

Conséquences prévisibles des tempêtes sur les composantes biotiques des écosystèmes forestiers gestion de leur dynamique

La tornade de décembre 1999 risques sanitaires et stratégies de gestion par Jean-François Abgrall

CEMAGREF
Domaine des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson
jean-françois.abgrall@cemagref.fr

La nature et l'ampleur du problème

Il est maintenant bien établi qu'après les grandes catastrophes forestières, telles que les tempêtes, les dégâts de chablis¹ et de bris de vent peuvent être fortement accentués par la pullulation d'insectes (essentiellement les Scolytidés sous-corticoles) qui créent des foyers de mortalité. Ces atteintes peuvent représenter 30% des volumes détruits et jusqu'à 50% dans les cas les plus favorables à l'insecte.

L'importance des tempêtes des 26-28 décembre 1999, avec 140 millions de mètres cubes de bois abattus (50,7 millions de feuillus et 87,6 millions de résineux) laisse présager, à partir de 2001, la montée en puissance de certains insectes dommageables.

Les risques sont de deux ordres :

¹ Rappel de définitions de termes techniques :

Chablis : arbre renversé par les vents; arbre brisé sous le poids de la neige ou du verglas.

Chandelle : partie restée sur pied de la tige cassée d'un arbre.

Volis : partie de la tige d'un arbre brisé qui est tombée au sol.

- dans l'immédiat, au cours de l'année 2000, existe une menace de dépréciation de la valeur marchande des bois au sol par des insectes qui creusent des galeries dans les grumes de feuillus et de résineux : les ravageurs de bois de cœur et les xylophages. Dans ce cas, les bois d'œuvre sont déclassés et la perte économique est souvent substantielle. Ces risques sont à prendre en considération pour le chêne, le hêtre, le sapin, l'épicéa, le pin et le douglas ;
- pendant cette période, les populations préexistantes de Scolytidés qui se développent sous l'écorce aux dépens du liber peuvent se multiplier abondamment sur les troncs gisants, les chandelles et les volis dans les secteurs dévastés par la tempête ; il peut se constituer ainsi, dès l'automne 2000, un stock important d'adultes hivernants.

Au cours du printemps 2001, le risque essentiel vient des Scolytidés sous-corticoles qui essaimeront, à partir de ces bases de départ, vers les peuplements avoisinants de résineux pour y nidifier et y créer des foyers de mortalité. Parmi ceux-ci, les pessières sont particulièrement concernées.

Il en découle deux urgences, dans le courant de l'année 2000 :

- mettre en œuvre toutes mesures visant à extraire hors forêt le maximum de volume en privilégiant les bois de valeur, feuillus et résineux ou prendre des mesures de protection adéquates afin d'éviter (ou minimiser) les dégâts technologiques (piqûres, mais aussi bleuissement) ;
- tenter de localiser et de pondérer, dans les secteurs tornadés, les foyers de multiplication intensive des sous-corticoles par la mise en place d'une structure de surveillance adaptée afin de définir les zones où les Scolytidés hiverneront en masse.

Au cours de l'année 2001 (printemps), en fonction des résultats de l'enquête sur les populations de sous-corticoles des résineux, il conviendra de mettre en œuvre dans les zones à risque toutes mesures utiles permettant une gestion ciblée de ces populations (le Typographe, *Ips typographus*, en particulier), actions sylvicoles, exploitation des foyers dans les peuplements avoisinants, nettoyage des lisières des zones sinistrées, mise en place d'arbres pièges, écorçage (effectué systématiquement en Allemagne) ou traitements chimiques ponctuels dans les aires de stockage des grumes.

Il est évident que plus l'extraction des chablis, chandelles et volis de résineux sera importante et rapide, plus les risques ultérieurs de pullulation de Scolytidés seront d'autant réduits. On doit cependant bien admettre, devant l'importance des chablis, que la montée en puissance des insectes sous-corticoles ne pourra vraisemblablement pas être évitée et la menace d'extension des dégâts aux peuplements avoisinants doit être prise en considération.

Avant d'aborder les problèmes spécifiques liés à l'estimation des risques phytosanitaires après tempête ainsi que les stratégies de gestion (suivi et contrôle des populations de sous-corticoles) à mettre en œuvre sur la base des enseignements tirés des catastrophes d'importance comparable ayant affecté les pays européens voisins, il importe de revenir sur les caractéristiques de la tempête de décembre 1999.

État des lieux et répartition des dégâts de la tempête

Les informations transmises par les directions régionales de l'Agriculture et de la Forêt (DRAF) et centralisées par la Direction de l'espace rural et de la forêt du ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF) permettent une première approche globale de l'importance et de la nature des risques à venir selon la répartition géographique des chablis, des essences touchées, leur importance relative en volume abattu et en rapport feuillus / résineux. Une donnée utile, non encore disponible, serait de connaître par région le rapport chablis / bris de vent, pour les résineux.

En ne considérant que les régions où les volumes au sol sont supérieurs à 5 millions de m³, on constate (mise à jour du 25/02/2000) :

Régions	Volumes au sol (m ³)	%	Feuillus (M.m ³)	Résineux (M.m ³)	Essences principales à risque
Lorraine	29 480 000	21,8	15,78	13,70	Épicéa, Sapin, Chêne, Hêtre
Aquitaine	27 722 000	20,0	1,91	25,80	Pin
Limousin	16 300 000	11,5	4,68	11,62	Épicéa, Sapin, Douglas
Champagne-Ardenne	13 825 000	10,0	9,91	3,92	Chêne, Hêtre
Poitou-Charentes	12 000 000	8,7	6,60	5,40	Pin, Chêne.
Rhône-Alpes	6 750 352	4,8	0,97	6,48	Épicéa, Sapin, Douglas
Alsace	6 520 000	4,7	2,33	4,30	Sapin, Pin, Chêne
Auvergne	6 360 000	4,6	0,69	5,67	Épicéa, Sapin, Douglas

M = millions de

Toutes les grandes régions forestières françaises sont touchées.

Par rapport à la tornade de 1982, où l'épicéa était l'essence principale concernée, une plus grande diversité est constatée :

- le pin maritime en Aquitaine ;
- l'épicéa, le sapin et le douglas en Lorraine, Limousin et Rhône-Alpes ;
- le chêne et le hêtre en Lorraine, Champagne-Ardenne et Poitou-Charentes.

Cela implique des risques potentiels à partir d'un plus grand nombre de ravageurs intervenant dans des régions climatiques plus diversifiées.

Il est possible d'anticiper dès maintenant sur les problèmes phytosanitaires auxquels seront confrontés vraisemblablement les gestionnaires, aussi bien cette année qu'à partir de 2001.

Ce premier cadrage de risques s'appuie sur les connaissances actuelles de la bio-écologie des diverses espèces d'insectes ravageurs susceptibles de se manifester et sur l'expérience acquise aussi bien en France que dans les pays voisins après les tempêtes de 1972, 1982 et 1990.

Ces informations devront être affinées en intégrant les données climatiques de 2000 (températures, pluviométrie) et celles qui résulteront des observations entomologiques faites dans les zones de chablis par le Département de la santé des forêts (DSF).

La diversité relative des problèmes phytosanitaires

Les principaux Scolytidés de bois de cœur et les xylophages

Ce sont essentiellement :

sur résineux :

- le Scolyte liséré, *Trypodendron lineatum* (Col. Scolytidés) (épicéa, sapin, pin, douglas) ;
- l'Hylecoetes, *Hylecoetus dermestoides* (Col. Lymexylonidés) (sapin) ;
- les Sirex, *Urocerus gigas*, *Xeris spectrum*, *Sirex noctilio* (Hym. Siricidés) (sapin, épicéa, pin).

sur feuillus :

- le Scolyte domestique, *Trypodendron domesticum* (Col. Scolytidés) (hêtre) ;
- le Platype, *Platypus cylindrus* (Col. Platypodidés) (chêne, hêtre)

- le Xylébore monographe, *Xyleborus monographus* (Col. Scolytidés) (chêne) ;
- l'Hylecoetes, *Hylecoetus dermestoides* (Col. Lymexylonidés) (hêtre).

Dégâts sur résineux

Le Scolyte liseré représente la menace la plus grave car :

- l'époque de la tempête, fin décembre, lui fournira au cours du printemps 2000 des troncs parfaitement réceptifs aux pénétrations et à la ponte au cours de ses essaimages, en raison d'une humidité des bois encore suffisante et un début de fermentation alcoolique du bois (attraction primaire) ;
- c'est le Scolytidé le plus précoce sur épicéa et sapin : envol et ponte début avril (mi-avril dans les Alpes) ;
- enfin, si cet insecte ne développe pas, comme les sous-corticolas, de brutales pullulations, il est omniprésent en forêt et en scierie et la perte économique due à ses piqûres est grave car le seuil de dégâts (spoliation) est faible.

L'expérience acquise, en France et dans les pays européens touchés, après les tornades de ces 25 dernières années permet de préciser ces risques :

- tous les résineux sont concernés : épicéa, sapin, pin, douglas ; en République fédérale allemande, après la tornade de 1972 (19,6 millions de m³ de bois abattus), aucune progression spectaculaire de cette espèce n'a été constatée en 1973 sur les grumes de résineux ainsi que les années suivantes, comparativement à la période précédant la tornade. L'insecte s'est effectivement manifesté en Basse Saxe avec respectivement 33 900 et 12 560 m³ colonisés en 1974 et 1975, mais tout le matériel ligneux disponible au sol n'a pas été utilisé. En fait, les conditions climatiques sèches et chaudes de 1973 étaient plutôt défavorables, car cet insecte demande une humidité minimum du substrat de ponte pour le développement du mycélium d'*Ambrosia* consommé par les larves en logette dans le bois ;
- aux Pays-Bas, la même tornade de 1972 a permis des constatations similaires qui font état de faibles atteintes de piqûres sur chandelles d'épicéa de Sitka ;
- il en a été de même en Grande Bretagne après la tempête de 1987 (3,9 millions de m³ au sol), en France (11 millions de m³ en 1982) et en Suisse, après le passage de l'ouragan Viviane en 1990.

Les actions d'extraction des bois hors forêt menées après ces tempêtes peuvent expliquer ce comportement et ce d'autant qu'une priorité est donnée à la sortie rapide des grumes de valeur. Il n'en reste pas moins que cette espèce a été à l'origine de dégâts économiquement ressentis, à la mesure des actions de protection engagées : lutte chimique sur parc de regroupement des grumes, stockage par immersion et aspersion.

En fait, comme l'ont montré les études menées dans les Alpes du nord par le CEMAGREF, le problème du Scolyte liseré se déplace rapidement en scierie.

Le suivi de ces populations dans 13 scieries de taille variable a montré, avec une chute relative des captures de 1986 à 1989 (piégeage avec phéromone de synthèse) :

- que les densités de population les plus élevées étaient situées près des aires de stationnement des grumes, comparativement aux zones de stockage des sciages ;
- une très grande variation de niveaux de populations et de dégâts de piqûre entre les scieries (250 à 17 000 captures moyennes par piège ; 500 à 2 500 m³ piqués par an) qui s'explique plus par la proximité de la lisière des pessières voisines (rôle de la proximité de la forêt réservoir), que par l'importance des sciages en volume annuel ou la surface des parcs à grumes ;
- que la gestion des parcs à grumes était déterminante : nettoyage des aires (les tas d'écorces sont des sites d'hivernation privilégiés), rapidité d'exploitation des grumes.

Ces études ont permis par ailleurs :

- de préciser la biologie de l'insecte : dates d'essaimage, durée des vols de l'unique génération annuelle de cette espèce ;
- de mesurer la grande capacité de dispersion des adultes par vol (plus d'1 km) ;
- de vérifier la localisation préférentielle des sites d'hivernation des adultes en forêt, en lisière sous les 10 à 15 premiers mètres du couvert forestier (22 000 captures moyennes sous couvert contre 4 500 en zone dégagée) ;
- d'apprécier le bon fonctionnement des arbres-pièges traités (à la deltaméthrine, 10 mg de matière active/m² d'écorce) et amorcés avec une phéromone spécifique ;
- de contrôler le taux d'humidité relative (HR) des grumes en relation avec l'importance des piqûres. Il apparaît que ce seuil d'HR au-dessous duquel les attaques chutent fortement se situe autour de 50%. Ceci serait en relation avec les émissions d'éthanol (attraction primaire) et les exigences écologiques du mycélium d'*Ambrosia* à partir duquel s'alimentent les larves.

En ce qui concerne les autres espèces dangereuses, les services forestiers allemand, suisse et néerlandais signalent des dégâts à terme de Sirex dont la ponte est favorisée à la fin de l'été. Du fait de la longueur de leur cycle, l'incidence économique des Sirex des résineux n'est perceptible que 3 à 5 années plus tard, dans les parcs de stockage des bois œuvrés ou dans les charpentes.

Dégâts sur feuillus

Comme pour les résineux, les agents d'altération des feuillus, chêne et hêtre principalement, peuvent se manifester dès la fin du printemps et de l'été 2000. Si très peu d'informations sont disponibles sur leur dynamique de population, on peut considérer que, comme pour le Scolyte liséré, aucune pullulation n'est à craindre à partir de 2001 dans les régions les plus concernées par les chablis de feuillus : Limousin, Champagne-Ardenne et Poitou-Charentes.

L'extraction rapide des troncs de chêne et de hêtre de valeur, ainsi que les attaques plutôt tardives de ces espèces au cours de l'été, interviendront pour minimiser leurs atteintes technologiques.

Mais, compte tenu des volumes en cause, des atteintes sur grume résidant en forêt ou en bordure de piste pourront être constatées localement en cours de saison :

- sur hêtre par le Scolyte domestique, l'Hylecoetes et le Platype ;
- sur chêne par le Platype, le Scolyte monographe et les espèces voisines.

Les ravageurs sous-corticales, Scolytidés et Curculionidés (charançons)

A la différence des espèces précédentes, les sous-corticales présentent des capacités de pullulation rapides et importantes sur les grumes de résineux (les feuillus ne sont pas concernés) dans les zones de chablis.

Elles serviront de base de départ lors des essaimage du printemps suivant, avec dispersion dans les peuplements avoisinants et menace d'apparition de mortalité d'arbres sur pieds. Les risques diffèrent selon les espèces, leur agressivité et les essences concernées. C'est surtout l'épicéa qui est le plus menacé par le Typographe.

Sur pins :

- Hylésine des pins, *Tomicus piniperda* (Col. Scolytidés) ;
- Sténographe, *Ips sexdentatus* (Col. Scolytidés) ;
- Scolyte acuminé, *Ips acuminatus* (Col. Scolytidés) ;

- Érodé, *Orthotomicus erosus* (Col. Scolytidés) ;
- Charançon des pins, *Pissodes notatus* (Col. Curculionidés).

Sur sapin :

- Scolyte curvidenté, *Pityokteines* spp. (Col. Scolytidés) ;
- Cryphale du sapin, *Cryphalus abietis* (Col. Curculionidés) ;
- Pissode du sapin, *Pissodes piceae* (Col. Curculionidés) .

Sur épicéa :

- Typographe, *Ips typographus* (Col. Scolytidés) ;
- Chalcographe, *Pityogenes chalcographus* (Col. Scolytidés).

Les ravageurs des pins

Sont particulièrement concernés l'Aquitaine, le Limousin, le Poitou-Charentes et l'Alsace où ces insectes peuvent coloniser rapidement les arbres abattus avec le risque d'apparition en 2001 de foyers de mortalité dans les peuplements voisins indemnes.

Cependant ces risques sont à moduler en se basant sur l'expérience acquise depuis 1970 dans le cadre de la surveillance phytosanitaire de la forêt en France et sur les observations faites après tornade dans les pays européens.

On doit tout d'abord constater que les fortes pullulations des Scolytidés des pins en France, sur plusieurs années consécutives après tornade (chablis et bris de vent), ont été peu fréquentes. Dans la majorité des cas, elles se sont développées à partir d'accidents liés à des épisodes de sécheresse, de gel ou après affaiblissement dû à l'intervention d'une cause biotique :

- la destruction progressive des pineraies des Maures-Estérel par le complexe *Tomicus destruens-Pissodes notatus*, de 1956 à 1987, résultait de l'action préalable de la cochenille *Matsucoccus feytaudi* (Hém. Matsucoccidés) ;
- l'énorme pullulation de Sténographe qui a investi les pineraies d'Aquitaine à la fin des années 1940, avec de nombreux foyers de mortalité, venait après les dramatiques incendies dus à la sécheresse de 1945-1947 ;
- en 1985, les conséquences du gel sans précédent enregistré principalement en Aquitaine, avec destruction de 70 000 ha de pin maritime (1 365 000 et 1 800 000 tonnes exploitées en 1985 et 1986), a provoqué une montée en puissance rapide des populations de Pissode dès la fin 1985 dans les peuplements de 25 à 35 ans et sur les jeunes semis de 3 ans. Elle fut relayée, en 1986, par des pullulations de Sténographe dans la partie centrale du massif avec apparition de nombreux foyers de mortalité. Ils étaient localisés principalement au voisinage des piles de rondins le long des pistes (rimes) ou disséminées dans les pineraies où avaient séjourné trop longtemps des rondins en attente de débardage. Les traitements chimiques des tas de rondins en bord de piste (250 000 stères en 1985, 560 000 en 1986), l'intervention sur 850 ha de semis attaqués par le Pissode, associés à une politique vigoureuse d'exploitation (2 200 000 t en 2 ans) et de commercialisation (exportation de plus de 450 000 m³ en Scandinavie) ont permis de limiter fortement l'extension de ces 2 ravageurs ;
- la multiplication des foyers de scolyte acuminé dans la région Centre de 1973 à 1980 (plus de 15 000 foyers de mortalité) résultait d'un affaiblissement lié à des périodes sèches associées à des sols difficiles ;
- il en est de même pour ceux qui sont apparus au milieu des années 1980, principalement dans le sud-est de la France (vallée de la Durance et Alpes-de-Haute-Provence) après colonisation par le Scolyte acuminé ou le Sténographe.

La seule pullulation de Scolyte acuminé résultant, non de chablis mais de bris de neige, est survenue en Cerdagne après une chute de neige lourde, en 1983 : 75 000 m³ de pin sylvestre au sol. De 1975 à 1976, 90 foyers de mortalité sont apparus avec pour conséquence, en 1977, de très fortes attaques d'Hylésine sur pousse de pin sylvestre et de pin à crochet.

Notons enfin, que la tornade de 1987 en Bretagne a vu, l'année suivante, la multiplication des populations de Sténographe sans apparition de graves foyers de mortalité (il en a été de même pour le Typographe sur épicéa).

Ces constatations rejoignent les observations faites par les services forestiers des pays voisins après tornade, en RFA (tornade d'octobre 1972), aux Pays-Bas (tornades de fin 1972 et début 1973) en Grande Bretagne (tornade d'octobre 1987) :

- en RFA (Basse-Saxe) l'Hylésine s'est abondamment multiplié en raison de conditions favorables en 1973, sur tous les bois gisants de pin, à la différence du sténographe et de l'acuminé dont les quelques manifestations ont rapidement été contrôlées. Mais dès 1975 les populations ont rapidement régressé et très peu de foyers d'attaques sur pied sont apparus dans les peuplements avoisinants, seules les lisières des zones touchées où les pins étaient ébranlés par le vent ont pu être colonisés avec succès. Les raisons évoquées associent une régulation naturelle liée à la surpopulation en zones sinistrées, la destruction de nombreux insectes par lutte chimique et la mise en place d'arbres pièges.

En dépit de la régression de l'invasion de l'Hylésine de 87% en 1974 à 52% en 1975, l'attaque des pins sur pied a augmenté de 2,7 fois en raison d'un stress physiologique lié à un épisode de sécheresse. Enfin la destruction des pousses au cours de l'alimentation de maturation de l'Hylésine avant hibernation a été forte en 1973 : plus de 30 pousses détruites/m³ de bois attaqué ; elle a chuté à moins de 2 pousses/m³ de bois attaqué en 1974 ;

Estimation des attaques de sous-corticoles de pin à partir des volumes traités :
--

- de 1970 à 1972 : plus de 16 150 m ³ ;
- de 1973 à 1975 : plus de 460 800 m ³ ;
- de 1976 à 1978 : plus de 16 000 m ³ ;

Volumes de pins traités au lindane en 1974 et 1975 :
--

- volumes attaqués : en 1974, 652 300 m ³ ; en 1975, 479 650 m ³ ;
- volumes traités : en 1974, 373 260 m ³ ; en 1975 82 570 m ³ ;

- aux Pays-Bas, des observations comparables ont été faites en 1973 et 1974 avec prédominance des attaques d'Hylésine sur les pins en zones sinistrées et très peu de foyers de mortalité ultérieurs. Le Sténographe et l'Acuminé ne se sont pas manifestés (ou très peu) ;

- en Grande Bretagne le problème principal, après la tornade de 1987, a été les atteintes d'Hylésine, car son abondance est liée à l'apparition de bleuissement du bois colonisé. Cela a justifié la création de vastes aires de stockage sous aspersion pouvant contenir jusqu'à 750 000 m³ ;

- en France, après 1982, les attaques d'Hylésine et de Sténographe ont pu être observées dès 1973 au sud du Massif central (Corrèze), mais aucune extension ultérieure n'a été constatée.

Ainsi, les principales espèces sous-corticoles du pin, en dépit de l'investissement rapide des chablis, chandelles et volis, provoquent rarement l'apparition de foyers de mortalité dans les pineraies avoisinantes ; les lisières et les sujets ébranlés par le vent sont colonisés en général au cours du printemps suivant. Seul un affaiblissement physiologique des peuplements, après épisode de sécheresse, est susceptible de relayer le choc lié à la tornade. Les causes le plus souvent évoquées sont :

- d'une part, la concurrence territoriale très forte qui s'exerce entre les différentes espèces présentes et qui crée une surpopulation défavorable au développement des larves (en particulier, entre Hylésine, Sténographe et Pissode), ce qui limite, au terme de la première année, les populations d'adultes pouvant coloniser les pineraies voisines lors de l'essaimage du printemps suivant ;

- d'autre part, les capacités importantes de réaction de défense des peuplements indemnes matérialisés par une résination abondante lors des pénétrations de l'écorce (Hylésine) ou de la ponte (Pissode).

Ainsi, le seuil critique, permettant de contourner les défenses naturelles des arbres, est rarement atteint, en dépit de la focalisation des attaques de Scolytidés par le jeu de l'émission de phéromones attractives.

Cependant, dans le cas présent, l'importance des volumes au sol peut réduire notablement cette concurrence, augmentant d'autant les risques d'apparition de foyers de mortalité à partir de 2001.

Nous n'avons pas l'expérience d'une telle situation en France et le suivi précis en 2000 de l'évolution des colonisations des bois au sol en Aquitaine et au sud du Poitou-Charentes prend un relief particulier, surtout si les conditions climatiques de cette année ne sont pas défavorables aux insectes.

Les ravageurs du sapin

Bien que nous disposions de très peu d'informations sur le comportement des Scolytidés du sapin après tornade (Curvidenté et Cryphale), leurs manifestations nuisibles ne sont pas à écarter en Lorraine et dans le Limousin, notamment.

Seuls les Suisses ont signalé la prolifération de ces espèces après 1992, très localement et sur sujets déficients. Ils signalent par contre l'apparition de nombreux foyers de mortalité dus au Curvidenté en 1995 dans le Jura suisse (20 000 m³ attaqués et exploités) avec une régression rapide dès 1996.

Le cas du Pissode du sapin est plus particulier car, du fait de sa biologie, il ne développe pas de pullulations spectaculaires comme le Pissode des pins. Il reste cependant très dangereux après chablis, surtout lorsqu'ils sont suivis d'épisodes de sécheresse plus ou moins marqués comme en 1985 et 1986, après la tornade de 1982 en France.

Ce n'est qu'à partir de 1985, que les attaques, discrètes et disséminées dans les sapinières, se sont multipliées, conduisant souvent, après une ou deux coupes sanitaires, à l'exploitation de la parcelle en totalité. Les régions les plus touchées étaient situées dans le Limousin et le Massif central (plateau de Millevaches, Puy-de-Dôme, Haute-Loire) ainsi que dans le nord des Alpes. Dans le Limousin, le sapin grandis, nettement plus exigeant en eau que le sapin pectiné, était particulièrement vulnérable aux attaques de ce charançon.

Les ravageurs de l'épicéa

Le grand Scolyte de l'épicéa : le Typographe

Tout le monde s'accorde actuellement pour considérer que le Typographe représente, en pessière, la menace la plus grave pouvant survenir après tempête hivernale.

Après multiplication intensive (pullulation à caractère éruptif) dans les secteurs couchés au sol par le vent, l'insecte peut investir, l'année suivante, les peuplements avoisinants indemnes et y créer des foyers de mortalité pendant plusieurs années consécutives.

Les observations faites après les tempêtes de 1972 (RFA), de 1982 (France) et 1990 (Suisse), en constituent des exemples édifiants. Ils viennent après l'ouragan de 1969 qui a durement touché les pessières du sud de la Norvège et a été à l'origine d'une véritable explosion de population du Typographe qui s'est étalée pendant 10 ans, détruisant ainsi 4 millions de m³ de sujets sur pied.

En RFA, sur les 19,6 millions de m³ renversés par la tornade de 1972, 9,2 millions concernaient les pessières. En dépit de conditions climatiques peu favorables au Typographe en 1973 et d'actions de lutte chimique intensives, une progression des attaques est observée en 1974 avec maintien de la pression de l'insecte jusqu'à 1977 inclus.

Ainsi, les attaques de Typographe ont été estimées :

- de 1970 à 1972 : à plus de 8 000 m³/an ;

- de 1973 à 1975 : à plus de 567 450 m³;
- de 1976 à 1978 : à plus de 134 920 m³.

Les actions de lutte ont concerné :

- volumes attaqués : en 1974 : 172 400 m³ ; en 1975 : 224 160 m³ ;
- volumes traités : en 1974 : 179 500 m³ ; en 1975 : 107 550 m³.

Une situation encore plus catastrophique a résulté des ouragans de 1990 avec, dans le Bade-Wurtemberg, plus de 15 millions de m³ de bois renversés. L'énorme pullulation de Typographe qui s'est développée de 1991 à 1993, à partir des secteurs sinistrés, a été à l'origine de la destruction de 6 millions de m³ d'épicéas supplémentaires et, en 1999, l'insecte n'était pas encore revenu à son niveau de population initial.

En Suisse, après le passage de l'ouragan Viviane (février 1990) qui a détruit 5 millions de m³, une énorme pullulation de Typographe s'est développée en 2 ans, avec, en 1992 et 1993, 500 000 m³ attaqués exploités chaque année. Un total de près de 2 millions de m³ d'épicéas sur pied a ainsi été détruit à partir des foyers de mortalité hors zones tornadées, augmentant ainsi les dégâts directs de la tempête de près de 40%. De 1990 à 1998, 27 250 foyers ont été dénombrés à des distances de 100 m à 1 km des zones de chablis.

Années	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Volumes attaqués (m ³)	60 000	140 000	500 000	480 000	300 000	135 000	289 000	90 000	87 000
Nombre de foyers	538	2 135	5 955	5 469	3 200	4 130	3 445	1 213	1 160

Notons enfin que ces dommages ont été accentués et entretenus par une série d'années sèches et l'arrivée de l'ouragan Wilma, en janvier 1995.

En France, la tornade de 1982 a durement touché le Massif central et le nord de la région Rhône-Alpes : 11 millions de m³ au sol, principalement d'épicéa, répartis sur une surface de 2,4 millions d'ha. Le même scénario a pu être constaté : à partir des pullulations de Typographe dans les secteurs sinistrés en 1973, les foyers de mortalité d'épicéas sur pied sont apparus, tout d'abord en lisière des trouées de vent, puis à l'intérieur des pessières avoisinantes jusqu'à 1 km et plus de distance. Les observations faites à trois niveaux différents soulignent l'ampleur et la durée du phénomène :

- *Rhône-Alpes* (volumes au sol approchant le million de m³)

De 1984 à 1988 inclus, l'enquête menée par les forestiers de l'ONF fait état d'un volume total attaqué exploité de 262 550 m³, avec un maximum en 1984 et 1985 (94 830 et 86 660 m³, respectivement). Ces atteintes ont été particulièrement marquées dans les vallées nord - alpines de l'Isère, la Savoie et la Haute Savoie qui ont supporté à elles seules pendant la même époque 235 000 m³ de dégâts, soit près de 90% du total.

Années	1984	1985	1986	1987	1988
Volumes attaqués exploités (m ³)	25 222	94 834	86 661	39 691	16 243

- Plateau du Vercors (chablis diffus sur environ 10 000 ha)

La pression du Typographe s'est maintenue jusqu'en 1987 avec un maximum en 1986.

Années	1984	1985	1986	1987	1988
Volumes attaqués exploités (m ³)	205	1 080	1 420	850	490

- Forêt domaniale du Meygal (Haute-Loire) : chablis arasants de 300 ha sur 1 100 ha soit 110 000 m³ d'épicéa au sol.

Là aussi les zones tornadées ont été à l'origine d'une véritable explosion des populations de Typographe en 1983. Les foyers de mortalité enregistrés de 1984 à 1986 représentent près de 30 000 m³. Cette situation de crise s'est maintenue jusqu'en 1990 avec une réduction progressive des populations et des attaques liée principalement à l'exploitation immédiate des foyers repérés et l'extraction rapide des bois hors forêt à partir de 1987. Ainsi de 1984 à 1991, un total de 35 650 m³ exploité résultait des atteintes directes du Typographe qui a augmenté de 32,5% les dommages dus à la tempête.

Années	1984-86	1987	1988	1989	1990	1991
Volumes attaqués exploités (m ³)	> 27 000	3 729	3 059	658	714	≈ 20

Nous avons par ailleurs constaté en 1987 et 1988 que, par rapport à la grande zone de chablis localisée dans la partie est du Meygal, les plus fortes attaques étaient situées dans la partie ouest de la forêt, ce qui représente des mouvements de population sur plusieurs kilomètres (3 à 5 km), lors des essaimages.

Les mêmes constatations ont été faites dans les pessières du Nord-Est de la France, au cours de la période qui a suivi les tempêtes de 1990 (8 millions de m³ de chablis, dont plus de la moitié concernait l'épicéa, principalement, et le sapin). Dès 1991, l'ensemble des chablis d'épicéa non exploités était colonisé et de nombreux foyers de mortalité sont apparus les années suivantes. Au terme de la pullulation, survenu en 1997, les dégâts de la tornade ont ainsi été augmentés de 15 à 30%.

Tout ceci souligne la vulnérabilité particulière des pessières aux atteintes de Typographe après tornade. L'impossibilité de vidanger rapidement les bois gisants hors forêt lui permet de développer deux générations annuelles dont la seconde est plus ou moins complète, en fonction de l'altitude et du climat, et de constituer des populations d'adultes hivernants dangereux.

L'insecte passe ainsi, en une année, d'une situation « endémique » de faible niveau au cours de laquelle il utilise les rémanents de coupe et les bris de neige, à une situation « épidémique » pendant laquelle la masse critique de ses populations lui permet d'investir rapidement tout épicéa sur pied, quelle que soit la qualité de ses défenses naturelles : capacité pour une essence résineuse à réagir aux tentatives de pénétration de l'écorce par les Scolytidés, par une résination primaire, puis par production de résine physiologique induite imprégnant les tissus et intervention des polyphénols oxydases qui créent des zones de tissus nécrosés autour des premières galeries de ponte. Ces mécanismes très consommateurs d'énergie contribuent à l'affaiblissement de l'arbre qui meurt lorsque les tentatives de pénétration sont trop nombreuses.

Le petit Scolyte de l'épicéa : le Chalcographe

Les atteintes de cette espèce sont souvent masquées car elles sont associées à celles du Typographe. Ce dernier colonise le tronc et le Chalcographe la cime et les branches.

Les observations faites en Basse Saxe, après 1972, montrent que l'évolution de ses populations est sensiblement comparable à celles du Typographe : ses effectifs ont rapidement augmenté pendant l'été 1973 et, à l'automne, un facteur de multiplication de 3 à 4 était observé.

En 1976, les estimations indiquaient que 25% des volumes de bois, 22% des arbres-pièges et 17% des arbres sur pieds attaqués étaient investis par le Chalcographe.

Les forestiers allemands ont aussi observé des attaques d'épicéa sur pied de 130 ans (80 m³ détruits par le seul Chalcographe) alors qu'il était considéré comme secondaire et sur douglas dans les plaines occidentales de la Basse Saxe.

En France, après 1982 et 1990, et en Suisse, après 1990, des constatations similaires ont pu être faites. L'insecte était présent, associé au Typographe, mais ses atteintes ont intéressé les sujets situés en lisière des zones tornadées. De plus, une multitude de petits foyers de mortalité a été enregistrée dans les jeunes reboisements d'épicéas de 25-30 ans de 1991 à 1996 dans le nord du Massif vosgien et les Hautes Chaînes du Jura, avec un maximum en 1991 et 1992 et une recrudescence en 1994.

Là encore, aucune expérience n'existe sur les capacités de pullulation de cette espèce, seule ou en association avec le Typographe, après une tornade de l'ampleur de celle de 1999.

Il est toutefois remarquable de constater que les seules manifestations épidémiques de Chalcographe, au cours des 20 dernières années, observées sous forme d'une multiplication de foyers de mortalité dans de jeunes pessières de 25-30 ans - en 1984, dans l'Est de la France (Moselle – Meurthe et Moselle, Vosges), avec environ 500 foyers dénombrés et, de 1989 à 1991, dans les 16 000 ha de jeunes pessières du Tarn (Monts de Lacaune) - venaient après des épisodes de sécheresse accentués par des stations défavorables.

Les stratégies de gestion des populations de Scolytidés sous-corticales

Au cours des 30 dernières années, après catastrophe forestière résultant de tempêtes hivernales de forte amplitude (plus de 5 millions de m³), les responsables forestiers des pays européens concernés ont rapidement mis en œuvre des mesures exceptionnelles, non seulement pour protéger les bois abattus contre les agents d'altération (piqûre, bleuissement) mais aussi pour tenter de prévenir l'apparition différée de foyers de mortalité dans les peuplements avoisinants indemnes.

Globalement, ces mesures, classiques et bien connues, associent, l'année qui suit la tornade hivernale, l'extraction prioritaire des bois au sol et le contrôle des populations de Scolytidés sous-corticales par destruction des sites de nidification (écorçage des grumes ou leur traitement chimique).

Les années suivantes, la surveillance attentive des peuplements au voisinage des zones touchées est de rigueur : repérage précoce des sujets colonisés sur pied, exploitation des foyers de mortalité avec extraction rapide ou écorçage des bois attaqués avant l'envol des adultes fils de la génération printanière.

Cependant, en fonction des époques, de l'évolution des connaissances scientifiques et techniques et des moyens disponibles, la mise en œuvre de ces actions pouvait revêtir des stratégies et des modalités différentes :

- mise en place d'arbres-pièges classiques à écorcer, arbres-pièges traités ou traités et amorcés avec une phéromone de synthèse spécifique, pièges artificiels amorcés avec une phéromone ;
- mise en place de dispositifs de surveillance pour répondre à deux impératifs : d'une part, recueillir des informations sur les risques potentiels d'apparition de foyers de mortalité, leur localisation et leur évolution dans le temps ; et, d'autre part, donner aux gestionnaires des indications utiles pratiques pour mettre en œuvre et affiner les actions préconisées selon les ravageurs en cause et les situations locales.

La méthode allemande

La surveillance

Après la tornade de 1972, les responsables scientifiques des services forestiers de RFA (Basse-Saxe) ont développé une stratégie alliant mesures sylvicoles intensives et stratégies de surveillance et de prévision.

Au cours de l'année 1973, outre l'extraction des bois abattus, une campagne d'intervention a été organisée pour tenter de juguler les pullulations de Scolytidés sous-corticoles des pins et de l'épicéa : écorçage ou traitement chimique (au lindane) après écorçage ou traitement sur aire de regroupement des grumes.

La méthode de surveillance a été conçue en trois niveaux selon la technique des sondages :

- un niveau de terrain concernant tous les triages forestiers. Dans 5 à 10 placettes d'1 ha maximum, étaient consignés sur une fiche standard : les dates d'attaques, le volume et le pourcentage de bois colonisé par les sous-corticoles et bois de cœur, à trois époques : 15-30 mai (pins), 15-30 juin (épicéa) et septembre (pin, épicéa) ;
- un niveau technique plus spécifique relevait, dans 10 stations représentatives en pessière et 23 en pineraies, les espèces de Scolytidés en cause, les densités des couloirs de ponte et les stades de développement. L'ensemble était pondéré selon un échantillonnage standardisé : rond d'écorce de 25 cm de diamètre ou écorçage partiel de tronc ;
- un échelon scientifique (entomologistes de la Protection des forêts) complétait ce dispositif dans 5 aires de contrôle où étaient mesurés, la surface d'écorce exploitée par les insectes, la longueur des couloirs de ponte, les stades d'évolution et le niveau de parasitisme.

La prévision des risques

Une méthode d'estimation basée sur le calcul de « points de risque » a été élaborée sur la base des données de surveillance, afin de mesurer l'importance prévisible des attaques à venir au cours du printemps suivant et pour estimer le nombre d'arbres-pièges (en m³) à mettre en place.

Chaque point de risque équivalait à 1 m³ de bois attaqué par le Typographe, en modulant ce nombre de points en fonction du pourcentage d'infestation, du potentiel d'accroissement prévisible de la population d'une année sur l'autre (x 2 si les conditions étaient favorables) et de l'époque d'écorçage des bois colonisés (x 2, x 4 ou x 8 pour des écorçages effectués après les 30 mai, 30 juin ou 30 juillet respectivement).

Ce système était transposable aux ravageurs du pin en tenant compte de certaines caractéristiques de leur attaque pour le calcul des points de risque : pourcentage de pousses attaquées pour l'Hylésine, par exemple, potentiel de dispersion différent selon les espèces en cause...

À l'usage, ce dispositif, appliqué sur 1 737 sites d'observation (niveau 1), a donné des résultats exploitables pour orienter les actions de lutte. Il s'est cependant montré d'une utilisation pratique complexe et lourde, très consommatrice de temps. Par ailleurs, les niveaux 2 et 3 n'ont pas permis une prévision suffisante en raison des inconnues liées au climat qui agit directement sur le vol des insectes.

En fait, la méthode a débouché sur une stratégie de gestion pragmatique de mise en œuvre de 3 arbres-pièges/ha pour 30 points de risque et, au-delà, de l'installation d'un volume d'arbres-pièges selon une échelle allant jusqu'à 25 m³ pour 80 points.

Elle a aussi permis de constater que l'usage intensif des arbres-pièges ne pouvait réduire les pullulations épidémiques de Typographe et que la pression de l'insecte conduisait à généraliser l'usage des insecticides préjudiciable à l'environnement forestier.

C'est la raison pour laquelle, sur la base de l'expérience scandinave, la méthode des arbres pièges classique a été abandonnée au début des années 1980 pour celle de l'utilisation des pièges artificiels amorcés avec une phéromone de synthèse.

Les stratégies de gestion associant médiateurs chimiques et actions sylvicoles

En Scandinavie

Au cours des fortes pullulations de Typographe dans les pessières du sud de la Norvège et de la Suède de 1971 à 1981, les mesures sylvicoles classiques étaient systématiquement utilisées.

Devant la lourdeur de ces méthodes (300 000 arbres-pièges mis en place de 1972 à 1976, dont 150 000 en 1973) et devant la difficulté du repérage précoce des épicéas attaqués avant l'envol des adultes fils (3 à 6 semaines entre le début des attaques et l'expression des symptômes visibles), il était urgent de trouver une nouvelle technique.

C'est à partir de 1979 que fut engagée une vaste opération de piégeage extensif contre le Typographe à l'aide de pièges artificiels amorcés avec une phéromone spécifique, après que fut découvert (en 1977) et synthétisé le complexe attractif du Typographe et conçu un modèle de piège opérationnel (piège « tube » avec 750 orifices de pénétration).

Ainsi, de 1979 à 1982, entre 100 000 et 600 000 pièges furent utilisés permettant la capture de plus de 10 milliards d'individus.

L'objectif de cette opération nationale n'était pas d'éradiquer l'insecte mais de tenter de réduire ses populations à un niveau inférieur à un seuil critique au-dessus duquel tout épicéa peut être investi quelles que soient ses capacités de résistance.

Au terme de la pullulation en 1982, après une chute de 80% des populations en 3 ans, l'analyse faite pour expliquer son déclin soulignait l'action conjuguée de trois types de facteurs :

- le climat froid et humide de 1979 et de 1981, réduisant les capacités de vol du Typographe ;
- la récupération physiologique des peuplements d'épicéas ;
- les piégeages de contrôle mis en œuvre et l'impact des prélèvements d'insectes.

Pendant cette période de nombreux travaux furent menés, aussi bien sur la dynamique de population du Typographe, son comportement d'attaque et de dispersion, sa biologie, que sur l'incidence des piégeages sur ses populations et ses dégâts.

Ainsi, les équipes de scientifiques norvégiens et suédois ont pu montrer que l'action des piégeages était positive : disparition des mortalités, l'année suivante, dans les peuplements peu attaqués et leur réduction de 70% dans les pessières fortement investies, sans pour cela empêcher la formation de nouveaux foyers.

Une bonne relation a été constatée entre les moyennes de captures par piège observées (entre 2 000 et 45 000) et l'importance des mortalités ($r = 0,82$). Les modèles développés à partir des dispositifs de terrain ont enfin montré que les taux de captures des populations présentes en forêt étaient en moyenne de 30%, mais pouvaient être plus élevés selon le contexte.

En résumé, ces travaux ont souligné :

- que les piégeages seuls ne pouvaient réduire une pullulation de Typographe ;
- qu'ils contribuaient de façon notable à la réduction de ses attaques et de ses dégâts ;
- qu'ils constituaient en soi une méthode de surveillance intéressante, utile pour orienter les actions de lutte sylvicole, mais ne permettaient pas de prévoir l'évolution future des populations en raison des

inconnues sur l'incidence de nombreux facteurs de régulation de l'insecte et du comportement physiologique des peuplements.

En République fédérale allemande

Dès 1978, les gestionnaires de la forêt en Basse Saxe et au Schleswig-Holstein ont inclus dans leurs procédures de gestion des pullulations de Typographe, le piégeage avec phéromone de synthèse et les directives allaient dans ce sens :

- réduction du matériel disponible pour le Typographe : exploitation et extraction rapide des bois ou écorçage (« forêt propre » = « *clearing forest* ») ;
- surveillance des pessières et repérage précoce des foyers au cours du printemps ;
- piégeage artificiel avec phéromone de synthèse, en prenant toutes précautions d'éloignement des lisières ou des sujets sur pied de plus de 15 m. Ainsi, en 1985, plus de 25 000 pièges furent utilisés.

Les essais menés à cette époque ont ainsi montré, dans le Harz, l'intérêt de cette méthode lors des pullulations de 1982-1983.

La mise en place de 10 000 pièges associée à la technique « forêt propre » avait conduit à une réduction rapide des populations dangereuses de 80 à 100%, comparativement à des pessières « non gérées ».

D'autres dispositifs ont permis de vérifier qu'on obtenait moins de foyers et peu d'attaques, après 5 ans, avec l'association « forêt propre »- piégeage en masse (réduction des dégâts de 67%) par rapport à une gestion « normale »- piégeages en masse (réduction de 40%).

En revanche, l'utilisation du piégeage pour la prévision n'a pas été démontrée en raison de l'intervention d'autres facteurs non maîtrisés.

L'intérêt des arbres-pièges amorcés avec une phéromone par rapport aux pièges a enfin été souligné : réduction de 78 à 97% des attaques au terme de la première génération de l'insecte.

Cependant, la mise en œuvre de ces techniques n'a pu être généralisée selon une stratégie de gestion permanente, en raison du coût jugé trop élevé, aussi bien en personnel qu'en matériel (140 DM/piège, soit environ 72 €), et des réserves émises sur leur capacité immédiate à maîtriser une population de Typographe.

A partir de 1990, cette stratégie a été abandonnée pour revenir au classique « *forest-clearing* » après repérage des foyers de mortalité.

En Suisse

Le Typographe y est considéré comme un ravageur permanent du fait des bris de neige qui entretiennent des populations dangereuses. Ceci explique l'importance et la rapidité de la recrudescence des dégâts qui ont suivi la tornade de 1990, accentuées par les reliefs rendant difficile, sinon impossible, l'accès à de nombreux peuplements touchés.

Les piégeages avec phéromone de synthèse ont été intégrés en 1984 dans la stratégie de surveillance et de contrôle du Typographe : mise en place de 9 000 à 20 000 pièges, de 1984 à 1998.

Ils intervenaient en complément des actions sylvicoles classiques, après élimination des foyers de mortalité et dégagement des bois, en purgeant les zones attaquées.

Des indications utiles étaient par ailleurs obtenues sur les périodes de vol, les dates de mise en place des arbres pièges et leur écorçage, ainsi que sur la répartition des moyens de lutte dans les secteurs les plus touchés.

Chaque année, un bilan de la situation « Typographe » est effectué par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (à Birmensdorf) où figure l'évolution relative des populations sur la base des captures moyennes par piège et la répartition des volumes détruits par l'insecte. Les indications fournies font état, après une culmination en 1992 et 1993 (500 000 m³ détruits), d'un fléchissement des dégâts en 1997 et 1998 (autour de 90 000 m³ détruits).

Les autres pays européens

La Belgique et de Danemark ont aussi payé un lourd tribut aux tornades, respectivement 6 millions de m³ de bois au sol en 1990 et 2,75 en 1991.

Là aussi, en dépit d'actions vigoureuses de mobilisation des chablis, des pullulations de Typographe n'ont pu être évitées au cours des années suivantes.

Les actions mises en œuvre pour tenter de maîtriser l'insecte étaient principalement orientées vers la lutte sylvicole classique, exploitation et extraction ou écorçage des épicéas attaqués et la mise en place d'arbres-pièges classiques.

Les pièges artificiels et les arbres-pièges traités et amorcés n'ont été utilisés qu'à des fins de recherche pour étudier leur intérêt dans la gestion des populations de Typographe. Ainsi, au Danemark, a été vérifié, la première année après tornade, l'intérêt de l'exploitation précoce des chablis avant essaimage de printemps (1^{er} mai) : un nombre d'épicéas plus réduit était attaqué comparativement aux secteurs où la mobilisation était plus tardive (après la ponte de printemps).

Une bonne corrélation entre les niveaux de captures et l'importance des dégâts en lisière des pessières a été démontrée, soulignant l'intérêt de ces techniques pour le suivi et la prévision des risques d'attaques.

En Belgique, outre l'application des méthodes sylvicoles classiques, les entomologistes forestiers ont développé une technique d'arbres-pièges sur pied, traités à la base sur les 6 premiers mètres du tronc et amorcés avec la phéromone. Cette méthode, très supérieure aux pièges artificiels, de 2,5 à 11 fois, permettait d'intercepter de 50 à 100% de la population d'adultes hivernants au cours de l'essaimage de printemps et d'obtenir une réduction des foyers d'attaque.

L'expérience française

Après la tornade de 1982, le CEMAGREF, en plus de la diffusion de directives et de notes techniques sur les actions immédiates à mettre en œuvre et sur les risques phytosanitaires différés dus au Typographe, a lancé une opération de piégeage avec phéromone dans les pessières touchées du Massif central et du nord des Alpes.

Sur la base de l'expérience scandinave, la stratégie adoptée consistait :

- à tenter de contrôler les populations de Typographe préexistantes susceptibles de se développer sur les bois gisants dès le printemps 1983, puis celles de l'été, avant hibernation des adultes ;
- à tenter d'éviter la dispersion de ces insectes vers les peuplements avoisinants au cours des essaimages printaniers de 1984.

Il s'agissait aussi de vérifier l'intérêt de cette méthode pour le suivi ultérieur des populations dans le temps et pour la prévision des attaques.

Dès 1983, quelque 16 000 pièges à phéromone ont été mis en place dans les pessières les plus touchées du Massif central (11 500) et des Alpes du nord (4 000), en plus de l'installation conseillée d'un maximum d'arbres-pièges traités - amorcés avec la phéromone.

Afin de contrôler la pertinence des actions préconisées, 4 dispositifs expérimentaux ont été installés dans les massifs de Belledonne (Hurtières, 1983-85), de la Grande Chartreuse (1983-89), du Vercors (1984-88) et du Meygal (1988-92) dans le Massif central.

Ce programme a fourni l'équivalent de 22 années de piégeage et a permis de nombreuses observations sur la bio-écologie du Typographe en zone montagneuse et sur les relations insectes - essence hôte.

Importance et nature des chablis

Au-delà de plusieurs millions de m³ de chablis, une population de Typographe, caractérisée par piégeage, peut passer en une année d'une situation endémique sans dégâts (1 300 captures par piège) à une situation épidémique (11 000 à 35 000 captures par piège) avec apparition de foyers de mortalité.

Ces foyers sont d'autant plus nombreux et importants que les chablis sont élevés et arasants (Belledonne : 10 000 m³ sur 100 ha), comparativement à des chablis diffus disséminés, comme dans le Vercors sur près de 10 000 ha, où la progression de l'insecte est plus lente (captures moyennes entre 2 000 et 6 000) et les dégâts plus faibles.

Après le choc dû aux chablis, cette situation de crise s'est maintenue en général pendant 4 à 5 années : Chartreuse 3 ans, Vercors 4 ans et Meygal 7 ans. Nous ne disposons d'aucune référence en France sur l'ampleur des attaques résultant d'une tornade de l'importance de celle de 1999, mais il est probable que des pullulations sont à prévoir sur plusieurs années.

Incidence des piégeages sur l'insecte et ses dégâts

Dans tous les cas, la stratégie consistant à circonscrire de pièges les secteurs sinistrés, la première année, pour éviter la dispersion du Typographe dans les pessières voisines, a été vouée à l'échec en raison de la concurrence exercée par les grumes au sol, colonisées et émettrices de phéromone.

Cependant, comparativement aux secteurs laissés sans piégeage et où dans le voisinage desquels de nombreux foyers disséminés ont été repérés après 2 ou 3 ans sur plusieurs kilomètres, 3 à 4 fois moins de sujets attaqués ont été constatés à la périphérie des zones traitées (Belledonne, La Table : 250 épicéas tués contre 850).

L'incidence des piégeages sur les populations de Typographe est bien évidemment liée à la capacité de capture des dispositifs mis en place : pièges artificiels de divers modèles ou arbres-pièges.

Les controverses souvent vives soulevées par cette question s'effacent quand on constate que des arbres-pièges traités avec un insecticide et amorcés avec une phéromone possèdent un pouvoir de capture 2,2 à plus de 10 fois supérieures à celui de pièges « tube » ou « barrière ».

C'est ce que nous avons montré en Chartreuse en comparant les performances de 6 modèles de pièges artificiels et d'arbres-pièges au sol traités et amorcés : avec les pièges artificiels nous avons capturé entre 1 300 et plus de 35 000 individus en moyenne tandis qu'avec les arbres pièges nous avons récolté entre 4 250 et 9 400 individus par m² d'écorce soumise à contrôle. En prenant en compte la surface totale de ces arbres, le potentiel de capture maximum peut atteindre entre 50 000 et 230 000 insectes.

La méthode belge des arbres-pièges sur pied traités à la base et amorcés s'est aussi montrée supérieure aux pièges, mais présente l'inconvénient d'une surface d'écorce utile plus réduite et l'obligation de traiter préventivement les sujets voisins.

Les actions sylvicoles

La rapidité d'extraction des chablis hors forêt est déterminante : en Chartreuse, la mobilisation immédiate des bois au sol (9 000 m³) a permis la disparition des attaques sur pied après une crise de 2 ans.

A l'inverse, au Meygal, l'importance des volumes à extraire (110 000 m³ sur 300 ha) associés à ceux des foyers de mortalité ultérieurs, n'a pas permis la vidange rapide des bois hors forêt. Les grumes attaquées résidentes en bord de piste ont conduit à un auto-entretien des populations de Typographe et de ses dégâts : 27 500 captures par piège et 4 000 m³ d'épicéas détruits, 6 ans après la tornade.

En fait, il est impossible actuellement de vérifier la part respective de chacune de ces techniques, piégeage et actions sylvicoles, pour les raisons déjà évoquées. Très vraisemblablement, leurs actions se cumulent.

L'incidence des conditions climatiques

La succession de périodes plus ou moins sèches, enregistrées en 1985 et de 1988 à 1989, a été favorable au Typographe et défavorable aux pessières en réduisant ses capacités de résistance naturelle.

Ceci s'est traduit dans nos dispositifs par une recrudescence temporaire des captures dans les pièges et des dégâts, en Chartreuse (1985 et 1989), dans le Vercors (1986) et au Meygal (1991).

Les caractéristiques des peuplements

La sensibilité des pessières aux attaques de Typographe est sous la dépendance d'une série de facteurs dont l'ensemble traduit la vigueur, ou « bienvenance », d'un peuplement. Ce sont principalement les caractéristiques sylvicoles (âge, mode de gestion, croissance...), stationnelles (type et nature de sol, profondeur utile) et climatiques moyennes (quantité et répartition des pluies).

Nos dispositifs étaient situés à des altitudes comparables entre 1 000 et 1 500 m dans des pessières adultes, menées en futaie jardinée sur des stations à sol brun convenable. Seule la pluviométrie était variable (Chartreuse : 2 000 mm ; Belledonne : 1 400 mm ; Vercors : 1 300-1 400 mm ; Meygal : 700-800 mm) et apportait des éléments d'interprétation pour expliquer la durée de la crise post-tornade plus brève en Chartreuse, par exemple, que dans le Vercors ou le Meygal.

D'un autre côté, une étude de dendrochronologie comparée faite au Meygal entre des épicéas attaqués dans 10 foyers de mortalité de taille variable et un nombre équivalent de sujets sains, voisins, les plus proches (carottages à 1,30 m et à cœur de 64 épicéas), a donné des résultats intéressants, qu'il conviendrait toutefois de vérifier sur une plus grande échelle.

À partir de la courbe d'accroissement moyen selon l'âge courant, les courbes d'indices de croissance (exprimées en%) ont été construites respectivement pour les épicéas attaqués et non attaqués et confrontées à la courbe de croissance moyenne générale (élimination de l'influence de l'âge pour pouvoir comparer les cernes élaborés les mêmes années).

Il est apparu que les épicéas attaqués (29 sujets) montraient des profils d'accroissements systématiquement supérieurs à ceux des épicéas non attaqués (35 sujets).

Les arbres à croissance rapide seraient ainsi plus vulnérables aux attaques du Typographe en raison d'une plus grande mobilisation des réserves pour l'élaboration des cernes et, donc, d'une disponibilité d'énergie plus faible pour mettre en œuvre les mécanismes de réaction de défense : résination secondaire induite et réactions physiologiques de nécrose du liber pour circonscrire les galeries de ponte de l'insecte (intervention des polyphénols oxydases). Certains champignons du groupe des Ophiostomatales, véhiculés par les Scolytes et le Typographe en particulier, interviendraient dans ces processus complexes pour exacerber ces réactions et accentuer l'épuisement des épicéas investis.

Les épicéas dont la croissance est plus lente pourraient de leur côté réagir plus vigoureusement à des stress brutaux liés à la présence de l'insecte.

Ces données ont été reprises pour comparer, au cours de 15, 10 et 5 dernières années avant 1989, les accroissements respectifs des 2 lots d'épicéas.

Comme précédemment, des cernes significativement plus larges ont été constatés chez les épicéas attaqués par rapport aux sujets sains les plus proches en forêt (2,5 à 5 m) pour les 15 et 10 dernières années ($P < 0,022$ et $0,05$). Pour les cernes des 5 dernières années, la même tendance, non significative ($P < 0,15$), était enregistrée : cernes de 1,28 contre 1,15 mm en moyenne.

Signalons toutefois que des travaux scandinaves comparables et antérieurs n'avaient pas montré de différence d'accroissement entre épicéas attaqués et indemnes.

Signification des captures relevées dans les pièges à phéromone

En l'absence de méthode simple et éprouvée pour estimer les densités réelles de Typographe à l'unité de surface, une solution consistait à mettre en relation les fluctuations relatives de captures dans le temps avec celles des dégâts exprimés en m^3 de bois attaqué.

La bonne concordance globale observée dans nos dispositifs entre ces deux paramètres, en accord avec de nombreux travaux européens, apportait un certain crédit à l'utilisation du piégeage artificiel comme méthode de surveillance du Typographe sur de longues séquences d'années.

Cela a été conforté par la bonne cohérence observée dans le Vercors entre les couples captures-dégâts obtenus par piégeage intensif (1 piège pour 25 ha) et ceux résultant d'un piégeage extensif (1 piège pour 250 ha). On n'a cependant pas observé de proportionnalité entre ces 2 paramètres pour des peuplements différents (tableau ci-dessous).

Autrans		Méaudres		Meygal	
Captures	Dégâts (m^3)	Captures	Dégâts (m^3)	Captures	Dégâts (m^3)
3 900	55	3 400	130	22-17 000	50-100
4 700	150	5 000	150	20-22 000	100-150
6 200	540	6 000	550	25-30 000	1 400
(X 1,5)	(X 10)	(X 1,5)	(X 5)	(X 3)	(X 15)

Ceci souligne la difficulté d'établir une échelle de risques selon les niveaux de captures en raison des réactions variables des arbres et ce d'autant qu'il est souvent délicat de séparer les attaques d'une année donnée de celles de la précédente : une partie des attaques d'été s'expriment en totalité au cours du printemps suivant (*cf.* la méthode suisse).

Un autre élément à prendre en compte est celui du nombre de pièges utilisé qui peut conditionner les niveaux de captures enregistrées. Un essai de densification a pu être réalisé au Meygal, après avoir

vérifié, la première année, les moyennes de captures voisines dans 3 secteurs contigus de caractéristiques comparables.

Le nombre de pièges dans la parcelle centrale a été multiplié par 4 la seconde année (40 contre 10 pièges) puis rétabli à son niveau initial la 3^e année.

Ceci nous a permis de constater un nombre de captures totales plus élevées dans la zone centrale « densifiée », corrélatif d'une chute notable de la moyenne de captures par piège. Les relevés effectués la 3^e année ont de plus montré un déficit relatif de captures dans la partie centrale, pendant la durée du premier essaimage.

Cet essai illustre la première tentative de manipulation d'une population de Typographe par piégeage et souligne la nécessité d'une normalisation des piégeages dans tous dispositifs de terrain. Une augmentation des captures moyennes peut ainsi résulter d'une baisse des dégâts de l'insecte avec pour conséquence une concurrence phéromonale plus réduite de la part des épicéas colonisés.

Bio-écologie du Typographe

De nombreuses informations sur la biologie et l'écologie du Typographe ont été obtenues au cours au cours des essais menés après la tornade de 1982.

Les grandes séquences du cycle de développement annuel ont pu être précisées en diverses situations de climat et d'altitude : 2 générations annuelles dont la seconde plus ou moins complète à 1 000 m, avec présence de générations sœurs. Ces renseignements étaient essentiels pour le gestionnaire pour gérer les actions sylvicoles à mettre en œuvre en fonction des vols de l'insecte.

Enfin, la durée de la première génération a pu être calculée par la méthode de la somme de température : 550 degrés.jours entre le début de l'essaimage de printemps et l'apparition des premiers adultes fils. Cette valeur a été vérifiée pour les 22 campagnes de piégeage réalisées en 10 ans.

Conclusions

Compte tenu de l'expérience acquise, aussi bien en Europe qu'en France, on peut considérer que les risques les plus graves à prendre en compte après la tornade de fin 1999 sont incontestablement ceux qui résultent du Typographe. Ses dégâts différés, dans les pessières du Massif central et du Nord-Est de la France, peuvent accentuer considérablement les conséquences directes de la tornade à partir de 2001.

Il est en effet illusoire d'espérer que l'ensemble des bois renversés pourrait être extrait hors forêt avant que l'insecte ait pu y développer ses générations printanières et estivales et atteigne des niveaux dangereux.

Ce risque semble comparativement plus atténué dans le cas des pineraies sauf, cependant, en Aquitaine et dans le Sud-Ouest du Massif central, car actuellement, devant l'ampleur d'une telle catastrophe, nous ne disposons pas d'expérience sur le comportement à terme des sous-corticoles des pins tels que l'Hylésine, le Sténographe et le Pissode.

Il est donc essentiel de mettre en place, dès cette année, une procédure de surveillance dans les secteurs touchés des régions les plus sensibles (pessières en particulier) pour tenter de repérer les zones à risques où des quantités importantes d'adultes hiverneront pour essaimer, au cours du printemps prochain, vers les peuplements voisins indemnes.

Sans envisager un dispositif aussi complexe que celui des Allemands en 1972, des informations pourront être obtenues par l'observation semi-quantitative des attaques sur grumes au sol dans des placettes d'1 ha environ, faite à 3 époques de l'année par exemple.

Ce système serait moins contraignant qu'un échantillonnage systématique effectué sur quelques grumes et donc peu représentatif (à moins de prévoir de nombreuses répétitions par placette).

A ce niveau, tous dispositifs de piégeage (pièges ou arbres pièges amorcés de phéromone) seraient inopérants. Seule l'extraction rapide des bois colonisés ou leur écorçage, avant l'envol des adultes issus de la première génération, peut contribuer à réduire les populations d'insectes qui hiverneront. Le recours à la lutte chimique directe doit rester exceptionnel en fonction des conditions locales, s'effectuer hors parcelle, sur aire de regroupement ou en bordure de piste, en respectant les préconisations techniques conseillées par le Département de la santé des forêts.

En 2001, la surveillance attentive des zones voisines des chablis doit se poursuivre pour repérer précocement, en lisière ou à l'intérieur des peuplements de résineux, toutes attaques de sujets sur pied (épicéa, pin, sapin), les exploiter, les extraire hors forêt ou les écorcer.

Dans le cas de l'épicéa, après la mise en œuvre de ces actions, des arbres-pièges traités et amorcés avec une phéromone de synthèse pourraient être utiles pour réduire les populations dangereuses de Typographe dans les foyers les plus importants en raison de leur grande capacité de destruction d'adultes et de leur coût de mise en œuvre beaucoup plus réduit que celui des pièges. Après usage en effet, les troncs d'épicéa ayant servi d'arbre-piège restent indemnes de toute attaque d'insectes et peuvent, surtout lorsqu'ils sont de belle taille, être normalement commercialisés sans perte économique notable.

Enfin, pour vérifier la pertinence des mesures associant gestion « forêt propre » et arbres-pièges, des études ciblées sur le Typographe seraient à envisager afin de développer des méthodes d'estimation de ses populations effectivement présentes en forêt. Il est en effet essentiel de pouvoir mesurer l'efficacité réelle, aussi bien des actions sylvicoles classiques que des diverses méthodes de piégeage avec phéromone, utilisées depuis maintenant plus de 20 ans.

Les travaux scandinaves sur l'échantillonnage des adultes hivernant dans la litière au pied des arbres attaqués, à la reprise d'activité printanière (technique des cages pyramidales sur une surface donnée de sol), ou ceux des Canadiens (méthode de tamisage de la litière sur une surface standard), peuvent constituer une bonne base de départ pour déboucher sur une procédure pratique aisément accessible v

Références bibliographiques

France

- ABGRALL J.F., 1988. *Expérimentation d'une phéromone de synthèse, spécifique du chalcographe (Pityogenes chalcographus L.) en forêt communale de Méaudres (Vercors). 1985-1987. Étude* CEMAGREF, 7 p.
- ABGRALL J.F., 1995. Les modèles biologiques en entomologie. Leur intérêt dans la gestion des ravageurs forestiers. *Séminaire « Les modèles biologiques au CEMAGREF, formulation, validation et pertinence »*, Gif-sur-Yvette, 273-284.
- ABGRALL J.F., 1989. Piégeage du chalcographe, *Pityogenes chalcographus L.* (Col. Scolytidae) avec « CME 519-4 » et le « chalcoprax ». *Colloque station - essence forestière – Scolytidés*, 11-14/09/1989, Louvain-la-Neuve (Belgique), 12 p.
- ABGRALL J.F., 1986. Utilisation d'une préparation phéromonale, le « linoprax », contre le scolyte liséré, *Trypodendron lineatum* OI. (Col. Scolytidae). *Information technique*, CEMAGREF, 61(5), 4 p.
- ABGRALL J.F., 1987. Utilisation d'une phéromone de synthèse, le « linoprax », dans la lutte contre le scolyte liséré (*Trypodendron lineatum* OI.) dans les scieries des Alpes du nord. *Conf. Int. sur les ravageurs en agriculture (Phygiène-Phytopharmacie)*.
- ABGRALL J.F., 1987. Utilisation de la méthode des arbres-pièges avec phéromone de synthèse dans la lutte contre le Typographe. *Information technique*, CEMAGREF, 67(1), 4 p.
- ABGRALL J.F., 1989. *Caractérisation par piégeage d'une pullulation de Typographe (Ips typographus L.) avec une phéromone de synthèse. Forêt domaniale du Meygal. Campagne 1988. Étude* CEMAGREF, 27 p.
- ABGRALL J.F., 1989. *Surveillance des populations de Typographe (Ips typographus L.) dans les pessières du Vercors de 1984 à 1988, par piégeage avec phéromone de synthèse. Étude* CEMAGREF, 15 p.

- ABGRALL J.F., 1990. *Piégeage du Typographe en Forêt domaniale de Grande Chartreuse. Campagne 1989. Essai d'analyse des fluctuations de population observées de 1983 à 1989.* Étude CEMAGREF, 20 p.
- ABGRALL J.F., 1993. Capturas de *Pityogenes chalcographus* L. (Col. Scolytidae) con feromonas de síntesis en los montes de *Picea* de los Alpes franceses. Primer Congreso Forestal Español, Lourizan, 1- 1993, Ponencias y Comunicaciones, 3, 281-284.
- ABGRALL J.F., JUVY B., 1993. Incidence de la température sur le développement du Typographe, *Ips typographus* L. (Col. Scolytidae) en zone montagneuse. *Information Technique*, CEMAGREF, 90, 7 p.
- ABGRALL J.F., SCHVESTER D., 1986. Observations sur le piégeage de *Ips typographus* L. après chablis. *Revue forestière française*, 39(4), 359-377.
- ABGRALL J.F., SOUTRENON A., 1991. *La forêt et ses ennemis.* CEMAGREF, Paris, 400 p.
- ANONYME, 1978. Les problèmes posés par la recrudescence des attaques de Scolytides dans les forêts résineuses françaises. *Revue forestière française*, 30(1), 37-41
- ANONYME, 1982. *Risques de dégâts dans les forêts atteintes par la tempête de novembre 1982, et mesures phytosanitaires envisageables.* Division protection de la nature. CEMAGREF, 9 p.
- ANONYME, 1986. *Surveillance et protection phytosanitaire de la forêt d'Aquitaine. Bilan et perspectives.* Compte rendu de la réunion régionale tenue à Bordeaux le 13.10.1986 sous la présidence du chef du Services régional de la Forêt et du Bois, 20 p.
- BOUTTE B., BOUHOT-DELDUC L., ABGRALL J.-F., 1994. Réseau expérimental de surveillance du Typographe. Bilan de 5 années de piégeage (1989-1993). *La Santé des Forêts en 1993*, Min. Agric., DERY, Paris, 15-17.
- CASTORO F., 1990. *Étude du chalcographe dans les Monts de Lacaune.* Mémoire de stage, CEMA du Viaur, DDAF du Tarn, 94 p.
- DAJOZ R., 1980. *Écologie des insectes forestiers.* Gauthier-Villars, Paris, 489 p.
- DAJOZ R., 1998. *Les insectes et la Forêt.* Lavoisier Tech et Doc., Paris, 594 p.
- DE MASSIAS E., 1988. *Le scolyte liséré, Trypodendron lineatum Ol., agent de la piqûre noire des résineux. Étude par piégeage dans diverses scieries de Haute-Savoie.* Mémoire BTS, Production forestière, Lycée agricole de Poisy-Annecy, 98 p.
- DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS, 1990 à 1995. *La santé des Forêts, France. Bilan annuel : 1990, 76 p. ; 1991, 86 p. ; 1992, 103 p. ; 1993, 120 p. ; 1994, 107 p. ; 1995, 79 p.* Min. Agric. DERY, Paris.
- FABBI A., 1985. Évolution des dépérissements liés au Grand scolyte de l'épicéa (*Ips typographus*) dans une forêt auvergnate particulièrement atteinte par la tempête des 6 et 7 novembre 1982. *Mémoire BTAO*, 42 p.
- FABBI A., 1987. *Piégeage du chalcographe, Pityogenes chalcographus L., à l'aide d'une phéromone de synthèse. Étude menée dans une pessière du Vercors.* Mémoire BTS, Productions forestières. ENITEF, 60 p.
- FLAMMARION J.P., 1982. *Note de réflexions sur les chablis catastrophiques du 6 au 9 novembre 1982.* ENGREF, 19 p.
- GARSAULT J.F., 1983. *La protection phytosanitaire de la forêt en Auvergne après la tempête des 6 et 7 novembre 1982.* SRAF Région Auvergne, 68 p.
- LEDUC P., 1985. *Contribution aux expérimentations relatives au piégeage du scolyte Ips typographus L., dans les pessières d'Auvergne à la suite de la tempête des 6 et 7 novembre 1982.* Mémoire BTS, Production forestière, 65 p.
- LIEUTIER F., 1990. Les réactions de défense du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) contre les attaques d'insectes Scolytides. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 76(4), 3-12.
- LIEUTIER F., 1993. Réactions de défense des conifères et résistance aux attaques de Scolytides. *Phytoma, La Défense des Végétaux*, 451, 39-42.
- LIEUTIER F., 1994. Les Scolytides des conifères. L'importance de l'hôte. *Phytoma, La Défense des Végétaux*, 463, 15-19.
- LIEUTIER F., CHENICLET C., GARCIA J., 1989. Comparison of the defense of *Pinus pinaster* and *Pinus sylvestris* to attacks by two bark beetles (Col. Scolytidae) and their associated fungi. *Environmental Entomology*, 18(2), 228-234.
- LIEUTIER F., LEVIEUX J., 1985. Les relations conifères-Scolytides : importance et perspectives de recherches. *Annales des Sciences forestières*, 42(4), 359-370.
- LIEUTIER F., PIOUS D., 1988. Point de vue sur le dépérissement du pin sylvestre en Région Centre. *La forêt privée*, 179, 39-46.
- MASSON M., 1985. *Conséquences phytosanitaires de la tempête de novembre 1982 dans le département de la Creuse.* Mémoire ONF, région Limousin, subdivision de Guéret, 35 p.
- Allemagne**
- BOMBOSCH S., 1987. Eine neue Möglichkeit zum Einstaz von Borkenkäferpheromonen ? *Journal of Applied Entomology*, 103, 360-363.
- DIMITRI L., GEBAUER U., LOSEKRUG R. et al., 1992. Influence of mass trapping on the population dynamic and damage-effect of bark beetles. *Journal of Applied Entomology*, 114, 103-109.
- FÜHRER E., HAUSMANN B., WIENER L., 1991. Borkenkäferbefall (Col. Scol.) und Terpenmuster der Fichtenrinde (*Picea abies* Karst.) an Fangbäumen. *Journal of Applied Entomology*, 112, 113-123.
- FÜHRER E., KERK K., 1978. Untersuchungen über die Forstschutzprobleme in kiefern-schwach-holz-Windwürfen in der Lüneburger Heide. *Forst- und Holzwirtschaft*, 97, 156-167.
- KLIMETZEK D., 1984. *Données de base pour une surveillance et une lutte contre les Scolytidés (Trypodendron sp.) au moyen de substances attractives et répulsives.* Forstzoologischen Institut Aberer-Ludwigs Universität Freiburg.
- NIEMEYER H., 1979. Die Entwicklung der Borkenkäferpopulationen nach 1972 und ihre Bekämpfung. Dokumentation der Sturmkatastrophe vom 13 November 1972. *Aus dem Wald*, 31(5) 5-37.
- NIEMEYER H., 1984. Zur Bekämpfung von Rinden und Holzbrütenden Borkenkäfer. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt. *Information*, 1/84, 16 p.
- NIEMEYER H., 1985. Field response of *Ips typographus* L. (Col. Scol.) to different trap structures and white versus black flight barriers. *Zeitschrift fuer angewandte Entomologie*, 99, 44-51.
- NIEMEYER H., 1985. Test und effektivität von borkenkäferfallen. *Forst- und Holzwirtschaft*, 40, 32-40.
- NIEMEYER H., 1992. Monitoring *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* (Col. Scol.) in Lower Saxony and Schleswig-Holstein. *Journal of Applied Entomology*, 114, 98-102.
- NIEMEYER H., THALENHORST W., 1974. Die Borkenkäfergefahr in Niedersachsen nach der Sturmkatastrophe vom November 1972. *Forst- und Holzwirtschaft*, 29(7), 133-142.
- ADMINISTRATION FORESTIÈRE D'ÉTAT DU BADE-WURTEMBERG, 2000. *Aspects of forest protection in respect to the storm.* Notes techniques, 2 p.
- ADMINISTRATION FORESTIÈRE D'ÉTAT DU BADE-WURTEMBERG, 2000. *First advise in respect to forest protection for removal of wood after the storm.* Notes techniques Forestry Research Institute, 3 p.

- ADMINISTRATION FORESTIÈRE D'ÉTAT DU BADE-WURTEMBERG, 2000. *Notice on the prevention of bark beetle infestation in 2000 in the areas most damaged by hurricane « Lothar »*. Notes techniques, 1 p.
- ADMINISTRATION FORESTIÈRE D'ÉTAT DU BADE-WURTEMBERG, 2000. *Strategy for removal activities after the storm*. Notes techniques, 4 p.
- SCHRÖTER H., 1991. Borkenkäferbekämpfung und -überwachung - Erfahrungen im Kalamitätsjahr in Baden-Wurtemberg. Kolloquium 30-31 Okt 1990, Braunschweig. Borkenkäfer-Gefahren nach Sturmschaden. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt fuer Land Forstwirtschaft*, 18-27.
- Pays scandinaves (Norvège, Suède)**
- ANNILA E., 1975. Effect of felling date of trees on the attack density and flight activity of *Trypodendron lineatum* Ol. (Col. *Scolytidae*). *Commentationes biologicae societatis scientiarum Fennica*, 86(6), 1-17.
- BAKKE A., 1985. Methods and effects of suppressing bark beetle populations. In L. Safranyik : The role of the host in the population dynamics of forest insects. *Proc. IUFRO Conf. Banff Center, Victoria BC*.
- BAKKE A., 1981. The utilization of an aggregation pheromone for the control of the spruce bark beetle. ACS Symp., Ser., 190, Insect pheromone technology : *Chemistry and applications*, 219-229.
- BAKKE A., 1983. Deploying pheromone-baited traps for monitoring *Ips typographus* populations. *Zeitschrift fuer angewandte Entomologie*, 99, 33-39.
- BAKKE A., 1983. Host tree and bark beetle interaction during a mass outbreak of *Ips typographus* in Norway. *Zeitschrift fuer angewandte Entomologie*, 96, 118-125.
- BAKKE A., 1983. Mass trapping of the spruce bark beetle *Ips typographus*. Pheromone and trap technology. *Report of the Norwegian Forest Research Institute*, 38-3, 36 p.
- BAKKE A., 1989. The recent *Ips typographus* outbreak in Norway. Experiences from a control program. *Holarctic Ecology*, 12, 4, 515-519.
- BAKKE A., 1991. Socioeconomic aspect of an integrated-pest management program in Norway. *Forest Ecology and Management*, 39, 299-303.
- BAKKE A., 1992. Monitoring bark beetle populations : effects of temperature. *Journal of Applied Entomology*, 114, 208-211.
- BAKKE A., 1992. Monitoring *Ips typographus* L. populations and forecasting damage. *Journal of Applied Entomology*, 114, 338-340.
- BAKKE A., STRAND L., 1981. Pheromones and traps as a part of and integrated control of the spruce bark beetle. *Report of the Norwegian Forest Research Institute*, 5-81, 39 p.
- CHRISTIANSEN E., 1981. Infestation ability of epidemic *Ips typographus* in relation to vitality and increment of norway spruce. *Report of the Norwegian Forest Research Institute*, 2-81, 20 p.
- CHRISTIANSEN E., ERICSSON A., 1986. Starch reserves in *Picea abies* in relation to defense reaction against a bark beetle transmitted blue stain fungi, *Ceratocystis polonica*. *Canadian Journal of Forest Research* 16, 78-83.
- CHRISTIANSEN E., HORNTVEDT R., 1983. Combined *Ips / Ceratocystis* attack on norway spruce and defensive mechanism of the trees. *Zeitschrift fuer angewandte Entomologie*, 96, 110-118.
- LIE R., BAKKE A., 1981. Practical results from the mass trapping of *Ips typographus* in Scandinavia. In E.R. Mitchell : *Management of insect pests with semiochemicals*. Plenum Pr., New-York, 175-181.
- PULLIAINEN E., 1983. Infestation by *Trypodendron lineatum* Ol. (Col. *Scolytidae*) of spruce and pine in different years and months near subarctic timber line. *Annales Entomologici Fennici*, 49, 45-48.
- TUNSET K., NILSSEN A.C., Andersen J., 1993. Primary attraction in host recognition of coniferous bark beetles and bark weevils (Col. *Scol.* and *Curcul.*). *Journal of Applied Entomology*, 115, 155-169.
- WESLIEN J., 1989. Effect of mass trapping on *Ips typographus* L. populations. *Journal of Applied Entomology*, 114, 228-232.
- WESLIEN J., 1989. Two methods for estimating spruce bark beetle damage risks. *Bulletin. SROP Int.*, 12(2), 74-75.
- WESLIEN J., ANNILA E., BAKKE A. et al., 1989. Estimating risk for spruce bark beetles, *Ips typographus* L., using pheromone-baited traps and trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 4, 87-98.
- WESLIEN J., LINDELOW A., 1989. Trapping a local population of spruce bark beetle *Ips typographus* L. : population size and origin of trapped beetles. *Ecology*, 12, 511-514.
- WESLIEN J., LINDELOW A., 1990. Recapture of marked spruce bark beetles, *Ips typographus*, in pheromone traps using area-wide mass trapping. *Canadian Journal of Forest research*, 20, 1786-1790.
- WORREL R., 1983. Damage by the spruce bark beetle in South Norway 1970-1980. A survey and factors affecting its occurrence. *Report of the Norwegian Forest Research Institute*, 38-6, 34 p.
- Belgique, Pays-Bas, Danemark**
- DE PROFT M., GRÉGOIRE J.C. et al., 1992. Méthodes d'évaluation de l'efficacité des insecticides à l'égard des Scolytidés en forêt résineuse. *Mededelingen van de Faculteit. Landbouwwetenschappen Universiteit Gent*, 57(3), 815-824.
- DRUMONT A., GONZALEZ R. et al., 1991. Contrôle intégré d'*Ips typographus* (Col. *Scolytidae*) en Belgique. *Parasitica*, 47(2-3), 113-128.
- DRUMONT A., GONZALEZ R., DE WINDT N. et al., 1992. Semiochemicals and their integrated management of *Ips typographus* L. (Col. *Scol.*) in Belgium. *Journal of Applied Entomology*, 114, 333-337.
- GRÉGOIRE J.C., 1992. Les méthodes de lutte contre *Ips typographus*. Interventions sylvicoles, pièges, arbres pièges. *Silva Belgica*, 98, 5-12.
- LAMBERT H., 1994. Le point sur les attaques d'*Ips*. *Silva Belgica*, 101(1), 3-5.
- LUITJES J., 1976. Development of insect in timber damaged by the gales of 1972 and 1973 in The Netherlands. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 83(1-3), 87-95.
- MULOCK P., CHRISTIANSEN E., 1986. The threshold of successful attack by *Ips typographus* on *Picea abies* : a field experiment. *Forest Ecology and Management*, 14, 125-132.
- NAGENA N., 1976. La nature des dégâts de *Xyloterus lineatus* Ol. (Col. *Scolytidae*) sur *Picea excelsa* Link. : Observations dans la Forêt de Saint-Hubert. *Parasitica*, 32(2), 3-24.
- NAGENA N., 1977. Vols et densités d'attaques de *Xyloterus lineatus* Ol. (Col. *Scolytidae*) en fonction des différentes périodes d'attaques des arbres (*Picea excelsa* Link.). *Parasitica*, 33(1), 3-24.
- NEF L., 1985. Directives pour la protection des forêts contre les dégâts d'Ipides. *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, 92(2), 76-86.
- NEF L., 1985. Lutte contre les Ipides dans les chablis. *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, 92(6), 306-317.
- NEF L., 1987. Le *Trypodendron lineatum* Ol. Biologie, dégâts. *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, 94(3), 97-106.
- RAVN H. P., 1985. Expansion of the population of *Ips typographus* L. (Col. *Scolytidae*) and their local dispersion following gale disaster in Denmark. *Zeitschrift fuer angewandte Entomologie*, 99, 26-32.

Grande Bretagne

- BLETCHLY J.D., WHITE M.G., 1962. Significance and control of attack by the Ambrosia beetle *Trypodendron lineatum* Ol. (Col. Scolytidae) in Argylshire forests. *Forestry*, 35, 139-163.
- GRAYSON A.J., 1989. The 1987 storm : Impacts and responses. *Forestry Commission, Bulletin*, 87, 46 p.
- GIBBS J.N., INMAN A., 1991. The pine shoot beetle *Tomicus piniperda* as a vector of blue stain fungi to windblown pine. *Forestry*, 64(3), 239-249.
- O'SULLIVAN A., 1979. Pheromone lures help control bark beetles. *Chemical and Engineering*, 30, 10-13.
- WINTER T.G., EVAN H.F., 1990. Insects and storm damaged conifers. *Forestry Commission, Research Information Note*, 173, 3 p.

Suisse

- DUELLI P., ZAHARADNIK P., *et al.*, 1997. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *Journal of Applied Entomology*, 121, 297-303.
- FORSTER B., MEIER F., 1990. *La situation face au bostryche en 1989-1990. Le Typographe, Ips typographus.* Service phytosanitaire d'observation et d'information (SPOI), Birmensdorf, 19 p.
- FORSTER B., 1991. Les dégâts dus aux tempêtes et les ravageurs forestiers. *Bulletin SPOI*, Institut Fédéral de Recherche sur la Forêt, la Neige et le Paysage, Birmensdorf, 10 p.
- JANSEN E., FORSTER B., MEIER F., 1990. *Les dégâts causés par la tempête et la question du bostryche. Notice pour le praticien.* Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage. Birmensdorf, 4 p.
- MAKSYMOW J.K., JANSEN E., JAGGI P., 1982. Synthetisches Pheromon des Buchdruckers, *Ips typographus* L.

Ein wirksames Mittel zu seiner Bekämpfung. *Schweizerische Zeitschrift fuer Forestwesen*, 133(12), 1029-1044.

- MEIER F., JANSEN E., 1989. *Enquête « Bostryche » auprès des triages forestiers.* 1984-1986. Service phytosanitaire d'observation et d'information (SPOI), Birmensdorf, Suisse, 23 p.
- MEIER F., ENGESSER R., FOSTER B. *et al.*, 1990 à 1999. *Protection des forêts. Vue d'ensemble 1989 à 1998.* SPOI, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage. Birmensdorf, 1990, 25 p. ; 1991, 27 p. ; 1992, 26 p. ; 1993, 28 p. ; 1994, 25 p. ; 1995, 28 p. ; 1996, 32 p. ; 1997, 32 p. ; 1998, 28 p. ; 1999, 24 p.

Autres pays

- ANONYME, 1984. *Ochrana lesa Proti kurovci- Nejdulezitejsi Predpisy* (Directive tchèque de lutte contre les Scolytidés), 14 p.
- BERRYMAN A.A., RAFFA K.R., MILLSTEIN J.A. *et al.*, 1989. Interaction dynamics of bark beetle aggregation and conifer defense rate. *Oikos*, 56, 256-263.
- LINDGREN B.S., BORDEN J.H., 1983. Survey and mass trapping of ambrosia beetles (Col. Scol.) in timber processing on Vancouver Island. *Canadian Journal of Forest Research*, 13(3), 481-493.
- MEIER F., ENGESSER R., FOSTER B. *et al.*, 1967. *Borkenkafer - besondere Gefahr nach Sturmschaden.* Forstschutz-Merkblätter, Institut für Forstschutz, Wien, 8 p.
- PADRO SIMARRO A., HERNANDEZ ALONZO R. *et al.* 1999. Trabajos selvícolas en pinares. Insectos perforadores. Prevencion y control. Gobierno de Aragon, Servicio de Proteccion del Medio Natural.

Tableaux et diagrammes complémentaires**Bilan des opérations de piégeage menées par l'ONF après la tornade de 1982, dans les pessières de Rhône Alpes, en forêt soumise.****Tableau I. Nombre de pièges (pièges + arbres pièges)**

Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ain	0	197	90	20	16	3
Ardèche	223	361	355	224	0	3
Drôme	370	428	279	224	0	9
Loire + Rhône	231	161	181	138	82	55
Isère	882	1 142	983	960	485	343
Savoie	312	544	907	1 202	737	351
Haute-Savoie	738	1 643	1 184	1 022	749	373
Rhône-Alpes	2 758	3 930	3 979	3 743	2 158	1 166

Tableau II. Captures totales (pièges + arbres pièges)

Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ain	0	1 172 870	420 250	149 580	70 000	5 500
Ardèche	198 476	340 540	537 701	3 946 690	225 010	59 460
Drôme	56 820	639 100	517 900	98 600	0	0
Loire + Rhône	50 350	202 949	797 400	674 200	460 000	163 760
Isère	1 307 988	3 605 433	6 225 079	3 869 322	3 341 737	989 855
Savoie	314 750	4 188 770	9 841 616	12 258 397	7 474 157	2 142 855
Haute-Savoie	2 094 220	91 215 310	23 701 360	9 144 429	5 160 475	1 395 812
Rhône-Alpes	4 022 604	101 364 972	42 041 299	26 589 218	16 731 379	4 749 785

Tableau III. Moyennes des captures par piège (tubes)

Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ain	0	5 550	4 670	7 479	4 375	1 833
Ardèche	890	971	1 515	2 230	2 528	1 858
Drôme	153	1 422	1 856	440	0	0
Loire + Rhône	216	1 260	4 405	3 550	9 489	2 977
Isère	1 483	3 157	6 332	4 030	6 918	2 864
Savoie	1 009	7 700	10 850	10 198	10 141	6 105
Haute-Savoie	2 838	55 517	20 018	8 948	6 843	4 073
Rhône-Alpes	1 458	27 793	10 565	7 103	7 753	4 073

Tableau IV. Volumes exploités attaqués par le Typographe (m³)

Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ain	-	2 035	2 050	624	333	15
Ardèche	-	248	1 050	775	255	40
Drôme	-	1 931	3 568	1 980	1 250	410
Loire + Rhône	-	4 170	2 610	2 320	1 815	130
Isère	-	6 676	11 992	12 943	3 702	163
Savoie	-	3 486	32 003	21 347	10 867	7 874
Haute-Savoie	-	6 686	41 561	46 672	21 469	7 663
Rhône-Alpes	-	25 222	94 834	86 661	39 691	16 243

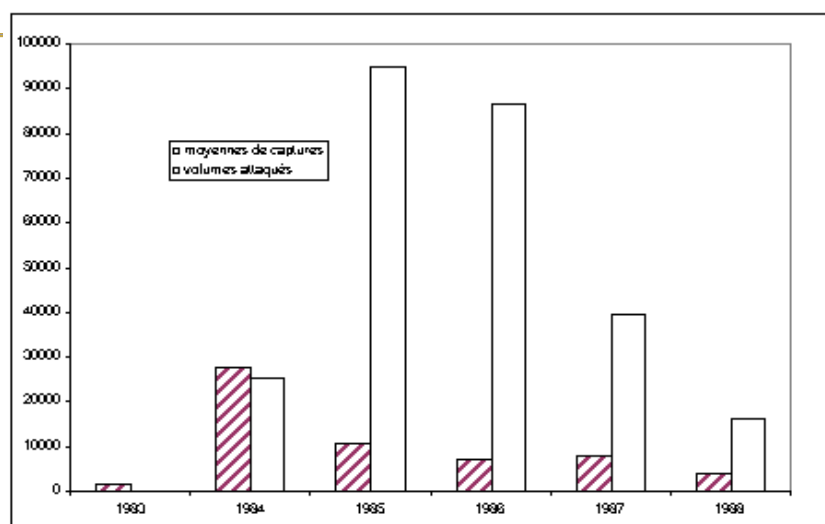


Figure 1. Évolution des moyennes de captures moyennes par piège et volumes attaqués (m³) par le Typographe, en région Rhône-Alpes, de 1983 à 1988

En hachures : moyennes de captures ; en blanc : volumes attaqués (en m³).

Près de 195 500 000 Typographes ont été éliminés en 6 ans pour un total de 262 650 m³ d'épicéas détruits sur pied. Les 3 départements du nord des Alpes les plus touchés (Isère, Savoie et Haute-Savoie) cumulent à eux seuls, un total de captures de 188 211 901 Typographes et 235 104 m³ d'épicéas détruits sur pied, répartis sur une surface totale de 600 000 ha.

Tableau V. Étude comparative, en 1989 en forêt du Meygal (42), des cernes d'accroissement des épicéas attaqués, tués par le Typographe et des épicéas non attaqués voisins,

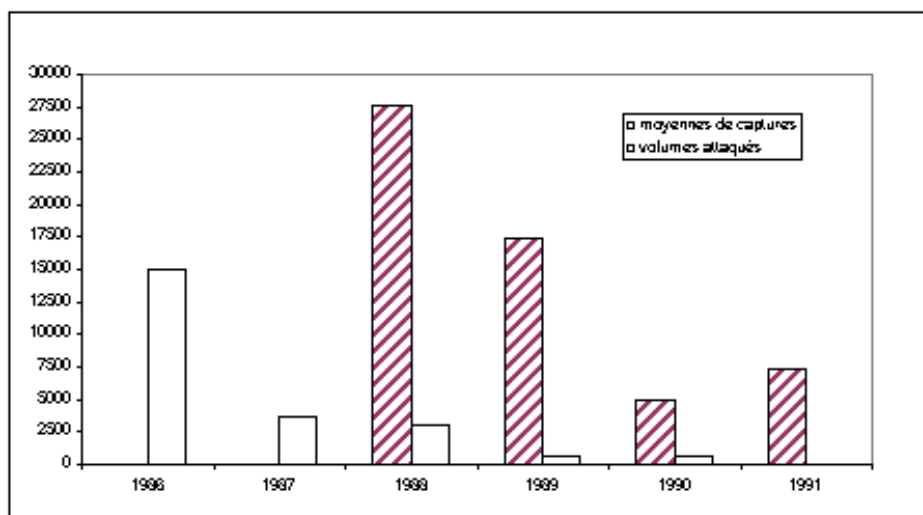
dans 10 foyers de mortalité de taille variable, respectivement au cours des 5, 10 et 15 dernières années précédant 1989.

Secteurs forestiers	N° tâches	Nombre d'épicéas		1989 – 1986 (n à n-5)			1989 – 1980 (n à n-10)			1989 – 1975 (n à n-15)		
		NA	A	Moyenne cernes (mm)		P <	Moyenne cernes (mm)		P <	Moyenne cernes (mm)		P <
				NA	A		NA	A		NA	A	
II	15	10	4	1,31	1,10	0,359	1,29	1,02	0,076	1,20	0,92	0,140
	16	2	1	1,38	*2,14	0,004	1,63	*2,52	0,000	1,71	*2,77	0,000
	tot/moy	12	5	1,32	1,31	0,940	1,35	1,32	0,850	1,29	1,29	0,999
III	29	3	2	0,68	*0,74	0,750	0,75	*1,10	0,006	0,75	*1,23	0,000
	21	1	11	0,54	*0,86	0,400	0,49	*1,76	0,006	0,44	*1,67	0,002
	28	5	5	1,33	1,12	0,370	1,29	1,13	0,350	1,20	1,01	0,120
	26	2	2	0,62	*0,79	0,350	0,80	*0,93	0,440	0,91	*0,98	0,600
	23	1	1	1,37	0,81	0,180	1,74	0,95	0,006	1,80	1,05	0,005
	tot/moy	12	11	0,98	0,94	0,690	1,04	*1,12	0,410	1,03	*1,11	0,280
IV	31	2	2	2,16	1,17	0,002	2,09	1,56	0,019	1,92	1,50	0,014
V	47	2	2	0,69	*1,45	0,024	0,78	*1,33	0,015	0,76	*1,19	0,015
	49	7	9	1,00	*1,68	0,002	1,06	*1,70	0,000	1,13	*1,49	0,001
	tot/moy	9	11	0,93	*1,64	0,000	0,99	*1,63	0,000	1,05	*1,44	0,000
tot/moy Général		35	29	1,15	*1,29	0,150	1,19	*1,38	0,050	1,18	*1,30	0,022

A : attaqués ; NA : non attaqués

Les couples de largeurs moyennes de cernes en gras traduisent une différence significative (P < 0,05) entre épicéas sains et attaqués.

Les chiffres marqués d'un astérisque indiquent des largeurs moyennes de cernes supérieures chez les épicéas attaqués.

**Figure 2. Evolution des captures moyennes de Typographe par piège et des dégâts (m³) en forêt du Meygal de 1986 à 1991**

En hachures : moyennes de captures ; en blanc : volumes attaqués (m³).

Tableau VI. Évolution des captures enregistrées par piégeage artificiel et mortalités d'épicéas attaqués par le Typographe dans le massif de Belledonne (Hurrières, 73) et en Grande Chartreuse (38), de 1983 à 1985

Peuplement	Situation du ravageur en 1982	1983			1984			1985		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
La Table	Endémique sans dégâts	140 848 (108)	1 304	45	1 393 782 (126)	11 062	182	99 271 (128)	7 753	250
Le Verneil	Endémique sans dégâts	5 822 (21)	272	0	298 406 (17)	17 353	32	103 720 (21)	4 939	295
Presle sans piégeage	Endémique sans dégâts	-	-	0	-	-	19	-	-	830
Parcelle 13 sans piégeage	Endémique sans dégâts	-	-	0	-	-	88	-	-	853
Grande Chartreuse	Épidémique avec dégâts 197 épicéas tués Bris de neige en 1980	771 271 (49)	15 740	27	426 756 (67)	6 270	1	468 018 (68)	6 983	0

A : Total captures ; B : Captures moyennes par piège C : Nombre d'épicéas tués. () : Nombre de pièges

Forêts avec piégeage :

- Chaîne des Hurrières : F. communales de La Table et du Verneil (chablis de 1982 : respectivement, 9 300 et 6 000 m³)
- Grande Chartreuse, bris de neige en 1980 (4 000 m³)

Forêts sans piégeage :

- Chaîne des Hurrières : F. communale de Presle (chablis de 1982 : 6 000 m³).

Parcelle 13 de la F. communale de La Table (chablis de 1982 à 1,5 km de la zone sinistrée).

On observe :

- le passage de la population de Typographe, d'un état endémique sans dégâts, à un état épidémique avec foyers de mortalité, de 1983 à 1984, dans le Massif des Hurrières
- le passage d'un état épidémique en 1982 avec dégâts, à un état endémique en Grande Chartreuse, sans mortalité, en 1984.
- les mortalités d'épicéas progressent plus rapidement dans les pessières non « traitées » par piégeage : après 3 ans, 3 à 4 fois plus de dégâts que dans les pessières « traitées ».

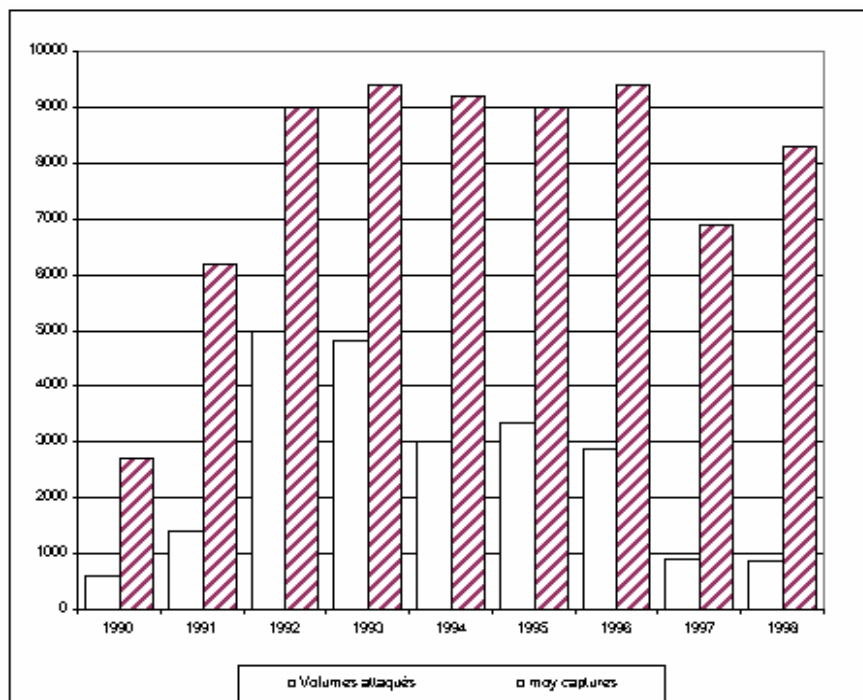


Figure 3. Évolution des dégâts (en m³ x 100) et des moyennes de captures par piège de Typographe dans les pessières de la Suisse après la tempête de 1990
En hachures : moyennes de captures ; en blanc : volumes attaqués (m³).