



Edition 2006

Bilan patrimonial des forêts domaniales



Office National des Forêts

Risques et santé des forêts



		page
Problèmes phytosanitaires	4.1	263
État du feuillage des peuplements	4.2	275
État physico-chimique des sols	4.3	283
Éclosion de feux et surfaces incendiées	4.4	291
Forêts à rôle de protection en montagne	4.5	297



C1	C2	C3	C4	C5	C6
	●				

Problèmes phytosanitaires

1. Définition

L'indicateur restitue les principaux problèmes sanitaires observés en forêt domaniale (FD), sur une période de sept ans allant de 1998 à 2004 et pour les essences les plus représentées.

Source des données

- Les données sont issues des observations du réseau de correspondants-observateurs mis en place en 1989 et piloté par le Département de santé des forêts du ministère chargé de l'Agriculture (DSF). Le réseau couvre toutes les catégories de propriété forestière sur le territoire national. Par les informations qu'il recueille, il a vocation à :

- aider les gestionnaires à diagnostiquer les problèmes phytosanitaires ;
- surveiller en permanence le territoire ;
- diffuser des avertissements ou des informations en cas d'attaques ;
- constituer une mémoire phytosanitaire pour le suivi à long terme des différentes attaques ;
- suivre la diversité et la répartition des problèmes phytosanitaires ;
- déterminer leurs conséquences sur la forêt et la gestion forestière.

- Sauf suivis particuliers, les observations ont lieu dans les peuplements où des problèmes ont été signalés, et non sur des placettes permanentes. Lors des observations, des informations sont notées sur la localisation du site, la topographie, le peuplement, le ou les problèmes constatés, la pédologie, la sylviculture et le climat (fiche information). Des protocoles spécifiques (fiche protocole) et des prélèvements d'échantillons (fiche échantillon) complètent parfois les premières observations, afin de confirmer ou de quantifier le ou les problèmes observés.

- Le nombre d'observations de problèmes phytosanitaires cumulées sur la période 1998-2004 est donné ci-dessous :

Nombre d'observations par fiche	Fiche information	Fiche protocole	Fiche échantillon	Total	Moyenne
En FD	1 867	185	761	2 813	Une observation pour 600 ha de FD
Toutes propriétés confondues	8 323	1 246	2 867	12 436	Une observation pour 1 170 ha de forêt

Tableau 1. Nombre d'observations en FD et toutes propriétés confondues, effectuées par le réseau de correspondants-observateurs du DSF de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

De 1998 à 2004, le nombre d'observations en FD représente 23 % de l'ensemble des observations en forêt toutes propriétés confondues, alors que la part en surface des FD est de 11 %. Ce résultat n'est pas à interpréter comme une occurrence de problèmes supérieure en FD mais seulement comme un suivi et un signalement plus réguliers.

- Après avoir restitué les résultats sur les trente essences les plus fréquemment signalées en FD, l'indicateur donne la liste des dix principaux problèmes phytosanitaires pour les essences ayant fait l'objet du plus grand nombre d'observations en FD de 1998 à 2004.

Précisions :

Les problèmes sanitaires en forêt sont d'origine pathologique, entomologique ou abiotique, et ils peuvent entraîner une mauvaise conformation, l'affaiblissement ou le dépérissement des arbres. Par ailleurs, il convient de distinguer les **ravageurs primaires** des **ravageurs secondaires**. Un ravageur primaire s'attaque aux arbres sains sans que ceux-ci soient diminués auparavant dans leur capacité de lutte contre une attaque. Un ravageur secondaire s'attaque uniquement aux arbres déjà affaiblis soit par un ravageur primaire, soit par des facteurs abiotiques (pollution, accidents climatiques).

coles.

- Les données présentées ne reflètent cependant que la fréquence des différents problèmes phytosanitaires et non leur ampleur spatiale. Elles ne permettent donc pas de comparer un problème souvent observé mais de faible ampleur avec un problème rarement observé mais qui aurait affecté de grandes surfaces. Aucun lien ne peut être fait avec les surfaces concernées.
- L'indicateur est complémentaire du n° 4.2 sur l'état du feuillage des peuplements.

2. Intérêts et enjeux

- L'indicateur fournit des informations sur l'évolution de la fréquence de certaines maladies, et pourra renseigner sur une éventuelle dérive de certains ravageurs en fonction des changements environnementaux ou sylvi-



Hannetons sur chêne pédonculé. L. Croisé / ONF

3. Restitution des données et commentaires

3.1 Répartition des observations selon les essences

Observations les plus fréquentes en FD			Observations les plus fréquentes toutes propriétés confondues		
Essence	Nombre	% du nombre d'observations	Essence	Nombre	% du nombre d'observations
Hêtre	339	12,1	Épicéa commun	1059	8,5
Chêne sessile	298	10,6	Douglas	1032	8,3
Pin sylvestre	270	9,6	Pin maritime	983	7,9
Épicéa commun	233	8,3	Hêtre	768	6,2
Sapin pectiné	175	6,2	Chêne pédonculé	734	5,9
Douglas	167	5,9	Pin laricio de Corse	633	5,1
Chêne pédonculé	146	5,2	Pin sylvestre	614	4,9
Pin maritime	136	4,8	Sapin pectiné	541	4,4
Pin laricio de Corse	131	4,7	Chêne sessile	527	4,2
Sapin de Vancouver	69	2,5	Peupliers Beaupré	459	3,7
Mélèze d'Europe	63	2,2	Châtaignier	404	3,2
Pin noir d'Autriche	58	2,1	Sapin de Vancouver	390	3,1
Châtaignier	54	1,9	Pin noir d'Autriche	188	1,5
Épicéa de Sitka	30	1,1	Merisier	188	1,5
Chêne vert	28	1,0	Mélèze d'Europe	182	1,5
Chêne rouge	27	1,0	Peupliers Luisa Avanzo	182	1,5
Merisier	24	0,9	Peupliers I 214	176	1,4
Pin à crochets	24	0,9	Chêne rouge	169	1,4
Sapin de Nordmann	23	0,8	Pin laricio de Calabre	146	1,2
Pin Weymouth	22	0,8	Épicéa de Sitka	140	1,1
Charme	21	0,7	Chêne vert	101	0,8
Érable sycomore	19	0,7	Aulne glutineux	88	0,7
Aulne glutineux	15	0,5	Peupliers Dorskamp	82	0,7
Cèdre de l'Atlas	12	0,4	Érable sycomore	79	0,6
Alisier torminal	9	0,3	Peupliers interaméricains	76	0,6
Frêne commun	8	0,3	Chêne pubescent	72	0,6
Peupliers Beaupré	7	0,2	Sapin de Nordmann	61	0,5
Platane	7	0,2	Cèdre de l'Atlas	59	0,5
Marronnier	7	0,2	Frêne commun	57	0,5
Pin laricio de Calabre	6	0,2	Pin Weymouth	55	0,4

Tableau 2. Observations les plus fréquentes en FD par essence, et comparaison avec les observations les plus fréquentes toutes propriétés confondues - classé par ordre décroissant, cumul sur la période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Un net décalage est observé entre les quatre essences les plus signalées en FD et toutes propriétés confondues.

Pour les essences les plus représentées en FD, la fréquence de signalement des problèmes phytosanitaires est relativement comparable avec leur importance en surface. Ainsi, les quatre essences les plus fréquemment signalées font partie des cinq essences les plus répandues (respectivement chêne sessile, chêne pédonculé, hêtre, pin sylvestre et épicéa).

Des différences très nettes apparaissent toutefois. Par exemple, le douglas couvre seulement 1,3 % de la surface des FD alors qu'il représente 6 % du nombre total d'observations. De même, sur l'ensemble des forêts, il représente 2,6 % de la surface pour plus de 8 % des observations phytosanitaires. Ces résultats sont à mettre en relation avec l'implantation hors station du douglas dans certains cas.

Mais l'intérêt de rapprocher les fréquences d'observations avec des surfaces est limité. En effet, compte tenu des protocoles du DSF, le nombre d'observations ne peut pas être interprété comme une mesure de l'extension spatiale, ni même de la sévérité d'un problème.

Remarque : dans les parties suivantes, les dix premiers problèmes sanitaires sont listés pour les onze essences les plus fréquemment observées en FD, présentées dans l'ordre de leur importance en surface.

3.2 État sanitaire du chêne sessile

Les observations ont concerné 58 problèmes différents en FD et 79 toutes propriétés confondues.

L'espèce la plus observée sur le chêne sessile est l'oidium (*Microsphaera alphitoides*). Ce champignon entraîne un flétrissement des jeunes feuilles, avec pour corollaire un retard de croissance et une mauvaise conformation des jeunes chênes, voire une mortalité des semis. Pour cette essence, après les dommages dus aux gelées tardives sur feuillage, le cortège de défoliateurs divers constitue l'essentiel des problèmes phytosanitaires.



Oidium sur feuille de chêne. L. Croisé / ONF

Problème sanitaire	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Oïdium « blanc » du chêne	<i>Microsphaera alphitoides</i>	39	67	58
Dégât dû au gel		25	36	69
Cheimatobie	<i>Operophtera brumata</i>	24	32	75
Géométridés (espèce indéterminée)		15	28	54
Dépérissements (causes multiples)		14	39	36
Processionnaire du chêne	<i>Thaumetopoea processionea</i>	13	37	35
Bombyx disparate	<i>Lymantria dispar</i>	13	23	57
Scolyte du chêne	<i>Scolytus intricatus</i>	13	18	72
Défoliation due à un insecte		12	21	57
Coroebus du chêne	<i>Coroebus bifasciata</i>	12	16	75

Tableau 3. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le chêne sessile de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

3.3 État sanitaire du chêne pédonculé

Les observations ont concerné 33 problèmes différents en FD et 71 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Dépérissements (causes multiples)		32	156	21
Géométridés (espèce indéterminée)		20	105	19
Processionnaire du chêne	<i>Thaumetopoea processionea</i>	14	54	26
Tordeuse verte du chêne	<i>Tortrix viridana</i>	13	41	32
Défoliation due à un insecte		11	26	42
Oïdium blanc du chêne	<i>Microsphaera alphitoides</i>	9	92	10
Charançon sauteur du chêne	<i>Orchestes quercus</i>	8	16	50
Cheimatobie	<i>Operophtera brumata</i>	6	34	18
Défoliation due à un insecte		4	13	31
Bombyx disparate	<i>Lymantria dispar</i>	3	31	10

Tableau 4. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le chêne pédonculé de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Les dépérissements où les facteurs responsables sont multiples et complexes ont la plus grande fréquence d'observations : ils sont souvent localisés et font intervenir des facteurs climatiques, comme les sécheresses et des défoliations. Parmi, les problèmes ciblés les plus fréquemment observés, se trouvent les

chenilles défoliatrices de géométridés. D'une façon générale, priment les divers défoliateurs : ils entraînent une diminution de croissance, et peuvent occasionner un affaiblissement des arbres si les phénomènes sont répétés sur plusieurs années ou sont accompagnés d'autres problèmes.



Chenille d'hibernie sur chêne pédonculé. LM. Nageleisen / DSF, ministère chargé de l'Agriculture

3.4 État sanitaire du hêtre

Les observations ont concerné 49 problèmes différents en FD et 79 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Dépérissements (causes multiples)		79	154	51
Charançon sauteur du hêtre	<i>Orchestes fagi</i>	34	83	41
Chancre du hêtre	<i>Nectria ditissima</i>	33	60	55
Dégât lié à la sécheresse		21	31	68
Puceron laineux du hêtre	<i>Phyllaphis fagi</i>	20	55	36
Coup de chaleur		17	44	39
Cochenille du hêtre	<i>Cryptococcus fagisuga</i>	12	28	43
	<i>Taphrorychus bicolor</i>	12	28	43
Dégât dû au gel		12	22	55
Dégât dû à un insecte xylophage		7	8	88

Tableau 5. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le hêtre de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Les dépérissements où les facteurs responsables sont multiples et complexes ont la plus grande fréquence d'observation. Le charançon sauteur du hêtre (*Orchestes fagi*) est ensuite souvent noté. Les larves de cet insecte vivent en mineuses dans les feuil-

les et les consomment. Sont également fréquemment observés les dégâts liés à la sécheresse et aux coups de chaleur, qui sont essentiellement survenus après la sécheresse et la canicule de l'année 2003.

3.5 État sanitaire du pin sylvestre

Les observations ont concerné 55 problèmes différents en FD et 88 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Hylésine du pin	<i>Tomicus piniperda</i>	56	91	62
Sténographe	<i>Ips sexdentatus</i>	23	55	42
	<i>Sphaeropsis sapinea</i>	21	38	55
Lophyre du pin	<i>Diprion pini</i>	21	33	64
Processionnaire du pin	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	19	44	43
Rouille courbeuse du pin	<i>Melampsora pinitorqua</i>	11	19	58
Dépérissements (causes multiples)		8	46	17
Puceron laineux du pin	<i>Schizolachnus tomentosus</i>	7	11	64
Scolytes (espèce indéterminée)		7	10	70
Hylobe	<i>Hyllobius abietis</i>	7	9	78

Tableau 6. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le pin sylvestre de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est l'hylésine du pin (*Tomicus piniperda*). Lorsque les jeunes adultes de ce scolyte gagnent les houppiers, ils pénètrent dans les rameaux et creusent une galerie axiale, avec pour conséquence un dessèchement et une chute des pousses terminales. Les galeries maternelles et larvaires sous-corticales détruisent les tissus conducteurs de sève et provoquent la mort des arbres attaqués.

Le second problème le plus mentionné est le sténographe (*Ips sexdentatus*). Les larves de ce scolyte détruisent les tissus conducteurs de sève de l'arbre et conduisent à sa mort rapide. Le sténographe est un ravageur secondaire ; cependant en cas de pullulation, il peut attaquer des arbres sains.

3.6 État sanitaire du sapin pectiné

Les observations ont concerné 36 problèmes différents en FD et 69 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Chermès du tronc du sapin	<i>Dreyfusia piceae</i>	27	101	27
Curvidenté	<i>Pityokteines curvidens</i>	26	57	46
Pissode du sapin	<i>Pissodes piceae</i>	19	93	20
Chermès des rameaux du sapin	<i>Dreyfusia nusslini</i>	17	39	44
Dépérissements (causes multiples)		10	36	28
Fomes	<i>Heterobasidion annosum</i>	10	20	50
	<i>Pityokteines spp</i>	9	16	56
	<i>Pityokteines spinidens</i>	5	12	42
Dégât lié au gel		5	8	63
Cryphale du sapin	<i>Cryphalus piceae</i>	5	5	100

Tableau 7. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le sapin pectiné de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est le chermès du tronc du sapin (*Dreyfusia piceae*). Cet insecte affecte les jeunes peuplements. Ses piqûres entraînent des nécroses corticales et la déformation du tronc. En cas d'attaques massives, cela peut déboucher sur le dépérissement de l'arbre.

Le curvidenté (*Pityokteines curvidens*) est également fréquemment mentionné. Les larves de ce scolyte détruisent les tissus conducteurs de sève et conduisent à la mort de l'arbre. C'est un ravageur secondaire ; cependant, il peut attaquer des arbres sains en cas de pullulation.

3.7 État sanitaire de l'épicéa commun

Les observations ont concerné 37 problèmes différents en FD pour 82 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Typographe	<i>Ips typographus</i>	97	465	21
Chalcographe	<i>Pityogenes chalcographus</i>	34	118	29
Dendroctone	<i>Dendroctonus micans</i>	26	130	20
Fomes	<i>Heterobasidion annosum</i>	15	80	19
Hyllobe	<i>Hyllobius abietis</i>	8	13	62
	<i>Chrysomyxa rhododendri</i>	7	13	54
Bris de neige		4	13	31
Pollution fluorée		4	4	100
Dépérissement (causes multiples)		3	16	19
Scolytes (espèce indéterminée)		3	8	38

Tableau 8. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur l'épicéa commun de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est le typographe (*Ips typographus*). Les larves de ce scolyte détruisent les tissus conducteurs de sève de l'arbre et conduisent à sa mort rapide. Le typographe est un ravageur secondaire ; cependant, il peut attaquer des arbres sains en cas de pullulation.

Le second problème est le chalcographe (*Pityogenes chalcographus*). Comme le typographe, avec lequel il n'est pas rare

de le trouver associé, le chalcographe est un scolyte ravageur secondaire.

Le troisième problème observé est le dendroctone (*Dendroctonus micans*). C'est aussi un scolyte, mais exclusivement un ravageur primaire. Les arbres atteints peuvent mourir d'une annélation lente à la suite d'attaques multiples et répétées sur plusieurs années. Les attaques du dendroctone favorisent l'installation d'autres scolytes.

3.8 État sanitaire du pin maritime

Les observations ont concerné 31 problèmes différents en FD et 66 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Sténographe	<i>Ips sexdentatus</i>	25	193	13
Processionnaire du pin	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	14	75	19
Armillaire sur résineux	<i>Armillaria spp</i>	13	128	10
Hylésine du pin	<i>Tomicus piniperda</i>	13	55	24
Fomes	<i>Heterobasidion annosum</i>	12	99	12
Dégât lié à la sécheresse		6	18	33
Dépérissements (causes multiples)		5	38	13
Lophodermium spp		5	13	38
Dégât dû à un coup de chaleur		5	6	83
Pissode du pin	<i>Pissodes notatus</i>	4	25	16

Tableau 9. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le pin maritime de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est le sténographe (*Ips sexdentatus*). Les conséquences pour le pin maritime sont identiques que pour le pin sylvestre. Le second problème le plus mentionné

est la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) : les chenilles de cet insecte consomment les aiguilles en hiver et au printemps.

3.9 État sanitaire du douglas

Les observations ont concerné 36 problèmes différents en FD et 77 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Dépérissements (causes multiples)		35	214	16
Rouge physiologique		14	112	13
Rouille suisse du douglas	<i>Phaeocryptopus gaeumannii</i>	11	60	18
Dégât dû à la foudre		10	38	26
Chermès du douglas	<i>Gilletteella cooleyi</i>	10	32	31
Coup de chaleur		8	50	16
Hylobe	<i>Hylobius abietis</i>	8	49	16
Nécrose cambiale en bande		7	52	13
Dégât abiotique indéterminé		7	44	16
Armillaire sur résineux	<i>Armillaria spp</i>	6	19	32

Tableau 10. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le douglas de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est lié à des dépérissements à causes multiples. Est également souvent mentionné le rougissement des aiguilles lié aux sécheresses ou aux canicules estivales, en particulier en 1998 et en 2003. Lors de la sécheresse et de la

canicule de l'été 2003, les peuplements de douglas qui ont dépéri étaient d'abord ceux qui n'étaient pas installés sur des stations adaptées.

3.10 État sanitaire du pin laricio de Corse

Les observations ont concerné 26 problèmes différents en FD et 49 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Maladie des bandes rouges du pin	<i>Dothistroma septospora</i>	48	264	18
Processionnaire du pin	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	13	116	11
Hylésine du pin	<i>Tomiscus piniperda</i>	10	29	34
Sténographe	<i>Ips sexdentatus</i>	8	22	36
	<i>Sphaeropsis sapinea</i>	6	41	15
Problème lié à la plantation		6	22	27
Pyrale du tronc	<i>Dioryctria sylvestrella</i>	4	10	40
Armillaire sur résineux	<i>Armillaria spp</i>	4	7	57
Chrysomèle jaune des pins	<i>Cryptocephalus pini</i>	4	4	100
Pissode du pin	<i>Pissodes notatus</i>	3	17	18

Tableau 11. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le pin laricio de Corse de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est la maladie des bandes rouges du pin (*Dothistroma septospora*). Ce champignon détériore l'activité chlorophyllienne et entraîne une chute prématurée des aiguilles des deux dernières années dans la partie basse du houppier. Parfois, la totalité du houppier est atteinte.

L'installation de ce pathogène affecte la croissance en hauteur et en diamètre.

Comme pour le pin maritime, le second problème observé est la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*).

3.11 État sanitaire du sapin de Vancouver

Les observations ont concerné 14 problèmes différents en FD et 30 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire (case vide = pas de nom français)	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Dépérissements (causes multiples)		16	90	18
	<i>Pityokteines spp</i>	9	54	17
Armillaire sur résineux	<i>Armillaria spp</i>	8	72	11
Fomes	<i>Heterobasidion annosum</i>	7	35	20
	<i>Pityokteines spinidens</i>	7	11	64
Curvidenté	<i>Pityokteines curvidens</i>	6	29	21
Problème dû à un coup de chaleur		4	12	33
Scolytes (espèce indéterminée)		3	9	33
Pissode du sapin	<i>Pissodes piceae</i>	2	27	7
Chermès du tronc du sapin	<i>Dreyfusia piceae</i>	2	2	100

Tableau 12. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le sapin de Vancouver de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Les dépérissements à causes multiples ont la plus grande fréquence d'observation. Le sapin de Vancouver a tendance à dépérir presque partout en France, victime de nombreux ravageurs opportunistes. Plusieurs espèces de scolytes

(*Pityokteines spp*) en sont responsables et attaquent régulièrement cette essence. Les larves détruisent les tissus conducteurs de sève des arbres et conduisent à leur mort.

3.12 État sanitaire du mélèze d'Europe

Les observations ont concerné 23 problèmes différents en FD et 48 toutes propriétés confondues.

Problème sanitaire	Espèce responsable identifiée	Observations		
		Nombre en FD	Nombre toutes propriétés confondues	% en FD
Chancre du mélèze	<i>Lachnellula willkommii</i>	9	27	33
Dépérissements (causes multiples)		8	14	57
Dégât dû à une cause indéterminée		5	13	38
Dégât dû au gel		5	10	50
Coléophore du mélèze	<i>Coleophora laricella</i>	5	7	71
Chermès de l'épicéa	<i>Sacchiphantes viridis</i>	4	4	100
Dégât abiotique indéterminé		3	18	17
Grand scolyte du mélèze	<i>Ips cembrae</i>	3	7	43
Scolytes (espèce indéterminée)		3	4	75
Chermès	<i>Adelges laricis</i>	2	4	50

Tableau 13. Problèmes sanitaires observés le plus fréquemment en FD sur le mélèze d'Europe de 1998 à 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).

Le problème le plus observé est le chancre du mélèze (*Lachnellula willkommii*). La présence de ce champignon sur les troncs limite la production de bois de qualité et peut entraîner la mort des jeunes individus.

3.13 Conclusion

Ce sont souvent des phénomènes complexes qui sont observés, dans lesquels interviennent des facteurs du milieu ainsi que différents cortèges de ravageurs et pathogènes secondaires s'attaquant aux arbres affaiblis. L'affaiblissement peut être dû à une attaque antérieure d'un pathogène ou d'un ravageur, mais aussi à une inadaptation de l'essence à la station, à des accidents climatiques et à la pollution atmosphérique. Afin de limiter les risques sanitaires, il est donc indispensable que les essences soient bien adaptées aux conditions de croissance locales.

4. Exemple d'effets liés à un phénomène de grande ampleur

Le lecteur pourra également se reporter aux parties 4 des indicateurs n°4.2 et n°4.3, où les conséquences sur la santé des forêts de la sécheresse-canicule de 2003 et des pluies acides des années 1980 sont abordées.

Les tempêtes de décembre 1999

A la suite des tempêtes de 1999, comme après chaque événement similaire, une colonisation des chablis par des insectes xylémophages (qui pénètrent dans le bois) et cambio-phages (qui se développent sous l'écorce) a été observée dans un premier temps. Les insectes xylémophages, appelés aussi agents de piqûre, ont surtout dégradé la valeur des chablis par leurs galeries pénétrantes. Ils ont été relayés par des champignons lignivores qui ont accentué encore la dévalorisation des bois. Les insectes cambio-phages se reproduisent abondamment dans les bois endommagés tant qu'ils ne sont pas trop desséchés ou altérés, c'est à dire essentiellement au cours de l'année qui suit la tempête (2000). Les années suivantes (2001 et 2002), certaines espèces, plus agressives en période de pullulation, peuvent alors coloniser des arbres sur pied dans les peuplements avoisinants les zones de chablis. C'est ce qui s'est passé avec le sténographe sur le pin maritime dans le Sud-Ouest et avec le typographe dans l'Est. Des dommages importants ont été enregistrés sur ces deux essences les années qui ont suivi les tempêtes de 1999. Les autres essences ont subi en revanche peu de dommages après les tempêtes.

5. Limites et perspectives

La fréquence d'un problème phytosanitaire ne reflète pas l'amplitude spatiale ni l'intensité du problème signalé.

A titre d'illustration, la stratégie de signalement du DSF diffère selon le type de problèmes. Les problèmes épidémiques annuels (comme l'oïdium) doivent faire l'objet d'une fiche chaque année. Les problèmes à gradations pluriannuelles doivent faire l'objet de plusieurs fiches (une fiche pour indiquer les premières détections, puis quelques fiches indiquant l'ampleur des dommages, puis une fiche pour indiquer le retour à la normale). Les problèmes pérennes font l'objet d'une fiche lors de leur découverte, puis éventuellement d'autres fiches lorsque la situation évolue : ils sont de ce fait moins signalés.

Par ailleurs, certains problèmes ne correspondent qu'à des agents secondaires (exemple : les agriles), qui ne sont pas responsables eux-mêmes de la mort des arbres. Enfin, les problèmes qui concernent les jeunes peuplements, comme l'oïdium du chêne, sont plus signalés que les autres, l'attention des observateurs étant proportionnellement plus portée vers ces jeunes peuplements.

Pour le prochain bilan, le maintien du même effort d'observation permettra d'effectuer des comparaisons sur une période de temps élargie. Le suivi des effets du changement climatique et de phénomènes de grande ampleur devrait faire l'objet d'une attention particulière.



Épicéa mort sur pied. E. Ulrich / ONF



C1	C2	C3	C4	C5	C6
	●				

État du feuillage des peuplements

1. Définition

L'état du feuillage des peuplements en forêt domaniale (FD) est évalué sur la base de deux types d'observations : d'une part le déficit foliaire et d'autre part la coloration anormale.

Les résultats sont déclinés par principale essence ou groupe d'essences.

Précisions :

- Les résultats sont restitués sur une période de sept ans allant de 1998 à 2004. Des observations ont été réalisées avant 1998, mais le protocole de notation ayant été modifié en 1997, le rapprochement des mesures prises avant et après cette année est hasardeux.
- Les données sont issues de deux réseaux de surveillance forestière, à savoir le réseau européen piloté par le Département de santé des forêts (DSF) du ministère chargé de l'Agriculture et le réseau Renécofor (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers) piloté par l'ONF.
Ces deux réseaux diffèrent entre eux par la représentativité de leurs placettes (en lien avec l'objectif poursuivi), ainsi que par le protocole d'observation de l'état du feuillage. C'est pourquoi, les données de l'indicateur sont restituées séparément pour chacun des deux réseaux.
- Le bilan porte sur les essences pour lesquelles au moins 100 arbres sont observés chaque année. Ce seuil garantit que les sites d'observations sont suffisamment nombreux et bien répartis dans l'espace. Le nombre de données disponibles pour les autres essences a été jugé insuffisant pour réaliser un bilan.

Le recueil des données sur les deux réseaux de surveillance

Le réseau européen a été mis en place entre 1987 et 1989. Il est composé de placettes permanentes situées aux nœuds d'une maille de 16 km par 16 km. Son objectif est principalement de déterminer les variations de l'état sanitaire des peuplements forestiers dans le temps et dans l'espace. Il fait l'objet d'une seule observation annuelle de l'état des cimes. Le nombre de placettes localisées en France est d'environ 520 : les placettes situées en FD varient selon l'année entre 48 et 52 (variations liées aux coupes).

Le réseau Renécofor, créé en 1992, est constitué de 102 placettes dont 79 en FD. Les dix essences les plus fréquentes au niveau national y sont représentées : chêne pédonculé, chêne sessile, hêtre, pin sylvestre, sapin pectiné, épicéa commun, pin maritime, douglas, pin laricio de Corse et mélèze d'Europe. Par ailleurs, une majorité de sites du réseau Renécofor est installée dans des peuplements adultes et réguliers : par conséquent, les résultats ne peuvent pas être interprétés comme étant représentatifs de tous les types de peuplements en FD. Dans le réseau Renécofor, de nombreux prélèvements et observations sont réalisés de façon intensive, dans l'objectif principal de cerner l'évolution des écosystèmes et de mettre en évidence les relations entre causes et effets.

Dans le réseau européen, les observations annuelles portent sur le feuillage de 20 arbres dominants ou co-dominants par site. Le choix des arbres se fait indépendamment de l'essence, en partant en spirale depuis le centre de la placette d'observation. Dans le réseau Renécofor, les notations annuelles concernent 36 arbres dominants ou co-dominants par placette, appartenant uniquement à l'essence principale.

État du feuillage des peuplements

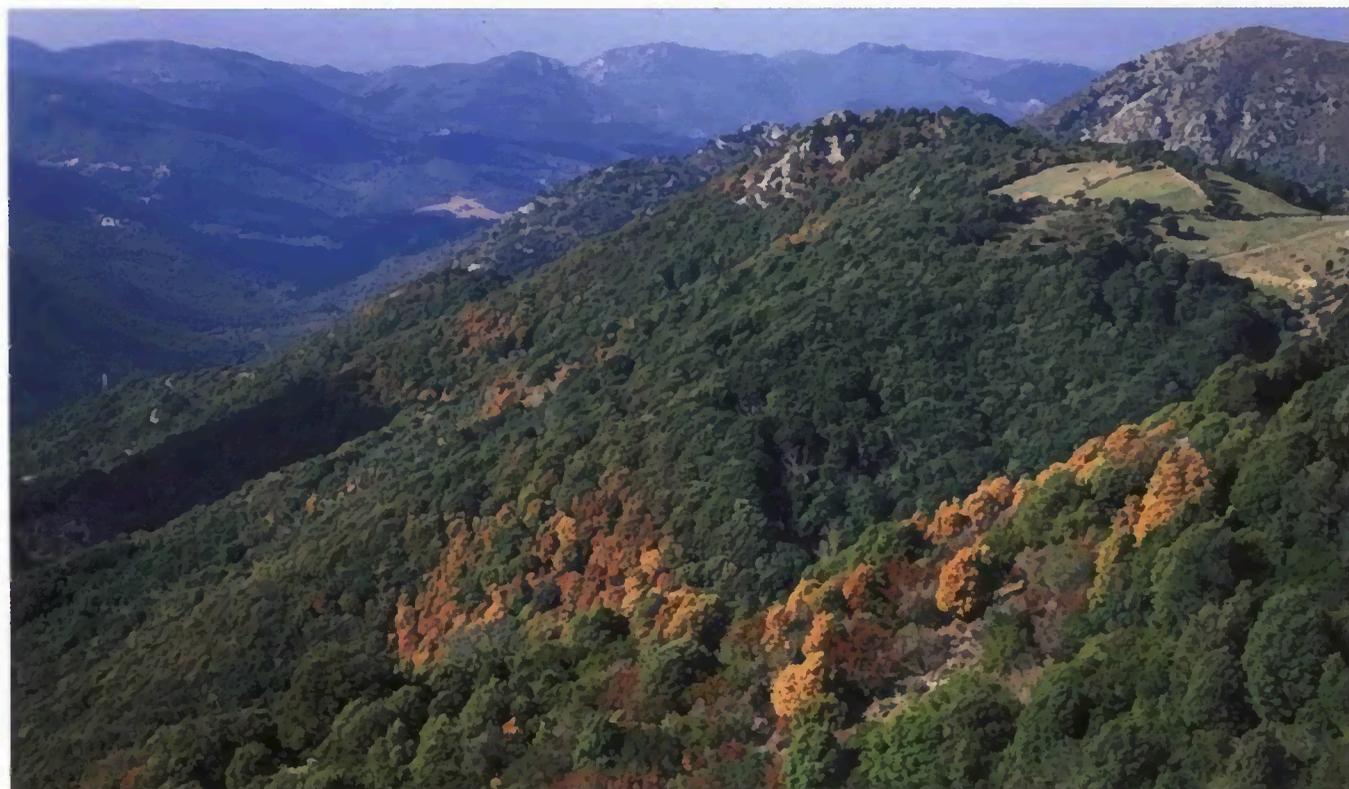
Essence	Arbres observés en FD sur la période 1998 - 2004			
	Réseau européen		Réseau Renécofor	
	Nombre moyen annuel	% du nombre	Nombre moyen annuel	% du nombre
Toutes essences	971	100	2597	100
Essences feuillues	617	63	1444	56
Essences résineuses	355	37	1153	44
Chêne pédonculé	99	4	215	8
Chêne sessile	213	8	672	26
Hêtre	166	6	558	21
Pin maritime	60	2	170	6
Pin sylvestre	101	4	268	10
Sapin pectiné	71	3	365	14
Épicéa commun	53	2	178	7

Tableau 1. Nombre moyen annuel d'arbres observés dans les réseaux européen et Renécofor sur la période 1998-2004¹ (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

- L'état du feuillage des peuplements, apprécié depuis le sol avec des jumelles, est noté chaque année entre le 1^{er} juillet et 31 août. Des sessions d'intercalibration des notateurs permettent d'homogénéiser et d'améliorer la qualité des notations.

Le déficit foliaire est noté de 0 à 100 % par intervalle de 5 %. Il est apprécié sur le houppier fonctionnel, en excluant les grosses branches mortes.

La notation de la coloration anormale est effectuée en rapport avec un arbre de référence local. Elle est appréciée en fonction de la proportion du feuillage affecté et non par l'intensité de la décoloration.



Coloration anormale sur un peuplement de montagne. L. Croisé / ONF

¹ Il n'y a pas eu d'observations en 2003 dans le réseau Renécofor en raison d'incertitudes sur les financements.

2. Intérêts et enjeux

- L'état du feuillage reflète de façon globale l'état sanitaire des forêts : il apporte un éclairage complémentaire par rapport à l'indicateur n° 4.1 sur les problèmes phytosanitaires. Le déficit foliaire et la coloration anormale résultent de l'influence de divers facteurs, dont l'importance relative est difficile à identifier à partir de ces seules observations : âge, histoire sylvicole, insectes ravageurs, champignons pathogènes, stress climatiques, pollution atmosphérique, déficience minérale ...
- Le déficit foliaire et la coloration anormale sont les seuls indicateurs de suivi global de l'état sanitaire des forêts qui sont utilisés depuis une vingtaine d'années au niveau européen.

3. Restitution des données et commentaires

3.1 Déficit foliaire

3.1.1 Fréquence des pertes foliaires

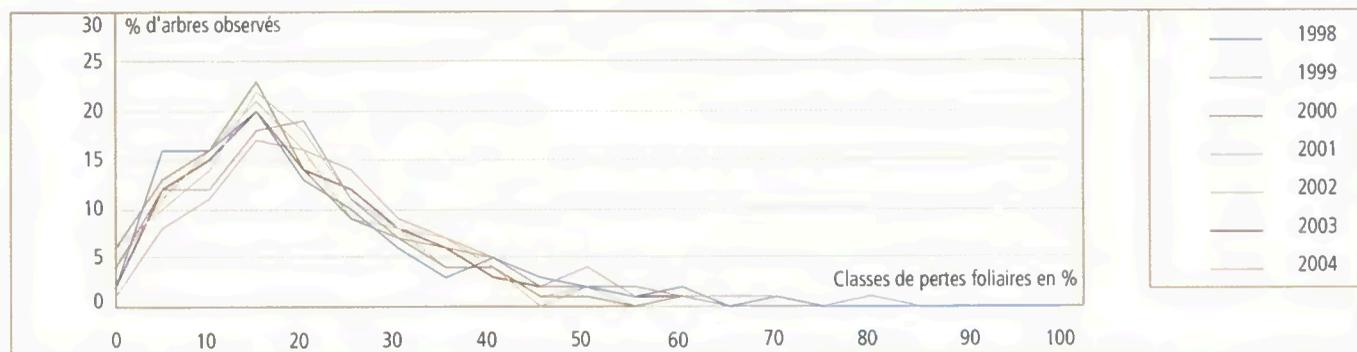
Pour les feuillus, les pertes foliaires observées en moyenne pendant la période 1998-2004 sont essentiellement comprises entre 5 et 30 % dans le réseau européen, et entre 5 et 35 % dans le réseau Renécofor. Les variations interannuelles sont peu significatives (graphiques 1 et 2).

Pour les résineux, les pertes foliaires observées en moyenne pendant la période 1998-2004 sont essentiellement comprises entre 0 et 25 % dans les deux réseaux. Les variations interannuelles sont également peu significatives (graphiques 3 et 4).

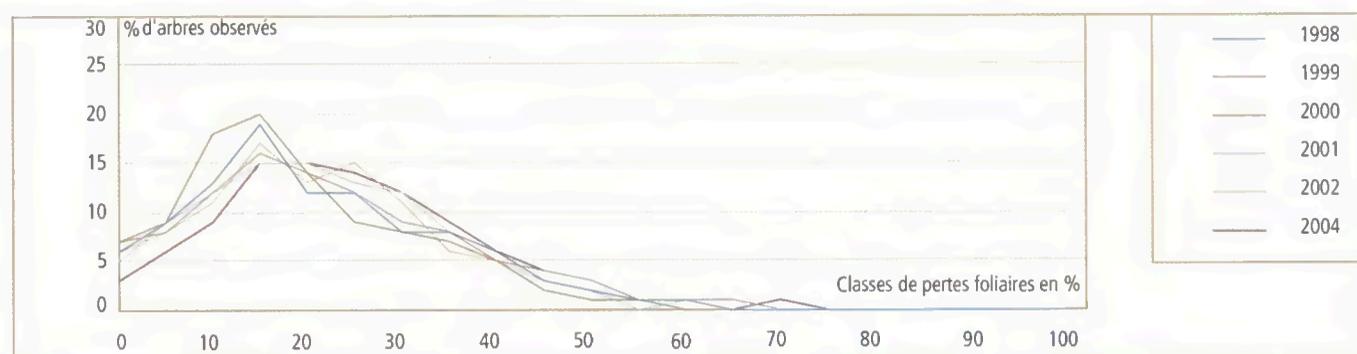
Classe de défoliation	Pourcentage d'arbres observés			
	Réseau européen		Réseau Renécofor	
	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
0	3,4	22,4	5,9	19,1
5	11,7	13,2	8,0	13,4
10	14,3	16,4	12,5	18,7
15	20,0	14,4	17,0	19,9
20	15,7	9,3	13,8	13,0
25	10,9	6,8	12,4	7,1
30	7,7	4,8	10,0	3,6
35	5,2	3,8	7,8	2,0
40	4,2	2,6	5,2	1,2
45	1,8	1,1	3,1	0,7
50	2,1	0,9	2,1	0,3
55	0,7	0,4	0,8	0,2
60	1,0	0,7	0,6	0,3
65	0,3	0,5	0,2	0,2
70	0,5	0,6	0,3	0,2
75	0	0,3	0,2	0,1
80	0,3	0,4	0,1	0,1
85	0,1	0,2	0	0
90	0	0,4	0	0
95	0	0,1	0	0
100	0	0,6	0,1	0

Tableau 2. Pourcentage d'arbres observés en FD par classe de défoliation dans les réseaux européen et Renécofor - moyenne sur la période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

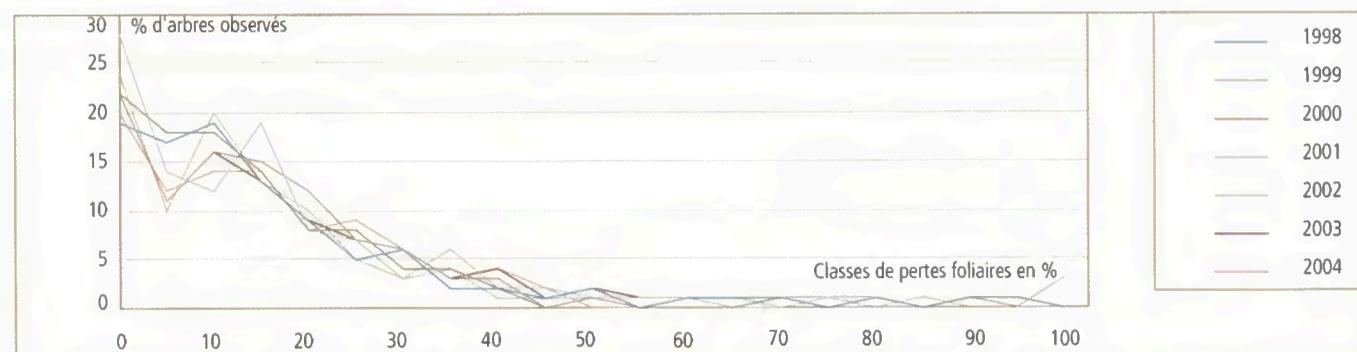
État du feuillage des peuplements



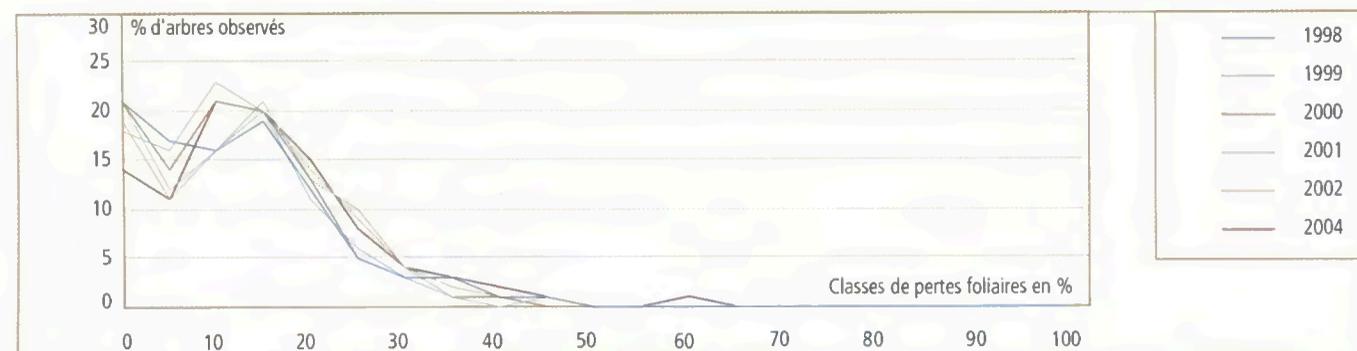
Graphique 1. **Essences feuillues du réseau européen.** Évolution des pertes foliaires en FD entre 1998 et 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).



Graphique 2. **Essences feuillues du réseau Renécofor.** Évolution des pertes foliaires en FD entre 1998 et 2004 (Source : ONF 2005).



Graphique 3. **Essences résineuses du réseau européen.** Évolution des pertes foliaires en FD entre 1998 et 2004 (Source : ministère chargé de l'Agriculture 2005).



Graphique 4. **Essences résineuses du réseau Renécofor.** Évolution des pertes foliaires en FD entre 1998 et 2004 (Source : ONF 2005).

3.1.2 Moyennes pour quelques essences

Essence	Défoliation sur les arbres observés					
	Réseau européen			Réseau Renécofor		
	% moyen	Écart type	Nombre total d'observations	% moyen	Écart type	Nombre total d'observations
Toutes essences	19	15,4	6 799	18	13,5	15 582
Essences feuillues	21	13,9	4 316	22	13,9	8 664
Essences résineuses	16	17,5	2 483	14	11,4	6 918
Chêne pédonculé	29	14,4	692	28	13,8	1 288
Chêne sessile	20	11	1 489	22	13,1	4 031
Hêtre	19	12,1	1 164	19	13,8	3 779
Pin sylvestre	20	18,8	706	14	9,2	1 610
Pin maritime	-	-	-	20	10,8	1 019
Sapin pectiné	-	-	-	13	13,3	2 190
Épicéa commun	-	-	-	9	8,4	1 070

Tableau 3. Pourcentage moyen de défoliation en FD par principale essence ou groupe d'essences dans les réseaux européen² et Renécofor - période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

Sur la période 1998-2004, les pertes foliaires moyennes observées en FD sont plus importantes chez les feuillus que chez les résineux. Elles sont les plus élevées pour le chêne pédonculé, aussi bien dans le réseau Renécofor que dans le réseau européen.

3.2 Coloration anormale

Essence	Arbres observés présentant une coloration anormale			
	Réseau européen		Réseau Renécofor	
	% moyen	Nombre total d'observations	% moyen	Nombre total d'observations
Toutes essences	9	6 799	10	15 473
Essences feuillues	6	4 316	10	8 591
Essences résineuses	14	2 483	10	6 882
Chêne pédonculé	5	692	19	1 286
Chêne sessile	3	1 489	5	3 958
Hêtre	9	1 164	12	3 344
Pin sylvestre	10	706	3	1 609
Pin maritime	-	-	24	1 019
Sapin pectiné	-	-	12	2 153
Épicéa commun	-	-	8	1 069

Tableau 4. Pourcentage moyen d'arbres ayant une coloration anormale en FD par principale essence ou groupe d'essences dans les réseaux européen² et Renécofor - période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

² Les valeurs des trois dernières essences ne sont pas mentionnées dans le réseau européen en raison d'un nombre insuffisant d'observations en FD.

État du feuillage des peuplements

Seulement 10 % des arbres présentent en moyenne des colorations anormales. Les deux réseaux donnent des informations parfois différentes, notamment sur les résineux, le chêne pédonculé et le pin sylvestre, avec des écarts assez importants. Par exemple, 19 % des chênes pédonculés du réseau Renécofor contre 5 % du réseau européen ont une coloration anormale. Ceci peut notamment s'expliquer par les conditions édaphiques et les types de peuplements variables entre les placettes des deux réseaux.

Les variations inter annuelles par essence sont relativement faibles sur la période 1998 - 2002 à l'intérieur des deux réseaux.

En 2003, les décolorations augmentent en raison de la sécheresse et de la canicule. Dans le réseau européen en 2003, 11 % des feuillus présentent en effet une coloration anormale (pour une moyenne de 4 % sur 1998 - 2002) ; c'est également le cas de 19 % des résineux (pour une moyenne de

1 % sur 1998 - 2002). Certaines espèces sont davantage touchées, telles que le chêne pédonculé (15 % des tiges présentant une coloration anormale en 2003) et le pin sylvestre (33 % en 2003).

En 2004, les conséquences de la sécheresse et de la canicule de 2003 se font encore sentir. Sur le réseau européen, le hêtre, le sapin et l'épicéa présentent de plus fortes décolorations qu'à l'habitude : ainsi, les décolorations passent de 7 % (moyenne 1998 - 2003) à 20 % (2004) pour le hêtre, de 3 % à 39 % pour l'épicéa, et de 24 % à 39 % pour le sapin³. Sur le réseau Renécofor, les décolorations anormalement élevées sont davantage signalées pour le chêne pédonculé (elles passent de 18 % sur 1998 - 2002 à 28 % en 2004), le hêtre (de 10 % à 23 %) et le sapin (de 10 % à 22 %).

3.3 Facteurs influençant l'état du feuillage des peuplements

L'origine des pertes foliaires ou des colorations anormales est identifiée lorsque cela est possible.

Les insectes ressortent comme le principal facteur des pertes foliaires et de la coloration anormale du feuillage. Les deux autres causes les plus signalées sont les champignons et les agents abiotiques (vent, grêle...). Ces données sont toutefois à relativiser : dans la majorité des cas, la cause n'est pas détectée et lorsqu'elle l'est, elle ne renseigne pas systématiquement sur la véritable origine (exemple d'un ravageur secondaire agissant sur un arbre affaibli par un ravageur primaire).



Coloration anormale de feuilles de hêtre. L. Croisé / ONF

Cause des dommages	Réseau européen			Réseau Renécofor		
	Essences feuillues	Essences résineuses	Toutes essences	Essences feuillues	Essences résineuses	Toutes essences
Insectes	28,3	2,1	18,5	17,0	0,9	9,8
Champignons	2,6	3,2	2,8	2,0	1,4	1,8
Agents abiotiques (vent, sécheresse ...)	3,1	4,8	3,7	2,3	0,8	1,6
Action directe de l'homme	0	0,6	0,2	0,3	0,1	0,2
Incendie	0	0,9	0,4	0	0	0
Gibier et abrutissement	0,2	0,2	0,2	0	0	0
Source de pollution connue	0,3	0	0,2	0	0	0
Autres	2,2	4,1	2,9	0,4	0,2	0,3
Pas de signalement	63,3	84,1	71,1	78,0	96,6	86,3

Tableau 5. Importance relative en % des causes de pertes foliaires et de coloration anormale en FD dans les réseaux européen et Renécofor - période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

² Les valeurs des trois dernières essences ne sont pas mentionnées dans le réseau européen en raison d'un nombre insuffisant d'observations en FD.

³ Les résultats pour l'épicéa et le sapin sont toutefois à prendre avec prudence, les effectifs observés dans le réseau européen étant inférieurs à 100 arbres.

3.4 Mortalité

Lors des observations menées entre 1er juillet et 31 août, certains arbres peuvent être défoliés à 100 % : ils sont alors notés comme morts.

Les chablis, volis ou les arbres exploités ne font pas partie des arbres observés. Ils ne sont donc pas notés comme morts mais comme ayant disparu. Ils devront être remplacés pour les prochaines observations. Cette appréciation partielle de la mortalité explique le faible nombre d'arbres notés comme morts après les tempêtes de décembre 1999.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Essences feuillues							
Réseau européen	0,3	0	0	0	0	0	0
Réseau Renécofor	0,2	0,1	0	0,1	0,1	-	0
Essences résineuses							
Réseau européen	0	0,3	0	0,3	0,3	0,3	0,4
Réseau Renécofor	0,1	0,1	0	0,1	0,3	-	0

Tableau 5. Pourcentage moyen d'arbres notés morts en FD lors des observations des réseaux européen et Renécofor - période 1998-2004 - (Source : ministère chargé de l'Agriculture et ONF, 2005).

3.5 Conclusion

De 1998 à 2004, aucun problème sanitaire majeur affectant l'état du feuillage des peuplements forestiers en FD n'est à signaler.

Que ce soit pour les feuillus ou les résineux, les pertes foliaires observées restent limitées. Les feuillus sont légèrement plus défoliés que les résineux, notamment le chêne pédonculé. Cela provient essentiellement des attaques cycliques de chenilles défoliatrices, relativement constantes pendant la période considérée.

De 1998 à 2004, les colorations anormales observées sur le feuillage sont légèrement plus importantes chez les résineux que chez les feuillus.

L'année 2003 a été marquée par deux événements climatiques majeurs. Tout d'abord, la sécheresse avec dès le printemps un déficit de précipitations qui durera jusqu'à l'automne. Ensuite, une canicule durant les deux premières semaines d'août. Ces deux phénomènes expliquent le plus grand nombre d'arbres présentant une coloration anormale

observée cette année-là chez certaines espèces, avec toutefois une sous-estimation dans la mesure où une partie des observations a été réalisée en juillet. En 2004, le chêne pédonculé, le hêtre, le sapin et l'épicéa ont également présenté de plus fortes décolorations qu'à l'habitude.

4. Exemple d'effets liés à un phénomène de grande ampleur

La sécheresse et la canicule de 2003

La sécheresse-canicule de 2003 a été d'une intensité telle qu'elle a eu des effets directs sur les arbres forestiers dès l'automne 2003 : mortalité de jeunes semis ou plants, fente ou nécrose sur les troncs, dessèchement de cimes d'arbres adultes, voire dans quelques cas exceptionnels mortalité. Il est à noter que les rougissements et les chutes de feuilles spectaculaires enregistrés sur de nombreuses essences feuillues à l'automne 2003 ne se sont pas traduits par des mortalités massives au printemps 2004. Il s'agit de mécanismes physiologiques normaux de réaction à un stress hydrique. En revanche, l'affaiblissement important des peuplements forestiers a permis à de nombreux parasites secondaires de se développer. Ainsi de nombreux dommages, notamment sur résineux et principalement dus aux scolytes, ont eu lieu. Des mortalités exceptionnelles de sapin ont été enregistrées sur toute son aire⁴.

Enfin, classiquement dans les années qui suivent un tel événement climatique, des dépérissements d'essences variées sont observés, ce qui a été le cas dès 2004 pour le chêne pédonculé et le hêtre dans de nombreuses régions. Leur ampleur ne pourra être évaluée que dans quelques années.

Le lecteur pourra également se reporter à la partie 4 des indicateurs n°4.1 et n°4.3, où les conséquences sur la santé des forêts des tempêtes de décembre 1999 et des pluies acides des années 1980 sont abordées.

⁴ Voir l'indicateur n°1.6 (partie 4.2) sur les produits accidentels récoltés.

5. Limites et perspectives

Les principales limites concernent :

- la relative subjectivité de l'observation pour les deux paramètres (malgré de nombreuses campagnes d'intercalibration), étant donné que les notateurs ne disposent généralement pas de la série d'arbres « étalons » sur chaque site ;
- la difficulté de relier les données avec l'origine des symptômes pathologiques ;
- le protocole des observations qui ne prend pas en compte les tempêtes. Or, les tempêtes du début et de la fin des années 90 ont certainement causé plus de dégâts que les changements plus subtils des conditions environnementales (pollution de l'air par exemple).

L'indicateur semble toutefois présenter le meilleur compromis possible puisqu'en dépit des limites régulièrement discutées, il n'a pas été remplacé au niveau européen par un indicateur plus performant de surveillance de l'état sanitaire global des forêts.

Pour le prochain bilan, le suivi des effets du changement climatique et de phénomènes de grande ampleur devrait faire l'objet d'une attention particulière.



Exemple de feuillage observé. E. Ulrich / ONF

C1	C2	C3	C4	C5	C6
	●	○			

État physico-chimique des sols

1. Définition

Trois paramètres sont considérés, qui décrivent de manière synthétique la richesse des sols en forêt domaniale (FD) et sont les mieux adaptés pour mettre en évidence une évolution à l'avenir. Il s'agit :

- du pH (H_2O et $CaCl_2$) ;
- de la capacité d'échange cationique (CEC) ;
- du taux de saturation en bases (T).

Précisions :

- A des fins de comparaison dans l'espace et dans le temps, les données correspondent à trois plages de profondeurs fixes : 0 - 10 cm, 10 - 20 cm et 20 - 40 cm.

- Les données sont issues de deux réseaux de surveillance forestière, à savoir le réseau européen piloté par le Département de santé des forêts (DSF) du ministère chargé de l'Agriculture et le réseau Renécofor (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers) piloté par l'ONF. Les échantillonnages ont été réalisés de juillet 1993 à octobre 1994 pour le réseau européen, et de janvier 1993 à août 1995 pour le réseau Renécofor. Les deux réseaux diffèrent entre eux par la représentativité de leurs placettes, par les méthodes de prélèvement d'échantillon et par l'objectif poursuivi. C'est pourquoi, les données de l'indicateur sont restituées séparément pour chacun des deux réseaux.



Exemples de profils de sols sur deux fosses pédologiques. E. Ulrich / ONF

Le recueil des données sur les deux réseaux de surveillance

Le réseau européen a été mis en place entre 1987 et 1989. Il est composé de placettes permanentes situées aux nœuds d'une maille de 16 km par 16 km, où la part de la FD est de l'ordre de 10 %. Ainsi, les échantillons de sol ont été prélevés sur 52 placettes localisés en FD.

Le réseau Renécofor, créé en 1992, est constitué de 102 placettes dont 79 en FD, qui ont toutes fait l'objet de prélèvements de sol. Par ailleurs, il convient de noter que les placettes du réseau Renécofor ont été choisies sur des sols plus acides que la moyenne générale¹.

Les méthodes analytiques des échantillons de sols sont exactement les mêmes pour les deux réseaux, ainsi que le programme assurance qualité analytique.

En revanche, les méthodes de prélèvement changent. La différence essentielle réside dans le nombre d'échantillons prélevés par horizon sur chaque site : un seul échantillon pour le réseau européen, et 25 échantillons regroupés par lots de cinq pour le réseau Renécofor (soit cinq échantillons composites par site). Cette différence s'explique par les objectifs liés aux analyses de sols des deux réseaux. Pour le réseau européen, les analyses de sols sont accompagnées d'un inventaire floristique : elles permettent de caractériser chaque site d'un point de vue écologique et sont destinées à faire des tris pour l'analyse des données sur les observations sanitaires. Pour le réseau Renécofor, il s'agit de définir l'état initial des concentrations et des stocks en éléments dans les sols, de façon exacte et statistiquement fiable, afin de mettre en évidence d'éventuelles évolutions 10 à 15 ans plus tard.

Par ailleurs, dans les placettes du réseau européen, l'échantillonnage a été conduit selon les horizons pédogénétiques : un reclassement assez complexe a dû être fait afin de rattacher chaque horizon à l'une des trois profondeurs (Badeau, 1998). Ce reclassement nous a conduit à ne pas prendre en compte 2,6 % des données situées en limite des trois classes de profondeur. Les prélèvements du réseau Renécofor ont bien été réalisés selon les trois plages de profondeur fixe.

Profondeur du sol	Réseau européen		Réseau Renécofor	
	Nombre de placettes en FD	Nombre d'échantillons analysés en FD	Nombre de placettes en FD	Nombre d'échantillons analysés en FD
0 - 10 cm	51	51	79	395
10 - 20 cm	51	51	79	395
20 - 40 cm	50	50	79	395

Tableau 1. **Origine et nombre des données de l'indicateur.** Nombre de placettes et nombre d'échantillons analysés en FD dans les réseaux européen et Renécofor.

1.1 Le pH

Rappel : le pH est la valeur négative logarithmique des concentrations de protons (H^+), c'est-à-dire « $-\log[H^+]$ ».

Le pH mesure le caractère acide, neutre ou basique d'un sol. Le pH des sols forestiers varie dans le cas général entre les valeurs 3 et 8.

1.1.1 Le pH (H_2O)

La mesure du pH d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau rend compte de la concentration en ions H_3O^+ à l'état dissocié dans le liquide surnageant, en conditions standardisées de mesure (rapport sol/solution = 0,4). Ces ions en solution sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissocié, fixés sur la matrice organo-minérale du sol, qui se comporte comme un acide faible.

1.1.2 Le pH ($CaCl_2$)

Dans une suspension de terre dans l'eau, tous les ions H_3O^+ ne sont pas dissociés. Une partie d'entre eux est retenue à l'état échangeable par des molécules organiques ou par des minéraux argileux.

Les ions H_3O^+ dissociés conditionnent le pH (H_2O), soit l'acidité actuelle. Ceux qui ne sont pas dissociés mais échangeables, peuvent être aisément déplacés par une solution saline de force ionique suffisante.

En pédologie, dans le cas de sols acides, il est intéressant de déterminer le pH d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de calcium ($CaCl_2$). La valeur ainsi mesurée, inférieure à celle obtenue dans l'eau, est d'autant plus basse que la solution saline est plus concentrée. Les ions Ca^{2+} s'échangent avec les ions H_3O^+ qui n'étaient pas dissociés en suspension aqueuse.

¹ Badeau V., Ulrich E., 1998, Pourquoi les sols du réseau intensif Renécofor sont-ils nettement plus acides que ceux du réseau de surveillance systématique, La Santé des Forêts (France) en 1997, ministère chargé de l'Agriculture, pp. 81-83.

La différence entre pH (H₂O) et pH (CaCl₂) donne une bonne idée de l'acidité potentielle. Le pH (CaCl₂) est en outre un paramètre plus stable dans le temps que le pH (H₂O).

1.2 La capacité d'échange cationique (CEC)

Elle représente la quantité totale de cations que le sol peut retenir à l'état échangeable sur son complexe adsorbant, à un pH donné. Ces cations sont par définition peu fortement retenus par la phase solide, et peuvent être facilement désorbés, passer en solution et être absorbés par les racines.

La CEC correspond au produit de la densité de charge (sites minéraux et organiques capables de retenir les cations par unité de masse de sol) par la masse de sol. Elle caractérise la dimension totale du réservoir échangeable. Sa garniture est réalisée par des cations compensateurs de charges négatives (organiques ou minérales) : ce sont principalement Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺, Al³⁺ auxquels sont parfois ajoutés Fe³⁺ et Mn²⁺. La CEC s'ex-

prime habituellement en cmolc (centimole de charge) par kilogramme de sol. Cette unité, qui prend en compte la valence des cations (par exemple : calcium = 2, potassium = 1), représente la masse atomique par unité de charge d'un élément donné, et autorise la comparaison directe entre cations de masse et charge différentes.

L'indicateur évalue ainsi la capacité générale des sols à retenir des cations, qu'ils soient de nature acide ou non acide.

1.3 Taux de saturation en base

C'est la proportion de cations « basiques » échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) par rapport à la CEC totale. Ce pourcentage peut varier de presque 0 % jusqu'à 100 %. Un faible pourcentage signifie que les sols sont très pauvres. A l'inverse un pourcentage élevé signifie que les sols sont bien pourvus en éléments nutritifs.

C'est un indicateur de la fertilité actuelle des sols.



Echantillons de sols conditionnés avant leur analyse. ONF

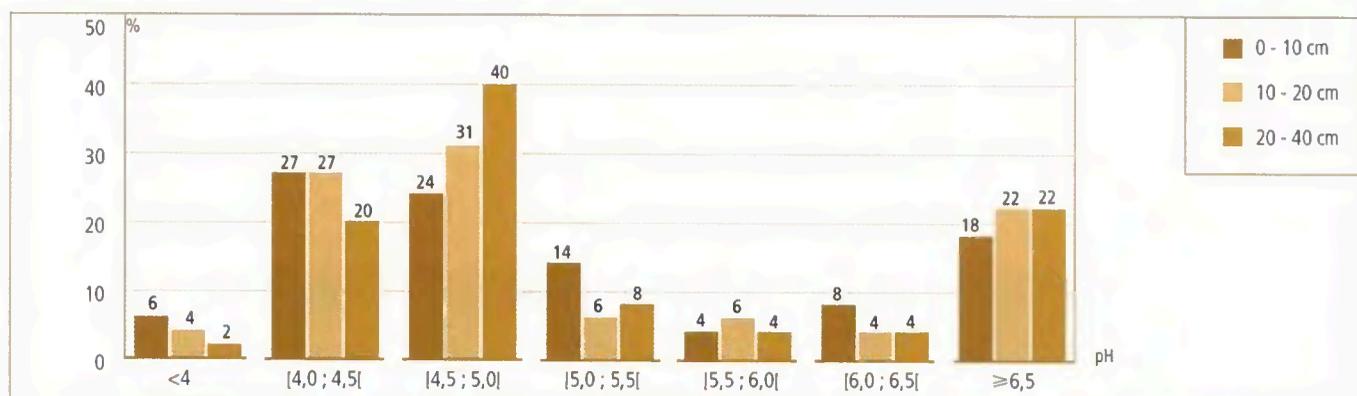
2. Intérêts et enjeux

- Les trois paramètres retenus réunissent l'essentiel des informations nécessaires pour analyser la richesse des sols et son évolution.
- La fertilité des sols a plutôt tendance à diminuer. En effet, les dépôts acidifiants, même s'ils se sont fortement réduits

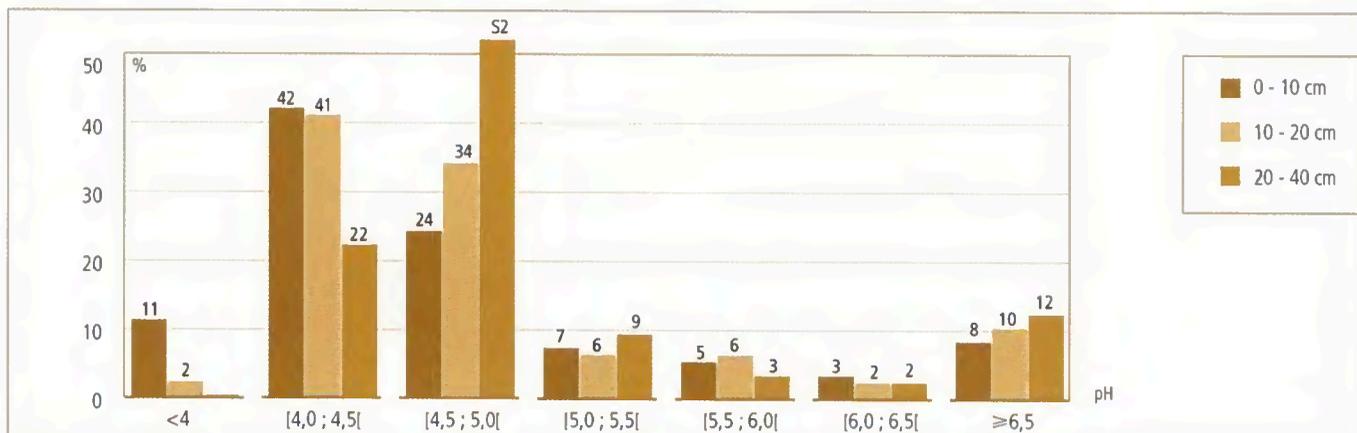
depuis vingt ans, sont encore importants (il est toutefois maintenant établi que ce n'est pas une clef de l'évolution des sols). Par ailleurs, l'utilisation d'espèces forestières à croissance rapide sur sols pauvres, le mode d'exploitation de certains peuplements (récolte totale dans les taillis) et le traitement des rémanents (andanaige, brûlage) peuvent accélérer la perte de fertilité des sols.

3. Restitution des données et commentaires

3.1 Le pH



Graphique 1. **Réseaux européen, pH (H₂O).** Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et sept classes de pH (Source : ministère chargé de l'Agriculture, données recueillies en 1993-1994).



Graphique 2. **Réseau Renécofor, pH (H₂O).** Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et sept classes de pH (Source : ONF, données recueillies en 1993-1995).

Les deux réseaux présentent le même type de distribution en classes de pH (H₂O).

Le réseau Renécofor comporte en proportion des sols plus acides, liés au choix initial d'installer les placettes sur des milieux plutôt fragiles.

Les pH les plus représentés se trouvent en dessous de la valeur 5, en particulier jusqu'à 20 cm de profondeur.

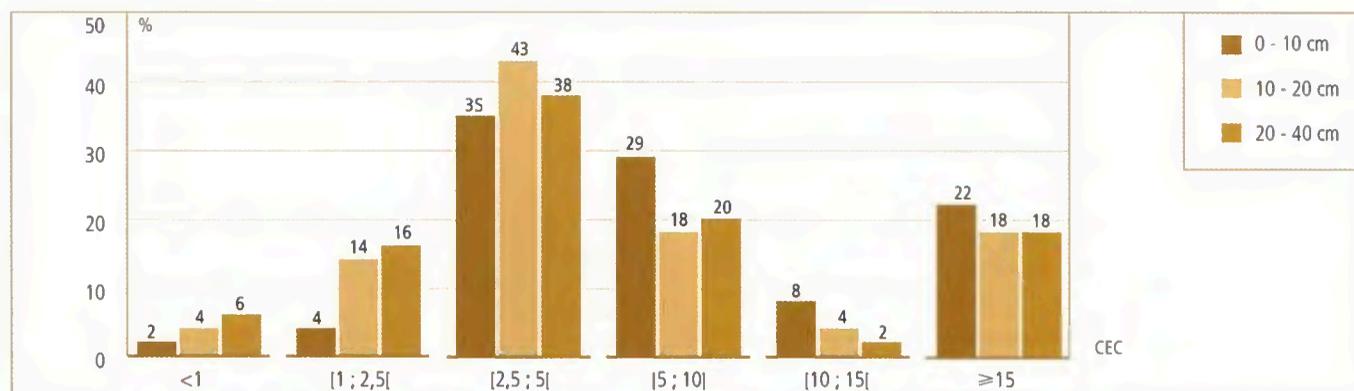
Ainsi, 57 % des placettes du réseau européen ont un pH (H₂O) inférieur à 5 pour la profondeur 0 - 10 cm, et 62 % pour la profondeur 10 - 20 cm. Dans le réseau Renécofor, les proportions obtenues sont respectivement de 77 % (profondeur 0 - 10 cm) et 76 % (profondeur 10 - 20 cm).

Les pH à la profondeur 20 - 40 cm sont un peu moins acides, avec toutefois encore une majorité de sites en dessous de la valeur 5 pour les deux réseaux. En effet, les horizons plus profonds se rapprochent de la roche mère ou du matériau initial, moins soumis à l'activité biologique qu'en surface.

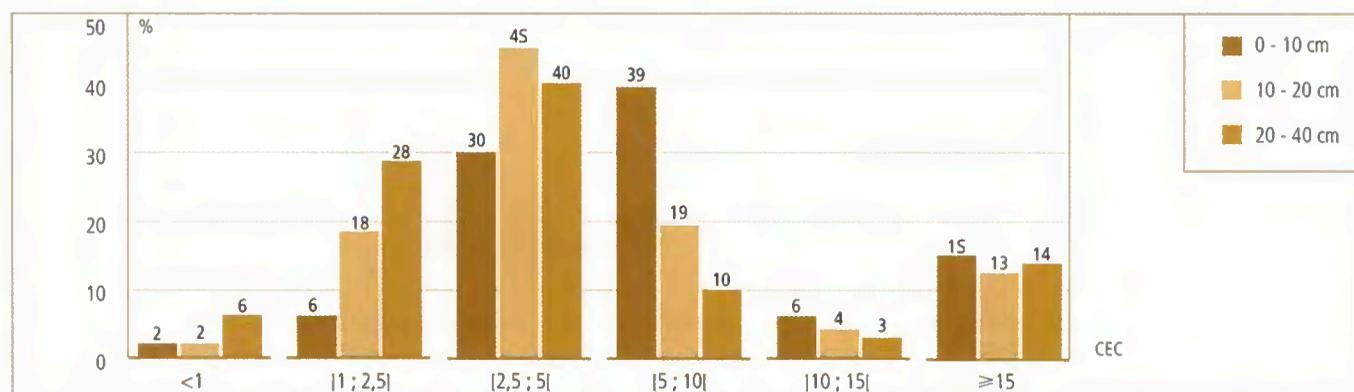
Les pH (CaCl₂) sont décalés d'une classe vers le bas par rapport au pH (H₂O), ce qui s'explique par la préparation des échantillons avant leur analyse. Pour le pH (H₂O), seule une mise en solution dans de l'eau est faite. Dans l'autre cas, l'utilisation d'une solution de CaCl₂ conduit à la libération de protons sur les lieux d'échange du sol, et donc à la diminution de la valeur du pH. La corrélation des deux pH étudiés montre que le pH (H₂O) est en moyenne plus élevé de 0,8 unité (taux de corrélation de 96,7 %, calcul mené sur les données du réseau européen).

En conclusion, les pH des faibles profondeurs des sols en FD correspondent globalement à ceux de la forêt française, avec toutefois un caractère légèrement plus acide. Cette différence reste à interpréter prudemment et pourrait être liée à des questions de taux d'échantillonnage.

3.2 Capacité d'échange cationique (CEC)



Graphique 3. Réseaux européen, CEC. Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et six classes de CEC - valeur en cmol/kg de sol sec - (Source : ministère chargé de l'Agriculture, données recueillies en 1993-1994).



Graphique 4. Réseau Renécofor, CEC. Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et six classes de CEC - valeur en cmol/kg de sol sec - (Source : ONF, données recueillies en 1993-1995).

État physico-chimique des sols

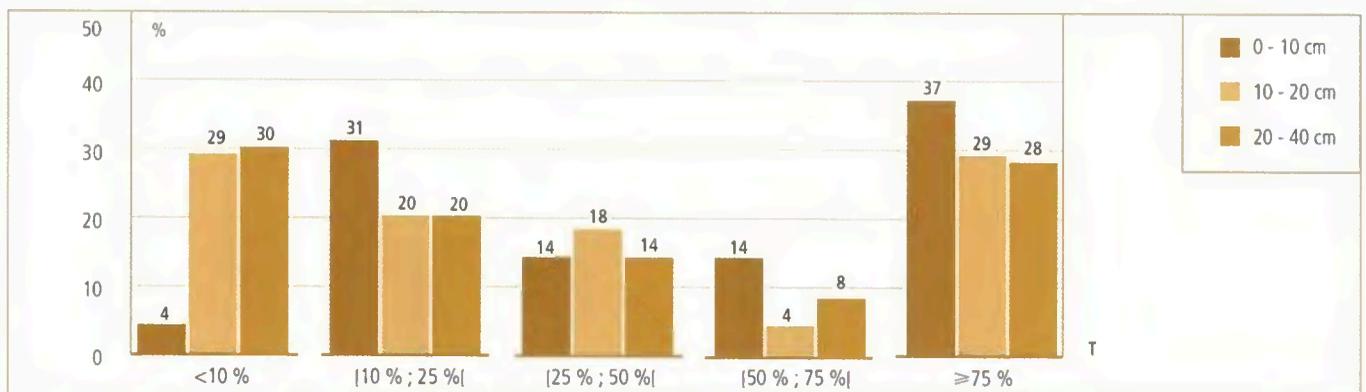
Les CEC des sols observées dans les deux réseaux sont comparables et situées essentiellement entre 2,5 et 10 cmol_c / Kg de sol, en particulier jusqu'à 20 cm de profondeur. Ainsi, pour la profondeur 0 - 10 cm, cette gamme de valeurs représente 64 % des échantillons analysés dans le réseau européen et 69 % de ceux dans le réseau Renécofor. Les proportions sont légèrement inférieures pour la profondeur 10 - 20 cm.

Dans le réseau européen, les placettes avec des valeurs élevées de CEC (plus de 15 cmol_c / Kg de sol) sont légèrement moins représentées en FD que sur l'ensemble des forêts : pour la profondeur 0 - 10 cm, la différence de proportion est de 8 % (6 % pour les deux autres profondeurs). En revanche, les placettes avec de faibles valeurs de CEC (moins de 2,5 cmol_c / Kg de sol) sont rencontrées en proportion analogue en FD et sur l'ensemble des forêts (pour les trois profondeurs).

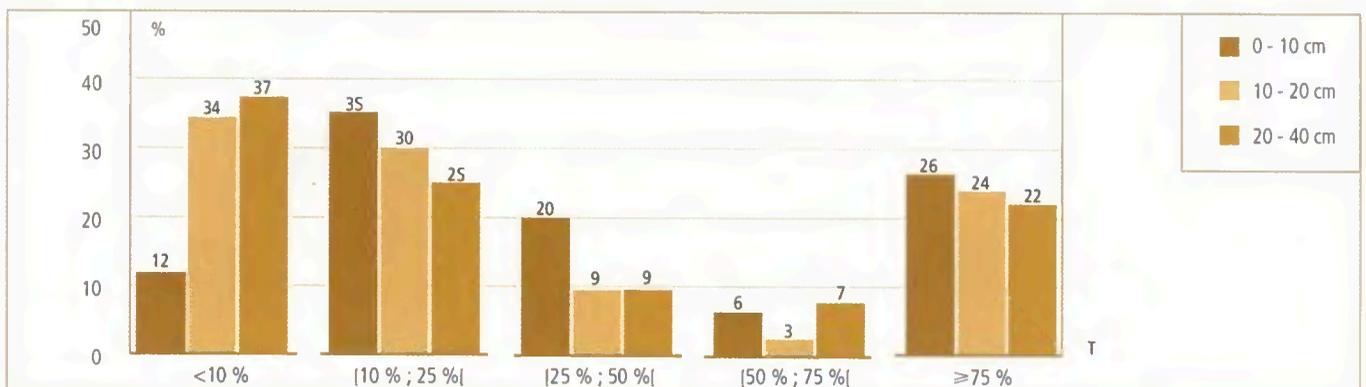


Prélèvements d'échantillons de sols sur la profondeur 0 - 10 cm. E. Ulrich / ONF

3.3 Taux de saturation en base (T)



Graphique 5. Réseau européen, taux de saturation en base. Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et cinq classes (Source : ministère chargé de l'Agriculture, données recueillies en 1993-1994).



Graphique 6. Réseau Renécofor, taux de saturation en base. Distribution des sols analysés en FD selon trois profondeurs fixes et cinq classes (Source : ONF, données recueillies en 1993-1995).

Pour la profondeur 0 - 10 cm, près d'un tiers des placettes du réseau européen et Renécofor ont un taux de saturation en base compris entre 10 et 25 %. Les sols les plus saturés en base (avec $T \geq 75\%$) sont également bien représentés à cette profondeur : il s'agit pour la plupart de sols calcaires ou de sols situés à proximité de la mer et profitant ainsi d'apports assez importants de sel.

Pour les profondeurs entre 10 et 40 cm, la proportion de sols avec un taux inférieur à 10 %, c'est-à-dire pauvres, est élevée : elle est comprise entre 30 et 38 % sur les deux réseaux.

4. Exemple d'effets liés à un phénomène de grande ampleur

Les pluies acides des années 1980

Au début des années 1980, la crainte d'un dépérissement massif des essences résineuses de montagne (sapinière vosgienne en particulier), dû à la pollution atmosphérique, a été à l'origine de la mise en place de réseaux d'observation et de recherches intenses.

Ces dispositifs n'ont pas confirmé la crainte initiale, tout en mettant en évidence l'importance de l'acidification de certains sols sensibles, due aux dépôts atmosphériques. Il est apparu que le facteur déclenchant des dépérissements observés à l'époque était essentiellement la sécheresse historique de 1976, dont les effets étaient plus importants dans des contextes sylvicoles et stationnels particuliers. Les principaux symptômes de ce dépérissement ont été des déficits foliaires et des colorations anormales observés très largement en Europe mais ne débouchant qu'exceptionnellement sur des mortalités qui sont restées rarissimes en France. Ces symptômes ont globalement disparu au cours des années 1990 plus favorables climatiquement.

Le lecteur pourra également se reporter à la partie 4 des indicateurs n°4.1 et n°4.2, où les conséquences sur la santé des forêts des tempêtes de décembre 1999 et de la sécheresse-canicule de 2003 sont abordées.

5. Limites et perspectives

Les limites résident dans les 130 sites échantillonnés au total sur les deux réseaux, qui ne permettent pas d'assurer une représentativité élevée de la situation en FD. Il n'est pas non plus possible de restituer l'indicateur à des échelles géographiques plus fines que le territoire hexagonal.

Ces réseaux sont toutefois très précieux pour suivre sur le long terme l'évolution des sols en FD ; et le maintien des observations est à ce titre nécessaire. Un suivi plus fiable et plus représentatif de la chimie des sols en FD passerait par une augmentation et une meilleure répartition géographique de l'échantillon.