



LES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

LEURS EFFETS SUR LA VÉGÉTATION

J. BOSSAVY

Class. Oxford 425

(Voir les quatre planches de photos en couleurs insérées en page 3 de la couverture)

Après 10 ans d'observations des effets des rejets industriels sur les végétaux, le moment paraît venu de faire le point de la situation.

Nous examinerons successivement les symptômes d'une pollution par le fluor ou par le dioxyde de soufre, certaines méthodes de mesures, le caractère des études poursuivies depuis 3 ans dans les Alpes et enfin les principaux points du territoire national où des dégâts ont été relevés.

SYMPTOMES.

Un rappel du caractère des nécroses dues aux deux polluants les mieux connus à ce jour, apparaît en premier lieu nécessaire.

Le fluor (1)

Le fluor, élément qui n'intervient pas dans le métabolisme des végétaux pénètre dans les cellules du parenchyme foliaire, il est alors transféré et stocké aux extrémités ou sur les bords du limbe.

Au-delà d'un certain seuil, des nécroses apparaîtront (voir photos, planches I et II) :

- à la pointe des feuilles longues et étroites (sapin, pin, glaïeul, iris...)
- sur les bords des feuilles larges et entières (hêtre, noisetier...)
- à l'extrémité des lobes pour les feuilles découpées (aubépine, érable à f. d'obier...).

Ces brûlures présenteront des teintes variées, allant du brun clair (sapin) au noir (noyer) ou au rouge brique (millepertuis).

Il s'agit à proprement parler d'un phénomène d'accumulation, on conçoit donc que les résineux, exception faite des représentants à feuilles caduques (mélèze), gardant leurs aiguilles de 3 à 7 ans, soient plus sensibles que les végétaux à feuilles caduques. Ces derniers, en effet, éliminent lors de chute annuelle des feuilles, le fluor accumulé au cours de la saison de végétation.

Ceci explique également que l'analyse foliaire ait été retenue comme un test sûr d'une pollution par le fluor. L'analyse montre en fin de saison que la teneur en fluor peut atteindre des chiffres exceptionnellement élevés de l'ordre de 100 à 150 p.p.m. (mgr. par kg de plante sèche) selon les résineux et de 500 à 1.000 p.p.m pour les végétaux à feuilles caduques, alors que la teneur normale dans des zones prises comme témoins, est de l'ordre de 15 à 25 p.p.m. Les résultats sont essentiellement fonction de la concentration du fluor dans l'air, de la situation de l'échantillon prélevé par rapport aux sources d'émission (distance, direction des vents dominants) et enfin de la topographie locale (vallée ouverte ou encaissée) favorisant ou non la dispersion des fumées.

(1) Pour plus de détail, le lecteur pourra se reporter aux n^{os} 3 et 12 - 1965 - de la R.F.F.

Précisons enfin que ces nécroses apparaîtront sur les aiguilles des résineux dès l'automne, ou au cours de la deuxième saison de végétation.

Dans l'étage montagnard, ou subalpin, où se situent les observations, les éléments de la flore les plus sensibles au fluor paraissent être : les liliacées, représentées par les familles *Lilium*, *Veratrum*, *Colchicum*, *Convallaria*, *Tulipa*, *Maianthemum*, *Polygonatum*... ; les gentianes (*Gentiana lutea*, *G. cruciata*, *G. acaulis*) sont également des témoins d'une très grande sensibilité.

Les millepertuis (*Hypericum*), l'épine Vinette (*Berberis*) montrent des réactions très précoces en saison, la myrtille (*Vaccinium myrtillus*) réagit un peu plus tardivement. Par contre, les familles suivantes, Renonculacées, Scrofulariacées (*Digitalis*, *Melampyrum*), Ombellifères sont toujours indemnes.

Le dioxyde de soufre

Le mode d'action du **dioxyde de soufre** sur les végétaux, n'est pas encore expliqué, par contre, sa toxicité est connue depuis plus d'un siècle grâce aux premiers travaux des spécialistes de l'Institut Forestier de Tharandt — En France, des études suivies sont réalisées depuis 1961, autour de Lacq, par les chercheurs de l'I.N.R.A. — chargés du Laboratoire départemental de la pollution atmosphérique à Lagor (Basses-Pyrénées) (2).

La pollution revêt ici un caractère discontinu, et se traduit par des accidents ou sinistres, dans des conditions météorologiques particulières (brouillard persistant, absence de vent).

Les nécroses du limbe apparaissent alors très rapidement, après le retour du soleil, sous formes de taches claires ou brunâtres, toujours localisées entre les nervures, et n'affectant pas celles-ci (voir photos, planches III et IV). Les végétaux les plus sensibles sont les plantes fourragères, légumineuses (luzerne, trèfle) ou graminées (dactyle) ainsi que le mouron rouge (*Anagallis arvensis*) et le plantain (*Plantago*).

Porteront également des nécroses, à la suite d'un sinistre, le chêne pédonculé (*Quercus pedunculata*), le platane (*Platanus*), le noisetier (*Corylus*), l'Aulne (*Alnus*).

Sur les résineux, les brûlures apparaîtront selon la sensibilité des espèces, à la seule extrémité de l'aiguille, mais plus fréquemment sur la majeure partie de celle-ci, et de préférence sur les éléments de l'année.

La nécrose sera jaune pâle sur le mélèze du Japon, brun rouge sur le Pin sylvestre, et le Pin maritime. Jusqu'à présent, cependant, et, contrairement à ce qui a été observé avec le fluor, les mortalités ont été rares.

Les observations ont montré que les dégâts étaient plus fréquents et plus prononcés en année humide et froide qu'en année sèche et chaude.

Dans l'un et l'autre cas, l'observateur doit veiller à ne pas faire de confusion entre les manifestations dues à un polluant et celles occasionnées par une gelée tardive, une sécheresse précoce, une attaque cryptogamique ou parasitaire, dont les effets ressemblent parfois étrangement aux brûlures causées par les rejets industriels.

A titre complémentaire, précisons que les nécroses provoquées par différents polluants ont un caractère typique bien affirmé. C'est ainsi que :

- l'ozone se marquera par des petites taches brunes à la face supérieure des feuilles,
- le smog photochimique produira des taches argentées à la face inférieure des feuilles,
- le P.A.N. (Peroxy acetyl nitrate) entraînera une teinte argentée, vitreuse ou métallique de la face inférieure des feuilles,
- quant aux oxydes d'azote, leurs effets sont encore peu connus.

(2) Récemment installé à Pau-Montardon (Basses-Pyrénées)

MESURES.

La mesure des concentrations des polluants dans l'air sera souvent délicate, car les composés du fluor et du soufre agissent sur la végétation à des teneurs très faibles et souvent inférieures à 1 partie par million. Les appareils utilisés devront donc être très sensibles, capables de traiter des volumes d'air considérables, et disposer d'une source d'énergie indépendante, toutes conditions nécessitant des investissements onéreux.

Il existe heureusement des dispositifs simplifiés permettant de détecter la présence d'un polluant, sans pour autant qu'il soit possible de rattacher la concentration à une unité de volume.

— L'un des dispositifs souvent utilisé pour le fluor est celui du papier imprégné de chaux, c'est la méthode utilisée depuis 1967 dans les Alpes.

Mise au point par des chercheurs étrangers, Adams, Huyghen, elle consiste à exposer pendant un temps déterminé, sous abri, mais à l'air libre un papier Whitmann n° 1, imprégné avec un lait de chaux à 1 ‰.

L'ensemble du dispositif est suspendu à une branche basse en forêt.

Le temps d'exposition était en général limité à 30 jours, à l'exception de sites très éloignés des sources d'émissions où certains papiers ont été laissés en place 60 ou 90 jours.

Renouvelé en principe chaque mois, ces papiers donnaient à l'analyse une quantité de fluor cumulé, exprimant une pollution chiffrée en fin de saison, en microgramme, décimètre carré, jour (μ gr/dm²/jour).

Les valeurs relatives ainsi obtenues permettaient d'intéressantes comparaisons d'un site à un autre, qu'il était possible de compléter par des observations portant sur la végétation autour du point d'exposition.

Dispositif du papier imprégné de chaux permettant de déterminer l'intensité de la pollution par le fluor

Photo BOSSAVY



Trois vallées des Alpes ont été ainsi prospectées en 1967, 68 et 69 : la Maurienne avec 10 postes, la Romanche avec 3 postes, la Haute-Durance avec 11 postes.

— Pour l'anhydride sulfureux la méthode de dosage utilisée autour de Lacq par les représentants de l'I.N.R.A. et décrite par ceux-ci, consistait à « capter le dioxyde de soufre de l'air, dans une solution demi-normale de soude et à doser par potentiomètre, à l'aide d'une solution centinormale d'iode. Les dosages portent sur des prélèvements de 24 heures et les résultats sont exprimés en p.p.m., c'est-à-dire en cm^3 de SO_2 par m^3 d'air ».

« Sont alors considérés comme significatifs les dosages pour lesquels la quantité d'iode nécessaire était au moins égale au double de celle du témoin. »

« Le pourcentage de dosages significatifs est de l'ordre de 3 à 5 % du nombre total des dosages effectués, ce qui permet de détecter les accidents aigus de pollution. » (Renseignements extraits des rapports d'activité du Laboratoire I.N.R.A. de Lagor).

S'agissant d'une pollution discontinue, il est essentiel de pouvoir relever les pics de concentration, leur durée et leur périodicité.

LA POLLUTION FLUOREE MESUREE PAR LES CAMPAGNES DES PAPIERS A LA CHAUX.

La situation dans certaines vallées des Alpes est actuellement bien connue à la suite des trois campagnes d'études qui nous ont fourni une meilleure connaissance de la dispersion des fumées. Il a été alors possible de rattacher avec plus de certitude le dépérissement de certains massifs à une pollution par le fluor.

Dans les trois vallées de la Maurienne, de la Romanche et de la Haute-Durance, les dommages les plus spectaculaires sont relevés sur les peuplements résineux, dont les essences dominantes sont :

- Sapin (*Abies alba*)
- Epicéa (*Picea excelsa*)
- Mélèze (*Larix europaea*)
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*)
- Pin noir (*Pinus nigra* var. *austriaca*)

— En Maurienne, la situation depuis 1959 a évolué rapidement et revêt un caractère alarmant dans la Vallée même de l'Arc, de Sainte-Marie-de-Cuines à Modane (35 km) mais aussi depuis 20 ans dans les Vallées latérales, et notamment :

— dans les combes du Gerbeley et du Sappey, à hauteur du buste Mougin, le long de la Route Nationale 202, conduisant de Saint-Michel à Valloire, par le Col du Télégraphe.

— le long du ruisseau des Moulins, dans les forêts d'Albanne et de Valloire (canton des Loyes).

Les premiers signes caractéristiques de dépérissement étaient nettement perceptibles au cours de l'année 1969, aspect légèrement grisâtre du peuplement, cîmes sèches d'épicéa de place en place, fréquemment accompagné d'un éclaircissement marqué du feuillage.

Les teneurs en fluor des papiers à la chaux nous ont d'ailleurs fourni des chiffres traduisant une pollution faible, mais soutenue.

	Buste Mougin	Col du Télégraphe	Albanne le Col
1967	1,24 μ gr/dm ² /jour	1,45 μ gr/dm ² /jour	1,99 μ gr/dm ² /jour
1968			
1969			

Il est apparu également que les effluents remontaient très loin dans la Vallée de la Valloirette, c'est ainsi qu'on a trouvé en 1969, au Hameau des Granges, avant Valloire, 2,52 μ gr et 0,90 μ gr à Plan Lachat, soit à 16 km en amont de Valloire.

Il ressort de ces contrôles que des teneurs comprises entre 1 et 2 μ gr semblent avoir au cours des saisons, un effet dépressif marqué sur les épicéas et les sapins.

Dans la Vallée même de l'Arc, le dépérissement est plus ou moins accentué selon la situation du peuplement, par rapport à la source d'émission ; toutes les forêts communales et les séries de reboisement sur les deux versants de la vallée, paraissent dès maintenant menacées, du Freney à Ste-Marie-de-Cuines, sur la rive gauche, de St-André au Chatel sur la rive droite. Il n'est pas exclu d'ailleurs que les fumées fluorées ne soient chassées par les vents de vallée jusqu'à l'entrée du Parc de la Vanoise, à hauteur des chalets de Polset, situés à 3 km du Col de Saint-André.

Les concentrations au Col même ont été en effet les suivantes :

1967 : 5,21 μ gr/dm³/jour

1968 : 3,90 μ gr/dm³/jour

1969 : 4,36 μ gr/dm³/jour

Pour bien saisir les effets des composés du fluor sur les résineux, et les difficultés que rencontrent les services de gestion, nous présenterons quelques chiffres.

Les quinze forêts communales gérées par l'Office national des forêts, entre Sainte-Marie-de-Cuines et Modane, sur une distance de 35 km couvrent une superficie de 4.974 ha (dont 3.245 ha sont directement soumis aux fumées). Le surplus, soit 1.729 ha, concerne les massifs situés dans les vallées latérales, qui, nous venons de le préciser, ne sont pas à l'abri des fumées (Valloire, Albanne, Albiez-le-Jeune...).

Un relevé des volumes prélevés au cours des 10 dernières années 1959-1968 montre qu'on a réalisé au total 125.502 m³ dont 21.965 m³ de châblis normaux, et 47.417 de châblis fluorés, soit au total 69.382 m³ de bois secs, ou 55,2 % du volume global prélevé.

Ce qui traduit déjà une situation préoccupante, mais si on serre le problème de plus près, en prenant uniquement en considération les forêts les plus proches des usines et celles où les châblis fluorés dépassent souvent en importance le seul volume de la possibilité, on obtient pour la décennie 1959-1968 :

	Surface	Volumes bois secs		Volume bois verts et bois secs Total prélevé	Possibilités cumulés
		Normaux	Fluorés		
Rive gauche :					
Villargondran	210	—	8 645	8 645	3 300
Montricher	436	113	13 305	16 594	9 500
St-Martin-d'Arc	92	561	1 230	3 117	2 150
St-Martin-la-Porte	53	—	543	832	720
St-Michel-de-Mne.	91	68	1 848	2 545	2 850
Rive droite :					
Orelle 2 ^e Série	341	2 540	3 770	11 559	7 100
St-André 1 ^{re} et 2 ^e Séries	567	2 197	9 655	20 810	15 350
		6 469 +	38 966	64 102	40 970
		= 45 535 m ³			

On a donc prélevé en bois secs 4 400 m³ de plus que les possibilités.

Par ailleurs, les seuls bois secs fluorés représentent 95 % des possibilités cumulées. Il a paru alors intéressant de rechercher l'évolution des châblis sur une plus longue période, en fonction des productions de l'usine principale.

Ce qui a été fait en forêt de Saint-André, l'un des massifs les plus éloignés des sources d'émission.

Au cours de trois périodes de 10 ans, on a relevé en forêt de Saint-André, les volumes de châblis suivants :

	1 ^{re} Série (326 ha) Poss. 850 m ³	2 ^e Série (241 ha) Poss. 685 m ³	Production de l'usine
1933 à 1942	1 042 m ³	384 m ³	1945 : 6 000 t
1945 à 1954	3 649	2 145	1953 : 43 000 t
1959 à 1968	7 025	4 827	1958 : 66 000 t

soit pour la dernière période, en % des possibilités, 82,6 pour la 1^{re} série et 70,4 pour la 2^e série.

Ces chiffres confirment, s'il en était encore besoin, la situation très précaire de ce massif.

Il n'est pas douteux que la situation s'aggrave d'année en année ; il devient évident qu'une sylviculture rationnelle doit être abandonnée et que la gestion se limite de plus en plus à une simple récolte de bois secs. Le remplacement des arbres disparus n'est plus assuré, car toute régénération naturelle est devenue inexistante. On en arrivera donc fatalement à une dénudation des versants, sans que des formations buissonnantes feuillues puissent assurer une couverture satisfaisante du sol, car les éléments en sont insuffisants, voire inexistantes au départ.

Ce processus allant en s'accéléralant, la disparition quasi totale des résineux, sapin et épicéa, ne paraît pas tellement éloignée dans le temps. Il ne s'agit plus alors de raisonner en volume, mais en pied d'arbre : les mortalités sont en effet enregistrées sur toutes les classes d'âge. Le milieu évolue donc avec une rapidité inquiétante, préoccupante et cette évolution pourrait prendre une allure catastrophique.

Sans doute, les communes propriétaires de forêts perçoivent-elles des indemnités couvrant le préjudice subi qui, en gros, est fonction de deux éléments : la valeur unitaire très faible du m³ (5 à 10 F pour les bois secs), et la disparition progressive du capital, bois.

Toutefois, il ne s'agit plus de se préoccuper des seuls intérêts financiers des collectivités propriétaires, mais d'une situation dont les effets à long terme sur l'économie agricole de la vallée pourraient être profonds, irréversibles et conduire à des dommages matériels, d'une ampleur toute différente.

— **Dans la Vallée de la Romanche**, à quelques 500 m de l'usine, on a enregistré en forêt domaniale, dans le canton de Rioupéroux, au bas du versant :

— 11,62 μ gr/dm²/jour, en 1968, dans la parcelle 20 où les feuilles (charme, tilleul) sont typiquement brûlées ;

— et 2,02 μ gr/dm²/jour en 1969 dans la parcelle 18, constituée d'une sapinière, située à une altitude de 300 m supérieure à la précédente.

Au canton de Cornillon, 5 km en amont de Rioupéroux, on enregistre 0,72 μ gr/dm²/jour (les épicéas et les sapins sont très dépérissants), et dans la Combe Orcières, à quelques 6 km en aval 0,70 μ gr/dm²/jour.

La dispersion des polluants apparaît donc assez rapide : il est vrai que la vallée encaissée est soumise à des vents violents, et que la production de l'usine est relativement faible et ne dépasse pas 15 à 18 000 t/an.

— Dans la Vallée de la Haute-Durance, les teneurs les plus élevées ont été relevées en série domaniale de Freissinières à moins de 5 km de l'Argentière-la-Bessée, ainsi qu'à l'établissement de pisciculture de la Roche-de-Rame.

	L'Argentière	Roche-de-Rame
En 1967	11,23 μ gr/dm ² /jour	
En 1968	8,80 μ gr/dm ² /jour	8,60 μ gr/dm ² /jour
En 1969	10,75 μ gr/dm ² /jour	10,85 μ gr/dm ² /jour

Les nécroses sur Pin noir d'Autriche sont très apparentes dès le printemps : elles affectent en général 1 à 2 cm de l'extrémité des aiguilles, mais ne paraissent pas entraîner la défoliation, ce qui est au contraire fréquent en Maurienne, sur le sapin, l'épicéa, le mélèze.

Ici aussi la pollution s'étend loin en aval. On a en effet contrôlé au pied du Fort de Montdauphin, et sur la rive droite, dans la série de Réottier, soit à 13 ou 14 km de la source d'émission :

	Montdauphin	Réottier
En 1967	—	1,60 μ gr/dm ² /jour
En 1968	1,68 μ gr/dm ² /jour	1,28 μ gr/dm ² /jour
En 1969	1,92 μ gr/dm ² /jour	1,54 μ gr/dm ² /jour

Ces chiffres traduisent une pollution régulière, de caractère permanent mais faible sans doute. Ce qui montre bien la propagation des fumées à l'aval et leur dispersion incomplète au-delà d'une quinzaine de kilomètres.

— Dans la Vallée du Vicdessos aux altitudes de 800 à 1 000 m, des dépérissements et des mortalités inquiétantes apparaissent dans les plantations artificielles datant de 1880, constituées des essences suivantes : Epicéa, Pin laricio, Pin noir, Pin sylvestre (Forêts domaniales de Niaux, Suc et Sentenac, Sem, Goulier-Auzat). Dans la pépinière de Marc à 7 km d'Auzat, au fond de la vallée du Vicdessos des semis de 1 et 2 ans, de Pin de montagne (*Pinus uncinata*), portaient dès le mois de juin des nécroses très apparentes de l'extrémité des aiguilles ; il en était de même de jeunes plants de douglas (*Pseudotsuga douglasii*).

Dans les environs immédiats de cette pépinière, millepertuis, silène, myrtille et iris réagissent nettement.

— A proximité de Bayonne, sur la rive droite de l'Adour, deux usines de superphosphate, de construction récente, traitant des minerais d'Afrique du Nord, chargés de fluor (4 à 5 %) sont à l'origine de rejets fluorés qui ont gravement atteint les peuplements de Pin maritime (*Pinus pinaster*) situés aux environs immédiats de la zone industrielle.

— Autour de Lannemezan des problèmes analogues se poseraient. Nous envisageons de mettre en place, en 1970, des dispositifs de contrôle des concentrations des composés fluorés dans l'air, dans la vallée du Vicdessos et autour de Lannemezan, en vue de réaliser d'intéressantes comparaisons de la pollution dans ces sites avec celle existante dans les trois vallées des Alpes, dans lesquelles les contrôles suivis depuis 1967 se poursuivront en 1970 et vraisemblablement en 1971.

— Combe de Savoie. Des dommages caractéristiques sur feuilles de fruitiers sont depuis plusieurs années constatés autour d'Albertville-Venthon, sur vignes et arbres fruitiers. Ils s'étendent à plusieurs km à l'aval, touchant plus particulièrement les vergers.

Des nécroses sur fruit ont été observées les années passées et notamment en 1968 sur prunes d'Agen ; en 1969, les brûlures sont apparues de façon assez généralisées sur les variétés de poires (Williams, Louise Bonne et Doyenne du Comice). Ces nécroses sont toujours localisées à l'extrémité inférieure du fruit, c'est le cas de la prune, autour de l'œil ou à la partie basse de la poire, selon la position et l'angle d'insertion du fruit sur la branche. Ces fruits étaient évidemment invendables.

ACTION DES COMPOSES DU SOUFRE.

Autour de Lacq, les dommages aux cultures fourragères (luzerne et trèfle) sont actuellement bien connus, chaque accident de pollution donnant lieu à une enquête détaillée par les experts de la S.N.P.A. (Société nationale des pétroles d'Aquitaine). Les chercheurs du Laboratoire départemental de l'I.N.R.A. qui suivent la question depuis 1961, sont particulièrement bien informés, et suivent attentivement les effets de la pollution en relation permanente avec les représentants de la S.N.P.A.

— Les forêts soumises sont rares dans le périmètre proche des usines, par contre, les forêts privées sont nombreuses et essentiellement composées de chênes pédonculés (*Quercus pedunculata*), qui accusent un dépérissement très net, soit autour des puits de forage, soit dans des sites éloignés de ceux-ci. Dans le premier cas, on peut penser que deux facteurs ont pu intervenir : ce pourrait être des effets dus soit aux purges périodiques du puits qui entraînent l'ouverture des vannes et la combustion du gaz naturel au sommet des pylônes, soit à un abaissement du plan d'eau, résultant du forage lui-même.

Dans les sites plus éloignés, les dépérissements peuvent être attribués à des concentrations élevées de dioxyde de soufre, à l'occasion de conditions météorologiques particulières (brouillards, absence de vents). Ces accidents entraînent des marques très caractéristiques sur fougère aigle (*Pteris aquilina*) très répandue dans la région : ce sont des nécroses brunes en forme de chevrons, très généralisées.

Le Laboratoire départemental de Lagor dispose d'une petite parcelle d'expérience sur laquelle ont été introduites, il y a deux ans, certaines essences forestières (*Picea excelsa*, *Pinus sylvestris*, *Pinus strobus*, *Picea sitchensis*, *Thuja plicata*, *Cedrus atlantica*...) dont l'observation régulière a permis de préciser le comportement lors des accidents de pollution qui ont été fréquents en 1968 et l'ont été beaucoup moins en 1969.

Les Pin sylvestre, Pin Weymouth, Pin laricio, Pin maritime, Cèdre se sont alors montrés très sensibles, les brûlures des aiguilles touchant 80 à 100 % de l'effectif foliaire, par contre, les *Picea sitchensis* et *Thuja plicata* ont montré des nécroses à peine visibles de l'extrémité des aiguilles. Quelles que soient les essences, leur développement n'en paraît pas compromis malgré la fréquence des accidents relevés en 1968.

Sans doute, conviendrait-il de se montrer très prudent dans le choix des essences, à l'occasion de contrats de reboisement ou de subventions du F.F.N. pour reboisements, en attendant que la Recherche Forestière permette de mieux préciser le comportement et d'étoffer la gamme des résineux susceptibles de se développer dans les conditions qui règnent autour de Lacq.

Le problème de Lacq se complique du fait de l'existence dans la zone industrielle d'une pollution certaine par le fluor, limitée cependant à quelques km autour de l'usine d'aluminium, grâce au dispositif de captation et d'épuration mis en place lors de la construction de l'usine et de la présence de deux usines chimiques, dont les rejets gazeux sont encore mal définis, sauf toutefois en ce qui concerne les oxydes d'azote.

— Un autre sujet de préoccupation doit être mentionné autour de Rouen. Dans la zone industrielle située sur la rive gauche de la Seine, au Sud de Rouen, sont instal-

lées les usines suivantes : raffinerie, usine de potasse, centrale électrique, usine de produits chimiques et industries métallurgiques.

Le polluant le plus répandu est bien de dioxyde de soufre, dont les effets sur la végétation ont été contrôlés au cours du mois de septembre 1969.

En forêt de Rouvray, comme en forêt de Roumare, les peuplements de Pin sylvestre ont brutalement réagi au cours de l'été et une accentuation très nette des dommages a été constatée par les agents locaux de l'O.N.F.

Les dommages, certes, ne sont pas nouveaux : connus depuis plusieurs années, ils avaient conservé un aspect relativement supportable mais il n'en est plus de même cette année.

Les nécroses en chevrons sur Fougère-aigle (*Pteridium aquilinum*), internervaires sur Châtaignier (*Castanea sativa*), Ronce (*Rubus idoeus*), Néflier (*Mespilus germanica*) et Bouleau (*Betula*), présentaient les caractères typiques d'une nécrose due à l'action du dioxyde de soufre.

Certaines parcelles de l'un et l'autre massif ont dû être entièrement exploitées ; en forêt de Rouvray, des essais de plantation de Mélèze du Japon (*Larix leptolepis*) paraissent satisfaisants, bien que des brûlures aux aiguilles soient assez généralisées. La situation apparaît plus préoccupante en forêt de Roumare, où un bouquet d'Épicéa âgé de 80 ans a dû être martelé en bois sec, et mis en vente à l'automne 1969 ; une des parcelles voisines a été rasée et la futaie de Pin sylvestre de la parcelle contiguë est nettement dépérissante.

La pénétration plus profonde des fumées à l'intérieur des parcelles voisines ne saurait être suffisamment ralentie par les quelques feuillus (Hêtre, Châtaignier ou Bouleau) présents, mais peu nombreux.

A la suite de ces dépérissements, le sol se couvre d'un tapis dense et continu de fougères qui pourrait représenter à la fin de l'hiver un risque supplémentaire d'incendie.

AUTRES CAS DE POLLUTION

Les pollutions par les composés du soufre et du fluor devenues classiques ne sont cependant pas, en cette année 1970, les seules que l'on puisse relever en France. Au cours de cet été, et à la demande des D.D.A. intéressées, nous avons étudié deux exemples peu courants, et sans doute exceptionnels :

Pollution par les sels de zinc, fer et plomb

Dans l'Aveyron, l'usine de Viviez, très ancienne, traite les minerais de zinc (voir photo p. suivante). La pollution par sels de zinc, de fer et de plomb a entraîné une intoxication du sol au point de supprimer toute végétation sur près de 300 ha. Depuis quelques années, les premières griffes de l'érosion commencent à se dessiner sur les parties dénudées.

Pollution par produits organiques

Dans l'Ardèche, l'usine de Cheylard utilise des produits très variés pour la préparation de tissus enduits destinés à l'industrie de l'automobile : acide chlorhydrique et chlorite de soude, sulfites de soude et, depuis l'automne 1969, diméthyl formamide.

La végétation a réagi dès le printemps 1970, des malformations sont apparues sur les feuilles de vigne, d'aune, d'acacia, sur les plantes maraichères (bettes, haricots, carottes) et sur les arbres fruitiers (notamment poiriers, les pêcheurs restant indemnes) (voir photo, planche IV).

L'usine a suspendu son activité le 1^{er} août, on pouvait relever lors de notre visite le 25 août, l'apparition de nouvelles pousses dont les jeunes feuilles étaient normales (photo 23).



Viviez. Usine de traitement de minerais de zinc

Photo BOSSAVY

De façon générale, les feuilles présentaient un gaufrage en forme de cuiller, très marqué, une réduction très caractéristique de la surface du limbe sans effet apparent sur le développement des nervures, comme le montre la branche d'acacia (Photo 24).

Les malformations des feuilles de vigne restent cependant les plus typiques. Le polluant en cause n'a pas été identifié : il agit certainement sous forme gazeuse et apparaît directement lié au fonctionnement de l'usine ; par ailleurs, il n'agit certainement par par accumulation, comme le prouve l'apparition de pousses normales au cours des quatre semaines d'arrêt de la fabrication.

CONCLUSIONS.

Les concentrations nuisibles à la végétation sont toujours très inférieures à celles qui sont gênantes pour les humains. Les végétaux représentent donc un test biologique qui ne doit pas être méconnu, car ils traduisent dès l'apparition de nécroses un taux de pollution dont il convient de se préoccuper. Il est alors urgent de prendre les mesures nécessaires en vue de limiter le niveau de la pollution.

Parmi ces mesures, on peut envisager dans un site déterminé :

- l'interdiction d'installer de nouvelles usines, polluantes.
- l'opposition à toute extension des installations existantes, sauf à imposer de façon très ferme, la mise en place de dispositifs de captation et d'épuration.

Un aménagement de la région sur le plan industriel ou urbain demandera alors une étude attentive, faisant état des observations et des enseignements apportés par l'examen de la végétation.

L'article 1 du décret 61.842 du 2 août 1961 peut constituer la base juridique des dispositions à prendre.

La chose apparaît d'autant plus urgente que les résultats d'une étude prospective sur l'évolution de la pollution faite par les experts participant au groupe d'études « Nuisances » à la demande de la D.G.R.S.T. (Délégation générale de la recherche

scientifique et technique) ont montré que d'ici à l'an 2000, certaines productions industrielles seront multipliées par les chiffres suivants : production d'électricité $\times 6$ ou 8 ; industries chimiques $\times 6$; industries sidérurgiques $\times 3$; industries des ciments $\times 4$; déchets urbains $\times 3$.

L'émission totale des polluants serait seulement multipliée par 2 ou par 3, grâce à l'amélioration de la qualité des combustibles et des techniques.

Ces perspectives méritent attention et réflexion. Si les mesures nécessaires sont prises en temps voulu, on peut espérer maintenir l'augmentation du taux de pollution dans les limites ci-dessus.

Si, par contre, l'action menée se traduit par des demi-mesures ou des faiblesses, on peut craindre une croissance démesurée de la pollution au point d'apporter dans certains sites une gêne réelle à la population et des atteintes à la végétation susceptibles d'entraîner des dégâts irréversibles.

Il faut enfin avoir pleinement conscience des troubles apportés aux forêts par les polluants de l'air, des difficultés qui en découlent pour les services de gestion, et des pertes économiques que subissent les propriétaires, collectivités ou particuliers.

Il n'est pas inutile de préciser à ce sujet, qu'une évaluation faite en 1968 des surfaces forestières soumises à une pollution sur le plan européen, était de l'ordre de 400 000 ha, dont 1/3 menacé de disparition.

Les conséquences sur le plan économique sont donc loin d'être négligeables. La perte de production peut en effet représenter un million de m^3 si l'on tient compte des réductions d'accroissement entraînées par le mauvais état de végétation des essences feuillues ou résineuses et de l'enlèvement prématuré de nombreux individus morts.

A l'heure où l'Europe connaît un déficit important de bois résineux, la perte de production pèsera sur le marché européen du bois, et ce, d'autant plus que cette perte s'accroît annuellement, alors que la consommation a tendance à augmenter régulièrement.

Jean BOSSAVY

Ingénieur général du G. R. E. F.
Directeur du C. E. R. A. F. E. R.
Centre interrégional de Grenoble

B. P. 114
38 - SAINT-MARTIN D'HÈRES

Les données chiffrées qui figurent dans cet exposé ont pu être rassemblées grâce aux concours qui nous ont été apportés pendant plusieurs années, par :

— les personnes de l'I.N.R.A. attachées au Laboratoire départemental de la pollution atmosphérique de Lagor : Monsieur de Cormis, chargé de Recherches et Directeur de ce Laboratoire ; Messieurs Cantuel et Bonte, agents techniques de l'I.N.R.A., qui ont assuré une grande partie des opérations sur le terrain, réalisé la préparation des papiers, ainsi que l'ensemble des analyses des papiers témoins et des liasus végétaux.

— les représentants de l'Office national des forêts des Centres de gestion de Grenoble-Est, Chambéry-Est et Briançon : Messieurs les Ingénieurs en Chef ou Ingénieurs du GREF, Bonnet-Masimbert, Florent et Piraudeau, ainsi que leurs collaborateurs : Messieurs les Ingénieurs des travaux Rongier et Revol.

Nous ne saurons oublier la part prise par les agents locaux et plus particulièrement : les Chefs de district Bois et Chapel en Maurienne, Berard dans la vallée de la Romanche ; et l'A.T.B. Reynaud de Villard-Saint-Pancrace (Haute-Durance) qui ont été souvent mis à contribution et nous ont apporté une aide réelle et très appréciée.

Nous leur adressons à tous, de très vifs remerciements.

Ces efforts conjugués nous ont donné une meilleure connaissance de la dispersion des rejets industriels dans les vallées des Alpes, mettant ainsi en évidence l'étendue du périmètre.

Les contacts pris en 1969 avec les Directions régionales de l'Office à Toulouse et à Rouen nous ont enfin permis de préciser les troubles apportés par certains polluants dans les forêts domaniales de la vallée du Vicdessos et des environs de Rouen.

Cette étroite collaboration de différents services du Ministère de l'Agriculture méritait d'être signalée.