N. (I966) Contribution à l'étude géologique du versant nord de la Lare, les collines d'Encauron et des Lagets. Bull. Soc. Géol. Fr. p. 938-945

AVIAS J. (I968) Sur la méthodologie en hydrogéologie karstique M C E R H, I (I964) p. 5-20

AVIAS J. (I978) L'importance économique et humaine des régions karstiques et la nécéssité de la protection de l'environnement karstique. In " le karst, son originalité physique, son importance économique" Coll. de Tarbes AGSO, p. 7-20

BADIN L., MAYA C. (I97I) Etude des circulations souterraines par fluorimétrie. Rapport SRAE Franche-comté, 33p

BAKALOWICZ M. (I975) Géochimie des eaux karstiques et karstification. Ann. de Spéléo. 30,4, p.58I-589 CNRS

BIROT P. (I966) Le relief calcaire. Cours CDU 238p

BLANC J.J. (I96I) Réflexions sur les anciens karts de la Provence Bull. Mus. Anthrop. Préhist. Monaco 8, p.63I-638

BLEAHU MD. (I974) Morphologia carstica Ed Stiintifica, Bucaresti 590p

BOEGLI A. (I960) Les phases de la dissolution calcaire et leur importance pour les problèmes karstiques. Rass. Spel. It. Vol. 4 Como.

BONIFAY E. (I957) Age et signification des sols rouges méditerranéens en Provence. C.R. Acad. Sc. Paris séance du I7/5/57 pp 3075-3077

BOSREDON S. (I979) Contribution à l'utilisation des traceurs fluorescents en hydrologie karstique. Etude de la fluorescence naturelle. DES IGL, USTL, 84p

BONTE A. (I955) Sur quelques aspects de la dissolution des calcaires. 80e congrés des Sociétés Savantes. p. I09-II6

BONTE A. (I955) Sur la formation et l'évolution des poches de dissolution. C.R.Ac. Sci. t. 240p I788. I790.

BONTE A. (I963) Les remplissages karstiques. Sédimentology, 2, p. 333-340

BOTTNER P. et LOSSAINT (I967) Etat de nos connaissances sur les sols rouges du bassin méditerranéen. Sc. du sol I pp 49-80

BOTTNER P. (I97I) La pédogénèse sur roches-mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine sud de la France. Thèse Sc. Montpellier 27Ip

BOULAINE J. (I96I) Facteurs de formation des sols rouges méditerranéens. Sols Africains VI 2 et 3 pp 249-272

BOULAINE J. (I966) Sur les facteurs climatiques de la génèse des sols rouges. C.R. conf sol médit. Madrid p.28I-284

BOULAINE J. (I967) Problèmes posés par les sols rouges méditerranéens. Bull. Ass. des géogr. Franc. 354 pp 2-I6

BOURRIE G. (I976) Relations entre le pH, l'alcalinité, le pouvoir tampon et les équilibres de C02 dans les eaux naturelles. BAFES SS, 3, p I4I-I59

BRAUN-BLANQUET J.,ROUSSINE N., NEGRE R. (I952) les groupements végétaux de la France méditerranéene CNRS 297p.

BRICHETEAU J. (I954) Sur un exemple de séquence de sol rouge méditerranéen. Bull. AFES 55p. I39-I48

CALLOT G. Analyse d'un système géopédologique régional. tome I et II thèse INRA Service des sols. 34060 Montpellier Cedex

CALLOT G., CHAMAYOU H., DELMAS B. (I980) Mise en évidence expérimentale des phénomènes de dissolution et de reprécipitation simultanées de la calcite, conséquences pédogénétiques. Science du sol

CASTANY G. (I967) Traité pratique des eaux souterraines Dunod Paris 66Ip

CASTANY G., MARGAT J. (I977) Dictionnaire français d'hydrogéologie BRGM 249p

CASTANY G. (I982) Principes et méthodes de l'hydrogéologie Bordas édit. Dunod Université coll. 236p

COLLECTIF GS.MJC Aubagne, GS.MJC Corderie-Marseille: "Le gouffre du petit St Cassien" CDS I3 Avril I983 75p

COLLOQUE : Cristallisation, déformation, dissolution des carbonates. Bordeaux I980. Inst. géodynamique 436p

COMMISSION AIH pour l'hydrogéologie du karst (I975) Hydrogéologie des terrains karstiques. Ed. A.Burger et L. Dubertret. Ass. internationale des hydrogéologues. Paris I90p

CORBEL J. (I957) Les karst du N.O. de l'Europe et de quelques régions de comparaison. Etude sur le rôle du climat dans l'érosion calcaire. Inst. des ét. rhodan. de l'Université de Lyon 54Ip

CORBEL J. (I959) Vitesse de l'érosion. Z. géomorph. NF 3 I-28 (I959a).Erosion en terrain calcaire. Ann. de géogr. 366, 97-I20 (I959b)

CORBEL J. (I96I) Sur la dissolution du calcaire. Revue géogr. de l'Est. vol. 4 pp363-365

CORNET C. (I965) Evolution tectonique et morphologique de la Provence depuis l'oligocène. Thèse Sc. Paris

COURBON P. (I984) Le massif de la Ste Baume, géologie et hydrologie. Spélunca mémoire Nº I3, XVème congrés de spéléologie Hyères I983, 8 fig. p. 59-68

CLAUZON G., VAUDOUR J. (I963) Observations sur les éffets de la pluie en Provence. Ann. Géom. Nº4

C.P.C.S. (I967) Classification des sols. Labo de géologie et pédologie. Grignon ronéo. 87p

CVIJIC J. (I960) La géographie des terrains calcaires. Monog. Acad. Serbe Sc. et Arts, Belgrade 34I 2I2p

DAUPHINE A. (I975) Les précipitations dans les midis français. Etude de climatologie inductive TDELSH, FLSH, Nice

DELEUIL G. (I943) Bibliographie botanique complète du massif de la Ste Baume. Bull. Soc. Linnéenne de Provence. T XIV, Nº3 Oct. I943 4Ip

DEMANGEOT J. (I967) Sur une courbe de dissolution des calcaires en montagne méditerranéene. Mem. Doc. C.N.R.S. phénomènes karstiques, t.I, vol. 4, pp. I85-I93

DERRUAU M. (I962) Précis de géomorphologie. Ed. Masson Paris 4I3p

DROGUE CL. (I963) Sur l'utilisation des ions naturels en solution comme traceurs dans les aquifères calcaires. Ann. de spéléologie I8 S 405-408 I Abb Lons-le Saunier I963

DROGUE CL. (I969) Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques d'aprés l'exemple de quelques karsts périméditerranéens. Thèse d'état Montpellier 482p

DUCHAUFOUR PH. (I968) L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Masson et Cie ed. Paris 9Ip

DUCHAUFOUR PH. (I965) Précis de pédologie. 2eme ed. Masson et Cie Paris 48Ip

DURAND,R. DUTIL P. (I97I) Premiers résultats sur l'altération expérimentale des roches calcaires et dolomitiques Ann. Agron. 22 : 397

ENJALBERT H. (I967) La génèse des reliefs karstiques dans les pays tempérés et tropicaux. Essai de chronologie. CNRS Mémoires et Documents, 4, p. 295-328

ERHART H. (I956) La génèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson et Cie, Paris 83p

FABRE G. et AUDETAT M. (I978) Signes spéléologiques conventionnels (union internationale de spéléologie) CERGH Mémoire Nº I4, 44p Montpellier

FABRE G. (I976) (Coll. J.NICOD) Carte de karstologie physique du midi méditerranéen français et des alpes du Sud ERA 282 trav. 5 p. II3-II8

FABRE G. (I977c) Erosion cryptokarstique actuellement active dans le SE de la France. Actes 7º congrés inter. spéléo. Sheffield p.I83-I84

FABRE G. (I980) Recherches hydrogéomorphologiques sur les karsts du Languedoc oriental. Thèse d'état Géographie Université d'Aix - Marseille II

FABRE G. (I98I) Dissolution spécifique actuelle dans le karst du sud méditerranéen de la France. BAG Fr. I98I,58 Nº 48I-482 pp. 333-338

FABRE G., HAKIM B., NICOD J.(I976) Etudes hydrologiques et hydrochimiques sur quelques sources de Basse-Provence ERA 282, Trav. 5, p. I-40

FENELON P. et Coll. (I967) Vocabulaire français des phénomènes karstiques. MD CNRS Phénom. Karst. I, I3-68

FENELON P. (I972) Thèmes de recherches. Dissolution et précipitation du C03 Ca. Recherches géographiques en France 9 Montréal I972

FENELON P. (I973) Niveaux de base géographiques et niveaux de bases karstiques. Actes du 6º congrés Int. de spéléo. Olomovc 2 p. I2I-I29

FOUCAULT A. et RAOUL JF. (I980) Dictionnaire de géologie Paris Masson ed. pp33I

GALLOCHER P. (I952) Introduction à l'étude hydro-spéléologique du massif de la Ste Baume. Ext. Ann. spéléo t VII Fasc. 3

GAMS I. (I974) Kras. Izdala. Slovenska. matica V Ljubljana

GAMS I. (I979) Retention water in karst aréas et International comparative study of limestone solution by means of standard tablets. Actes du Symp. int. sur l' érosion karstique. U.I.S. Aix-en-Provence Marseille Nîmes I979 p. 7-I6 et 7I-73

GARGUILO H. (I969) Essai de pompage à la grande Foux de Nans. Spéléopérations SCM CAF Marseille

GEORGE P. et Coll. (I970) Dictionnaire de la géographie PUF 448p

GEZE B. (I947) Paléosols et sols dûs à l'évolution actuelle CR conf. Pédol. médit. Montpellier pp I40-I69

GEZE B. (I965) La spéléologie scientifique Coll. le Rayon de la Science, Ed. du Seuil Paris I90p.

GEZE B. (I96I) L'évolution karstique dans ses rapports avec les alternances climatiques quaternaires. Symp. int. spéléo. Varenna I960 Mém. 5, Tome I, pp III-I26

GEZE B. (I973) Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie. As. 28, I, I-20

GOGUEL J. (I963) Essai sur la synthèse tectonique de la Provence

GOGUEL J. (I965) Traité de tectonique. Masson et Cie, Paris

GRAS F. (I974) Application d'une méthode expérimentale à la détermination du pH et de la solubilité du CO3 Ca dans les sols calcaires. BAFES SS, I, p. 33-48

GUENNELON R. (I957) Etude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire. Bull. AFES 9I pp 942-96I

GUENNELON R. et BLANC R. (I966) Contribution à l'étude des formations rouges méditerranéennes. Bull. AFES I, pp 8-24

GUIEU G. (I966) Stratigraphie et structure du massif de la Lare C.R.Ac.Sc. p. 232I-2323

GUIEU G. (I968) Etude tectonique de la région de Marseille. Thèse science

GUILLET JL et NAVARRO R (I974) Etude de géomorphologie et hydrogéologie de la partie orientale de la Ste Baume. Mémoire de maitrise Institut de Géo. Aix-en-Provence

JENNINGS JN. (I97I) Karst (An introduction to Systematic Géomorphology, Volume Seven) M.I.T. Press, Cambridge-Massachusetts-London (Printed in Australia Sydney)

JORDA M. VAUDOUR J. (I980) Sols, morphogénèse et actions anthropiques à l'époque historique S.L. sur les rives nord de la méditerranée. Naturalia Monspetiensia Nº Hors série. Colloque sur la fondation L. Emberger Montpellier 9-I0 avril I980 p I73-I84

KUPPER M. (I980) Les vitesses d'érosion du calcaire. Thèse science Liège

LAMOUROUX M. (I967a) Altération des roches dures carbonatées. Hannon. Revue libannaise de géographie pp 25-34

LAMOUROUX M. (I967b) Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens. Sciences du sol, 2. pp 55-86

LAMOUROUX M. (I970) Influence des alternances saisonnières sur la dissolution des roches carbonatées (en région méditerranéenne) Sc. du sol I. pp 43-52

LAMOUROUX M. (I972) Etude des sols sur roches carbonatées. Pédogénèse fersiallitique au Liban. Mémoires O.R.S.T.O.M. 56, 266p

LE DORE N. (I965) Etude géologique du versant nord du massif de la Lare. D.E.S. Paris

LEGRAND B. (I976) Le lessivage des sols par les eaux météoriques Exemple de deux bassins nord-montpellierains. TDS. Géol. Appl. USTL, I66p

LLOPIS LLADO N. (I970) Fundamentos de hidrogéologia carstica Ed. Blume, Madrid 269p

MANGIN A. (I974)-(I975). Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse d'état. Ann. Spéléo CNRS Paris

MANGIN A., MOLINARI J., PALOC H., (I976) Les traceurs en hydrogéologie karstique. Leur apport à la connaissance des réservoirs aquifères calcaires. HB. Spec. 3-4, 26I-267

MARCELIN P. (I960) Sur la terre rouge. Bull. Soc. d'étude des Sc. Nat. Nîmes pp 67-7I

MASSE JP. (I976) Les calcaires urgoniens de Provence. Stratigraphie et paléontologie. Les paléoenvironnements et leur évolution. TDES Univ. Luminy 3t, 455+43p atlas photo.

MAZET J. (I979) Le massif de la Lare et son pourtour. Travaux ERA 282 VIIIbis, Inst. Géogr. Aix-en-Provence.

MAZET J. (I967) Etude hydrospéléologique du massif de la Ste Baume Spéléopération GS. CAF Marseille

MEMOIRES ET DOCUMENTS DU CNRS (ouvrage collectif) (I968) Phénomènes karstiques CNRS Paris 392p.

MISKOVSKY JC. (I974) Le Quaternaire du midi méditerranéen. Stratigraphie et paléoclimatologie d'aprés l'étude sédimentologique du remplissage des grottes et abris sous roche. EQ, 3, 33Ip.

MONTARLOT Examen microscopique d'un sol rouge de garrigue. Ann. Agron. I944

MUXART R. et STCHOUZKOY T. (I969) Contribution à l'étude de la dissolution des calcaires dans les eaux naturelles. Ann. Spéléo. 24, I969. p639

MUXART T. et BIROT P. (I977) L'altération météorique des roches. Pub. dép. de Géogr. Uni. Paris-Sorbonne Nº4 279p.

NICOD J. (I967) Recherches géomorphologiques en Basse Provence calcaire. Thèse d'état. Aix-en-Provence 557p.

NICOD J. (I97I) Quelques remarques sur la dissolution des dolomies Bull. de l'Ass. des géogr. Fr. 389-390 p. 247

NICOD J. (I972) Pays et paysages du calcaire. PUF Paris 244p

NICOD J. (I970) Sur la vitesse d'évolution au cours du Quaternaire de quelques formes karstiques superficielles. Ann. de géogr. 433 p. 3II-324

NICOD J. (I975) Relations débit-teneur et débit-érosion dans les karsts méditerranéens. Actes du congrés Soc. Savantes de Besançon. Section de géographie

NICOD J. (I976) Sur l'évolution des versants des canyons karstiques dans les régions méditerranéennes. Actes Symp. sur les versants en pays méditerranéens. Aix-en-Provence I975 CEGERM 5, I5-20

NICOD J. (I977) Lapiés couverts, modalités et rôle de la corrosion crypto-karstique. Abh. 2. karst. und. Höhlenkunde A, I5, p. IOI-I2I

OLIVE J. (I972) Les plateaux au nord de l'Agnis. Mem. de Maitrise Aix-en-Provence (ronéotypé)

PALOC H. (I97I) Contribution à l'observation directe du milieu souterrain aux études hydrogéologiques dans les calcaires. Actes coll. d'hydrol. en pays calcaire. Besançon ASUB 3, I5, p. 59-63

PALOC H. et Coll. (I975) Glossaire d'hydrogéologie du karst. In "Hydrogéol. des terrains karstiques" A.I.H. pp I5I-I86

PAQUET H. (I969) Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse sc. Strasbourg ronéo. 348p

PEDRO G. (I976) Sols argileux et argiles. Eléments généraux en vue d'une introduction à leur étude. Bull. Ass. Fr. Etude du sol Nº2 p. 69-84

PICKNETT RG. The pH of calcite solution with and without magnésium carbonate présent, and the implications concerning réjusenated aggressiveness. Trans of BCRA I4 2p. I4I-I50

PLAISANCE G. et CAILLEUX A. (I958) Dictionnaire des sols. La maison rustique Paris 604p

RENAULT PH. (I960) Rôle de l'érosion et de la corrosion dans le creusement d'un réseau karstique. Rev. Géomorph. Dyn. France t XI, NºI, p I-4

RENAULT PH. (I967) La morphologie spéléologique. Spélunca. p5I-57

RENAULT PH. (I970) La formation des cavernes. Coll. "Que sais-je" NºI400 PUF Paris I27p

RENAULT PH. (I977) Remarques sur les notions de karst et de karstification et sur la définition de ces termes. Revue Norois Nº95bis p. 23-35

REVEL JC., MARGULIS H. (I972) Minéraux silicatés et pédogénèse des sols calcaires rouges méditerranéens. CRSAS, D, 275. p. 539-54I

ROQUES H. (I963) Répartition du C02 dans les karsts. Annales de spéléologie. I8, pp. I44-I46

ROQUES H. (I964) Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes CO-H2O-CaCO3. Thèse d'état Toulouse

ROQUES H. (I968) Chimie des eaux et hydrologie karstique. Mem. et Doc. CNRS 4 p. II3-I4I

ROGUE C. (I969) Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques, d'aprés l'exemple de quelques karsts périméditerranéens. Thèse d'état Montpellier 482p

RODIER J. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Paris (Dunod) I966.

ROUSSET C. (I967a) La terra rossa, jalon de l'évolution de sédiments glauconieux; Evolution et néogénèse dans le karst Provençal. CR. Acad. Sc. Paris t 265 série D pp. I353-I356

ROUSSET C. (I967b) Essai de mise au point sur les terra rossa Provençales. CR. Acad. Sc. Paris t 264 série D pp.I257-I259

ROUSSET C. (I968) Contribution à l'étude des karsts du SE de la France. Thèse d'état Marseille 533p

SEGALEN P. (I964) Le fer dans les sols. Initiation et doc. techn. Nº4 ORSTOM I50p

SEGALEN P. (I97I) La détermination du fer libre dans les sols à sesquioxydes. Cah. ORSTOM sér. pédol. IX I, pp3-27

SEGUIN B. (I975) Estimation de l'ETP en climat méditerranéen dans le SE de la France. AGR, 26, 6, p. 33-39

SCHWERTMANN U. et LENTZE W. (I966) "Couleur des sols et formes des oxydes de fer" Zeitschr. F. pflanzenernahrung Düngung, Bodenkunde II5 (3) pp 209-2I4

SCHOELLER H. (I962) Les eaux souterraines. Masson Paris 642p

SCHMITT C. (I955) Contribution à l'étude du système chaux-carbonate de calcium-acide carbonique-eau. Thèse Rennes série B Nº I2 (in "l'Eau" NºII I956)

TRICART J. (I965) Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson ed. 496p.

TROMBE F. (I952) Traité de spéléologie. Payot ed. Paris 376p.

VAUDOUR J. (I977) Contribution à l'étude d'une région méditerranéenne semi-aride: la région de Madrid. Altérations sols et paléosols. Thèse d'état Aix-en-Provence 744p.

ZOGOVIC D. (I965) Sur le rapport de la solubilité des calcaires et des dolomies. A.H.I.S.
Hydrologie des roches fissurées. Colloque de Dubrovnik 2 : 6I5

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Nº des Figures		Pages
I	Le massif de la Ste Baume dans son cadre provençal	5
2	Le massif de la Ste Baume: Carte topographique et situation des sites étudiés	6
3	Le massif de la Ste Baume: Carte et coupe structurale	7
4	Carte structurale du site de la Citerne	II
5	Carte de la végétation du site de la Citerne	II
6	Carte géomorphologique du site de la Citerne	I2
7	Situation des sources basses de l'Huveaune	I4
8	Caractéristiques hydro-chimiques de la source Lazare	I5
9	Carte structurale du site de la Lare	I8
I0	Carte de la végétation du site de la Lare	I8
II	Carte géomorphologique du site de la Lare	I9
I2	Caractéristiques hydro-chimiques de la source des Nayes	20
I3	Carte structurale du site de l'Hôtellerie	22
I4	Carte de la végétation du site de l'Hôtellerie	22
I5	Carte géomorphologique du site de l'Hôtellerie	23
I6	Formation hypothétique du poljé du Plan d'Aups	27
I7	Caractéristiques hydro-chimiques du sous-écoulement du Trou des Moulins	29
I8	Carte structurale du site des Béguines	3I
I9	Carte de la végétation du site des Béguines	3I
20	Carte géomorphologique du site des Béguines	32
2I	Le karst du plateau de St Cassien	35
22	Régime hydrologique de la grotte de la Foux à Nans-les-Pins	35
23	Le site de la Citerne : Répartition spatiale des sols rouges et profils caractéristiques	43
24	Le site de la Lare : Répartition spatiale des sols rouges et profils caractéristiques	50
25	Le site de l'Hôtellerie : Répartition spatiale des sols rouges et profils caractéristiques	54

26 - Le site des Béguines : Répartition spatiale des sols rouges et profils caractéristiques 58

27 - Texture des sols des stations expérimentales 62

28 - Précipitations et températures mensuelles aux Béguines et à St Maximin 68

29 - Courbes de l'E.T.P. et des précipitations sur le site des Béguines 70

30 - Températures du sol à la station des Béguines 79

3I - Températures du sol à la station I de la Citerne 79

32 - Gradient thermique des sols de la Citerne et des Béguines 80

33 - Ecarts maxima des températures dans les profils des sols de la Citerne et des Béguines 80

34 - Evolution du pH des sols des stations expérimentales 86

35 - Gouffre de la Grande Tourne I03

36 - Plan de la grotte de Castelette I04

37 - Coupe de la grotte de Castelette I05

38 - Le trou des Moulins I06

39 - Plan du gouffre du petit St Cassien I07

40 - Coupe du gouffre du petit St Cassien I08

4I - Grotte de la grande Foux I09

Nº des tableaux

I - Caractéristiques principales des sites expérimentaux 9

2 - Composition minéralogique des argiles dans les sols des stations expérimentales 63

3 - Composition des sables des sols des stations expérimentales 64

4 - Humidité des sols aux stations expérimentales 73

5 - Perméabilité des sols de la Citerne et des Béguines 76

6 - Teneurs en % de CO2 et Températures de l'air des litières aux stations expérimentales 83

7 - pH moyen des sols et des litières aux stations expérimentales 87

8 - Perte de poids des plaquettes et épaisseur de la tranche érodée correspondante 92

9 - Taux de dissolution moyen dans les profils des stations et valeur de la dispersion 93

I0 - Taux de dissolution moyen dans chaque station 94

II - Epaisseur de la tranche érodée dans chaque station en millimètres par millénaire 95

I2 - Relation entre le pH des litières et des sols et l'intensité de la décarbonatation I00

I3 - Analyse pédologique de la station de la Citerne I II0

I4 - Analyse pédologique de la station de la Citerne II III

I5 - Analyse pédologique de la station de la Lare II2

I6 - Analyse pédologique de la station de l'Hôtellerie II3

I7 - Analyse pédologique de la station des Béguines II4

I8 - Nombre de jours de pluie et pluviométrie mensuelle aux Béguines et à St Maximin II5

I9 - Températures mensuelles sous abri aux Béguines II6

20 - Températures de l'air, de la litière et du sol à la station de la Citerne II7

2I - Températures de l'air, de la litière et du sol à la station des Béguines II8

22 - Rayonnement global d'origine solaire journalier II9

23 - Valeurs des pH des sols des stations expérimentales I20

TABLE DES MATIERES

pages

AVANT-PROPOS I

SOMMAIRE II

INTRODUCTION

A - Le massif de la Ste Baume, généralités I

B - L'érosion karstique, état de la question 2

C - But et organisation du travail 4

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DES SITES EXPERIMENTAUX. DU MASSIF DE LA STE BAUME

Critères de sélection 9

Caractères généraux 9

CHAPITRE I : Le site de la Citerne

Végétation I0

Structure I0

Géomorphologie I0

Hydrogéologie I3

CHAPITRE II : Le site de la Lare

Végétation I6

Structure I6

Géomorphologie I6

Hydrogéologie I7

CHAPITRE III : Le site de l'Hotellerie

Végétation 2I

Structure 2I

Géomorphologie 24

Hypothèses sur la formation du poljé du Plan d'Aups 25

Le vallon de Castelette 28

CHAPITRE IV : Le site des Béguines

Végétation 30

Structure 30

Géomorphologie 33
Le karst profond 34
Hydrogéologie 36
CONCLUSION 38

DEUXIEME PARTIE : LES SOLS DES SITES EXPERIMENTAUX

Répartition générale des sols 4I
Analyses des sols 4I

CHAPITRE I : Les sols du site de la Citerne

A - Généralités 42
B - Description du profil des stations expérimentales
Profil CI 44
Profil CII 45
C - Commentaire 46
D - Pédogénèse et évolution 47

CHAPITRE II : Les sols du site de la Lare

A - Généralités 49
B - Description du profil de la station expérimentale (L) 49
C - Commentaire 5I
D - Pédogénèse et évolution 5I

CHAPITRE III : Les sols du site de l'Hotellerie

A - Généralités 52
B - Description du profil de la station expérimentale (H) 52
C - Commentaire 55
D - Pédogénèse et évolution 56

CHAPITRE IV : Les sols du site des Béguines

A - Généralités 57
B - Description du profil de la station expérimentale (B) 59
C - Commentaire 60
D - Pédogénèse et évolution 60

CONCLUSION 65

TROISIEME PARTIE : MESURES PHYSICO-CHIMIQUES ET MESURE DE LA VITESSE DE DISSOLUTION DES CALCAIRES DANS LES SOLS DES STATIONS EXPERIMENTALES

Conditions expérimentales générales 67

CHAPITRE I : Données climatiques régionales

Pluviométrie et températures 68

Commentaire 69

Evapotranspiration 69

Commentaire 71

Conclusion 71

CHAPITRE II : Mesures d'humidité dans les sols des stations expérimentales

Méthode utilisée 72

Résultats 73

Commentaire 73

Conclusion 75

CHAPITRE III : Mesures de perméabilité dans les sols des sites de la Citerne et des Béguines

Méthode utilisée 76

Résultats 76

Commentaire 77

Conclusion 77

CHAPITRE IV : Mesures de la température des sols aux stations expérimentales de la Citerne et des Réguines

Méthodes utilisées 78

Résultats 78

Commentaire 81

Conclusion 82

CHAPITRE V : Mesures du CO2 des litières des sols aux stations expérimentales

Méthode utilisée 83

Résultats 83
Commentaire 83
Conclusion 84

CHAPITRE VI : Mesures du pH des sols aux stations expérimentales

Méthodes utilisées 85
Résultats 86
Commentaire 87
Conclusion 88

CHAPITRE VII : Mesure de la vitesse de dissolution des calcaires par la méthode des plaquettes

Principe de la méthode 89
A - Expérimentation
I) Calcaire utilisé 89
2) Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon 89
3) Préparation des plaquettes 90
4) Calcul de la surface des plaquettes .. 90
5) Pesée des plaquettes 90
6) Mise en place des plaquettes 90
7) Durée de l'expérience 9I
8) Retrait des plaquettes 9I
9) Etat des plaquettes à l'extraction ... 9I
B - Résultats 92
C - Analyse des résultats 93
D - Calcul des vitesses d'altération et valeurde la tranche érodée par millénaire ... 95
E - Conclusion relative à la méthode 96

SYNTHESE ET CONCLUSION GENERALE 98
ANNEXE S I02
BIBLIOGRAPHIE I22
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX I32
TABLE DES MATIERES I35