

# *Utilisation des terreaux d'épuration de la Ville de Marseille pour la reforestation du plateau de Carpiagne*

par Alain Chaudron  
Philippe Boiseau  
Daniel Chastel  
et Jacques Gourc\*

La Direction générale des Services techniques de la Ville de Marseille a demandé à l'Office National des Forêts de réaliser une étude sur les possibilités de reforestation qu'offrent les terreaux issus de sa nouvelle station d'épuration.

Réalisée avec l'appui de la Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme à Marseille et du CEMAGREF de Grenoble, « L'étude préalable à la reforestation du Plateau de Carpiagne » a été rédigée en 1988.

Avec l'aimable autorisation de la Ville de Marseille, nous en publions ci-dessous un résumé.

## *Mise en place d'une filière de traitement et valorisation des effluents urbains*

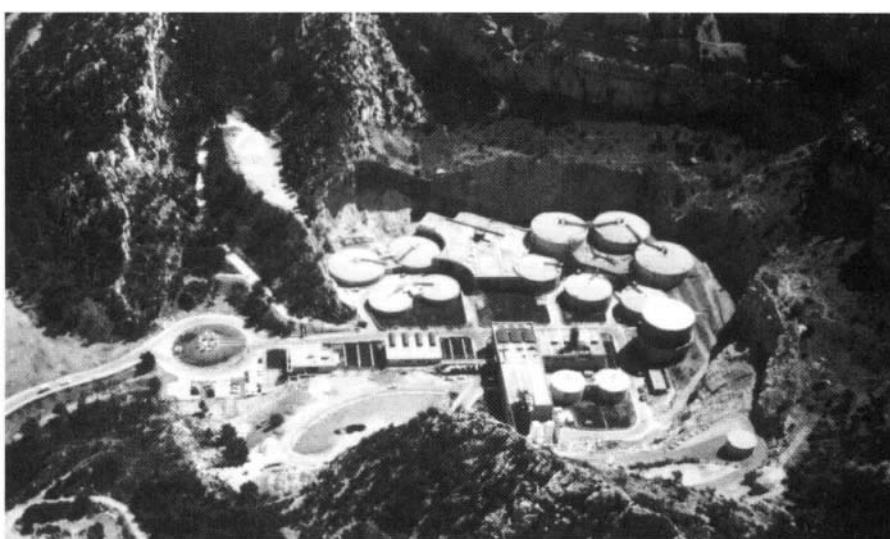


Photo 1. Vue ancienne de la situation de traitement des boues.

Photo J. B.

Le réseau actuel d'assainissement de l'agglomération marseillaise s'étend sur 8 communes (10 000 ha) ; il concerne un million d'habitants, le volume d'eaux usées est de 90 millions de m<sup>3</sup>/an.

Alors que jusqu'en 1987 tous les effluents étaient directement rejetés en mer, la Ville de Marseille vient d'inaugurer, en novembre 1987, puis en janvier 1989 deux usines, d'un coût total d'un milliard de francs.

- usine de traitement des eaux (300 000 m<sup>3</sup> par jour).
- usine de traitement des boues liquides (3 000 m<sup>3</sup> par jour).

(\*) Office National des Forêts  
Service Départemental des  
Bouches-du-Rhône  
46, avenue Paul-Cézanne  
13098 Aix-en-Provence Cedex 2

En liaison avec la Société du Canal de Provence (S.C.P.), la Ville de Marseille avait mené plusieurs essais préalables : essais en cases lysimétriques et conteneurs (1977) ; plantations expérimentales sur le Plateau de la Mûre (1979).

A la lumière de ces expériences, la Ville a fait le choix de la filière de conditionnement thermique : les boues sont stabilisées par voie anaérobie puis traitées à 190° C sous une pression de 20 bars pendant 45 mn. On obtient ainsi des produits déshydratés utilisables en agriculture et en sylviculture. Plus loin dans le texte, le terme « terreau » sera donc utilisé concurremment à celui de boues d'épuration conditionnées thermiquement.

Un reboisement expérimental a ensuite été effectué sur le Plateau de Carpiagne : apport de boues thermiques en provenance d'Achères ; épandage et incorporation au sol durant l'été 1982 ; plantations au printemps 1983.

Les techniques de préparation du sol, les doses d'apport des terreaux (100, 200, 400 tonnes/ha de matière sèche), les essences (Pin d'Alep, Cyprès méditerranéen, Robinier) ont pu ainsi être testées par le Cemagref d'Aix-en-Provence (Centre national du machinisme agricole du génie rural des eaux et forêts).

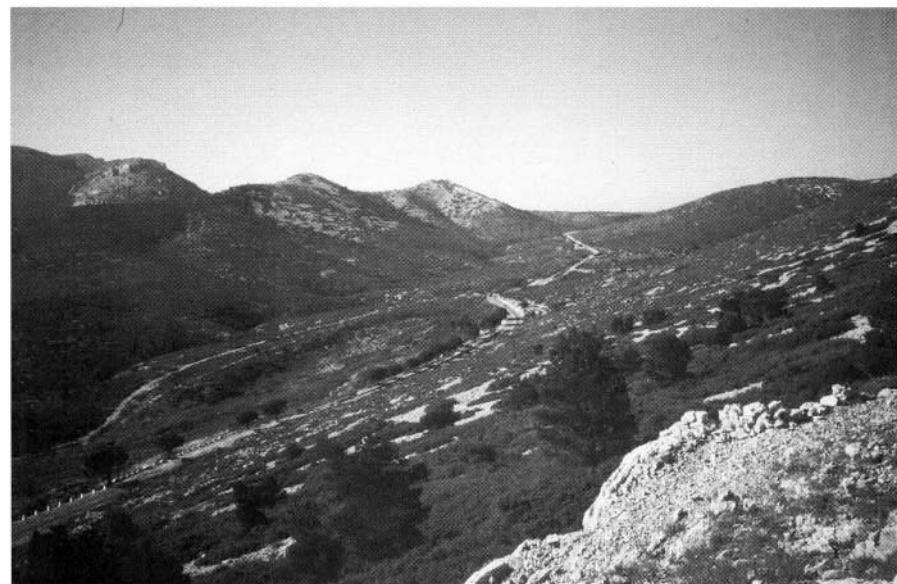


Photo 2. Vue générale du site.

Photo A Chaudron.

A ce jour, avec 5 ans de recul, les taux de reprise et la hauteur des plants sont régulièrement mesurés.

Au vu des résultats encourageants, la Ville envisage donc dès 1989 d'utiliser 32 000 tonnes par an (soit 16 000 tonnes de matière sèche) pour la plantation annuelle d'environ 40 ha, à raison de 400 tonnes par ha de matière sèche.



Photo 3. Fosse pédologique.

Photo G. Aubert.

## Le milieu naturel

La zone retenue est située au sud-est de l'agglomération marseillaise, entre le Col de la Gineste et Carnoux, au nord du Massif des Calanques.

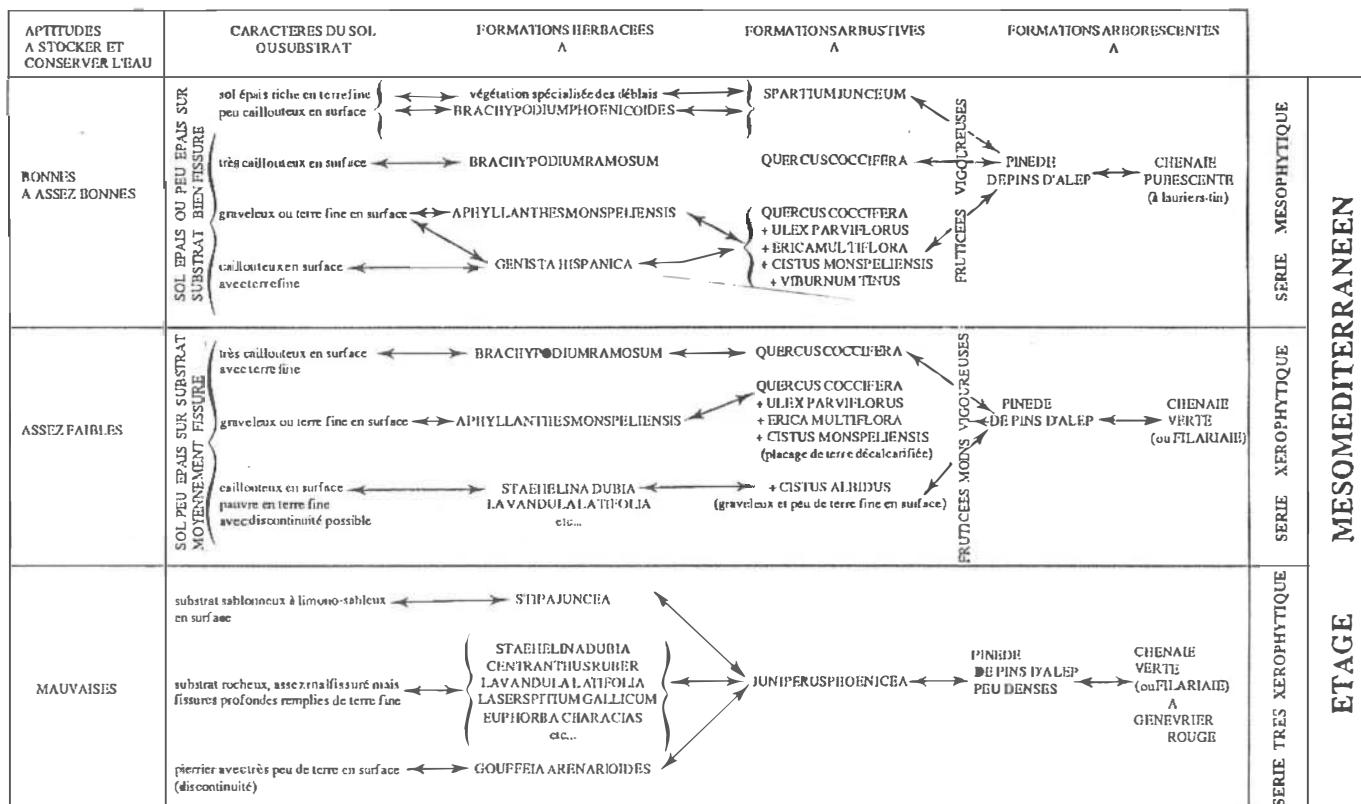
Il s'agit de terrains sédimentaires, du jurassique et du crétacé, avec une forte importance de calcaires urgoniens compacts, fissurés.

Les précipitations s'infiltrent dans les fissures du karst et le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) a mené une étude hydrogéologique précise à ce sujet.

Le climat se caractérise non seulement par la sécheresse estivale, mais aussi par des gels importants ; la pluviométrie est de l'ordre de 600 à 700 mm par an, très irrégulière ; le climat est également marqué par l'importance du vent (80 jours de Mistral par an).

Les sols y sont très dégradés, fruit d'une érosion passée intense (climats secs et froids des phases glaciaires et surtout incendies répétés et surexploitation humaine aux portes d'une agglomération importante). Actuellement, en matière pédologique, l'épaisseur et la granulométrie du sol mais surtout le degré de fissuration de la roche ainsi que la présence de poches de « terra rossa » sont les facteurs prépondérants.

La végétation résulte d'une dégradation de la chênaie, qui ne subsiste qu'en de rares îlots : les deux principales formations sont des garrigues à chênes kermes et des pelouses à brachypode rameux, plus ou moins colonisés par le Pin d'Alep. Subsistent de façon très disséminée quelques cépées de chêne.



*Remarque:* une série très xérophytique ayant pour terme d'évolution progressive une formation arborescente à pin d'Alep en mélange avec du chêne vert, ne peut être envisagée que sur des escarpements sous forme de falaises comme cela peut être le cas dans le massif des Calanques. Ici cette série est absente pour des raisons d'ordre topographique.

Tableau I. Schéma de la dynamique de la végétation.

## Le milieu humain

La zone concernée est traversée d'ouest en est par le CD 559 qui est un axe très fréquenté ; les Calanques au sud attirent un tourisme important ; le nord de la zone est utilisé, pour sa plus grande partie, par un camp militaire.

En 1979, un incendie a ravagé l'ensemble de cette zone aujourd'hui lieu de passage délaissé et négligé par le public.

Sur le plan foncier, la quasi totalité de la zone d'étude est située en site classé ; la majorité des terrains appartenient à des propriétaires publics (Etat, Département, Conservatoire du Littoral, Ville de Marseille) et ont une vocation d'espaces naturels, hormis les terrains d'exercice militaire.

tiennent à des propriétaires publics (Etat, Département, Conservatoire du Littoral, Ville de Marseille) et ont une vocation d'espaces naturels, hormis les terrains d'exercice militaire.

Aphyllanthe de Montpellier, à Staeheline douteuse, à Stipe à aspect de jonc, pierriers à *Gouffea arenariooides*, pelouses à Genêt d'Espagne, à Brachypode de Phénicie, formations herbacées de déblais).

Ces formations se rapportent à trois « séries » de l'étage mésoméditerranéen : série mésophytique, série xérophytique, série très xérophytique, comme le montre le tableau ci-dessus.

## Etude des sols

91 fosses pédologiques (cf. ci-contre) ont été ouvertes sur le terrain et ont donné lieu à des analyses chimiques.

La carte des sols au 1/10 000 met en évidence :

- la nature du substrat (sol plus sous-sol) : calcaire (avec facies dolomitique sous le Col de la Gineste),
- l'aptitude à emmagasiner l'eau (en général moyenne),
- l'existence de terre fine, en surface ou en profondeur, de nature calcaire ou non,
- les zones où le sous-solage amènerait les blocs en surface.

## Etude de la végétation et des sols

### Etude de la végétation

L'étude détaillée menée sur le terrain aboutit à une carte au 1/10 000 sur laquelle on distingue :

- une formation arborescente : pinède de Pin d'Alep
- 11 formations arbustives : 3 hautes (jeunes pinèdes de Pins d'Alep ; fruticées à *Spartium Junceum*,

bouquets de *Phillyrea media*) et 8 basses (fruticées à Chêne kermes, fruticées à Argeiras, fruticées à Ciste de Montpellier, fruticées à Bruyère multiflore, fruticées à Ciste blanc, fruticées à Romarin, fruticées à Sumac des corroyeurs, formation arbustive hygrophile).

- 8 formations herbacées (pelouses à Brachypode rameux, à

### Relations sols-végétation

Cette étude a permis de mettre en évidence des rapports entre les diffé-

rentes formations du tapis végétal et les sols les supportant (démarche déjà utilisée lors d'une étude pour l'élaboration de l'aménagement de la forêt domaniale de La Gardiole, mitoyenne). C'est ainsi que la carte des sols n'est pas le fruit d'un inventaire statistique par fosses pédologiques (fort difficile et onéreux dans une zone à très forte hétérogénéité pédologique) mais a été dessinée à partir du tapis végétal, une fois établies et confirmées les corrélations sol-végétation pour la zone d'étude.

## Impact d'apports de terreau

- L'impact sur le sol est très largement positif : élévation de la teneur en matière organique ; enrichissement en argiles, limons et sables ; abaissement du pH et augmentation de la fertilité (augmentation de la capacité totale d'échange et fort enrichissement en phosphore) ; et surtout accroissement de la capacité du sol à retenir l'eau et accroissement de l'eau utile (disponible pour les végétaux). Par contre, la faible teneur en azote assimilable imposera par la suite l'apport de cet élément sous forme d'engrais ou par installation de légumineuses.

- L'incorporation du terreau au sol est préférable à un simple épandage pour une amélioration réellement importante des caractéristiques du sol. L'installation ultérieure des jeunes plants se fera d'autant mieux dans des horizons fissurés et ameublis avec mélange intime sol-terreau.

- Outre l'effet bénéfique sur le développement des espèces qui sont plantées, l'apport de terreau amène à une véritable substitution du couvert végétal environnant : destruction durable de la garrigue par les travaux mécaniques de préparation du sol, explosion d'une flore de rudérales annuelles qui présentent un danger certain par leur inflammabilité à la saison sèche.

- Métaux lourds : l'apport de terreau au sein du sol risque d'entraîner une élévation temporaire ou permanente de la teneur en certains métaux lourds. Aussi des analyses ont été réalisées sur une vingtaine d'échantillons prélevés à la fois sur des terrains naturels et sur les parcelles expérimentales. Toutes les valeurs obtenues sont largement inférieures aux valeurs normales maximales. Néanmoins, à partir de cet état initial, il est indispensable que les teneurs en métaux lourds fassent l'objet d'un suivi très régulier dans le cadre général du projet de reforestation.

## Etude paysagère

Après avoir quitté Marseille (un million d'habitants) par le CD 559, on découvre le site depuis le Col de la Gineste.

Celui-ci se présente comme un vaste vallon, marqué par la route départementale où il y aura lieu :

- de maintenir en état les versants et les crêtes en préservant leur beauté « naturelle »,

- de replanter et enrichir les plateaux et fonds de vallons,

- de limiter les plantations à une altitude maximum au-dessus de laquelle le paysage sera conservé en état.

Les reboisements épouseront dans toute la mesure du possible le relief en

évitant les alignements et en conservant des ouvertures vers des points de vue remarquables (Baie de Marseille, Cap Canaille).

On cherchera à éviter tout effet de masse en alternant zones plantées, zones de clairières et zones de garrigues et en mélangeant les essences par bouquet.

Les andains rocheux seront soit masqués par le relief en profitant des petites cuvettes et vallonnements soit organisés pour souligner un pôle attractif.

Une attention toute particulière sera apportée pour le traitement des lisières.

## Les zones à reforester

### Synthèse

Le travail précédent se présente comme une série d'éliminations successives de terrains impropre à une reforestation :

- occupations du sol,
- pentes,
- sols,
- paysages.

En éliminant en outre les zones de plantations ou de régénérations naturelles de pins d'Alep, les terrains nécessaires à la D.F.C.I., aux accès ou de surface trop faible, la surface reforestable est ramenée à 240 ha soit un potentiel de 40 ha/an pendant 6 ans.

- DEFENSE DE LA FORET CONTRE L'INCENDIE : Cette opéra-

tion ambitieuse serait vouée avec certitude à l'échec si la protection D.F.C.I. n'était pas conçue dès le départ. Retenons un réseau de pistes important interdit à toute circulation publique motorisée se couplant avec les cloisonnements dans les plantations et des débroussaillages fréquents, particulièrement dans les zones replantées. Les zones les plus exposées (bordures de routes, couloirs à vent...) seront traitées classiquement en bandes débroussaillées de sécurité.

- PREPARATION DES SOLS : Cette opération est déterminante, bien que les sols soient moins squelettiques que ne le laisserait supposer la simple observation de surface. Elle sera particulièrement lourde et néces-



Photo 4. Travaux de préparation du sol.

Photo Richaud.

CLASSE DE POTENTIALITE	SERIE DE VEGETATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	ESSENCES DE REBOISEMENT PROPOSEES		
1	SERIE MESOPHYTIQUE DU CHENE PUBESCENT SUR SUBSTRAT BIEN FISSURE	- SOL TRES EPAIS RICHE EN TERRE FINE - VEGETATION DE REMPLAIS DONT SPARTIUM JUNCEUM	- PIN PIGNON - PIN DE LELDAR - PIN D'ALEP - CEDRE DE L'ATLAS - (CEDRE DU LIBAN) - (CARM MEDITERRANEE) - (CYPRUS DE PROVENCE) - (CYPRUS DE LEYLAND)  - CHENE PUBESCENT - FILARIA - FRINE A FEUILLES - ERABLE DE MONTPELLIER - MURIER PLATANIF. - IROUDE - ARNAISTER - CHENE VERT	- ARBRE DE JUDEE - OLIVIER DE BOHÈME - POMER A FEUILLES - DAMANDIER - PISTACHE TERRIFIANTHE - GAILLACOLIER - MIEL ARGENTÉ - (ILLEUL A PETITES FEUILLES) - (FEVIER)	
2	SERIE MESOPHYTIQUE DU CHENE PUBESCENT SUR SUBSTRAT BIEN FISSURE	- SOL CAILLOUTEUX OU GRAVELLEUX EN SURFACE AVEC TERRE FINE  - VEGETATION : CHENE KERMES, CISTE DE MONTPELLIER, BRUYERE MULTIFLORE, ARGEIRAS	- PIN PIGNON - PIN DE LELDAR - PIN D'ALEP - (CEDRE DU LIBAN) - (CYPRUS DE PROVENCE) - (CARM MEDITERRANEE) - SORBIER DOMESTIQUE	- CHENE PUBESCENT - FILARIA - FRINE A FEUILLES - ERABLE DE MONTPELLIER - (CHENE VERT) - (ARBousier) - (MIDDLELLIER)	- ARBRE DE JUDEE - OLIVIER DE BOHÈME - POMER A FEUILLES - DAMANDIER - PISTACHE TERRIFIANTHE - (FEVIER)
3	SERIE XEROPHYTIQUE DE LA CHENAIE VERTE SUR SUBSTRAT MOYENNEMENT FISSURE	- SOL GRAVELLEUX AVEC TERRE FINE  - VEGETATION : CHENE KERMES, CISTE DE MONTPELLIER, BRUYERE MULTIFLORE, ARGEIRAS	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - PIN PIGNON - (CEDRE DU LIBAN) - (CYPRUS DE PROVENCE)	- FILARIA - (CHENE VERT) - (ARBousier)	
4	SERIE XEROPHYTIQUE DE LA CHENAIE VERTE SUR SUBSTRAT MOYENNEMENT FISSURE	- SOL CAILLOUTEUX AVEC TERRE FINE  - VEGETATION : CHENE KERMES	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - (CYPRUS DE PROVENCE) - (CEDRE DU LIBAN)	- FILARIA - (CHENE VERT) - (ARBousier)	
5	SERIE TRES XEROPHYTIQUE DE LA CHENAIE VERTE A GENEVRIER DE PHENICE SUR SUBSTRAT SARLONNEUX	- SOL CAILLOUTEUX PAUVRE EN TERRE FINE  - VEGETATION : CISTE BLANCHE, STIPA JUNCEA	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - (CYPRUS DE PROVENCE) - (CHENE VERT)	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - (CYPRUS DE PROVENCE)	
6	SERIE TRES XEROPHYTIQUE DE LA CHENAIE VERTE A GENEVRIER DE PHENICE SUR SUBSTRAT SARLONNEUX	- SOL TRES PAUVRE EN TERRE FINE A TRES MAUVAISE CAPACITE DE RETENTION EN EAU  - VEGETATION : GENEVRIER DE PHENICE, STIPA JUNCEA	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - (CYPRUS DE PROVENCE)	- PIN D'ALEP - PIN DE LELDAR - (CYPRUS DE PROVENCE)	

— : ESSENCE PRINCIPALE  
— : ESSENCE SECONDAIRE  
( ) : ESSENCE EXPERIMENTALE

Tableau II. Choix des essences de reboisement.

sitera l'utilisations d'engins puissants. Dans l'ordre :

- décapage de la garrigue puis sous-solage croisé et mise en andains des plus gros blocs (Bull de 250 CV avec Ripper et Rateau Fleco).
- broyage des cailloux sur 20 cm d'épaisseur (Bull 250 CV + Concasseur).
- enfouissement des terreaux avec charrues lourdes (Bull 250 CV + Cover Crop lourd).

Les terrains ainsi préparés seront :

- facilement approvisionnables et enrichis en terreau,
- d'entretien régulier aisés.

**CHOIX DES ESSENCES** : Sur le plan biologique, le but visé consiste à recréer un micro-climat de sous-bois (ambiance forestière) avec les espèces pionnières qui peuvent pousser en plein découvert. L'apport de terreau ne fait qu'améliorer la seule composante écologique « sol ». Mais, les autres facteurs notamment climatiques restent inchangés, ce qui limite toujours la palette des essences utilisables. Le tableau ci dessus détaille les choix d'essences selon cinq classes de potentialités.

**ENTRETIENS** : L'avenir du site dépendra de la qualité de son entretien et donc de la gestion des zones reforestées. En effet, les risques de dégradation sont multiples : ordures,

vandalisme, vol de végétaux, concurrence plantations-végétation adventice, accidents climatiques, attaques parasitaires et surtout incendies. Rien ne serait plus catastrophique que d'avoir remplacé une zone semi-désertique, peu attractive, mais « naturelle » ou reconnue comme telle par le public, par un espace « artificielisé », laissé à l'abandon, sale et peut-être calciné.

## Conclusion générale

Cette étude a permis de mieux cerner dans quelles conditions une ceinture verte pourrait être recréée autour de Marseille en reboisant le Plateau de Carpiagne avec un apport de terreaux, conditionnés thermiquement, de la nouvelle station d'épuration.



Photo 5. Plantations de 5 ans sur terreaux d'épuration.

Photo Richaud.

La Ville de Marseille est engagée depuis dix ans dans ce pari audacieux, pour lequel elle s'est donnée toutes les garanties de réussite. Son projet, novateur et ambitieux, est exemplaire à bien des égards.

Il restera un modèle pour d'autres collectivités dès lors que la Ville de Marseille se donnera les moyens d'une mise en œuvre soignée des travaux et d'un suivi scientifique régulier :

## Résumé

En 1988, la Ville de Marseille fait réaliser par l'Office national des forêts (assisté par l'Université et le Cemagref) une étude sur la reforestation d'une zone naturelle dégradée en utilisant les boues déshydratées produites par la station d'épuration.

Le site concerné est le Plateau de Carpiagne situé au Nord du Massif des Calanques. En partant d'une zone de 470 ha, l'analyse des potentialités des sols (cartes de la végétation et des sols) et des contraintes diverses (pente, accès, paysage, surfaces à réserver à la D.F.C.I., occupation du sol, etc.) ramène la surface reforestable à 240 ha. En conclusion, l'étude fait des propositions sur les techniques de préparation des sols à employer et sur les essences végétales à utiliser en fonction des caractéristiques des sols et rappelle l'importance d'un suivi régulier.

## Riassunto

Utilizzazione dei terricci di depurazione della città di Marsiglia per la riforestazione dell'altopiano di Carpiagne.

Questo articolo riassume « Lo studio preliminare alla riforestazione dell'Altopiano di Carpiagne » redatto in 1988 dall'Ente nazionale per le Foreste, coll'appoggio dell'Università e del Cemagref, a richiesta della Città di Marsiglia.

Fin de 1977, la Città di Marsiglia ha condotto parecchie prove, che l'hanno portata, per la costruzione della stazione di depurazione, a fare la scelta della traiola di condizionamento termico dei fanghi, che permette la loro utilizzazione per l'agricoltura e la selvicoltura. Fin da 1989, la produzione di terricci deve essere di 32 000 tonnellate all'anno, cioè 16 000 tonnellate di aridi, che permettono la piantagione di 40 ettari, in ragione di 400 tonnellate all'ettaro di aridi.

Lo studio sulle possibilità di riforestazione ha portato sulla zona naturale dell'Altopiano di Carpiagne, situato al nord del massiccio dei Calanchi,

- contrôle permanent de la qualité des terreaux mis en œuvre,
- contrôle de la qualité de la nappe aquifère,
- évolution des sols : analyses des teneurs en métaux lourds en particulier,
- évolution de la flore et comportement des essences de reboisement.

A. C., Ph. B.,  
D. C., J. C.

caratterizzato da un clima mediterraneo, da suoli calcarei assai degradati e da una vegetazione risultando della degradazione del querceto. Le esigenze ligate all'utilizzazione attuale del suolo e al pendio hanno ridotto la zona di studio a 470 ettari.

Su questa zona, un'analisi a fondo ha permesso la realizzazione di una mappa della vegetazione dove sono distinte una formazione arborescente, undici formazioni arbustive e otto formazioni erbacee, che si rapportano a tre serie dello strato mesomediterraneo. L'esame dei suoli, dopo apertura di 91 fosse pedologiche, ha permesso la realizzazione di una mappa precisa che mostra in particolare le correlazioni suolo-vegetazione per la zona di studio. L'impatto degli apporti di fango sul suolo è assai largamente positivo ; i rischi dovuti agli apporti di metalli pesanti sono valutati con cura e dovranno essere materia di un seguito regolare.

Lo studio ha anche portato sulle esigenze di ordine paesaggistico e dà parecchie raccomandazioni per minimizzare l'impatto dei riboscimenti futuri : alternanza di zone piantate e di zone di radure, trattamento delle andane : trattamento dei limitari.

L'esame di tutte le esigenze : occupazione dei suoli (piantagioni, rigenerazioni naturali), paesaggio, qualità dei terreni, accesso, pendio, superfici da riservare alla D.F.C.I., ha condotto a ridurre la superficie rorestabile a 240 ettari.

In conclusione, lo studio raccomanda le modalità di preparazione dei suoli e anche delle essenze vegetali da utilizzare in funzione delle potenzialità dei suoli.

Finalmente, è precisato che questa operazione, novatrice e ambiziosa, è esemplare a molti aspetti ; rimarrà un modello dal momento che la Città di Marsiglia si darà i mezzi di una messa in opera curata e di un seguito scientifico regolare.

## Summary

Using the purifying mould of Marseilles - in order to reforest the Carpiagne table land

The present article gives a summary of « the preliminary survey to a reforestation of the Carpiagne table land » written up in 1988 by the Office National des Forêts, with the help of the University and the Cemagref, on request of the Town of Marseilles.

As soon as 1977, the Town Marseilles, made several attempts, that lead it, in building the purifying station, to choose the channel of thermic drying of muds that allows to use in agriculture and sylviculture.

As soon as 1989, the mould production must be of 32 000 tons per year which is 16 000 tons of dry material allowing to plan 40 ha at the rate of 400 tons per ha of dry material.

The survey on the abilities of reforestation have been made on the natural area of the Carpiagne table land, located Northern of the Calanques mountains characterised by a Mediterranean climate, very damaged calcareous grounds and a vegetation due to a degradation of the grove of oaks. Constraints due to the present use the ground and to the slope have limited the studied area to 470 ha.

On this area, a thorough analysis lead to draw a map of the vegetation on which can be seen one arborescent formation, and eleven bushy formations and eight herbaceous formations in connection with three ranges of the mesomediterranean stratum. The examination of grounds, after an opening of 91 pedological pits, allowed to draw a precise map showing in particular the correlations ground/vegetation for the studied area.

The impact of muds brought on the ground is very largely positive : risks due to deposits of heavy metals have been carefully evaluated and have to be regularly watched.

The survey has also been made on constraints of landscape and give several advices to lessen the impact fo future reforestation : succession of plated areas and clearing areas, treatment of swatches, teatmen of edges.

Examination of all contraints : use of grounds (plantations, natural reclamation) landscape, quality of grounds, access, slope, surfaces to keep for fighting against wild fires have lead to limit the reforestable surface to 240 ha. In conclusion, the survey gives the ways of preparing the grounds and the vegetal species to use in connection with the possibilities of grounds. In the end, it is said that this ambitious and innovating operation, is an example in many ways ; it will remain las a model as soon as the Town of Marseilles will give to itself the means of careful start and a regular scientific watch.