

# 1893... 1993 : CENT ANS DE COHABITATION DE LA FORÊT ET DE L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM EN MAURIENNE

C. RONGIER

Il y a tout juste un siècle, en **1893**, débutait en Maurienne, berceau de l'aluminium, une grande aventure industrielle. Cette année-là, s'implantait à La Praz la première usine de fabrication de l'aluminium par le procédé industriel d'électrolyse dont le brevet avait été déposé par Paul Héroult en 1886 (en 1905 s'édifie l'usine de La Saussaz, en 1907 celle de Saint-Jean-de-Maurienne).

## LA FABRICATION DE L'ALUMINIUM

Elle nécessite une consommation d'énergie électrique impressionnante (l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne consomme l'équivalent-électricité de la ville de Lyon).

Elle est réalisée à partir de l'électrolyse de l'alumine dans un bain de cryolithe en fusion à 950°. Il s'ensuit une émission de fluorures gazeux et particulaires dont l'importance varie avec le type de cuve utilisée et la captation installée.

La production d'aluminium à Saint-Jean-de-Maurienne varie de 60 000 t/an en 1956 à 120 000 t/an en 1992 (cf. figure 2, p. 594). Les productions de La Praz (fermée en 1984) et de La Saussaz (fermée en 1985) cumulées représentent moins de 20 % de Saint-Jean-de-Maurienne.

L'émission de fluor atmosphérique total à Saint-Jean-de-Maurienne varie de 1 170 t/an en 1956 à 90 t/an en 1992 (cf. figure 2, p. 594). Les avancées technologiques majeures de 1979 (démarrage de la série F de cuves à 180 000 ampères) puis de 1986 (démarrage de la série G de cuves à 280 000 ampères) ajoutées à la fermeture des séries de cuves obsolètes permettent de faire passer le rejet de 19,3 kg fluor/t d'aluminium produit à 0,65 kg fluor/t d'aluminium produit.

Toutes usines confondues, l'émission fluorée est passée de 1 670 t/an en 1956 à 90 t/an en 1992.

## ACTION DU FLUOR SUR LES VÉGÉTAUX

Elle peut se résumer par :

- une action nécrotique sur les feuilles et aiguilles, marginale ou apicale par altération structurale de chloroplastes et réduction de l'assimilation chlorophyllienne ;
- une action cumulative dans les aiguilles des résineux entraînant une nécrose qui apparaît généralement au-dessus de 30 ppm, avec perte de surface foliaire donc perte de croissance et mort possible à partir de 100 ppm ;

## C. RONGIER

— une résistance spécifique de chaque espèce végétale ; pour les résineux par exemple du plus au moins résistant : Mélèze, Sapin, Pin, Épicéa.

### ACTION SUR LES PEUPEMENTS FORESTIERS

Elle se caractérise par :

— l'éclaircissement des arbres par défoliation progressive commençant par les rameaux les plus âgés avec des stades intermédiaires de coloration rouille et grise ;

— l'aspect tabulaire des cimes, aspect visuel de sénescence précoce des peuplements dû au coup de frein brutal de la croissance ;

— la présence de plus en plus abondante de bois secs sur pied pouvant aboutir à la destruction complète des peuplements, dans le meilleur des cas (présence du Mélèze) à une substitution d'essence.

Les régénérations découvertes meurent précocement.

### MOYENS D'INVESTIGATION POUR ÉVALUER LES DÉGÂTS

Les moyens d'investigation, mis à la disposition des gestionnaires, sont les suivants :

— décompte des arbres morts de la pollution ;

— mesure par échantillonnage statistique des cernes d'accroissement pour comparer la production pendant une période décennale soumise à la pollution à la production de ce même peuplement durant une période décennale antérieure à la pollution (avec des parcelles témoins en zone non polluée) ;

— évolution des surfaces polluées ;

— évolution des surfaces détruites ;

— mesures directes mises en place dès 1967 par l'INRA :

• la technique statique des papiers imprégnés de chaux qui assure la libre fixation du fluor atmosphérique et rend ainsi compte des phénomènes vécus à l'interface végétaux/atmosphère (résultats exprimés en  $\mu\text{g F}^-/\text{dm}^2/\text{jour}$ ) ;

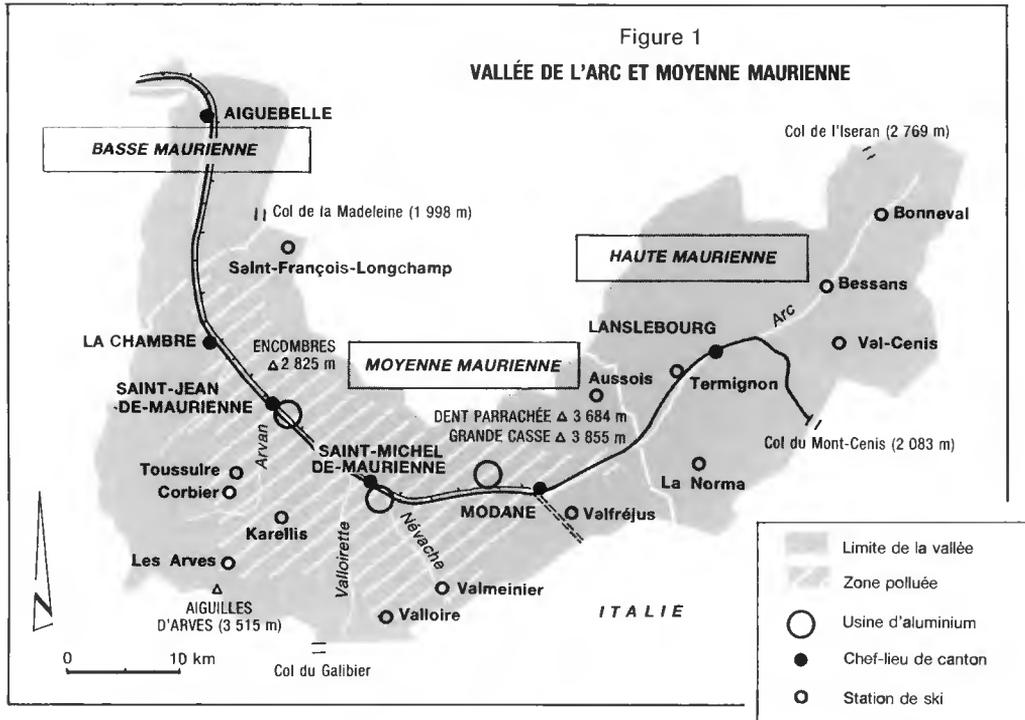
• la technique dynamique séquentielle qui consiste à faire passer un volume précis d'air à travers un filtre imprégné de soude : les résultats indiquent plutôt le niveau exact de contamination (résultats exprimés en  $\mu\text{g F}^-/\text{m}^3$  d'air).

Le CDERE de Lagor dispose de 19 postes statiques et 5 postes dynamiques. Péchiney a installé 38 postes dynamiques sur la vallée.

— analyse d'échantillons d'aiguilles résineuses selon un protocole bien défini permettant de connaître l'évolution de la teneur en fluor des végétaux par zones d'isopollution (résultats exprimés en  $\mu\text{g}$  de fluor par  $\text{kg}$  de matière sèche soit en ppm) (cf. figure 3, p. 597).

### LES FORÊTS DE MAURIENNE À LA FIN DU SIÈCLE PASSÉ

La vallée de l'Arc jouit d'un climat montagnard sec : ensoleillement et sécheresse augmentent d'est en ouest (500 mm d'eau à 1100 m d'altitude à Avrieux). Le taux de boisement diminue au fur et à mesure que l'on remonte la vallée. Le feuillu domine jusqu'à 800 m d'altitude, les résineux au-delà. L'essence la plus représentée est l'Épicéa, mais le Sapin progresse et forme des peuplements denses à basse altitude, entre Sainte-Marie-de-Cuines et Saint-Michel-de-Maurienne, fortement



parasités par le Gui. On note presque partout et à basse altitude la présence du Mélèze dans les ubacs depuis Saint-Jean-de-Maurienne. Toutes les forêts résineuses étaient traitées en futaie jardinée (cf. figure 1, ci-dessus).

## LES QUATRE ÉTAPES SIGNIFICATIVES D'ÉVOLUTION DU RAPPORT FLUOR/FORÊT

### 1893 - 1966 : l'inexorable dégradation des forêts de Maurienne

Cette période est celle de la montée en puissance de l'industrie de l'aluminium à partir de la mise en route de l'usine de La Praz en 1893, celle de la dégradation lente des forêts du bassin industriel, celle enfin du désarroi des gestionnaires forestiers.

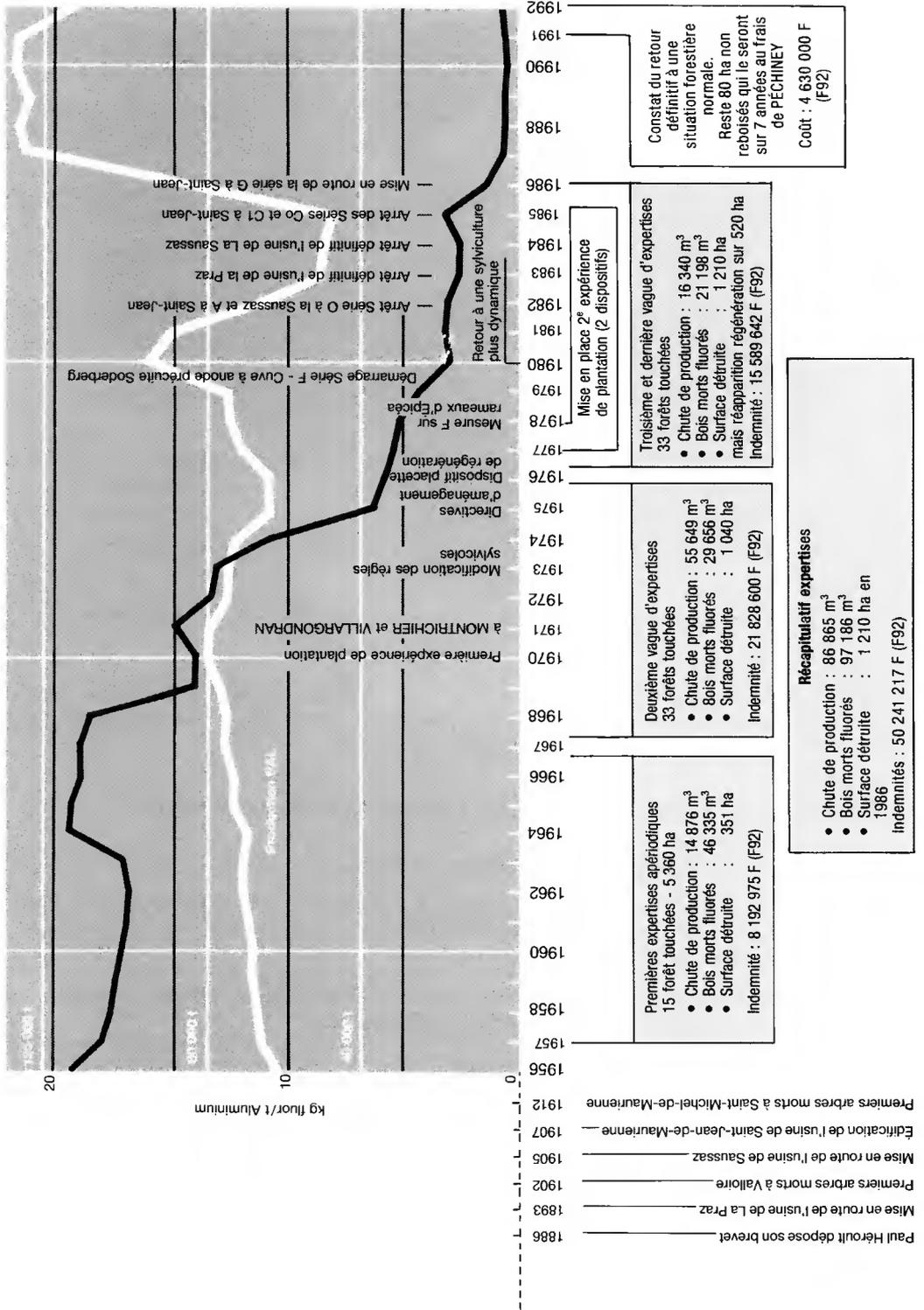
En 1902, les premiers arbres morts par le fluor sont recensés en forêt de Valloire. En 1912, on constate les premières mortalités à Saint-Michel-de-Maurienne.

Durant cette période, les forestiers observent le lent dépérissement des forêts de la vallée avec des handicaps certains :

- absence à peu près complète de connaissance des effets du fluor sur les végétaux ;
- forêts essentiellement feuillues en-dessous de 800 m d'altitude masquant longtemps la progression altitudinale insidieuse du phénomène ;
- sapinières basses vieilles, très gütées, entre Saint-Michel et Sainte-Marie-de-Cuines dont le délabrement a pu longtemps estomper l'effet du fluor.

C'est à partir de 1957 que furent effectuées les premières expertises apériodiques : elles concernaient 15 forêts communales pour 5 360 ha touchés (cf. figure 2, p. 594, pour les détails).

Figure 2 MAURIENNE - 1893-1993 - 100 ANS DE COHABITATION DE LA FORÊT ET DE L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM



### 1967 - 1976 : l'ampleur de la catastrophe - la prise de conscience

Cette seconde période est celle de l'éveil de la conscience :

— des forestiers qui découvrent l'étendue réelle des effets de la pollution, qui possèdent depuis 1967 des outils de mesure de la teneur en fluor de l'atmosphère et dont l'attitude plutôt fataliste va devenir active ;

— des industriels qui vont renforcer leur potentiel de recherche et faire des efforts de captation : malgré une augmentation de la production de 30 % de 1956 à 1970, la quantité de fluor émise baisse (19,3 kg F<sup>-</sup>/t alu en 1956 contre 14 kg F<sup>-</sup>/t alu en 1970) ;

— des élus, de la population, qui découvrent non seulement l'impact sur les végétaux, mais l'action sur les animaux, particulièrement les mammifères...

Les forestiers accélèrent les expertises : 33 forêts sont touchées appartenant à 28 communes pour une surface de 10 750 ha (la pollution s'étend de Modane à Épierre). Sur cette surface, 1 040 ha sont détruits dont :

- 790 ha avec un volume sur pied < 50 m<sup>3</sup>,
- 250 ha détruits de manière diffuse non cartographiable, (cf. figure 2, ci-contre, pour les détails des expertises).

Sur les 1 040 ha détruits :

- 280 ha disposaient d'une régénération incomplète et mal venante,
- 240 ha étaient non boisables (pentes, éboulis),
- 520 ha sans régénération pourraient être reboisés.

● **1970** connut la première tentative de reboisement. Prévus sur 76 ha à boiser pendant trois ans (avec la participation financière de Pêchiney), l'expérience ne porta que sur 21,83 ha plantés au printemps 1970, à l'automne 1970, à l'automne 1971. Il s'agissait de plants de Mélèze d'Europe (2 + 2 ou 3 + 2, de hauteur variant de 0,20 à 0,50 m) à racine nue, plantés en potets de 0,40 m<sup>3</sup> sur bandes débroussaillées de largeur variable. Les plants ont été fertilisés après analyse du sol et dégagés chaque année en mai : ils étaient répartis en quatre groupes soit au total 42 534 Mélèzes et 100 Thuyas.

À l'automne 1971, subsistaient 18,5 % des plants et à l'automne 1972 moins de 5 % : les taux de reprise les moins mauvais se trouvaient dans la zone la plus élevée (parcelle K de Villargondran à 1 040 m). Devant cet échec instructif, l'arrêt de l'expérience fut décidé : les conditions d'émission fluorée ne permettaient donc pas encore d'envisager la reconstitution des peuplements avec le résineux local le plus résistant au fluor.

● **1975** : en se fondant sur l'observation des régénérations qui dépérissent moins vite sous le couvert qu'en découvert (moins d'air pollué qui circule), une mesure d'adaptation des aménagements des forêts de la zone contaminée a été mise en place.

Dans chaque forêt touchée, on distingue :

— une zone basse détruite ou très touchée dans laquelle ne se pratique plus que la récolte des bois morts ;

— une zone moyenne « tampon », dont les peuplements doivent rester fermés le plus possible pour protéger les régénérations. On n'y pratiquera également que la récolte des bois morts en cessant dégagements de semis et dépressages ;

— une zone haute, pas ou peu atteinte avec exploitation très modérée de bois verts, revenant à un jardinage pied à pied très prudent. Pas de trouée possible.

Cette mesure est entrée en application dès 1975 entre Orelle et Sainte-Marie-de-Cuines.

**1977 - 1986 : le progrès de la technologie, l'espoir, la maîtrise progressive de la dégradation de la forêt**

Cette troisième période est dominée par l'évolution significative des techniques de fabrication de l'aluminium et de captation du fluor. Commencée dès 1974, la baisse du taux de pollution fait passer l'émission fluorée de 19,3 kg F<sup>-</sup>/t alu en 1956 à 6 kg F<sup>-</sup>/t alu en 1976 et à 1,5 kg F<sup>-</sup>/t alu en 1986 au travers des événements suivants :

- 1979 : démarrage série F (cuves à anode précuite Soderberg à 180 000 ampères).
- 1982 : arrêt de la série O à La Saussaz et de la série A à Saint-Jean-de-Maurienne.
- 1983 : arrêt définitif de l'usine de La Praz.
- 1984 : arrêt définitif de l'usine de La Saussaz.
- 1985 : arrêt de séries C<sub>0</sub> et C<sub>1</sub> à Saint-Jean-de-Maurienne.
- 1986 : mise en route de la série G à Saint-Jean-de-Maurienne (cuves à 280 000 ampères).

Les expertises sont poursuivies mais on constate pour la première fois que la surface touchée ne s'accroît plus et que, sur les 790 ha détruits en 1976, la régénération naturelle réapparaît peu à peu sur les 520 ha déclarés « reboisables » en 1976. De plus, la régénération malvenante sur les 280 ha de 1976 semble peu à peu se refaire une santé.

Par contre, la poursuite des prélèvements d'arbres morts fait augmenter la surface des peuplements détruits de manière diffuse donnée par les expertises de 170 ha, portant ainsi à 420 ha leur surface totale.

Une nouvelle expérimentation a été mise en place en 1976 pour suivre la réaction physiologique des peuplements résineux et confirmer l'amélioration perçue des régénérations naturelles et leur capacité à résister à la pollution fluorée. Le dispositif de 48 placettes, constituant un échantillonnage statistique, comportait à la fois des mesures d'évolution des nécroses et de rapidité de chute des aiguilles, et un comptage annuel des semis avec mesure de leur accroissement. Il n'a pas donné les résultats escomptés mais a permis de compléter les résultats du second dispositif qui suit : il a été arrêté en 1981.

En 1978, était lancée une vaste campagne de mesures qui se poursuit encore à l'heure actuelle.

Le dispositif comprend :

- un suivi annuel simple d'évolution des concentrations de fluor dans les résineux de la zone polluée ;
- une cartographie annuelle de l'évolution ;
- à partir de cette cartographie (et du dispositif de 1976), une définition des seuils de teneur en fluor à partir desquels une sylviculture adaptée au milieu fluoré est possible.

Les **modalités** retenues sont les suivantes :

- analyse foliaire et dosage annuel du fluor emmagasiné ;
- prélèvement sur une seule essence l'Épicéa (représenté partout et à cause de la variabilité spécifique de l'accumulation du fluor dans les végétaux) ;
- collecte des échantillons à la même date chaque année selon un protocole précis et constant ;
- une partie des prélèvements est fixe et permet de définir le niveau de pollution et le suivi de son évolution dans le temps ;
- une autre partie sert à affiner la cartographie et en particulier le tracé le plus précis possible des zones d'isopollution.

### Surveillance, mesures préventives et curatives

Résultats : la figure 3 ci-dessous résume l'évolution favorable de la situation de 1979 à 1992.

Les mesures de la teneur en fluor des aiguilles ont permis de définir avec précision trois isopols et de les cartographier avec les quatre zones d'isopollution correspondantes chaque année :

- zone bleue : teneur inférieure à 40 ppm : l'action de la pollution y est considérée comme négligeable ;
- zone verte :  $40 \text{ ppm} < t < 100 \text{ ppm}$  : pollution existante mais action peu visible, traduction par une perte de production ;
- zone jaune :  $100 \text{ ppm} < t < 200 \text{ ppm}$  : nécroses et à partir de 100 ppm chute de production importante ; la régénération se maintient avec une croissance faible ;
- zone rouge :  $t > 200 \text{ ppm}$  : atteintes durables, chute précoce des aiguilles, mort possible de l'arbre ; l'avenir de la forêt est incertain.

Conclusions : élaboration d'une sylviculture adaptée en 1986

Si  $t < 100 \text{ ppm}$  : reprendre les dégagements ; baisser l'âge d'exploitabilité ; dépressages précoces et éclaircies plus fréquentes dans le jeune âge.

Si  $100 \text{ ppm} < t < 200 \text{ ppm}$  : ne tenter que quelques dégagements prudents et en suivre minutieusement l'évolution.

Si  $t > 200 \text{ ppm}$  : régénération condamnée dès qu'elle sort de l'abri des adultes et dépérissants : ne rien faire.

#### Nouvel essai de plantation

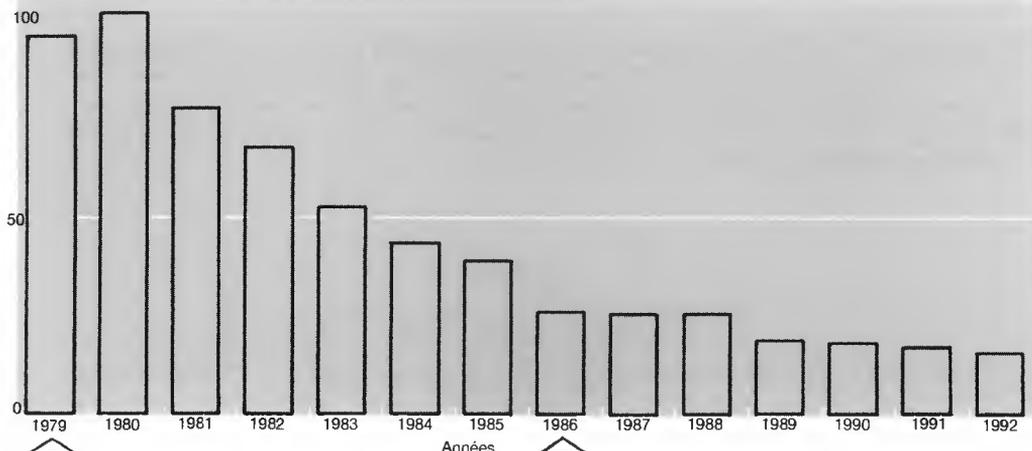
Dès le constat de baisse importante de la pollution, un nouvel essai de plantation était tenté dans le même temps que la mise en place des protocoles de 1976 et 1978.

Cet essai comportait deux dispositifs : l'un à l'automne 1977, l'autre à l'automne 1978.

Figure 3 ÉVOLUTION DE LA TENEUR MOYENNE EN FLUOR SUR LES PRÉLÈVEMENTS POUR TOUTE LA VALLÉE

ANNÉE	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
X	95,1	100,7	77,2	67,3	52,4	43,5	39,1	26,3	25,6	25,7	19,2	18,5	17,4	15,9
SX	6,8	8,6	6,1	5,2	3,5	3,3	3,3	1,7	2	2,2	1,3	1,2	1,5	0,8

Teneur en fluor (ppm)



## C. RONGIER

Ces deux dispositifs se caractérisèrent par la recherche d'un éventail assez large de conditions écologiques et une distribution dans les diverses intensités de la pollution (distance des sources émettrices et altitude par rapport à ces sources) :

### — Premier dispositif :

6 forêts dans des teneurs en fluor de 100 à 200 ppm, des altitudes variant de 550 m à 1 800 m, des expositions variables. On a utilisé des plants à racines nues en majorité et quelques fertils-pots et planté en potets en plein après débroussaillage manuel.

Résultats : plants vivants en 1981 : 40 % (minimum 23 % - maximum 60 %) ; c'est un échec relatif dont les conclusions sont : la reprise est meilleure avec : l'utilisation de fertils-pots, un bon repéage des plants, abandon du Mélèze aux adrets.

### — Deuxième dispositif :

4 forêts dans des teneurs en fluor inférieures à 200 ppm, altitudes comprises entre 550 m et 900 m ; utilisation de Mélèzes en fertils-pots ; plantation par bandes de 10 m travaillées au bull et interbandes de 10 m ; utilisation également de bandes simplement débroussaillées ou de banquettes étroites travaillées en courbe de niveau.

Résultats : plants vivants en 1981 : 90 % (minimum 62 % - maximum 100 %) ; c'est une réussite relative dont les conclusions sont : la reprise est meilleure avec : l'utilisation de fertils-pots, le travail du sol au bulldozer.

Toutefois les brûlures typiques du fluor apparaissent sur tous les jeunes plants malgré l'abri latéral. Donc pas de précipitation lorsque  $t > 100$  ppm mais reprise des plantations lorsque  $t < 100$  ppm.

## **1987 - 1993 : pollution fluorée : bruit de fond ; la forêt convalescente**

Cette dernière période, qui boucle en 1993 le centenaire de la cohabitation de la forêt de Maurienne avec l'industrie de l'aluminium, est marquée par le contrat que viennent de signer en 1992, Péchiney, l'Association des Maires de Maurienne et l'Office national des Forêts. Au terme de cet accord, les 170 hectares de forêts non reboisés naturellement seront réhabilités par divers travaux sylvicoles qui se poursuivront de 1993 à 1999 aux frais exclusifs de Péchiney.

En 1992, le taux moyen de fluor contenu dans les végétaux en Maurienne est tombé à 15,9 ppm, valeur très inférieure à celle d'Albertville ou de Chambéry qui correspond « au bruit de fond » de toute grande agglomération industrielle ou à la frange littorale balayée par les embruns marins.

## **CONCLUSIONS**

Cent ans après, la forêt reste fragilisée et meurtrie, mais elle a repris sa place initiale auprès de l'usine d'aluminium qui produit 120 000 tonnes par an. Il s'agit là d'un événement trop rare mais dont la valeur d'exemple montre bien qu'avec la volonté constante de chercher, de trouver et de mettre en œuvre des solutions, élus, forestiers et industriels peuvent réussir le difficile exploit de faire cohabiter industrie et forêt.

<p>C. RONGIER IDTEF Adjoint au Chef du Service départemental de la Savoie OFFICE NATIONAL DES FORÊTS Immeuble Le France 64, quai Charles-Roissard BP 657 F-73006 CHAMBÉRY CEDEX</p>
---