

ÉTUDE D'UN BILAN HYDRIQUE : LES " ILES DU RHIN " EN ALSACE

PAR

M. BONNEAU, J.-C. HEINRICH, G. LÉVY

I. — INTRODUCTION - PROBLÈME POSÉ

On sait que la rectification du lit du Rhin dans la plaine d'Alsace a transformé complètement depuis un siècle environ le cours de ce fleuve : à un tracé constamment fluctuant, à une vallée fréquemment inondée, a été substitué un lit fixe et profond, doublé depuis ces dernières années par le Grand Canal d'Alsace. Les conditions stationnelles de la vallée en ont été, elles aussi, profondément modifiées : les volumes d'eau apportés par les inondations, la présence d'une nappe phréatique élevée déterminaient une alimentation en eau pléthorique et des conditions nettement hydromorphes. Le creusement du lit, en abaissant les nappes, en réduisant à la seule eau de pluie les apports d'eau, a fait rapidement apparaître une sécheresse accusée du sol, dans une région où la pluviométrie est relativement faible.

Les forêts voisines du Rhin, constituées primitivement d'essences hydrophiles (Chêne pédonculé, peupliers blancs, aunes, trembles), ont réagi de manière particulièrement nette et des signes de dépérissement certains (mortalité, descentes de cimes) sont constatés depuis les travaux. C'est le cas, en particulier, dans la région située au nord de Mulhouse, de l'ancienne forêt des « Iles du Rhin ».

Le creusement du Grand Canal d'Alsace a isolé le long du Rhin une longue bande étroite de cette forêt, qui est actuellement propriété de l'E.D.F., et totalement improductive. Inquiet de la stérilité de ces terrains et surtout de leur aspect désolé, le Conseil Général du Haut-Rhin a demandé au propriétaire de les reboiser. L'E.D.F. a donc pris l'avis de l'Administration des Eaux et Forêts. Il était bien difficile aux services de la Conservation de Colmar d'encourager d'emblée une telle opération à l'emplacement même d'une ancienne forêt domaniale, qui donnait des signes manifestes de dépé-

rissement. C'est pourquoi il a été demandé à la Station de Recherches et Expériences Forestières d'étudier le problème de manière plus détaillée.

II. — PREMIÈRES IMPRESSIONS ÉTUDE RAPIDE DE LA VÉGÉTATION ET DES SOLS

Une première tournée très rapide a eu pour but d'obtenir une vue générale du problème, de prendre connaissance de la végétation et des sols.

Le substratum géologique est formé d'alluvions récentes du Rhin, qui sont dans l'ensemble extrêmement grossières et très hétérogènes. Il semble que, sous une couche superficielle de sable de quelques décimètres d'épaisseur, existent des lits importants de graviers et de cailloux roulés. D'emblée, on peut distinguer à l'heure actuelle deux grands types de station.

1 — Sur certains points, les travaux récents d'établissement du Canal d'Alsace ont fait disparaître la couche de sable supérieure et mis à jour les lits de graviers grossiers. Ces graviers et cailloux ont également été retirés de l'emplacement actuel du canal et entassés en cordons de 7 à 8 mètres de haut sur sa rive Est. Ainsi, certains sols se trouvent être à l'heure actuelle des sols bruts d'érosion, progressivement colonisés par une végétation claire arbustive et herbacée, à base de *Solidago glabra*, *Populus nigra*, *Salix incana*, *Salix viminalis* et *Hippophae rhamnoides*. Leur surface étant cependant assez restreinte, ils n'ont pas fait l'objet d'une étude spéciale.

2 — Partout ailleurs existe un faciès plus ou moins dégradé de la forêt primitive, qui n'est plus à l'heure actuelle qu'une formation arbustive clairsemée dominée par quelques arbres, qui se maintiennent tant bien que mal en vie. On peut toutefois distinguer deux types de station.

21 — Les stations très sèches, où la vigueur de la végétation est très faible. Deux stations (n° I et II) ont été étudiées sur la rive ouest du canal, dans la forêt communale de Fessenheim.

Station I : près du barrage de Fessenheim, dans un petit boisement artificiel de pins sylvestres de 50 ans.

Végétation :

STRATE HERBACÉE : *Koeleria cristata*, *Thymus serpyllum*, *Helianthemum vulgare*, *Calamagrostis epigeios*, *Helleborus foetidus*, *Avena elatior*.

STRATE ARBUSTIVE (1 mètre de hauteur environ) : les espèces les plus abondantes sont : *Ligustrum vulgare*, *Quercus pedunculata*, *Cra-*

taegus monogyna, *Viburnum lantana*, *Pinus silvestris*. Les espèces calcicoles dominent donc. On note à côté d'elles, en moindre abondance: *Cerasus padus*, *Ulmus campestris*, *Salix viminalis*, *Salix caprea*.

STRATE ARBORESCENTE: *Pinus silvestris* (13 m), *Populus tremula*, *Quercus pedunculata* (8 m), *Robinia pseudoacacia* (6 m).

Sol :

- A₁ (0-10 cm): gris-noir, argilo-limoneux, sans cailloux, grumeleux, occupé par un chevelu important.
- A'₁ (—10 —30 cm): brun clair, limono-sableux, sans cailloux, motteux, parcouru en abondance par de grosses racines.
- C₁ (—30 —90 cm): graviers grossiers, sans racines.
- C₂ (—90 —180 cm): graviers avec 30 % de limons sableux; quelques racines moyennes et chevelu assez abondant.

Station II (bouquet de pins sylvestres de la forêt communale de Fessenheim).

Végétation :

STRATE HERBACÉE: *Brachypodium pinnatum* très abondant, *Solidago glabra*, *Avena elatior*, *Koeleria cristata*.

STRATE ARBUSTIVE (0,50 m à 1 m): *Pinus silvestris*, *Ligustrum vulgare*, *Crataegus monogyna*, *Lonicera xylosteum*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Rosa canina*, *Ulmus campestris*, *Populus tremula*, *Quercus pedunculata*, *Viburnum lantana*. Les quatre premières espèces citées dominent et, à part des semis de Pin sylvestre, sont donc là encore des calcicoles.

STRATE ARBORESCENTE: *Pinus silvestris* (11 m), *Quercus pedunculata* (8 m), *Ulmus campestris* (8 m).

Sol :

- A₁ (0 à —40 cm): brun-gris, sablo-limoneux, graviers abondants, structure grumeleuse. Fortement occupé par les racines.
- C₁ (—40 à —90 cm): beige clair avec taches rouille, sablo-limoneux, motteux, bien occupé par des racines moyennes et fines.
- C₂ (—90 et au-dessous): graviers grossiers avec 25 % de sable. Des racines fines et moyennes sont encore présentes.

Ces deux stations sont donc caractérisées par la présence d'éléments xérophiles (Helianthème, Brachipode penné, Thym) et cal-

cicoles, et surtout par la très faible hauteur des arbres, qui ne dépasse pas 13 mètres pour les pins et 8 mètres pour les feuillus. Les cimes sont peu volumineuses et peu fournies, souvent partiellement sèches.

22 — Des stations apparemment moins sèches, telles que la station III, à 1 km environ au nord du Pont de Chalampé.

Végétation :

STRATE HERBACÉE: recouvrement 80 % : *Solidago glabra* très dominante, *Hypericum perforatum*, *Veronica chamaedris*, *Glechoma hederacea*.

STRATE ARBUSTIVE (jusqu'à 2,5 m) : *Clematis vitalba*, *Populus alba*, *Sambucus nigra*, *Prunus spinosa*, *Crataegus oxyacantha*, *Populus tremula*, *Salix viminalis*, *Viburnum opulifolium*, *Juglans nigra*.

STRATE ARBORESCENTE: recouvrement 60 % : *Populus alba* (12-14 m), *Populus tremula* (12 m), *Tilia platyphyllos* (14 m), *Ulmus campestris* (12 m), *Quercus pedunculata* (14 m), *Alnus incana*, *Robinia pseudoacacia*, *Betula verrucosa*.

Sol :

- A₁ (0—20 cm) : brun-gris, argilo-limoneux, grumeleux, sans cailloux. Grande abondance de racines moyennes et fines.
- C₁ (—20—60 cm) : beige clair, limono-sableux, compact. Forte densité de racines moyennes et fines.
- C₂ (—60—90 cm) : sableux, particulière.
- C₃ (—90—180 cm) : beige clair à traînées ocre verticales, limono-sableux, compact. Racines fines jusqu'à 1,80 m.

Cette station diffère nettement des précédentes par la hauteur des espèces, la vigueur des arbres et leur couvert : les cimes sont plus larges et plus fournies.

Les sols des trois stations ont beaucoup de caractéristiques communes : l'horizon A₁ est généralement épais, relativement riche en matière organique (3 à 4 %), le pH est toujours élevé (7,7 à 8), la teneur en calcaire total est partout de l'ordre de 20 à 25 %, avec 3 à 5 % de calcaire actif. La texture de l'horizon supérieur est grossière, avec 10 % d'argile environ, 50 à 70 % de sables avec majorité de sables fins. Il s'agit donc de pararendzines. La teneur en phosphore est toujours très basse (0,03 ‰ environ). Les différences entre les stations semblent porter essentiellement sur le rapport C/N, un peu plus élevé dans les stations I et II (16 à 18) que dans la station III (11), sur l'abondance du squelette de graviers

dans la roche-mère, très important dans les deux premiers sols et presque nul dans le troisième, sur la granulométrie de la terre fine, un peu moins grossière dans la station III. Précisons en outre qu'aucune nappe permanente n'a été rencontrée et qu'il apparaît fort peu probable qu'il y en ait une dans ces stations à sol filtrant et très proches du lit du Rhin, qui constitue en fait un énorme fossé de drainage de 8 à 10 mètres de profondeur. Il semble qu'une nappe ne pourrait exister qu'à 7 ou 8 mètres de profondeur au minimum.

III. — ETUDE DÉTAILLÉE DU BILAN HYDRIQUE

Au terme de cette première reconnaissance, il apparaît important de pouvoir établir de manière précise le caractère de sécheresse des diverses stations. La méthode utilisée a été celle des bilans hydriques, que nous rappelons brièvement.

1° Principe

On sait que les pertes globales en eau du sol vers l'atmosphère sont composées d'une part de l'évaporation du sol et d'autre part de la transpiration des plantes. La somme des deux est groupée sous le terme d'évapotranspiration. Si le sol était constamment bien pourvu en eau ces pertes atteindraient un chiffre maximum, appelé évapotranspiration potentielle, et qui correspondrait à une couverture complète du sol par les plantes, et à une croissance maxima de celles-ci sans que la nutrition en eau constitue un facteur limitant. En fait, les plantes n'ont pas toujours assez d'eau à leur disposition et sont parfois obligées de restreindre leur consommation: l'évapotranspiration réelle est souvent inférieure à l'évapotranspiration potentielle. Un des premiers buts recherchés dans l'établissement du bilan hydrique est justement de comparer, par périodes aussi courtes que possible, généralement mois par mois, l'évapotranspiration potentielle et l'apport d'eau fourni par la pluie. On fait ainsi ressortir des périodes de l'année à bilan positif, où la pluie est capable d'assurer à elle seule la consommation maxima des plantes, et des périodes à bilan négatif, où les plantes reçoivent moins que leurs besoins optima. Il s'agit donc là d'un bilan purement climatique.

Une deuxième opération consiste à voir dans quelle mesure le sol peut emmagasiner les quantités d'eau excédentaires des mois à bilan positif, pour les restituer pendant les mois secs et combler ainsi le déficit climatique. On dresse donc un deuxième bilan, cette fois pédologique, qui vient compléter les données du premier.

2° Etablissement du bilan climatique

La pluviométrie est une donnée facile à obtenir. Toutefois en matière de forêt (puisqu'il s'agit de la création d'un peuplement

forestier), il est logique de diminuer la pluviométrie d'une certaine quantité d'eau qui ne parvient jamais au sol, mais est retenue sur les cimes d'où elle est directement évaporée. Cette interception est difficile à connaître. Des mesures faites à l'étranger la chiffrent à 240 mm par an dans le Harz, en Allemagne (MAYER), à 90 mm seulement en Californie (ROWE et COLMAN). Nous avons admis un chiffre de 85 mm (10 mm par mois d'été, 5 mm par mois d'hiver), pour être sûr de ne pas accorder un trop grand rôle à ce facteur, dont l'importance peut d'ailleurs être discutée: en effet, si l'interception par les cimes diminue les apports d'eau, elle réduit certainement en contrepartie, l'évapotranspiration potentielle en contribuant à saturer l'atmosphère au voisinage des feuilles.

L'évapotranspiration potentielle a été calculée d'après la formule de TURC (1961), dans le cas où l'humidité relative de l'air est supérieure à 50 % :

$$ET_p \text{ mm/mois} = 0,40 \frac{t}{t + 15} \times (I_g + 50)$$

$$\text{avec: } I_g = I_g A \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

t: température moyenne du mois considéré,

I_g : radiation globale réelle, en petites calories/cm²,

$I_g A$: radiation globale théorique, en petites calories/cm²,

H: durée d'insolation théorique,

h: durée d'insolation réelle.

Le calcul a été fait pour les valeurs moyennes des années 1958, 1959, 1960, 1961. Les données météorologiques n'ont pu être prises toutes au même endroit; les valeurs adoptées pour ce calcul sont, pour chaque grandeur, celles correspondant à la station la plus proche susceptible de la fournir. Ainsi la pluviométrie a été relevée à Neuf-Brisach, la durée d'insolation réelle à Strasbourg et la température moyenne à Mulhouse. Quant à $I_g A$ et H, les valeurs adoptées sont tirées respectivement des tableaux de MAURAIN et GARCZYNSKI, reproduits par L. TURC (1961).

Les résultats sont donnés dans le tableau I.

L'évapotranspiration potentielle est de 632 mm. Le déficit estival (218 mm) est important, surtout si on le compare à la somme des bilans positifs qui est nettement inférieure (126 mm). Même si l'on n'avait pas fait intervenir l'interception par les cimes, la somme des bilans positifs resterait inférieure au déficit estival.

Encore, s'agissant d'une végétation pérenne, la moyenne de quatre ans ne donne-t-elle qu'une indication grossière, car des dégâts survenus en année très sèche peuvent affecter, plusieurs années durant, la vie des arbres (mortalité des pousses terminales, attaques

TABLEAU I
BILAN CLIMATIQUE
(Moyennes des années 1958 à 1961)
LES DU RHIN

| M o i s | IgA | H | h | Ig | t | P | P - I | ETp | Bilans mensuels positifs | Bilans mensuels négatifs |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-------|-----|--------------------------|--------------------------|
| Janvier | 250 | 264 | 40 | 68 | 1 | 53 | 48 | 3 | + 45 | |
| Février | 387 | 288 | 66 | 124 | 4,4 | 35 | 30 | 15 | + 15 | |
| Mars | 584 | 369 | 133 | 234 | 6,6 | 31 | 26 | 35 | | - 9 |
| Avril | 778 | 410 | 147 | 311 | 9,8 | 45 | 40 | 58 | | - 18 |
| Mai | 925 | 473 | 187 | 398 | 14,2 | 64 | 59 | 88 | | - 29 |
| Juin | 983 | 482 | 191 | 423 | 17,2 | 95 | 85 | 100 | | - 15 |
| Juillet | 942 | 484 | 224 | 443 | 18,8 | 48 | 38 | 110 | | - 72 |
| Août | 812 | 445 | 198 | 365 | 18,6 | 71 | 61 | 91 | | - 30 |
| Septembre | 628 | 378 | 196 | 314 | 16,5 | 40 | 30 | 76 | | - 45 |
| Octobre | 430 | 336 | 106 | 163 | 10,9 | 58 | 48 | 36 | + 12 | |
| Novembre | 275 | 278 | 37 | 72 | 5,2 | 46 | 41 | 13 | + 28 | |
| Décembre | 209 | 260 | 39 | 56 | 2,8 | 38 | 33 | 7 | + 26 | |
| T o t a l | 7 203 | 4 467 | 1 564 | 2 971 | | 624 | 539 | 632 | +126 | -218 |

IgA : radiation globale théorique } en calories/cm²
 Ig : radiation globale réelle }
 H : insolation théorique } en heures
 h : insolation réelle }
 t : température moyenne
 P : pluviométrie } en mm
 I : interception des cimes }
 ETp : évapotranspiration potentielle }

de parasites, etc...). Il était donc intéressant de voir quels extrêmes pouvait recouvrir cette moyenne déjà défavorable. L'année 1959 montre un déficit très supérieur à la moyenne (tableau II), puisque la somme des bilans négatifs atteint 388 contre 104 seulement pour celle des bilans positifs. Il en est de même pour l'année 1961, avec un déficit estival de 266 mm et un bilan positif de 161 mm seulement, d'octobre 1960 à avril 1961. Par contre, l'année 1960 (tableau II) se montrait bien plus favorable avec un déficit estival de 126 mm, largement dépassé par les bilans positifs des mois précédents (153 mm d'octobre 1959 à juin 1960).

TABLEAU II
BILAN CLIMATIQUE
(Années 1959 et 1960)
ILES DU RHIN

| M o i s | 1 9 5 9 | | | | | 1 9 6 0 | | | | |
|-----------|---------|-------|-----|-----------------|-----------------|---------|-------|-----|-----------------|-----------------|
| | P | P - I | ETp | Bilans positifs | Bilans négatifs | P | P - I | ETp | Bilans positifs | Bilans négatifs |
| Janvier | 48 | 43 | 3 | + 40 | | 62 | 57 | 1 | + 56 | |
| Février | 2 | 0 | 8 | | - 8 | 57 | 52 | 13 | + 39 | |
| Mars | 70 | 65 | 42 | + 23 | | 38 | 33 | 32 | + 1 | |
| Avril | 70 | 65 | 63 | + 2 | | 16 | 11 | 56 | | - 45 |
| Mai | 37 | 32 | 95 | | - 63 | 57 | 52 | 90 | | - 38 |
| Juin | 64 | 54 | 102 | | - 48 | 130 | 120 | 102 | + 18 | |
| Juillet | 12 | 2 | 130 | | -128 | 84 | 74 | 88 | | - 14 |
| Août | 56 | 46 | 102 | | - 56 | 92 | 82 | 83 | | - 1 |
| Septembre | 21 | 11 | 94 | | - 85 | 39 | 29 | 57 | | - 28 |
| Octobre | 60 | 50 | 41 | + 9 | | 71 | 61 | 29 | + 32 | |
| Novembre | 31 | 26 | 10 | + 16 | | 72 | 67 | 17 | + 50 | |
| Décembre | 28 | 23 | 9 | + 14 | | 43 | 38 | 3 | + 35 | |
| T o t a l | 499 | 417 | 699 | +104 | -388 | 761 | 676 | 571 | +231 | -126 |

TABLEAU III
BILAN CLIMATIQUE
(Moyennes des années 1958 à 1961)
NANCY

| M o i s | IgA | H | h | Ig | t | P | P - I | ETp | Bilans mensuels positifs | Bilans mensuels négatifs |
|-----------|------|------|------|------|------|-----|-------|-----|--------------------------|--------------------------|
| Janvier | 250 | 264 | 51 | 75 | 1,5 | 75 | 70 | 5 | + 65 | |
| Février | 387 | 288 | 81 | 135 | 4,4 | 60 | 55 | 16 | + 39 | |
| Mars | 584 | 369 | 145 | 245 | 6,1 | 34 | 29 | 34 | | - 5 |
| Avril | 778 | 410 | 154 | 327 | 9,4 | 47 | 42 | 59 | | - 17 |
| Mai | 925 | 473 | 206 | 416 | 13,2 | 76 | 71 | 88 | | - 17 |
| Juin | 983 | 482 | 216 | 452 | 16,2 | 73 | 63 | 108 | | - 41 |
| Juillet | 942 | 484 | 228 | 443 | 17,5 | 68 | 58 | 106 | | - 48 |
| Août | 812 | 445 | 195 | 365 | 17,7 | 81 | 71 | 90 | | - 19 |
| Septembre | 628 | 378 | 195 | 314 | 15,8 | 38 | 28 | 74 | | - 46 |
| Octobre | 430 | 336 | 114 | 168 | 10,6 | 63 | 53 | 36 | + 17 | |
| Novembre | 275 | 278 | 38 | 74 | 5,5 | 60 | 55 | 13 | + 42 | |
| Décembre | 209 | 260 | 39 | 56 | 3,0 | 85 | 80 | 7 | + 73 | |
| T o t a l | 7203 | 4467 | 1662 | 3070 | | 760 | 675 | 632 | +236 | -193 |

Ce bilan fait donc apparaître la région de Neuf-Brisach comme présentant une sécheresse climatique accusée en moyenne ; les excédents de pluviométrie par rapport à l'évapotranspiration pendant les mois humides ne suffisent même pas à compenser les déficits de l'été. Certaines années, ce déséquilibre peut atteindre trois fois le déficit moyen, mais il peut arriver aussi, plus rarement, que la pluviométrie annuelle dépasse l'évapotranspiration.

Il nous a paru intéressant, dans le cadre de cette étude, de comparer ce bilan climatique avec celui qu'on pouvait dresser à Nancy (tableau III). On voit ainsi qu'en Lorraine, pour la moyenne des mêmes quatre années (1958 à 1961), la somme des bilans positifs dépasse très largement la somme des bilans négatifs (236 contre 193). On pouvait penser a priori que cette différence avec l'Alsace était due en partie à l'ensoleillement plus grand de l'Alsace. Or, il ressort de l'examen du tableau III que la durée d'insolation est la même à Nancy qu'à Strasbourg, que l'évapotranspiration potentielle est par conséquent égale dans ces deux villes et que l'excédent de bilans positifs sur les bilans négatifs en Lorraine est dû à une abondance de pluies d'hiver que ne connaît pas l'Alsace, à climat plus continental.

L'idée que la région de Mulhouse est bien plus ensoleillée que celles de Nancy et Strasbourg est pourtant communément répandue, ce qui tend à indiquer qu'en basant le calcul du bilan climatique alsacien sur des durées d'insolation relevées à Strasbourg, nous avons obtenu des chiffres encore trop optimistes. Il était malheureusement impossible de faire autrement. Retenons seulement que la sécheresse réelle est probablement encore plus grande que ne l'indiquent les résultats du calcul.

3° Etablissement du bilan pédologique

Les caractéristiques purement climatiques de l'alimentation en eau étant ainsi établies, il reste à voir si la capacité de rétention en eau utile du sol est suffisante pour stocker l'excédent des mois à bilan positif, pour le restituer en saison sèche. Dans le cas présent, cette préoccupation peut sembler superflue, puisqu'il existe de toute façon une sécheresse climatique. Mais il est important de savoir si le sol l'accentue ou non.

31 — *Principe du bilan.*

Il a été démontré que les végétaux ne peuvent absorber l'eau utile que dans la masse de sol prospectée par leurs racines. Seul un faible appoint, estimé à 30 mm dans des sols à texture moyenne, peut leur être fourni par le mécanisme de diffusion capillaire à partir des couches inférieures.

Dans cette zone d'enracinement, la terre fine a le rôle principal dans la rétention de l'eau. Toutefois GRAS et MONNIER ont montré

récemment que les cailloux, s'ils sont poreux et bien emballés de terre fine, peuvent contribuer efficacement à l'alimentation des plantes.

La capacité de rétention en eau utile est la différence entre la capacité au champ (eau retenue par un sol saturé d'eau après un drainage de quelques jours) et le point de flétrissement (eau retenue par le sol à $pF > 4,2$ et non absorbable par les plantes). Ces deux données peuvent s'évaluer en poids, par des techniques appropriées de laboratoire, à partir d'échantillons prélevés sur le terrain. Pour passer de cette estimation pondérale à une estimation en volume, la seule qui nous intéresse, il faut donc faire intervenir encore la densité apparente de la terre fine, qu'on détermine par des prélèvements volumétriques dans le sol, le pourcentage de cailloux et leur densité apparente.

Cette évaluation de la réserve du sol en eau utile est, pour faciliter les comparaisons, exprimée en mm de hauteur d'eau, comme la pluviométrie et l'évapotranspiration. On applique finalement la formule suivante :

$$= h \left(\frac{c - f}{100} \times d' \times \frac{t}{100} \right) + h \left(\frac{c' - f'}{100} \times d'' \times \frac{t'}{100} \right) + a.$$

R : réserve en eau utile en mm

h : profondeur d'enracinement en mm

c : capacité au champ de la terre fine en % du poids sec

f : eau retenue au point de flétrissement, par la terre fine en % du poids sec

d' : densité apparente de la terre fine

t : pourcentage de terre fine en volume

c' : capacité au champ des cailloux

f' : eau retenue au point de flétrissement par les cailloux

d'' : densité apparente des cailloux

t' : pourcentage de cailloux en volume

a : estimation forfaitaire de l'eau fournie par les couches situées au-dessous de la limite d'enracinement.

Ce calcul est bien entendu effectué par horizons homogènes successifs.

32 — Mesures effectuées.

La profondeur d'enracinement a été déterminée par l'examen des profils de sol. Elle s'est révélée très grande dans les trois stations étudiées, de l'ordre de 1,80 à 2 m.

La capacité au champ de la terre fine a été déterminée en soumettant chaque échantillon de terre fine, saturé d'eau, à une différence de pression qui est fonction de sa texture et d'autant plus faible que celle-ci est plus grossière. Plus exactement, on a utilisé une relation linéaire mise en évidence par GRAS, qui existe entre l'eau retenue à $pF = 3$ et le pF à appliquer au laboratoire pour obtenir la capacité au champ. Deux mesures ont donc été nécessaires pour chaque échantillon, l'une à $pF 3$, l'autre à un pF variable et généralement bien inférieur (2 à 2,5).

Le point de flétrissement peut être obtenu de manière rigoureuse, en soumettant l'échantillon de terre fine à une pression de 16 atmosphères dans une presse à membrane. Faute de posséder l'appareillage nécessaire, nous nous sommes contentés d'une évaluation bien moins satisfaisante, qui consiste à multiplier par 1,5 la quantité d'eau retenue par un échantillon placé dans une atmosphère en équilibre avec une solution d'acide sulfurique à 2 %.

L'appoint fourni par les couches de sol situées en dessous des racines a été évalué à 10 mm dans les sols très sableux (stations I et II) et à 30 mm dans la station III.

TABLEAU IV

EVALUATION DE LA CAPACITÉ DE RÉTENTION DU SOL

| Stations | Horizons | Epaisseur en mm | pF à la capacité au champ | Eau utile en % du poids sec | Densité apparente | Eau utile en % du volume | Terre fine en % du volume | Eau utile en mm |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| STATION I | | | | | | | | |
| | A ₁ | 100 | 2,50 | 15 | 1,10 | 16,5 | 100 | 16,5 |
| | A' ₁ | 200 | 2,30 | 16 | 1,25 | 20 | 100 | 40 |
| | C ₁ | 600 | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | C ₂ | 900 | 1,85 | 9 | 1,60 | 14 | 30 | 38 |
| | Diffusion capillaire (1) | | | | | | | 10 |
| | Cailloux (1) | | | | | | | 30 |
| | T o t a l | | | | | | | 134,5 |
| STATION II | | | | | | | | |
| | A ₁ | 400 | 2,50 | 12 | 1,15 | 13,8 | 43 | 22,5 |
| | C ₁ | 500 | 2,10 | 15 | 1,25 | 18,7 | 100 | 94 |
| | C ₂ | 1000 | 1,85 | 9 | 1,60 | 14 | 25 | 35 |
| | Diffusion capillaire (1) | | | | | | | 10 |
| | Cailloux (1) | | | | | | | 30 |
| | T o t a l | | | | | | | 191,5 |
| STATION III | | | | | | | | |
| | A ₁ | 200 | 2,50 | 17 | 1,15 | 19,5 | 100 | 39 |
| | C ₁ | 400 | 2 | 25 | 1,25 | 31,3 | 100 | 125 |
| | C ₂ | 300 | 1,85 | 9 | 1,60 | 14 | 100 | 42 |
| | C ₃ | 900 | 2 | 25 | 1,27 | 31,5 | 100 | 283 |
| | Diffusion capillaire (1) | | | | | | | 30 |
| | Cailloux | | | | | | | 0 |
| | T o t a l | | | | | | | 519 |

(1) évaluations grossières non appuyées sur des mesures.

Nous avons eu connaissance trop tard des travaux de GRAS et MONNIER, pour recueillir les données nécessaires à la mesure de l'eau utile retenue par les cailloux. Faute de mieux, nous l'évaluons grossièrement, pour les deux sols contenant des cailloux à 30 mm, ce qui équivaldrait à une rétention moyenne d'eau utile de 5 % en volume.

Les résultats consignés au tableau IV n'ont donc pas été obtenus avec toute la précision qui pourrait être atteinte, mais ils constituent cependant une base convenable d'appréciation de la qualité des stations.

33 — Résultats.

La capacité de rétention d'eau utile des stations I et II, soit 134 et 191 mm, est donc notablement supérieure à la somme moyenne des bilans positifs mensuels. Il convient toutefois de remarquer que cette évaluation, basée sur un calcul théorique, est probablement supérieure à l'eau susceptible d'être fournie par le sol aux plantes; en effet, l'utilisation totale de la réserve d'eau supposerait un enracinement occupant de manière dense toute la masse du sol, ce qui n'est certainement pas le cas.

La station III, au contraire, a une capacité en eau utile (519 mm) qui paraît énorme par rapport aux deux premières, et ceci grâce à l'absence de cailloux et à une capacité en eau utile plus forte par unité de poids.

On peut donc conclure, sans grand risque d'erreur, que les deux premières stations peuvent mettre à la disposition des plantes, pendant les périodes de déficit estival, une réserve d'eau utile du même ordre de grandeur que la somme des bilans positifs des mois d'hiver. Parce qu'il n'offre pas à l'enracinement des arbres d'obstacle notable, le sol de ces stations ne semble pas accentuer la sécheresse climatique.

Quant à la station III, ses capacités de stockage, bien supérieures à la somme moyenne des bilans mensuels positifs, ne peuvent pas non plus aggraver le déficit annuel d'alimentation en eau. On peut au contraire penser que cette capacité de rétention est telle qu'elle suffit à emmagasiner l'excédent d'années exceptionnellement humides comme 1960, où la somme des bilans positifs excédait celle des bilans négatifs. L'eau profonde étant à l'abri de l'évaporation directe, il peut donc exister, sur une période de plusieurs années, un phénomène de compensation qui ne saurait jouer dans les stations I et II, dont le sol a une capacité de rétention trop faible.

Ainsi se trouve expliquée la différence de vigueur des arbres dans les stations I et II d'une part, et III d'autre part. Un autre phénomène vient la renforcer. Le calcul de l'évaporation par la formule de TURC suppose un sol complètement et constamment couvert par une végétation vivante, même en hiver, ce qui serait le

cas après un reboisement. Le calcul effectué est donc valable pour évaluer les chances de succès de l'opération. Mais pour le moment le peuplement forestier et arbustif est clairsemé; entre les arbres et arbustes le sol n'est couvert que par une végétation herbacée annuelle qui meurt à l'automne, ou même dès l'été lorsqu'il fait très sec. L'évapotranspiration réelle est donc très probablement inférieure à l'évapotranspiration potentielle calculée et, par conséquent, la somme des bilans mensuels positifs supérieure à celle qui ressort du tableau I. La station III, par sa forte capacité de rétention en eau utile, peut faire profiter les arbres de ces excédents supplémentaires, alors que les stations I et II, dont les possibilités de stockage sont très réduites, n'offrent pas cet avantage.

IV. — CONCLUSIONS

Au terme de cette étude, bien qu'elle n'ait pas été faite avec une très grande précision, nous sommes à même de conclure que le reboisement des Iles du Rhin se heurte à deux difficultés :

- 1 — Un sol à pH élevé assez riche en calcaire actif, ce qui réduit considérablement la gamme des essences utilisables.
- 2 — Une sécheresse accusée de la région, qui ressort nettement des calculs effectués qui pourtant, rappelons-le, ont été basés sur des hypothèses très optimistes. Elle tient en premier lieu à la faible pluviosité hivernale et en second lieu aux sols qui, à quelques exceptions près, ont une capacité de rétention en eau utile insuffisante pour stocker les excédents d'eau des années plus humides, qui surviennent quelquefois.

Encore n'avons-nous cherché à mettre en lumière que les difficultés d'alimentation en eau d'une forêt adulte, à enracinement profond. De jeunes arbres, à enracinement encore peu développé, souffriraient bien davantage.

Le reboisement de ces stations s'annonce donc difficile et il ne faut pas en attendre une production élevée. Il ne semble cependant pas impossible, moyennant un certain nombre de précautions dans le choix de l'essence et la technique d'introduction.

Choix de l'essence

Elle doit être à la fois calcicole et xérophile. Parmi les résineux, le Pin noir d'Autriche est certainement le plus indiqué. Le Pin laricio de Corse pourrait être essayé aussi. Cependant les résineux présentent un inconvénient qu'il ne faut pas sous-estimer : le passage, lors de la régénération artificielle ou naturelle, par un stade de jeunesse pendant lequel les racines sont peu développées. Cette étape sera toujours difficile et coûteuse à franchir. Il n'as pas illogique de penser que des feuillus capables de rejeter de souche ou

de drageonner, donc ayant définitivement à leur disposition, même pendant les périodes de régénération, un enracinement profond, conviendraient mieux à ces stations. Encore faut-il que leur production soit vendable, c'est-à-dire que l'essence choisie puisse produire du bois d'industrie et en particulier du bois de papeterie. La liste des espèces utilisables est donc restreinte: on peut penser à l'Aune à feuilles en cœur, à l'Aune blanc, au Bouleau verruqueux. Dans les stations à bonne capacité de rétention des essences plus hygrophiles, qui existent déjà dans l'association végétale actuelle, pourraient peut-être avoir un certain intérêt, le Peuplier blanc et le Tilleul à grandes feuilles par exemple. Rappelons toutefois qu'elles ne conviendraient que sur une faible proportion de la surface.

Technique d'introduction

L'alimentation en eau sera très difficile pendant les premières années. Il faudrait donc la faciliter par une extension rapide du système racinaire et réduire les pertes d'eau en luttant contre la végétation herbacée. Un bon travail du sol avant plantation, l'élimination de la végétation arbustive actuelle et des entretiens répétés pendant les premières années sont donc indispensables. Il s'agit là de travaux coûteux, rendus encore plus difficiles par le micro-relief très tourmenté des Iles du Rhin, qui sont fréquemment entrecoupées d'anciens bras du fleuve, d'excavations dues aux crues ou à des prélèvements de matériaux. Enfin, la densité de plantation devrait être réduite, afin de donner à chaque arbre un plus grand volume d'enracinement et de faciliter les travaux d'entretien.

En sortant des cadres traditionnels du reboisement, on peut penser qu'à partir du moment où l'on consentirait une première mise coûteuse, comme ce sera de toute façon nécessaire, il ne serait pas complètement illogique d'essayer de la valoriser par un complément d'eau à apporter par aspersion: les sols en question étant en effet toujours proches du Grand Canal d'Alsace et à son niveau, le prix de revient de cette irrigation ne devrait pas être très élevé et le débit à prélever sur le Canal probablement très faible (de l'ordre de 40 l/sec. pour 100 ha, pendant 1 mois, pour une irrigation de 100 mm pendant la saison sèche). Le choix des essences devrait alors être différent et l'on pourrait songer en particulier au Peuplier.

La culture du Peuplier après plantation très profonde, comme dans la technique italienne, est une solution qui peut également venir à l'esprit. Mais la profondeur probablement excessive de la nappe (qu'il faudrait toutefois vérifier avec soin), ainsi que la présence de lits de très gros galets qui rendraient très difficile l'exécution de trous profonds, ne semblent pas, a priori, permettre de considérer cette solution comme valable dans le cas des Iles du Rhin.

On voit que le reboisement de ces stations n'est pas facile, qu'il est coûteux et pose beaucoup de problèmes pour une production en argent qui sera probablement faible. Il ne semble pas raisonnable de l'entreprendre avant des essais sérieux effectués sur une dizaine d'hectares au maximum.

Rappelons, en guise de conclusion, que cette étude rapide n'a pas la prétention d'être d'une parfaite exactitude, que nous avons dû nous contenter de certaines approximations dans l'évaluation des bilans climatique et pédologique. Nous pensons cependant qu'elle donne une idée de ce que pourrait apporter dans un projet de reboisement une étude sérieuse des conditions d'alimentation en eau, tant du point de vue climatique que pédologique, et que l'établissement du bilan climatique au moins est à la portée de tous.

BIBLIOGRAPHIE

1. GRAS (R.). — Quelques observations sur les relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance du Pêcher dans la vallée du Rhône entre Vienne et Valence. *Ann. Agr.*, **13**, (2), 1962, p. 141-174.
 2. SCHWEIFELE (M.). — Die Grundwasser absenkung am Oberrhein. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, **133** (9), sept. 1962, p. 204-213.
 3. TURC (L.). — Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann. Agr.*, **12**, (1), 1961, p. 13-49.
-