

DEPARTEMENT DU VAR

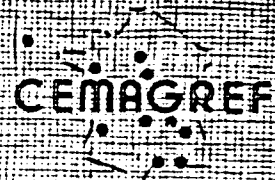
COMMUNE DE COGOLIN

UTILISATION DES EAUX USEES
PAR L'IRRIGATION EN FORET
MEDITERRANEENNE
L'EXPERIMENTATION DE COGOLIN

RAPPORT DE SYNTHESE

SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENCALE

Boulevard Pasteur - Le Tholonet 13603 AIX EN PROVENCE CEDEX 3
TELEX 420612 P - TEL 42 23 95 60



GROUPEMENT
D'AIX EN PROVENCE
LE THOLONET

MARS 1986

Cette étude a été réalisée grâce à la participation financière :

- du Ministère de l'Agriculture - Service de l'Hydraulique
- de l'Agence de Bassin R.M.C.
- du Conseil Région PACA
- de la Mission Méditerranée

Ont participé à la rédaction de ce rapport :

- Pour la Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençale :

- . Mr Marcel CADILLON
- . Melle L. TREMEA

- Pour le CEMAGREF - Groupement d'Aix en Provence :

- . Mr G. BENOIT DE COIGNAC
- . Mr A. MALAVAL
- . Mr C. RIPERT.

-ooOoo-

S O M M A I R E

I. - INTRODUCTION

II. - LES CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION

1/ - Le milieu naturel

2/ - L'aménagement du terrain d'irrigation

3/ - La qualité de l'eau d'irrigation

III. - LES RESULTATS

1/ - La fiabilité de l'installation

2/ - La réaction de la forêt

3/ - L'évolution de la qualité des eaux de percolation et de ruissellement

4/ - L'évolution des sols

5/ - Le problème des aérosols

IV. - CONCLUSIONS

-ooOoo-

1. - INTRODUCTION

Le projet entrepris par la commune de COGOLIN avait pour objectif de tester in situ la possibilité et l'intérêt de l'utilisation en forêt méditerranéenne d'eaux usées domestiques après un traitement plus ou moins poussé en station d'épuration. Cette utilisation présente en période estivale un double avantage :

- . éliminer une source de pollution pour le milieu naturel (cours d'eau ou milieu marin) à un moment où coïncident l'étiage des cours d'eau, l'utilisation maximale des plages, et la pointe de volume des eaux usées résultant de la saison touristique ;
- . constituer une ressource en eau complémentaire pour le milieu forestier dont la protection contre les incendies serait grandement facilitée par la création de pare-feu arborés. Accessoirement la productivité de la forêt, actuellement très faible, pourrait être augmentée de façon notable.

Cette expérimentation d'irrigation en forêt est installée à Cogolin depuis 1982 ; deux hectares et demi de forêt sont irrigués par aspersion et par micro-irrigation avec des effluents sortant d'un traitement biologique secondaire. Elle devait permettre d'appréhender :

- . la technique d'irrigation la mieux adaptée : aspersion ou micro-irrigation,
- . les effets sur la végétation : croissance des arbres et inflammabilité,
- l'épuration effective des eaux par le sol.

Les caractéristiques de cette parcelle (orientation au Nord, pente importante, faible épaisseur d'un sol de texture sablo-limoneuse reposant sur un horizon de micaschistes imperméables) imposaient de prendre certaines précautions pour éviter un ruissellement érosif et un écoulement d'eau incomplètement épurée à l'aval.

Le but de ce rapport est de présenter les conditions expérimentales et les résultats de trois ans de suivi concernant :

- . les techniques d'irrigation,
- . la réaction de la forêt
- . l'évolution physico-chimique et bactériologique des sols,
- . l'évolution des eaux de percolation et de ruissellement,
- . la qualité bactériologique des aérosols provoqués par l'irrigation par aspersion.

II. - LES CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION

2.1. - Le milieu naturel

2.1.1. - Le climat

. La pluviométrie : (figure 1) Durant l'expérimentation, le mois de juillet a été le mois le plus sec, les périodes pluvieuses hivernales se sont situées en octobre-novembre et février-mars.

Les pluies supérieures à 50 mm représentent plus de 60 % des événements pluvieux des 28 mois de suivi ; plus de 40 % d'entre elles sont supérieures à 100 mm soit 25 % des pluies sur la totalité de la période. Leurs effets sur les eaux de ruissellement ne sont pas négligeables aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif.

. Les températures : (figure 2)

Les températures maximales ont été obtenues en juillet et les minimales en février. Cela correspond donc à un comportement tout à fait classique en région méditerranéenne.

. Le déficit théorique en eau :

Il est exprimé par la différence entre la pluviométrie et l'évapotranspiration calculée durant la période de végétation d'avril à septembre.

Données en mm	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Saison
E.T.P.	91	144	166	195	154	109	859
Pluie	76	69	32	0	24	91	292
Différence	15	75	134	195	130	18	567

Grimaud (moyennes sur 10 ans).

Cette caractéristique montre combien est important le déficit estival en pluie et combien est forte la concentration hivernale des précipitations puisque plus des 2/3 des pluies ont lieu hors des périodes de besoins.

2.1.2. - La topographie

La zone I se présente comme un glacis à pente forte en amont, faible en aval, limité de part et d'autre par des ravines, ce qui donne une coupe topographique en travers convexe.

La zone II située à l'est du ravin central est un glacis à pente forte.

2.1.3. - La végétation

L'état actuel de la végétation résulte de l'action de l'homme ; la forêt de chêne liège occupait auparavant le terrain ; des incendies sont venus la clairsemer, des pins se sont installés par la suite entre les chênes lièges et une végétation de maquis ; bruyère, arbousier, cystes tend à se développer en sous-bois.

2.1.4. - La géologie

Les affleurements de roche observables à proximité du terrain présentent un faciès de gneiss s'apparentant à celui des micaschistes lorsqu'ils sont altérés. Le quartz est souvent présent sous forme de rognons et surtout de filons dont certains sont riches en galène, blende et chalcopryrite argentifères.

Ces filons peuvent favoriser l'infiltration des eaux météoriques en profondeur ce qui explique la présence d'eaux dans les anciennes galeries des mines de la Société Pennaroya qui a bien voulu mettre ce terrain à la disposition de la commune de COGOLIN pour cette expérience.

2.1.5. - L'étude des sols

L'étude pédologique du terrain a mis en évidence quatre types de sols se répartissant en fonction de la géomorphologie :

- sur les croupes ou les pentes fortes, le profil pédologique présente la succession d'horizons décrits ci-après.

- 0 - 10 / 20 cm Horizon brun 10 YR 5/3, à texture de sable limoneux, 5 à 20 % d'éléments grossiers sont constitués par des graviers de quartz peu altérés, à arêtes vives ; l'horizon est très poreux, friable, à structure peu nette généralisée, grenue, fine ; l'activité biologique est moyenne.

- 20 cm roche faciès de micaschistes à fraction fine restreinte 10 à 20 %.

- sur les pentes moyennes le profil pédologique présente :

- un horizon 0 - 20 cm identique à celui décrit précédemment

- un horizon 20 - 40/50 cm de couleur jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) à texture d'argile sableuse, possédant un pourcentage très variable d'éléments grossiers, à structure polyédrique fine à moyenne, peu poreuse.

- la roche altérée présentant un faciès de micaschistes.

- sur une partie plus colluviale, le profil se différencie de celui décrit par l'épaisseur des horizons :

Horizon A : 0 à 30/40 cm

Horizon B : 40 à 90/100 cm

Horizon C : 100 cm roche altérée

- en bordure de ruisseau, sur les pentes faibles et en exposition colluviale l'horizon B est absent et la roche altérée se situe à 50-60 cm.

Leurs caractéristiques physiques et chimiques sont les suivantes :

Les analyses granulométriques mettent en évidence deux catégories de matériaux :

- . un matériau sableux à sablo-limoneux plus ou moins riche en matière organique et qui constitue le sol

- . un matériau argilo-sableux, limono-argilo-sableux qui résulte de l'altération de la roche mère sous-jacente.

Ces granulométries conditionnent en grande partie les caractéristiques hydrodynamiques : réserves en eau, perméabilité.

- les pH plutôt acides varient entre 6 et 6,2

- ces sols apparaissent riches en matière organique sur tout le profil ; le sol proprement dit possède des teneurs variant entre 4,4 et 6,4 %.

- le sol est riche à très riche en azote (3 ‰) , l'horizon d'altération pauvre

- le rapport C/N est élevé, correct pour un sol non cultivé et témoigne d'une bonne minéralisation de la matière organique

- les capacités totales d'échange sont moyennes : 12 meq/100 g en liaison avec le faible pourcentage d'argile et essentiellement liées aux teneurs de matière organique.

- le complexe adsorbant est moyennement saturé, riche en calcium, en magnésium, le plus souvent pauvre en potassium excepté pour les horizons contenant de l'argile.

- ces sols apparaissent pauvres en phosphore total et phosphore assimilable.

2.2. - L'aménagement et la gestion du terrain d'irrigation

2.2.1. - Les installations d'irrigation

La station d'épuration de Cogolin fonctionne sur le principe des boues activées en aération prolongée et traite les effluents de 7.000 habitants en hiver, plus de 10.000 en été. Elle rejette ses effluents dans la Gisle qui se déverse dans le golfe de Saint Tropez à Port Grimaud.

Dans le cadre de cette expérimentation, les effluents sont prélevés à la sortie du décanteur secondaire.

Le poste de relèvement comprend :

- la bêche de stockage et d'aspiration de 30 m³ ; l'arrivée d'effluent est réglée par un robinet à flotteur,
- le groupe de pompage : pompe à axe horizontal multicellulaire Jeumont Schneider, débitant 20 m³/h sous 80 m CE dont 13 sont refoulés sur le périmètre expérimental et 7 sur le filtre flottant pour son nettoyage
- le matériel de filtration :
 - . filtre flottant autonettoyant de 40 m³/h en aspiration (vide de maille du tamis : 180 µm)
 - . filtre de sécurité de 25 m³/h en aval du groupe de pompage (vide de maille du tamis : 120 µm)
 - . le système de chloration avec bac de mélange de 260 l et pompe doseuse.
- le programmeur :
 - . il permet de programmer indépendamment les quatre zones de micro-irrigation par l'intermédiaire de quatre vannes électriques ainsi que la pompe doseuse.

La conduite d'amenée est en PVC série 10 bars à joints de caoutchouc de diamètre 98,8 x 110 mm. Sa longueur est 2.700 m. Une vidange a été montée au point bas du parcours.

La zone irriguée par aspersion (figure 3) est divisée en deux postes appelés I et II de 0,26 ha chacun. Sur chaque poste, la distribution est effectuée de la manière suivante :

- . 3 rampes fixes en alliage d'aluminium de 2" portant chacune 4 asperseurs couvrant la totalité du poste
- . écartement entre asperseurs : 18 mètres
- . écartement entre rampes : 12 mètres.

Les asperseurs, montés sur des allonges de 50 cm, sont de marque Rain-Bird de type 30 WH à une seule buse débitant 1,15 m³/h sous 3,5 bars. L'ouverture ou la fermeture de chaque poste

est manuelle grâce à une vanne à boule posée en dérivation sur la conduite d'amenée. La pression est réglée par une vanne à passage direct en bronze placée juste après la vanne à boule de sectionnement et est contrôlée sur un asperseur situé en milieu de rampe.

La surface totale irriguée en micro-irrigation est de 1,66 ha et répartie en 4 zones appelées A, B, C, D. La répartition de ces 4 zones est présentée à la figure 3.

Pour chacune de ces 4 zones, la distribution est assurée par des ajutages calibrés en laiton, de 1,2 à 2,1 mm de diamètre tous les 1/10 mm, type "conteneur" fabriqués par la Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône-Languedoc et prolongés par un tube conducteur $\varnothing 4 \times 6$ mm en polyéthylène jusqu'au plant à arroser.

Ces ajutages sont répartis tous les 4 mètres sur des rampes en polyéthylène. Les rampes sont fixées environ tous les 5 mètres sur les porte-rampes en polyéthylène. Pour passer du porte-rampes à la rampe, l'effluent est canalisé par un tuyau brise-charge dont la longueur règle la pression en tête de rampe. L'ouverture ou la fermeture de chaque poste, en fonctionnement normal, est automatique grâce à une vanne électrique commandée par le programmateur. La pression au début du porte-rampes de chaque zone est réglée par une vanne à passage direct. Cette pression détermine le débit de chaque ajutage de la zone, ce débit variant de 35 l/h pour la zone D à 58 l/h pour la zone A. Des cuvettes disposées autour des jeunes plants permettent à l'eau de s'accumuler et de s'infiltrer entre 2 apports.

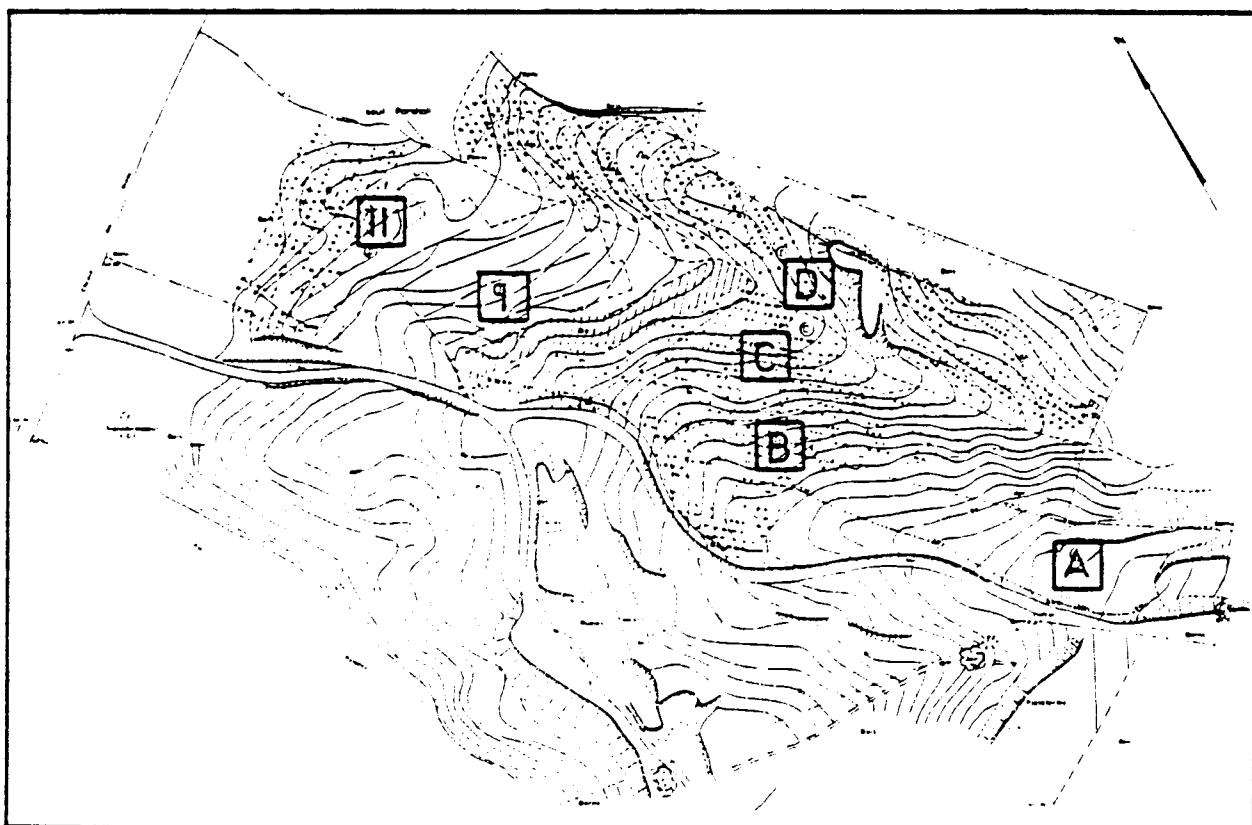


FIGURE 3 : Terrain expérimental - Différentes parcelles

Les doses d'irrigation :

Etant donné la méconnaissance des besoins en eau de la forêt méditerranéenne, les doses ont été calculées par rapport à une estimation de l'ETP de PENNMAN, calculée chaque décade à la station météorologique de Fréjus.

Les différentes doses apportées sont résumées dans le tableau ci-dessous en fonction des saisons d'irrigation.

PARCELLES	1983	1984	1985
ASPERSION I	1 ETP	1 ETP	1 ETP
II	1 ETP	1 ETP	1 ETP
MICRO-IRRIGATION A	1 ETP	1 ETP	1 ETP
B	0,5 ETP	1 ETP	1 ETP
C	2 ETP	2 ETP	0,5 ETP
D	1 ETP	0,5 ETP	0,5 ETP

2.2.2. - Les plantations

Les parcelles expérimentales ont été entièrement débroussaillées ; la broussaille, essentiellement constituée de bruyère arborescente et de calycotome a été broyée et étalée sur le sol. Ces opérations se sont déroulées en deux phases ; l'une en janvier-février 1982 et l'autre en janvier-février 1983.

Les plantations ont été exécutées en deux étapes :

- la première année zone A et I seulement les essences plantées sont les suivantes :
- . chêne rouge d'Amérique - *Quercus borealis* 60
- . Erable sycomore - *Acer pseudoplatanus* 60
- . Orme de Sibérie - *Zelkova crenata* 50
- . Frêne à fleurs - *Fraxinus ORNUS* 60

. Merisier - <i>Cerasus avium</i>	50
. Eucalyptus - <i>Gunnii</i>	50
. Eucalyptus - <i>Macarthuri</i>	50
. Eucalyptus - <i>Dalrympleana</i>	<u>50</u>

Au total **430**

- La deuxième année, les plants ont été répartis en séquences répétitives de 61 individus.

Chaque séquence comprend :

- 6 Ailantes - *Ailantus glandulosa*
- 10 Aulnes de Corse - *Alnus cordata*
- 6 Chênes lièges - *Quercus suber*
- 6 Micocouliers - *Celtis australis*
- 6 Pins pignons - *Pinus pinea*
- 5 Platanes d'Orient (Iran) - *Platanus orientalis*
- 6 Robiniers - *Robinia pseudoacacia*
- 10 Saules - *Salix alba*
- 6 Sophoras - *Sophora japonica*

soit pour l'ensemble des séquences : 1.176 plants au total.

Cinq autres essences ont été replantées et ont servi à regarnir les deux petites surfaces de la tranche 1982 pour lesquelles il manquait 35 % à 40 % des plants (plantation trop tardive). Ces espèces sont :

- . Eucalyptus *gunii*
- . Eucalyptus *Macarthuri*
- . Eucalyptus *dalrympleana*
- . Peuplier blanc d'Italie (Lucque)
- . Platane d'Orient, de Crète et Samos.

165 plants ont été ainsi mis en place.

En 1983-1984, un autre regarnis a introduit des cyprès verts soit environ 130 plants.

Il y a en définitive environ 1.600 plants installés dont 16 espèces ou provenance feuillus et 2 espèces résineuses.

Par ailleurs, les arbres en place, petits et grands, semis et jeunes plants ont été préservés lors du débroussaillage. Le peuplement initial comportait des chênes-lièges, des chênes blancs, des chênes verts et des pins maritimes.

2.4.3. - La qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est celle d'un effluent secondaire issu d'une station d'épuration biologique à boues activées en aération prolongée.

La qualité de l'effluent peut être caractérisée de la façon suivante : (tableau 1)

- un pH proche de la neutralité mais à tendance légèrement basique (7,4 est un pH moyen)

- une minéralisation assez faible pour un effluent ; elle se situe aux environs de $700 \mu \text{Scm}^{-1}$ à 20°C alors que les valeurs habituelles sont plus proches de 1.000 à $1.500 \mu \text{Scm}^{-1}$ à 20°C . Cette charge saline est liée principalement aux ions sodium (115 mg/l en moyenne), chlorures (110 mg/l) et sulfates (100 mg/l). Les autres cations sont plus faiblement représentés : 39 mg/l de calcium, 10 mg/l de magnésium et 22 mg/l de potassium.

- une charge en matières en suspension relativement faible, en moyenne de 20 mg/l (après passage au travers des 2 filtres placés à la station de relevage et dont le vide de maille le plus petit est de 125 microns)

- la DCO présente des valeurs classiques pour un tel type d'effluent avec une teneur moyenne de 46 mg/l. Les variations s'observent entre 5 et 86 mg/l. Le bon fonctionnement de la station joue un rôle primordial dans l'évolution de ce paramètre comme dans celui de l'azote organique total et du phosphore total. Pour ces deux derniers paramètres, les valeurs moyennes, qui sont respectivement de 30 mg/l et de 9 mg/l, sont proches des limites supérieures rencontrées dans un tel effluent.

- les différentes formes de l'azote minéral montrent que l'azote ammoniacal prédomine (30 mg/l en NH_4^-) mais la présence d'azote nitrique (6,5 mg/l en NO_3^-) et d'azote nitreux (1,2 mg/l en NO_2^-) n'est pas négligeable.³

- sur le plan bactériologique, les numérations effectuées présentent des valeurs tout à fait classiques. Elles peuvent se résumer ainsi :

10^6 à 10^7 Coliformes totaux dans 100 ml

10^5 Coliformes fécaux dans 100 ml

10^4 à 10^5 Streptocoques fécaux dans 100 ml.

La mise en évidence de germes pathogènes a pu être réalisée en septembre 1982 où des Staphylocoques pathogènes ont été isolés et en juillet 1983 où la présence de Salmonelles et de Staphylocoques pathogènes a été suspectée.

En conclusion, l'effluent secondaire constituant l'eau d'irrigation dans cette expérimentation présente des caractéristiques tout à fait classiques pour un tel type d'eau aussi bien sur le plan physico-chimique que bactériologique. Il constitue une eau d'irrigation de qualité convenable (SAR=4,2) ne devant pas entraîner de problèmes majeurs pour les espèces végétales arrosées.

	Unités	21.09 1982	25.07 1983	30.06 1983	11.10 1983	17.07 1984	21.08 1984	25.09 1984
<u>Physico-chimie</u>								
pH		7,3	7,8	7,5	6,6	7,45	7,5	7,4
Conductivité	μScm^{-1}	717	635	653	627	851	806	775
NO 3^-	mg/l	0,74	2,3	4,9	30,1	3,4	0,16	3,85
NO 2^-	mg/l	0,44	0,20	1,44	nc	2,2	3,4	0,41
NH 4^+	mg/l	38,5	67,0	44,9	11,4	1,1	40,0	2,5
N total	mg/l	16,6	60,0	34,3	11,6	-	-	-
IP total	mg/l	11,1	9,4	11,1	4,4	o-P 9,6	o-P 7,3	o-P 17,8
DO	mg/l	84	16	24	86	5	70	36
MES	mg/l	44,3	26,0	21	18	5,2	13,0	18,7
Ca $^{++}$	mg/l	42	49	49	36	33	31,3	30,0
Mg $^{++}$	mg/l	22	7	8	6	9	10	11,4
Na	mg/l	118	120	112	118	114	112	111
<u>Bactériologie</u>								
Coliformes totaux	(nombre)	2 .10 7	8,5.10 7	3,7.10 7	9,7.10 6	3,2.10 6	5,7.10 6	5,6.10 6
Coliformes fécaux	(nombre)	6,5.10 5	6 .10 6	1,1.10 7	7,7.10 5	6,9.10 5	9,2.10 5	5,1.10 5
Streptocoques *	(dans)	9 .10 4	4,5.10 6	8,5.10 5	7 .10 4	6,5.10 4	5,4.10 4	7 .10 4
Staphylocoques pathogènes	(100 ml)	*	*	0	0	0	0	0
Salmonelles	Recherche dans 2 l	absence	*	absence	absence	absence	absence	absence

* Présomption de présence

Paramètres supplémentaires	K $^+$	mg/l	17	26
	Cl $^-$	mg/l	109	111
	SO 4^{--}	mg/l	122	83

TABEAU 1 : EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DE L'EFFLUENT COGCLIN (1982 - 1984)

III. - LES RESULTATS

3.1. - La fiabilité de l'installation

La fiabilité d'une installation d'irrigation par aspersion en couverture intégrale n'est plus à démontrer, même en eau usée : le bouchage des buses d'asperseur de 4 mm de diamètre n'est pas à craindre avec une eau filtrée à 120 microns et les tubes d'alliage aluminium résistent bien à la corrosion par les sels dissous dans l'eau.

Par contre en micro-irrigation, même avec une filtration préalable de l'eau, il y a risque de bouchage des ajutages, les eaux usées contenant des matières en suspension de nature minérale et organique susceptibles de provoquer des obstructions d'ordre physique ou biologique ainsi que des sels dissous pouvant entraîner des obstructions d'ordre chimique.

Avec les ajutages utilisés à Cogolin, dont les diamètres de l'orifice s'étagent entre 1,2 et 2,1 mm par dixième de millimètre, on peut craindre 2 types de bouchage :

- . une obstruction physique, consécutive à un arrêt prolongé de l'installation, au cours duquel les matières fines en suspension dans l'eau (que l'équipement de filtration a laissé passer) qui se sont déposées dans les canalisations, s'agglomèrent en se desséchant. A la remise en eau de l'installation, ces agglomérats, que le gel de l'hiver ou la dessiccation aura fragmentés, sont entraînés par le courant et vont colmater les ajutages qui, au contraire des goutteurs à cheminement long, ont une entrée unique très sensible à une obstruction brutale par une particule de grosse dimension.

- . une obstruction biologique due essentiellement à des développements d'algues ou de gels bactériens dans les rampes qui, entraînés par le courant, viennent obstruer plus ou moins complètement l'orifice des ajutages.

Ces 2 types de bouchage peuvent être évités en procédant lors de l'arrêt des arrosages avant hivernage à une purge efficace de l'ensemble de l'installation (rampes, porte-rampes et canalisation d'amenée) précédée, pour la rendre plus efficace, d'une chloration massive (plus de 100 ppm pendant 3 à 4 heures). C'est ce mode de maintenance qui a été mis en oeuvre à Cogolin et qui s'est révélé efficace durant ces 3 années d'expérimentation où seulement quelques bouchages accidentels ont été constatés.

Les 2 filtres à tamis, placés l'un sur l'aspiration et l'autre en sécurité, sur le refoulement de la pompe de mise en pression ont fonctionné sans faille. L'essentiel de la filtration étant assuré d'ailleurs par le premier qui, doté d'un tamis de 0,83 m² de surface filtrante de 180 µ de vide de maille, a fonctionné avec un débit de décolmatage permanent de 7 m³/h sous 8 bars de pression. L'efficacité d'un tel décolmatage n'a jamais été prise en défaut quelle que soit la qualité de l'effluent rejeté par la station d'épuration.

3.2. - Réaction de la forêt

Les réactions de la forêt ont été appréciées à plusieurs niveaux en fonction des modes et des doses d'apport d'eau :

- Forêt autochtone : croissance, production
- Forêt introduite : reprise, croissance
- Inflammabilité et combustibilité.

. Forêt autochtone

Comme on l'a dit plus haut, cette forêt est composée de chêne liège, chêne blanc et chêne vert, de pin maritime et de quelques rares fruitiers. Elle comprend aussi une formation arbustive souvent puissante à base de bruyère arborescente et de calycythome épineux, caractéristique du maquis méditerranéen.

En ce qui concerne la croissance en hauteur et en diamètre des arbres existants, aucune mesure systématique n'a pu être faite pour diverses raisons. Néanmoins quelques observations qualitatives se sont avérées révélatrices de la meilleure croissance de ces peuplements :

* massive production de glands, de très belle taille, sur tous les chênes et par la suite apparition d'une grande quantité de semis naturels,

* pendant toute la saison d'irrigation, formation sur les chênes adultes de tout âge, de pousses nouvelles sur tout le pourtour du houppier. Ce qui a eu pour conséquence de fermer rapidement le couvert dans les zones à densité suffisante et d'éliminer la broussaille ; ailleurs, dans les parties plus claires, ils gênent maintenant les plantations intercalaires, ce qui nécessite une sélection entre les essences introduites et les espèces naturelles.

* suite au débroussaillage initial, obtention en 2 ou 3 ans de rejets de chênes, liège et blanc, de très belle venue (2 à 3 m)

* l'éclatement, plus important, du liège mâle que l'on a pu observer sur les branches de gros arbres ou sur le tronc des jeunes sujets (\emptyset 10 - 20 - 30 cm) laisse supposer un accroissement plus important du bois et du liège. Ce qui sera vérifié lors des prochains travaux de nettoyage et d'éclaircie sur des rondelles de bois.

* la réaction des formations arbustives a été spectaculaire, elles ont pratiquement retrouvé en 3 ans leurs hauteurs et leur densité initiales. Alors que dans le témoin la réponse est lente et la formation encore très clairsemée. Pour fixer un ordre de grandeur, la bruyère arborescente mesure en moyenne 2 m alors qu'elle plafonne à 0,80 dans les témoins, non irrigués. Mais s'ajoute à cela une densité beaucoup plus importante des cépées de bruyère et des autres espèces (cyste de Montpellier, calycothome, lavande ou herbacées de grande taille telle que la Morelle). Dans certaines zones où le maquis est plus discontinu, le sol est alors recouvert de genêt poilu, de ronce, de salsepareille et d'herbacées ; ces dernières sont notamment très abondantes dans les zones en aspersion.

. Réaction des espèces introduites

La physiologie des plantes dans les zones naturelles en région méditerranéenne est caractérisée par une intense activité cellulaire au printemps dès que la température devient clémente, ceci assez tôt en saison en même temps que se produisent des précipitations importantes.

L'essentiel de la croissance se produit donc à cet époque et ceci jusqu'à épuisement des réserves en eau du sol. Dès que le stress hydrique apparaît la croissance s'arrête définitivement jusqu'au printemps suivant.

L'intérêt fondamental de l'irrigation en période sèche est présenté sur la figure 4 qui montre l'évolution de la croissance des plants forestiers irrigués par rapport à des sujets témoins.

* ces derniers suivent l'allure classique des courbes de croissance en région méditerranéenne comme décrit précédemment.

* en micro irrigation la vitesse de croissance est sensiblement constante tout au long de la saison d'irrigation, les arbres ne semblent souffrir d'aucun stress hydrique, quelle que soit la dose d'eau apportée.

* en aspersion la croissance qui débute bien au printemps est fortement ralentie pendant la saison chaude. Elle redémarre assez nettement toutefois après les orages de la fin août. Tout se passe comme si la dose d'eau apportée (1 ETP) ne constituait qu'une dose d'entretien permettant aux arbres de se maintenir en croissance ralentie en attendant les premières pluies d'automne qui leur permettront de repartir.

. Comparaison en fonction des modes d'apport

La figure 4 montre en outre que la micro-irrigation est le mode d'apport le plus adéquat et le plus performant :

* L'aspersion dont l'installation est plus simple et moins coûteuse ne correspond pas du tout aux objectifs visés. La dose apportée, pourtant équivalente à l'un des traitements de micro-irrigation, est répartie sur toute la surface et profite beaucoup plus à la végétation adventice et notamment aux herbacées qu'aux arbres, jeunes ou adultes.

* En micro-irrigation par contre, la dose calculée à l'unité de surface est en fait apportée sur environ 15 % de celle-ci, au pied des arbres. Elle est donc ponctuellement beaucoup plus importante et peut alors pénétrer en profondeur et bénéficier aux arbres. Les arbustes peuvent en bénéficier également car nombre d'espèces du maquis ont un enracinement profond mais il y a moins d'herbacées.

. Analyses des croissances annuelles des plants forestiers en fonction des doses et des espèces (figure 5)

EN micro-irrigation 3 doses ont été testées :

	1983	1984
	_____	_____
D	0,5 ETP	0,5 ETP
B	2 ETP	1 ETP
C	1 ETP	2 ETP

+ 2 zones témoins

Croissance en % de la mesure du 22 mai 1984

Fig. 4

EVOLUTION DE LA CROISSANCE DES ARBRES AU COURS DE LA SAISON D'EXPERIMENTATION TOUTES ESSENCES CONFONDUES.

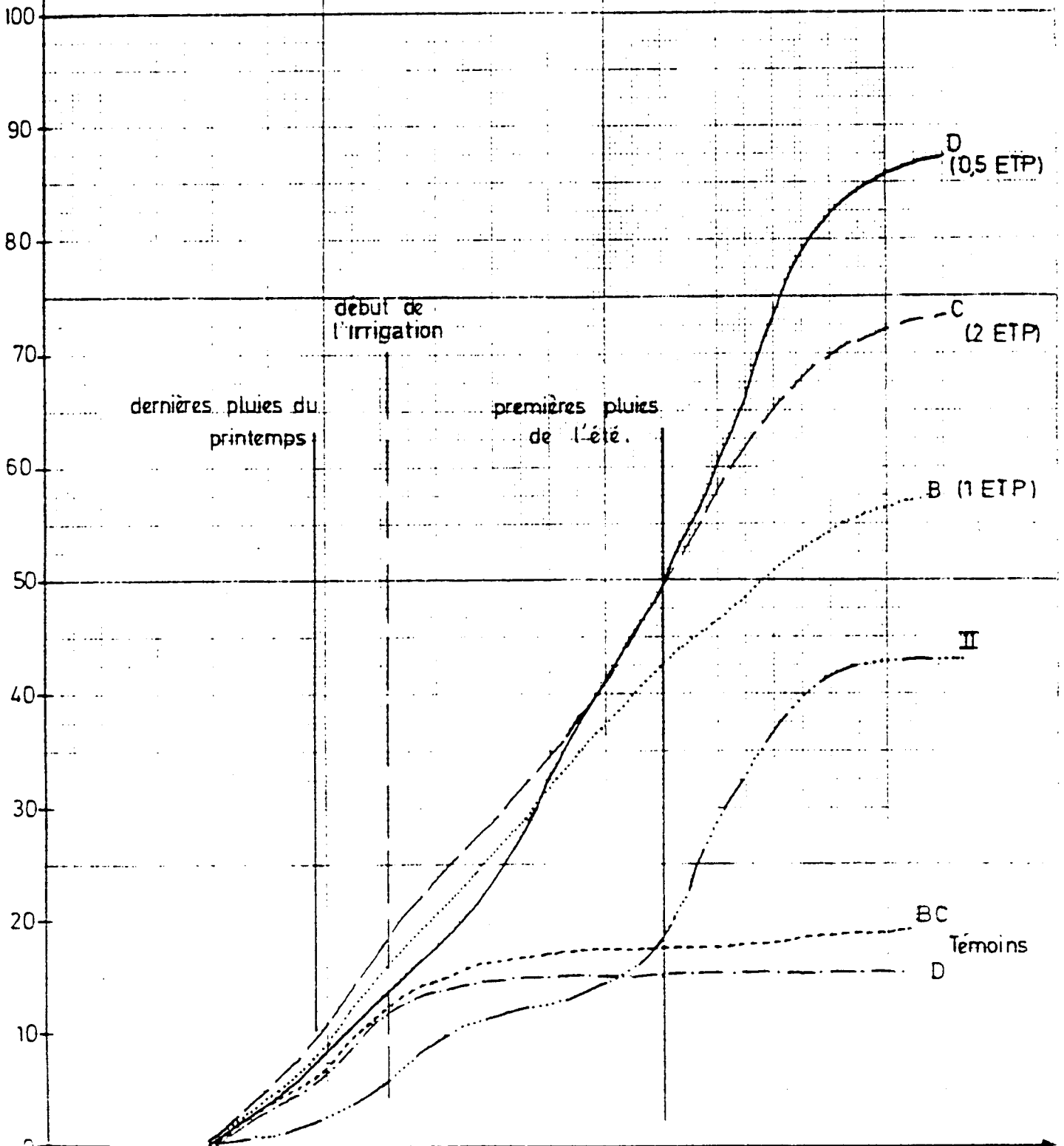
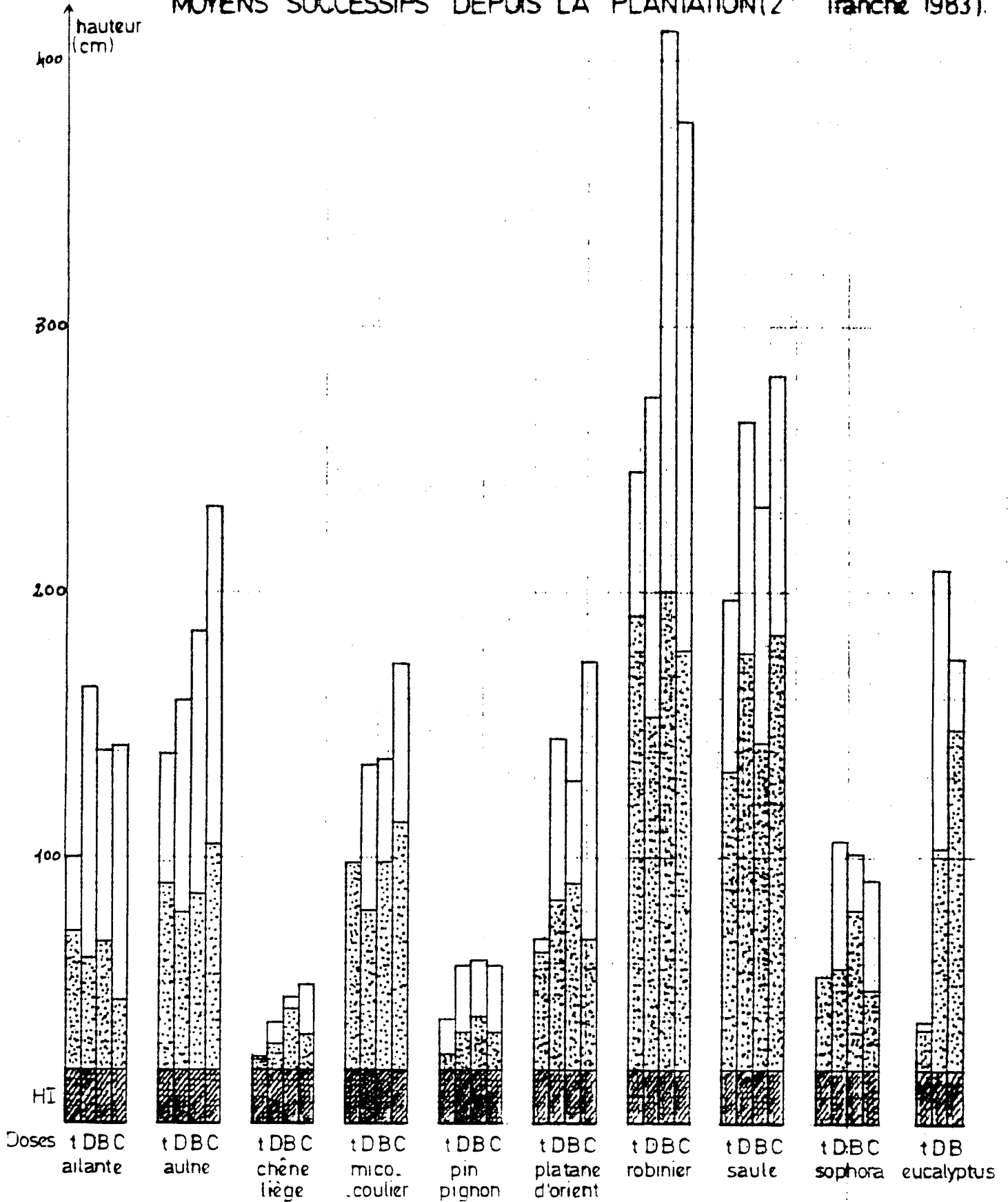


Fig. 5

DIAGRAMME DES HAUTEURS TOTALES ET DES ACCROISSEMENTS MOYENS SUCCESSIFS DEPUIS LA PLANTATION (2^{ème} Tranche 1983).



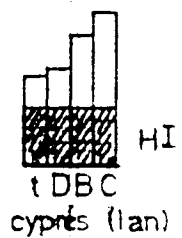
	1983	1984
t = irrigué *		0
D = 0,5 E.T.P.		0,5 E.T.P.
B = 2 E.T.P.		1 E.T.P.
C = 1 E.T.P.		2 E.T.P.

Accroissement 84

Accroissement 83

HI=Hauteur initiale

* voir texte



Ces zones témoins n'existaient pas la première année ou tout était irrigué. Ceci pour assurer la reprise des plants dont la plupart appartiennent à des essences hygrophiles dont il fallait aider l'implantation.

Les zones dites "témoin" ont été implantées à partir de la 2ème année.

* La 1ère année on ne peut donc juger que de l'effet doses et le diagramme (fig. 5) montre qu'il n'y a pas de corrélation entre les gains de croissance et l'importance des différentes doses.

* La 2ème année, ce résultat se confirme et montre également que c'est l'apport d'eau seul qui est déterminant : dans les zones témoins en effet toutes les espèces montrent une réaction nulle. ou en baisse par rapport à celle de l'année précédente où elles étaient arrosées. Alors que dans les zones irriguées toutes les espèces poursuivent leur croissance et l'augmentent même par rapport à l'année précédente.

L'apport de doses croissantes était surtout destiné à situer une limite au delà de laquelle des conséquences néfastes seraient à craindre pour le milieu en général et notamment vis à vis des problèmes bactériologiques et de percolation.

Sur le plan forestier l'effet dose ne se manifeste pas :

* parce que les conditions de milieu sont trop hétérogènes d'une parcelle à l'autre ce qui les rend difficilement comparables. Les croissances supplémentaires sont bien induites par l'apport d'eau mais l'intensité de celle-ci est alors conditionnée par d'autres facteurs stationnels plus déterminants que la dose tel que : profondeur du sol, éclaircissement, exposition, pente, etc...

Facteurs qui sont variables d'une parcelle à l'autre, qui se combinent entre eux et influencent plus ou moins la croissance des diverses espèces.

* parce que la quantité d'eau à apporter à un sol pour assurer une bonne croissance de la végétation qu'il supporte est déterminée avant tout par sa capacité de rétention ; elle même liée à la profondeur du sol et aux qualités physiques des différents horizons. Et apparemment, il ne peut y avoir de grandes variations autour d'une certaine quantité d'eau théorique.

Le comportement par espèces est surtout lié aux besoins spécifiques de chacune d'elles. L'analyse de leur réaction permet de les classer en 3 groupes assez homogènes :

. 1er groupe : très forte réaction : robinier - saule (espèces très hygrophiles à croissance très rapide - peu longévives)

2ème groupe : forte réaction : aulne de Corse, platane, micocoulier, ailanthe, eucalyptus (essences hygrophiles - croissance assez rapide - un peu plus longévives)

3ème groupe : réaction modérée : chêne liège, pin pignon, sophora, cyprès + toutes les essences de la 1ère tranche (essences à hygrophilie modérée - croissance plus lente - très longévives).

L'intérêt d'avoir multiplié le nombre d'espèces permet de montrer un catalogue susceptible de répondre, dans le cadre d'autres réalisations, à divers objectifs.

. Inflammabilité et combustibilité

Des tests d'inflammabilité effectués sur les espèces composant la strate arbustive (maquis) ont été réalisés selon une méthode mise au point par l'INRA. Celle-ci est basée sur le temps que met un échantillon de végétal à s'enflammer au contact d'une source de chaleur. Ce délai est fonction de l'espèce, de son état physiologique et notamment de sa teneur en eau.

Les échantillons recueillis pour les tests sont les extrémités des rameaux en situation sommitale et latérale sur le végétal. Dans les zones irriguées ces rameaux sont en perpétuel état de croissance et donc très turgescents ce qui explique leur très faible inflammabilité.

Les résultats synthétiques Tableau 2 montrent en effet la nette diminution de l'inflammabilité des espèces qui composent le maquis, dans les zones irriguées. Les tests réalisés sur le chêne liège adulte sont plus irréguliers mais la méthode semble mal adaptée aux espèces arborées.

Cette diminution d'inflammabilité des espèces du maquis ne doit cependant pas être considérée comme la panacée en matière de lutte contre les incendies. Elle est en effet très largement compensée par l'augmentation de la biomasse de broussaille qui, globalement, accroît de façon importante la combustibilité de la forêt. La réponse de la végétation arbustive dont le développement rapide et important transforme en 2 ou 3 ans les parcelles irriguées en "forêt vierge" représente un inconvénient majeur.

TABLEAU 2 : RESULTATS DES TESTS D'INFLAMMABILITE

D A T E	DOSE	ZONE IRRIGUEE - 1 E.T.P.			ZONE NON IRRIGUEE - TEMOIN		
		% TESTS POSITIFS	DELAIS MOYENS D'INFLAMMABILITE EN SECONDE	NOTE 0 → 5	% TESTS POSITIFS	DELAIS MOYENS D'INFLAMMABILITE EN SECONDE	NOTE 0 → 5
14	Lavandula Stoechas		X	0	100	19	3
10	Quercus Suber (Rejet)	43	18	0	100	17	4
18	Phyllirea Angustifolia	10	18	0	100	9	5
18	Genista Pilosa	83	19	0	100	9	5
15	Cistus Sulviaefolius	0	X	0	100	19	3
	Arbustus Unedo	0	X	0	93	14	2
	Myrtus Communis	23	21	0	70	19	0

12	Lavande	~ 0	X	0	100	17	4
10	Chêne Liège	80	23	0	100	17	4
18	Filaria	0	X	0	100	13	4
18	Genêt	77	20	0	100	10	5
18	Ciste	0	X	0	100	20	3
15	Arbousier	93	19	1	100	26	2
	Myrte	0	X	0	97	19	2

11	Lavande	0	X	0	100	14	4
10	Chêne Liège	97	18	2	97	17	3
19	Filaria	23	21	0	100	12	5
18	Genêt	47	20	0	100	11	5
15	Ciste	0	X	0	100	19	3
15	Arbousier	47	22	0	70	27	0
	Myrte	0	X	0	77	18	0

	BRUYERE ARBORESCENTE						
	13/7/84	47	26,3	0	100	18,9	3
	27/7/84	63	28,4	0	100	15,9	4
	10/7/84	13	31,8	0	97	22,1	3
	29/7/84	3	26	0	100	15,9	4

L'expérience nous a montré qu'un débroussaillage annuel est nécessaire dès le départ. La broussaille âgée de 1 an seulement est encore basse et tendre ;

- il est alors facile de la couper sans abîmer le réseau d'irrigation (on peut relever aisément les tuyaux ou les déplacer),
- la végétation coupée peut être abandonnée sur place en l'état sans que l'on soit obligé de l'éliminer par brûlage ou broyage,
- l'opération est donc rapide, facile et peu dommageable pour les installations.

En outre, le débroussaillage annuel permet un contrôle aisé du réseau d'irrigation pendant la période de fonctionnement. Il permet également de diminuer très fortement la combustibilité de la parcelle, l'inflammabilité étant quasi nulle, par ailleurs, la parcelle se trouve vraiment à l'abri du feu.

L'irrigation de cette forêt n'exclut donc pas, bien au contraire, la nécessité de débroussailler, au moins en attendant que la meilleure croissance constatée, des espèces forestières, leur procure un couvert suffisamment dense pour obtenir un contrôle total et définitif de ces broussailles. C'est d'ailleurs ce que l'on observe déjà dans certaines zones irriguées où la densité des arbres existants est encore importante.

3.3. - Evolution de la qualité des eaux de percolation et de ruissellement

Cette étude de qualité d'eau a été entreprise afin d'essayer de cerner les principaux risques de pollution possible à la fois pour la nappe phréatique de la Giscle et indirectement pour le Golfe de Saint Tropez, risques induits par cette expérimentation d'irrigation avec des eaux usées.

En fonction des principaux épisodes pluvieux ; différents types d'eau ont été prélevés à proximité immédiate du terrain d'expérimentation (figure 6)

- . eaux de percolation
- . eaux de ruissellement

- Les eaux de percolation sont de deux types:

- . le premier correspond à des eaux d'exhaure de l'ancienne mine de plomb argentifère

. le second est l'eau d'un puits situé en amont de la zone de micro-irrigation D et qui sert à l'alimentation en eau d'une maison particulière

- les eaux de ruissellement ont été prélevées dans le ruisseau s'écoulant dans le talweg séparant la zone D des autres zones d'irrigation à l'amont immédiat de son passage sous la route, tout en bas de la parcelle.

Les résultats obtenus ont mis en évidence :

1. - La qualité de l'eau de la mine semble correspondre à la qualité attendue en fonction de son origine profonde mal définie. Il s'agit d'une eau légèrement acide, séléniteuse et à charge très importante en métaux indésirables tels que le fer et le manganèse (pour ne citer qu'eux). Les éléments eutrophisants (azotés et phosphorés) sont très faiblement représentés. De plus, leur qualité bactériologique est excellente pour des eaux naturelles.

Cette eau ne semble pas être influencée par l'expérimentation d'irrigation avec des eaux usées. Son rôle de témoin est donc primordial dans l'estimation des risques de pollution que peut engendrer une telle pratique.

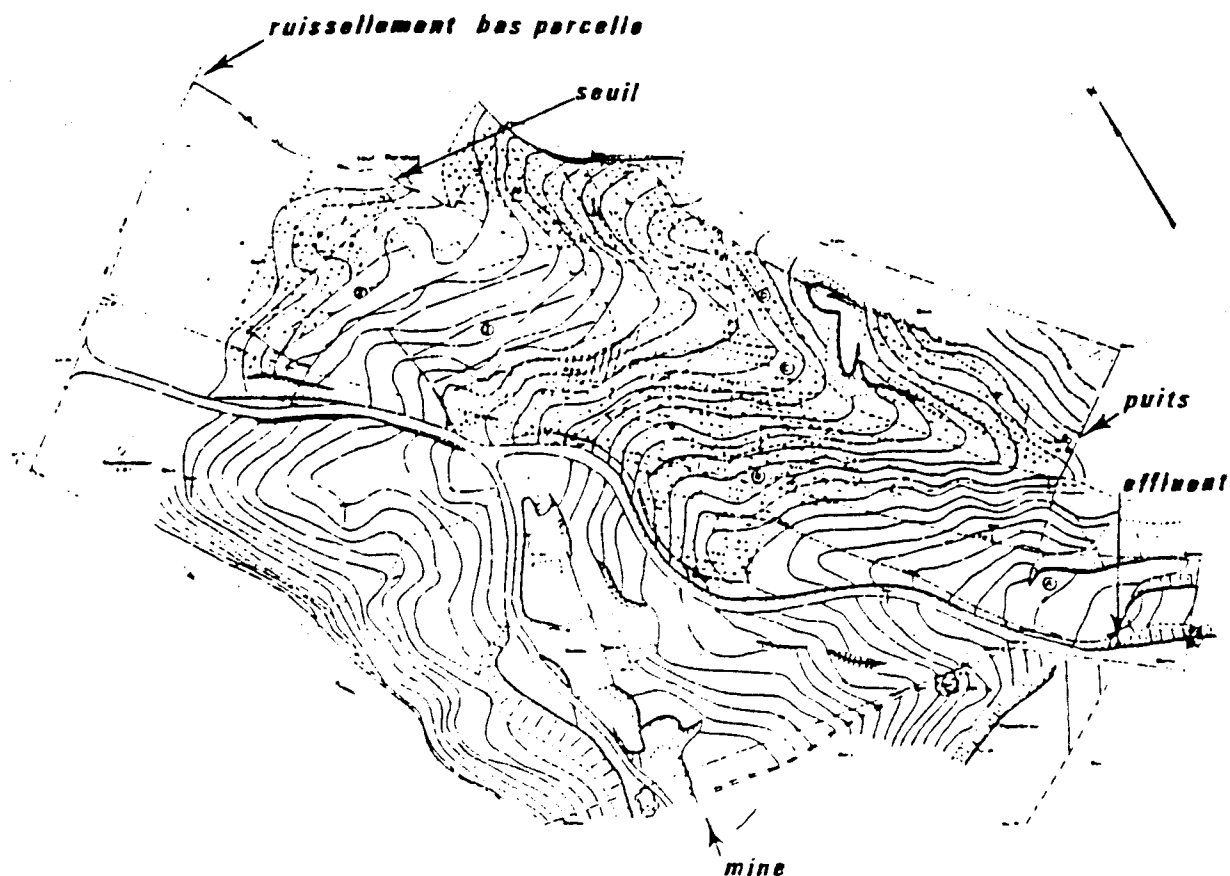


FIGURE 6 : Emplacement des différents points de prélèvement des eaux

2. - Les eaux du puits présentent un certain degré de contamination qui augmente en période estivale ; cette pollution serait due au système d'assainissement autonome de la maison située juste au-dessus et non à l'irrigation avec des effluents.

3. - Les eaux de ruissellement présentent une qualité très variable dans le temps.

L'étude de l'évolution temporelle des paramètres de la qualité de ces eaux montre leur comportement cyclique. En effet, ils présentent des maxima en été et en automne et des minima hivernaux pouvant se prolonger jusqu'au printemps. Et cela se traduit par des variations quantitatives très importantes. Des différences d'une unité de pH peuvent être rencontrées, de même les conductivités mesurées varient d'un facteur 2 à 3. Les teneurs en nitrates passent de 1 mg/l et souvent moins à plus de 100 mg/l et les germes indicateurs de contamination fécale voient leur numérations varier des limites de la détection analytique à 4 puissances de 10.

Les variations les plus importantes sont obtenues en été après les premiers orages souvent très violents.

Ces eaux de ruissellement sont donc influencées par les épisodes pluvieux mais aussi par l'irrigation. En été, les premiers orages entraînent de nombreux éléments stockés dans le sol et provenant de l'irrigation. Cela se traduit au niveau du ruissellement par une qualité d'eau mauvaise et proche, pour certaines caractéristiques, de l'effluent plus ou moins épuré. Les charges polluantes sont d'autant plus fortes que l'épisode pluvieux est important et qu'il survient après la période d'irrigation. En général, seules les pluies proches ou supérieures à 100 mm ont une incidence notable sur la qualité des eaux de ruissellement.

La capacité de transformation du sol joue un rôle important au niveau de certains paramètres. L'exemple type est donné par les formes minérales de l'azote. L'effluent apporte une charge non négligeable en azote ammoniacal, qui est oxydé dans le sol par différents systèmes, biologiques essentiellement. C'est pourquoi les nitrates sont entraînés de manière aussi nette par le ruissellement.

Il paraît utile de laisser une zone tampon non irriguée entre l'axe de drainage et les parcelles irriguées, de façon à éviter les risques de contamination directe.

4. - L'incidence de l'irrigation avec un effluent secondaire dans le cadre de cette expérimentation ne semble donc sensible que sur les eaux de ruissellement, surtout lors des premiers épisodes pluvieux d'été.

3.4. - Evolution des sols

3.4.1. - L'évolution physico-chimique des sols

. Généralités

L'évolution des sols est liée à une série d'évènements ayant chacun une incidence plus ou moins importante suivant le contexte :

. Le sous bois essentiellement composé de bruyères a été nettoyé ; en conséquence la litière présente a été alimentée uniquement par les feuilles des chênes lièges et les aiguilles de pins durant deux ou trois ans, avant que le sous bois ne se reconstitue. La litière alimentée par la bruyère donne un humus acide alors que celle provoquée par des feuilles de chênes produit un humus doux à pH neutre.

. L'irrigation a été effectuée durant la période estivale ; l'eau et les éléments fertilisants ont favorisé et accéléré les réactions de biodégradations de la matière organique.

. Les rapports $\frac{\text{évapotranspiration réelle}}{\text{évapotranspiration potentielle}}$ ont été de l'ordre de :

- 0,60 pour la micro-irrigation
- . 0,90 pour l'aspersion

Les arbres plantés sur des parcelles irriguées par aspersion sont défavorisés par rapport à ceux situés sur des parcelles irriguées en micro-irrigation. Par aspersion, une dose D est théoriquement répartie sur toute la surface de la parcelle d'une façon relativement uniforme tandis qu'en micro-irrigation cette même dose est apportée en n points ou ajutages. Ces n points sont choisis de manière à ce qu'un arbre planté à proximité d'un ajutage profite au mieux de la dose apportée ; comme il y a environ un ajutage tous les 20 m² (une rampe tous les 5 mètres sur les porte-rampes et un ajutage tous les quatre mètres sur les rampes), la dose apportée par un ajutage en micro-irrigation est égale théoriquement à 20 fois la dose apportée sur un mètre carré en aspersion.

Cela peut expliquer en partie le fait que l'aspersion est nettement moins efficace que la micro-irrigation pour la croissance des arbres ; par contre, sur les parcelles irriguées par aspersion la strate herbacée est bien développée.

En micro-irrigation l'effluent ne semble pas s'étendre en ruissellement hypodermique suivant la ligne de plus grande pente

mais suivant des itinéraires préférentiels ; lorsque le sol s'assèche, des différences d'humidité se manifestent ; certains endroits restant humides pendant longtemps alors que d'autres s'assèchent plus vite.

- Les pluies survenant à la fin de l'été, en hiver ou au printemps ont eu souvent un caractère orageux, l'abondance de l'eau durant un temps restreint, provoque un ruissellement superficiel responsable essentiellement des phénomènes d'érosion et un ruissellement hypodermique lessivant certains sels minéraux :

Ces analyses ont été effectuées pour chaque campagne, sur des échantillons moyens constitués de trois prélèvements et caractéristiques :

- . de l'horizon (0 - 20 cm)
- . de l'horizon (20 - 40 cm)

dans des situations typiques :

- . cuvettes de micro-irrigation,
- . entre deux cuvettes,
- . terrain d'aspersion,
- . témoin non irrigué.

. Résultats

L'irrigation avec des effluents des sols acides de Cogolin a provoqué :

- Une diminution de la teneur en carbone,

D'une façon générale le défrichage puis l'irrigation de la zone ont provoqué la première année, une chute importante de la teneur en carbone et donc en matière organique.

Avant défrichage, l'horizon de surface possédait 4 à 5 % de matière organique ; le défrichage et l'irrigation durant l'été ont favorisé une biodégradation très rapide de la litière et accentué la vitesse de minéralisation de la matière organique.

Dans un deuxième temps, la prolifération d'algues et de mousses surtout au niveau des cuvettes de micro-irrigation a pu provoquer une remontée de la teneur en carbone ; ce phénomène est actuellement complété par un développement du sous-bois.

- Une diminution de la teneur en azote,

L'effluent apporte de l'azote sous forme ammoniacale ; son oxydation rapide dans le sol produit des nitrates très solubles ; en conséquence, l'irrigation en favorisant la minéralisation de la matière organique, produit un lessivage des nitrates et progressivement un léger appauvrissement des sols en azote.

Par contre sur les points non irrigués, le sol a tendance à s'enrichir en cet élément, les pluies assurent cependant une régulation de ce phénomène grâce au lessivage.

- Une augmentation sensible du pH (figure 7)

Au cours du temps, le pH augmente d'une façon très sensible et passe de 6 à 6,7, cette augmentation peut être due à deux activités humaines.

1°/ - Le défrichement qui a supprimé le sous-bois essentiellement constitué de bruyères responsables de la production d'un humus acide.

2°/ - L'irrigation qui apporte des sels minéraux et diminue l'acidité échangeable.

Les fortes pluies ont tendance à contrarier cette tendance consécutivement à un lessivage de sels minéraux.

Lors de la troisième année d'irrigation, une baisse sensible du pH s'est à nouveau manifestée, probablement due à une réinstallation du sous-bois constitué en bonne partie de bruyères.

- Une augmentation de la capacité totale d'échange qui a tendance à se saturer grâce à un enrichissement en calcium, magnésium et sodium (figure 8)

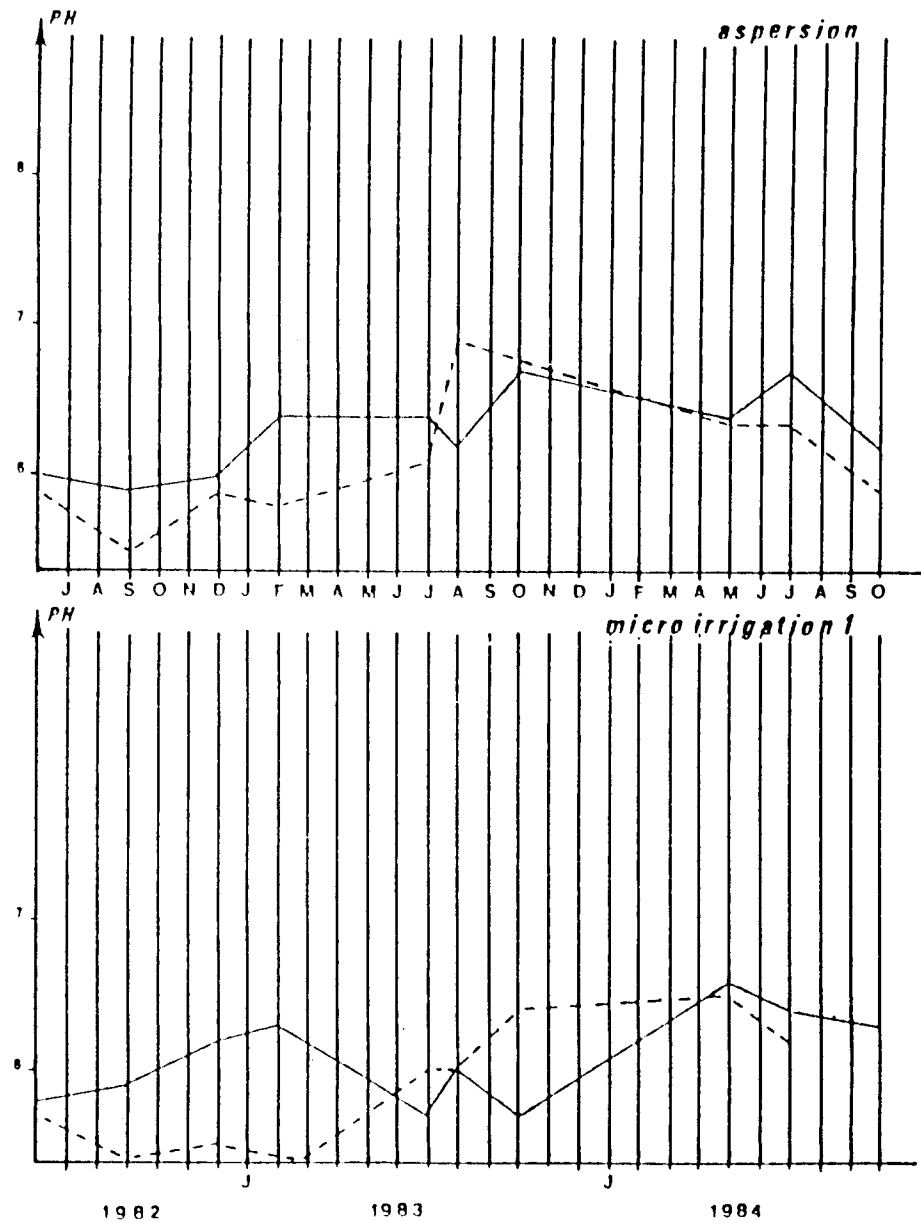
La capacité totale d'échange de sols est liée au complexe argilo-humique ; elle a d'une façon notable, augmenté par rapport à l'état initial, ce phénomène peut être lié à la production d'humus stable renforçant le complexe argilo-humique et augmentant ainsi la capacité totale d'échange.

L'irrigation par aspersion enrichit significativement le complexe adsorbant en calcium, magnésium et sodium.

La micro-irrigation ayant tendance à lessiver ponctuellement le sol, y contribue d'une façon moindre et avec plus d'irrégularités que l'aspersion.

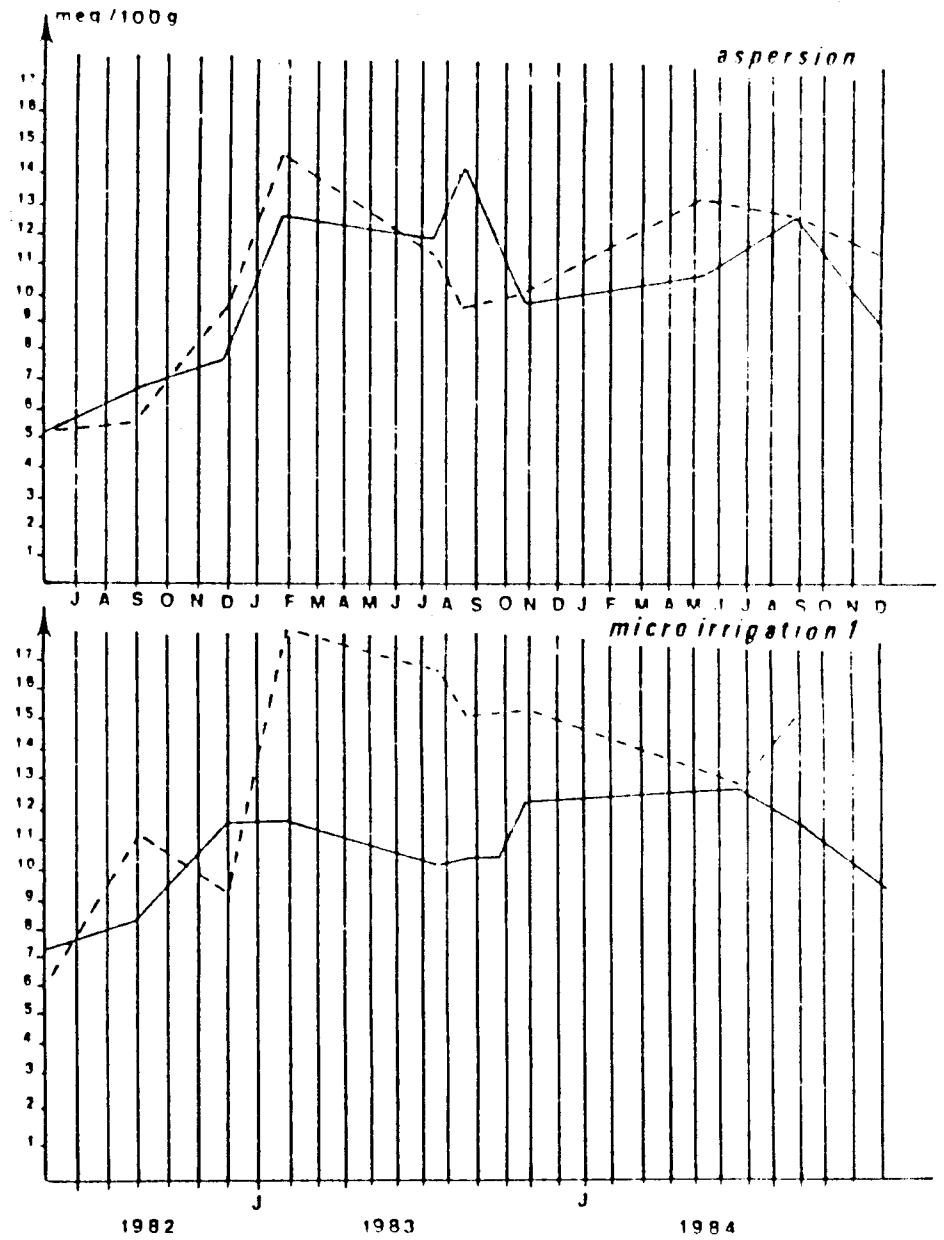
Il n'apparaît pas de différence significative entre l'évolution des sols irrigués par micro-irrigation ou par aspersion vis-à-vis du potassium échangeable.

FIGURE 7 Evolution du PH dans les sols



— horizon 0_20
 - - - horizon 20_40

FIGURE 8 Capacité totale d'échange dans les sols



— horizon 0_20
 - - - horizon 20_40

La présence d'éléments échangeables sur le complexe adsorbant n'excédait pas initialement 50 % ; actuellement elle varie entre 75 et 100 % ; la saturation du complexe adsorbant constitue donc un facteur important et peut être limite de l'évolution des sols.

- Une augmentation de la teneur en phosphore total

L'accumulation de phosphore total est d'autant plus intense que la dose d'irrigation est faible et donc que le lessivage est restreint ; l'apport par aspersion provoque donc une accumulation plus notable de phosphore dans le sol que la micro-irrigation qui a tendance à apporter un excédent d'eau par rapport à la capacité de rétention du sol.

Les pluies intenses assurent un lessivage du phosphore total qui dans ce milieu n'a pas tendance à passer sous forme insoluble.

Cette évolution dans le contexte climatique méditerranéen devrait tendre à la limite à un équilibre entre la solution de sol et l'effluent ; en conséquence le sol présenterait un pH neutre, son complexe adsorbant serait saturé.

En conclusion l'irrigation avec des effluents des sols acides de Cogolin apporte une amélioration très sensible de leurs caractéristiques physico-chimiques.

A plus ou moins long terme, ceci se traduira par un changement notable des espèces végétales constituant le sous-bois.

3.4.2. - L'évolution bactériologique des sols (figure 9 et 10)

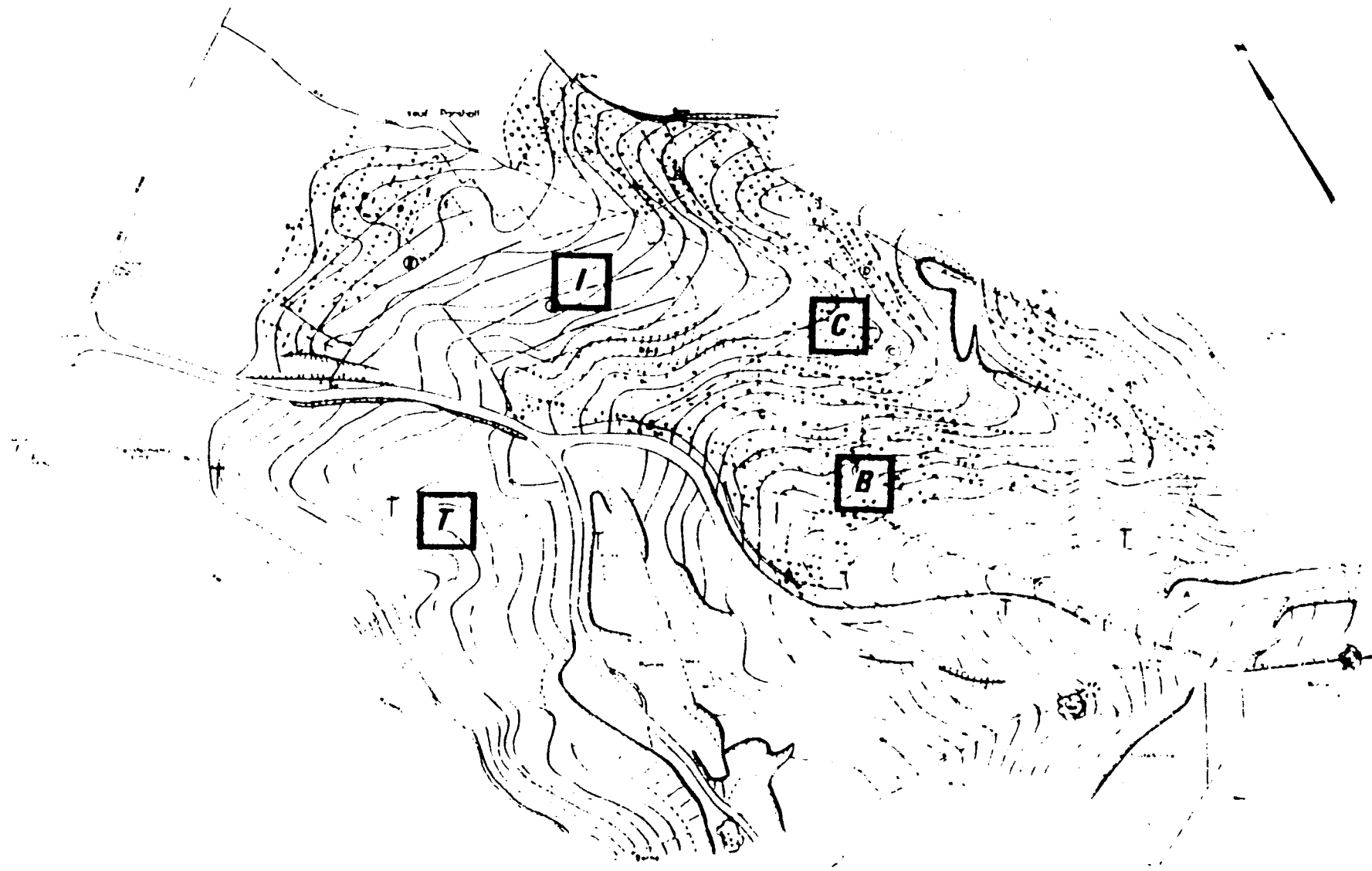
L'étude de la contamination fécale des sols a été effectuée sur différentes parcelles se distinguant par rapport à un témoin non irrigué par :

- le mode d'irrigation :

- . aspersion (Parcelle I)
- . micro-irrigation (Parcelles B et C)
- . entre deux distributeurs de micro-irrigation (Parcelles B et C)

- la dose d'irrigation :

- . 1 ETP : aspersion, micro-irrigation B
- . 2 ETP : micro-irrigation C



*Emplacement des différents points
de prélèvements pour la micro biologie des sols*

*micro irrigation parcelles B et C
aspersion (I)
témoin (T)*

Tous les prélèvements ont été réalisés à deux profondeurs : 0 - 20 cm et 20 - 40 cm.

RESULTATS

- Dans les sols étudiés, aucun germe pathogène n'a pu être mis en évidence, même en période d'irrigation intense. Cela témoigne de la faible survie de ces bactéries hors de leur habitat fécal d'origine et peut constituer un élément favorable pour le développement de ces techniques de réutilisation des eaux usées (tout au moins dans nos conditions climatiques tempérées).

- Les germes tests de contamination fécale étudiés peuvent se caractériser par leur origine fécale plus ou moins stricte, donc par leur spécificité en tant qu'indicateurs d'une telle contamination.

Les Coliformes fécaux apparaissent comme les germes tests les plus représentatifs d'une contamination fécale sur les plans qualitatifs et quantitatifs. (Figure 10)

Les Streptocoques fécaux sont, quant à eux, beaucoup moins spécifiques. De plus, ils sont présents à des teneurs relativement stables dans le temps. Leur origine tellurique possible alliée à une meilleure survie hors de l'habitat fécal d'origine expliquant un tel comportement.

Les Coliformes totaux présentent le caractère le moins marqué d'indicateur de contamination fécale. Leurs numérations dans les sols sont influencées par des facteurs extérieurs tels que la température. Ce sont eux qui présentent les plus fortes augmentations des concentrations lors de l'augmentation des températures en début d'été. De plus, même en période hivernale, ces germes sont rencontrés à des teneurs encore non négligeables.

- Il est aussi important de noter que les numérations bactériennes effectuées sont sensibles à divers facteurs du milieu environnant. Les principaux d'entre eux sont la température et l'humidité des sols. Si l'humidité est en relation étroite avec l'irrigation et/ou la pluviométrie, son influence est loin d'être aussi importante que la température. La pluviométrie peut produire des lessivages de l'horizon de surface qui se traduisent par une augmentation notable de la charge bactérienne indicatrice d'une contamination fécale dans l'horizon profond.

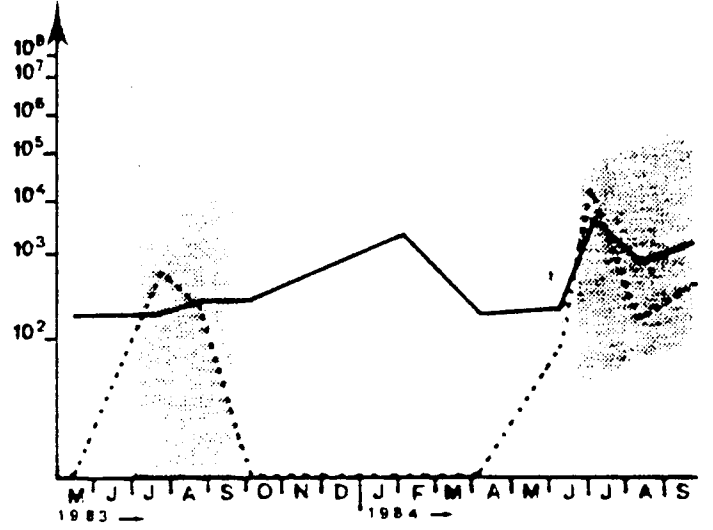
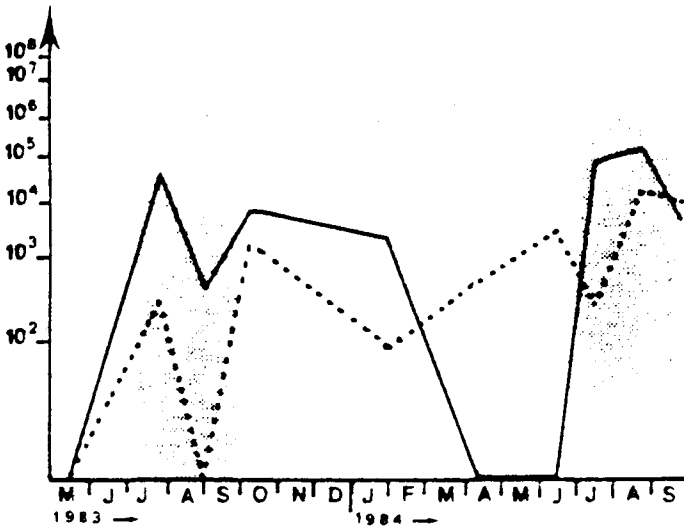
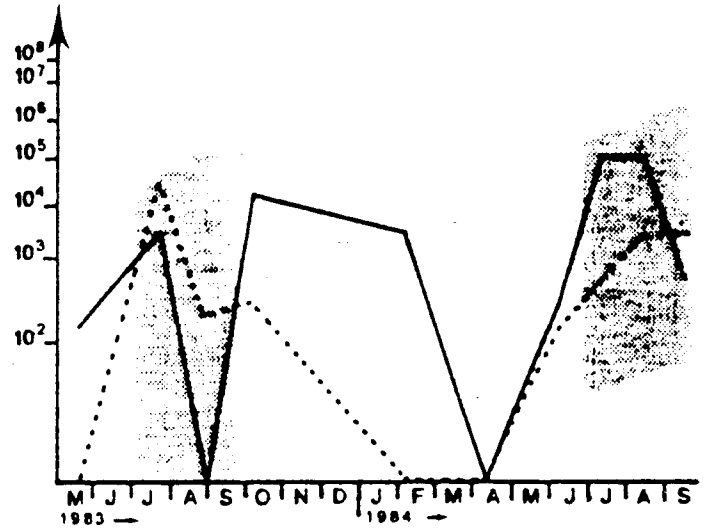
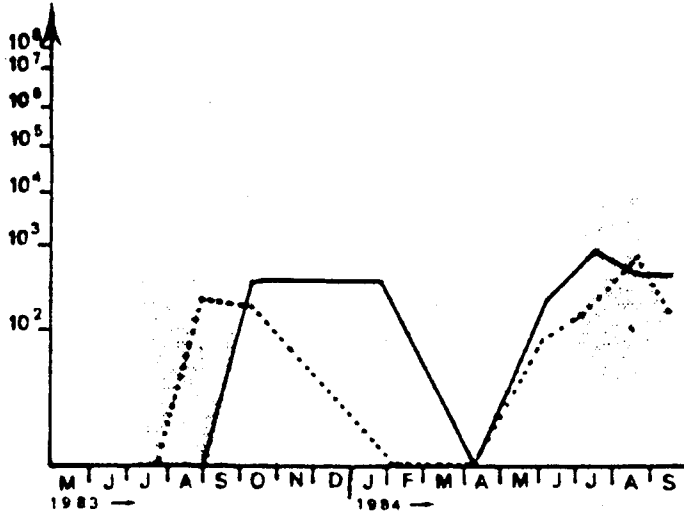
- L'influence de l'irrigation avec des eaux usées produit des augmentations significatives des concentrations bactériennes ; elles sont en moyenne de 3 à 4 unités log pour les Coliformes totaux, de 2 à 3 unités log pour les Coliformes fécaux et de 1 à 2 unités log pour les Streptocoques fécaux en période d'irrigation.

FIGURE 10 EVOLUTION DES COLIFORMES FECAUX DANS LES SOLS
(nombre de germes dans 20 ml de sol humide)

— niveau de surface (0 - 20 cm)
 niveau profond (20 - 40 cm)
 irrigation

TEMOIN

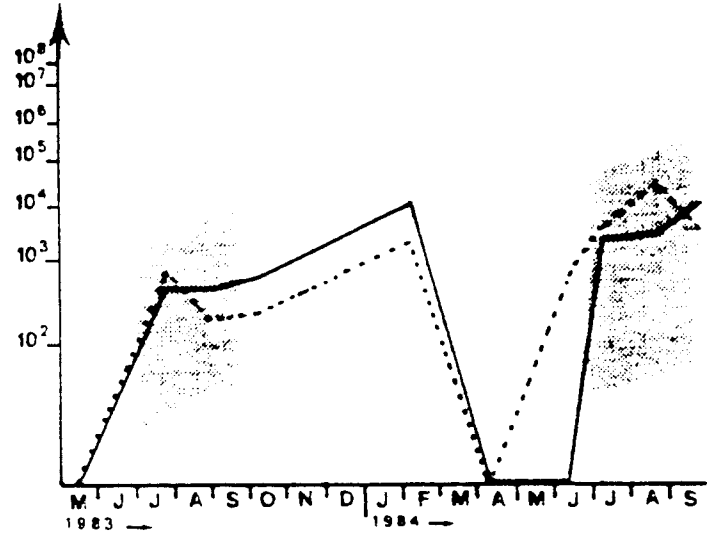
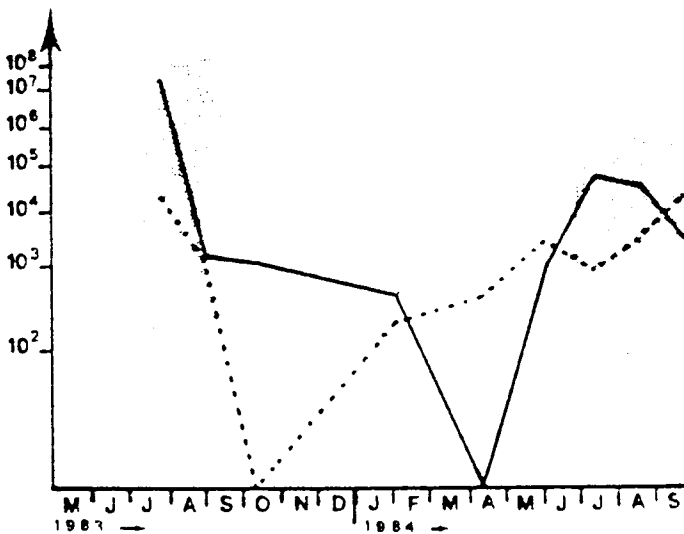
ASPERSION I



AU NIVEAU D UN GOUTTEUR

ENTRE 2 GOUTTEURS

MICRO-IRRIGATION B (1ETP)



AU NIVEAU D UN GOUTTEUR

ENTRE 2 GOUTTEURS

MICRO-IRRIGATION C (2ETP)

Par ordre croissant d'influence, on rencontre :

- . La parcelle aspersion 1 dont l'horizon de surface subit principalement les conséquences de l'irrigation

- . la parcelle en micro-irrigation B (au niveau d'un ajutage) où la dose d'irrigation est voisine de 1 ETP

- . la parcelle en micro-irrigation C (au niveau d'un ajutage) recevant une dose de 2 ETP et où la totalité du profil est intéressée.

- L'irrigation a également une incidence sur des parties de sols ne recevant pas directement les apports en eaux usées ; c'est le cas pour les points situés entre 2 goutteurs pour les parcelles B et C en micro-irrigation.

Si pour la station de la parcelle B, c'est surtout l'horizon de surface qui est concerné, pour la parcelle C c'est la totalité du profil.

Les mouvements d'eau dans le sol peuvent aller contaminer les zones voisines non irriguées directement. Cependant, leur importance est fonction à la fois de la topographie du sol, de sa capacité de rétention en eau et de la dose d'irrigation.

- L'évolution générale sur la totalité de la période de suivi analytique de la charge bactérienne d'un sol irrigué peut se décrire par la présence des plus fortes teneurs en période estivale (température chaude, irrigation) et des faibles teneurs en hiver atteignant souvent un minimum en avril sous l'effet du froid et de la pluviométrie. Les niveaux obtenus en hiver et au début du printemps sont parfois à la limite de la détection analytique et ne sont pas significativement différents de ceux du témoin. Le phénomène d'accumulation de la charge polluante d'une saison d'irrigation à l'autre ne se produit pas et constitue un élément favorable pour l'utilisation d'une telle technique.

- La comparaison entre les charges apportées par l'eau d'irrigation et les densités bactériennes dénombrées dans les sols montre une bonne concordance entre elles.

3.5. - Le problème des aérosols

Le but de cette expérimentation est de mettre en évidence des risques sanitaires bactériologiques existants pour des promeneurs éventuels, inhalant des aérosols provoqués par l'irrigation par aspersion.

La technique utilisée pour cette mesure est celle de l'ensemencement direct sur milieux solides.

Quatorze stations de prélèvements réparties tout autour des parcelles d'aspersion ont été installées. La figure 11 présente la localisation géographique exacte de ces points.

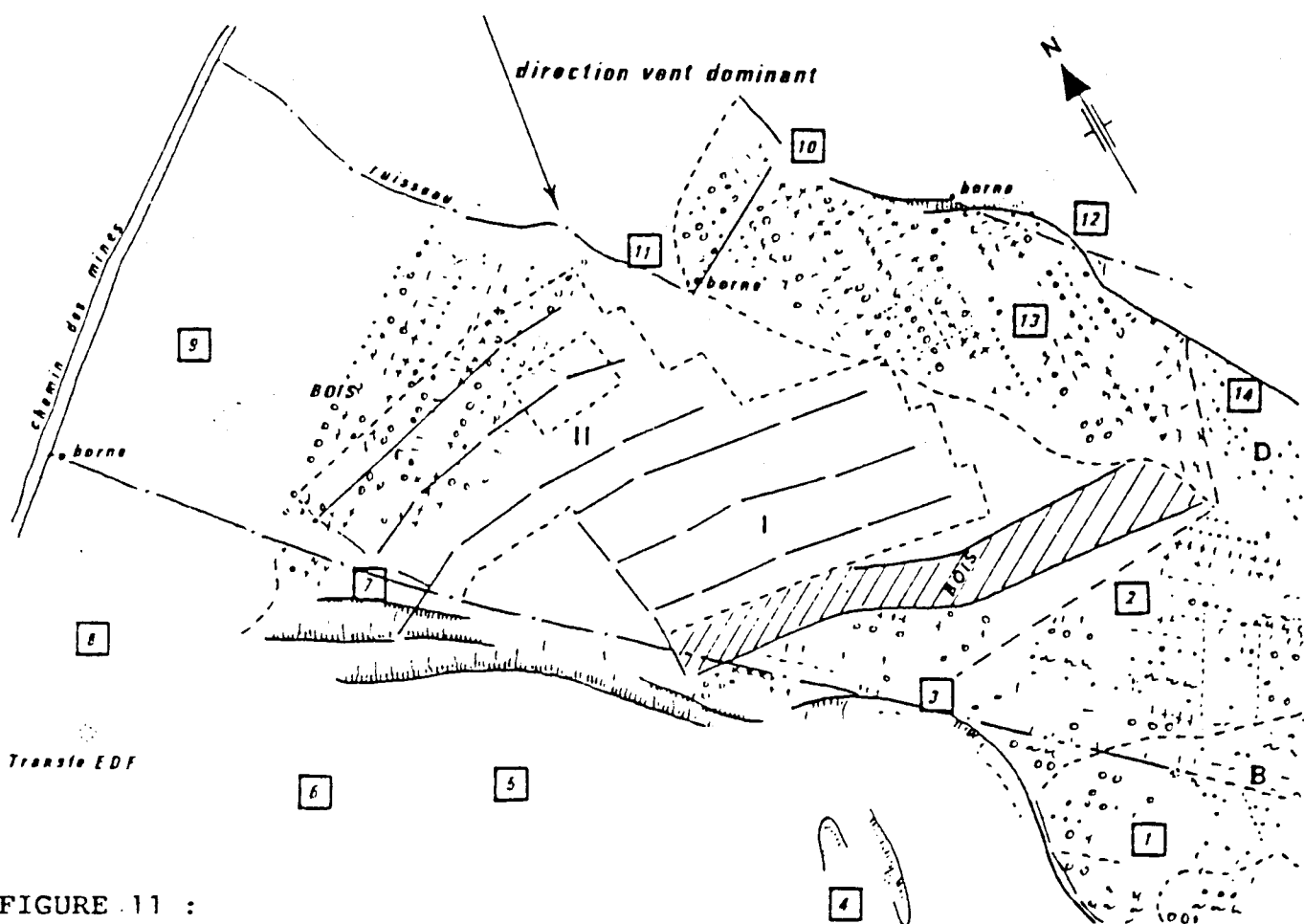


FIGURE 11 :
 Emplacement des stations de prélèvements pour les aérosols
 (14 points au total) Echelle 1/1000

Avec la technique d'ensemencement direct en milieu solide utilisée, il n'est pas possible de déceler la présence d'une contamination bactérienne importante de l'air à proximité des parcelles d'aspersion, en cours de fonctionnement de l'irrigation.

De plus, il n'apparaît aucune différence significative entre l'effluent brut et l'effluent chloré.

La technique d'analyse utilisée peut être mise en cause car elle peut paraître insuffisante pour mettre en évidence une contamination. Toutefois, il est important de remarquer que les conditions expérimentales d'aspersion : pas de brumisation de l'effluent, températures de l'air élevées, sont particulièrement défavorables à la survie des bactéries et à leur dispersion dans le milieu naturel.

IV. - CONCLUSION

L'expérience d'irrigation de forêts avec des eaux usées provenant de la station d'épuration de COGOLIN permet de tirer les enseignements suivants :

1°/ - La microirrigation apparaît comme le mode d'apport le plus adéquat et le plus performant.

Ce système d'irrigation doit être protégé par deux filtres à tamis, placés l'un sur l'aspiration et l'autre en sécurité sur le refoulement de la pompe de mise en pression.

2°/ - La nette diminution de l'inflammabilité des espèces qui composent le maquis dans les zones irriguées ne doit cependant pas être considérée comme la panacée en matière de lutte contre les incendies ; elle est en effet très largement compensée par l'augmentation de la biomasse de broussaille qui, globalement, accroît de façon importante la combustibilité de la forêt. La réponse de la végétation arbustive dont le développement rapide et important transforme en deux ou trois ans les parcelles irriguées en "forêt vierge", représente un inconvénient majeur.

L'expérience montre qu'un débroussaillage annuel est nécessaire dès le départ ceci en attendant que les espèces forestières procurent un couvert suffisamment dense pour obtenir un contrôle total et définitif de ces broussailles ; c'est ce que l'on observe déjà dans certaines zones irriguées où la densité des arbres existants est encore importante.

3°/ - Les espèces végétales qui ont une très forte réaction à l'irrigation avec des eaux usées sont : le robinier et le saule

une forte réaction : l'aulne de Corse, le platane, le micocoulier, l'ailanthe, l'eucalyptus

une réaction modérée : le chêne liège, le pin pignon, le sophora, le cyprès.

4°/ - L'irrigation avec des effluents des sols acides de COGOLIN apporte une amélioration très sensible de leurs caractéristiques physico-chimiques.

5°/ - Les risques sanitaires concernent essentiellement les eaux de ruissellement qui, lorsque l'irrigation est bien menée, n'apparaissent que durant les périodes pluvieuses ; en été, les premiers orages entraînent de nombreux éléments minéraux stockés dans le sol et provenant de l'irrigation ; cela se traduit au niveau du ruissellement par une dégradation de la qualité de ces eaux ; les charges polluantes sont d'autant plus fortes que l'épisode pluvieux est important et qu'il survient en saison sèche pendant ou après la période d'irrigation. En général seules les pluies proches ou supérieures à 100 mm ont une incidence notable sur la qualité des eaux de ruissellement.

6°/ - Il n'y a pas un phénomène d'accumulation des charges bactériennes dans le sol d'une saison d'irrigation à l'autre.

En conclusion, l'utilisation d'effluents en forêt méditerranéenne pour l'irrigation présente beaucoup d'intérêt : elle permet d'éliminer une source de pollution pour le milieu naturel.

- elle constitue une ressource en eau complémentaire pour le milieu forestier.

Si les doses d'effluent apportées sont calées sur les besoins en eau des plantes et les caractéristiques hydrodynamiques des sols, ces opérations peuvent se faire sans préjudice pour le milieu naturel et humain.