

Synthèses

La forêt face aux tempêtes

Y. Birot, G. Landmann, I. Bonhême, coordinateurs



éditions
Quæ

La forêt face aux tempêtes

La forêt face aux tempêtes

Yves Birot,
Guy Landmann,
Ingrid Bonhême,

coordinateurs

Collection Synthèses

La multifonctionnalité de l'agriculture. Une dialectique entre marché et identité,
Groupe Polyani,
2008, 360 p.

Summer mortality of pacific oyster. *Crassostea gigas*. The Morest Project,
Jean-François Samin, Helen Mc Combie, editors,
2008, 400 p.

Virus des solanacées. Du génome viral à la protection des cultures,
Georges Marchoux, Patrick Gognalons, Kaysay Gébré Sélassié, coord.,
2008, 896 p.

Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre.
Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion,
Mohamed Gafsi, Patrick Dugué, Jean-Yves Jamin, Jacques Brossier, coord.,
2007, 472 p.

Bioclimatologie. Concepts et applications,
Sané de Parcevaux et Laurent Hubert,
2007, 330 p.

Éditions Quæ
c/o Inra, RD 10, 78026 Versailles Cedex

© Éditions Quæ, 2009

ISBN : 978-2-7592-0331-4

ISSN : 1777-4624

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Table des matières

Préface	1
Avant-propos	3
<i>Yves Birot</i>	
Un événement majeur pour la forêt française et le secteur forestier	3
Expertise collective et mobilisation de la communauté scientifique	3
Les deux axes majeurs du programme « Forêt, vent, risque »	4
L'ouvrage.....	6
Introduction. Les tempêtes de 1999 vues comme un révélateur du système-acteurs forestier	7
<i>Christian Barthod</i>	
PARTIE 1. LES TEMPÊTES HIER ET AUJOURD'HUI	
1. Grands vents et chablis : aspects historiques du XVI^e au XIX^e siècle	15
<i>Andrée Corvol</i>	
La documentation, la problématique	15
La constatation, les acquis, les manques	18
La régulation dans l'immédiat : évacuer le surplus	20
La régulation dans l'avenir : réviser l'aménagement.....	23
2. La crise et sa gestion sur le terrain, le témoignage d'un gestionnaire de forêts publiques en Lorraine	29
<i>Jean-Hugues Bartet</i>	
L'expérience du plongeon dans la crise.....	29
Sur quelles connaissances s'appuyer pour réagir ?.....	31
La volonté de reconstituer les peuplements détruits	34
Des répercussions nationales	35
3. Les tempêtes exceptionnelles de 1999 : caractérisation météorologique et lien éventuel avec le changement climatique	37
<i>Pierre Bessemoulin</i>	
Deux tempêtes exceptionnelles.....	37
Les raisons de ces conditions inhabituelles sous nos latitudes.....	38

Comparaison avec quelques tempêtes encore présentes dans les mémoires	39
Aspects statistiques de l'occurrence de vitesses de vent extrêmes.....	39
Une situation hydrologique inhabituelle au moment des tempêtes	42
Les tempêtes sont-elles attribuables au changement climatique ?	43

PARTIE 2. DOMMAGES AUX FORÊTS ET IMPACT
SUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

4. Estimation des dégâts de tempête : l'œil, l'avion et le satellite	49
<i>Nicolas Stach, Michel Deshayes</i>	
Les objectifs des estimations	49
Observation directe des dégâts à l'œil.....	50
La photo-interprétation des prises de vues aériennes	53
La télédétection, interprétation d'images satellitaires.....	53
Possibilités et limites de la télédétection	62
Conclusions	65
5. L'estimation des dégâts liés aux scolytes après les tempêtes de 1999	69
<i>Louis-Michel Nageleisen</i>	
Mise en place de dispositifs d'évaluation et de suivi	69
Colonisation des bois endommagés par le vent.....	70
Dynamique spatiale des colonisations des bois endommagés par le vent	71
Estimation du volume de bois sur pied colonisé	71
Évolution des dégâts à moyen terme et interactions avec l'épisode de sécheresse et de canicule de 2003	72
Deux catégories de parasites de faiblesse	72
Éléments pour la gestion	74
Conclusion.....	74
6. Méthodes d'évaluation des attaques d'<i>Ips typographus</i> (Coleoptera, Scolytinae) en pessière	77
<i>Jean-Claude Grégoire, Marius Gilbert, Charles de Cannière, David Delplace</i>	
Généralités sur les méthodes.....	78
Résultats.....	80
Conclusions	97
7. Estimation des dégâts post-tempête de scolytes à l'échelle du massif forestier par cheminement le long des pistes	101
<i>Jean-Charles Samalens, Jean-Pierre Rossi, Dominique Guyon, Inge van Halder, Pierre Menassieu, Dominique Piou, Hervé Jactel</i>	
Étude des dégâts de scolytes dans la forêt de pin d'Aquitaine	101
Méthodes de spatialisation et de simulation des données sanitaires.....	102
Évaluation des méthodes d'échantillonnage.....	104
Discussion et perspectives	108

8. Épidémiologie des scolytes de l'épicéa et de leurs ennemis naturels.....	111
<i>Jean-Claude Grégoire, Évelyne Hougardy, Jean-Marc Molenberg, Nathalie Warzée</i>	
Suivi des populations de scolytes	111
<i>Ips typographus</i> et parasitoïdes sur arbres attaqués au cours des années 2000 à 2002	112
Parasitoïdes et prédateurs mesurés sur rondins-pièges en 2003 et 2004..	115
Étude particulière de <i>Thanasimus formicarius</i>	116
Conclusions	118
9. Impact des tempêtes de 1999 sur les relations entre forêt et chevreuils et conséquences pour la gestion de ces ongulés	121
<i>Patrick Duncan, Maryline Pellerin, Jean-Michel Gaillard, Nathalie Pettorelli, François Klein, Sonia Saïd, Daniel Delorme, Guy van Laere, Olivier Widmer, Philippe Ballon, Philippe Delcros</i>	
Objectifs du projet	121
Dynamique des populations de chevreuils et compréhension des processus écologiques	122
Couplage des modèles de la dynamique des plantes et des grands herbivores pour la prévision à long terme	126
Amélioration des méthodes de suivi des équilibres entre les forêts et les grands herbivores.....	127
Apport pour les gestionnaires	128
Conclusions	129
10. Impact de la tempête Lothar (1999) sur la communauté d'oiseaux d'une futaie de chênes de Champagne humide	131
<i>Jean-Marc Thiollay, Pascaline Le Gouar</i>	
Objectif de l'étude	132
Zone et cadre de l'étude : la forêt d'Orient en Champagne humide	132
Méthodes d'étude	134
Résultats	135
Discussion et conclusion	139
11. Impact des tempêtes de 1999 sur le bilan de carbone des forêts françaises	143
<i>Gérôme Pignard, Jean-Luc Dupouey, André Granier, Michel Morel</i>	
Évaluations.....	144
Récapitulation des évaluations et analyse.....	149
PARTIE 3. ANALYSE DE LA STABILITÉ DES FORÊTS : DE L'ÉCHELLE DE L'ARBRE À CELLE DU PAYSAGE	
12. Racines, sol, mécanique de l'ancrage de l'arbre et stabilité	155
<i>Frédéric Danjon, Christophe Drénou, Lionel Dupuy, François Lebourgeois</i>	
Comportement de l'ancrage des arbres.....	155

L'allocation de ressources au système racinaire	156
L'architecture du système racinaire	157
La mécanique de l'ancrage	164
Adaptation aux contraintes mécaniques	168
Recommandations pour améliorer la stabilité de l'arbre	171
Conclusion.....	172
13. Facteurs de risques de chablis dans les peuplements forestiers : les leçons tirées des tempêtes de 1999.....	177
<i>Francis Colin, Isabelle Vinkler, Philippe Riou-Nivert, Jean-Pierre Renaud, Jean-Christophe Hervé, Jérôme Bock, Benjamin Piton</i>	
Inventaire des études statistiques	181
Évaluation des différents facteurs de risque	182
Bilan et mise en perspective sylvicole des résultats établis.....	214
Conclusion : intérêts, perspectives d'amélioration et avenir des études statistiques.....	220
14. Les interactions vent-arbre, de l'échelle locale à celle du paysage : vers des approches déterministes.....	229
<i>Yves Brunet, Sylvain Dupont, Damien Sellier, Thierry Fourcaud</i>	
Objectifs du projet Venfor.....	229
Modélisation de l'écoulement turbulent	231
L'écoulement turbulent dans les régions de lisière	233
L'écoulement turbulent en paysage hétérogène.....	242
La dynamique de l'arbre au vent.....	246
Conclusions et perspectives.....	255
15. L'apport de la modélisation à la prédiction de la stabilité des peuplements. Le cas du pin maritime dans les Landes de Gascogne	261
<i>Céline Meredieu, Alexia Stokes, Véronique Cucchi</i>	
Présentation des différents types de modèles.....	261
Un outil de prédiction de la stabilité pour les peuplements de pin maritime	264
Synthèse et perspectives.....	270
PARTIE 4. LE RISQUE DE TEMPÊTE : PERCEPTION, PRÉVENTION ET PARTAGE DU RISQUE	
16. Les propriétaires forestiers face au risque de tempêtes : le cas de l'Aquitaine	277
<i>Lysiane Guennéguez, François Mimiague</i>	
Le système-risque	277
Les entretiens avec les responsables forestiers : une vision globale de l'événement, de la crise et du risque.....	283
Les entretiens avec les propriétaires forestiers gascons	290

Quelques entretiens caractéristiques en termes de représentation du risque	297
Synthèse : une représentation du risque découlant de la temporalité	302
Conclusion.....	303
17. Prévention et atténuation de l'impact des tempêtes sur les forêts : une analyse financière comparée de quelques options de gestion appliquées au douglas	305
<i>Jean-Philippe Terreaux, Michel Chavet</i>	
L'utilisation de différents modèles	305
Les données économiques	311
Résultats et conclusions	312
18. Quelle perspective pour les assurances en forêt ?	319
<i>Olivier Picard, Éric Toppan</i>	
Face à une offre limitée, quelles demandes pour les assurances en forêt ?	319
Sinistrabilité et assurabilité des forêts	326
Vers de nouveaux mécanismes d'assurance	328
Conclusion.....	330
PARTIE 5. LES FORÊTS SINISTRÉES : GESTION ET RECONSTITUTION	
19. L'exploitation des peuplements chablis : enjeux et erreurs à éviter	335
<i>Maryse Bigot</i>	
Les enjeux de la récolte des peuplements chablis	335
Les erreurs à éviter lors de la récolte des peuplements chablis	337
Recommandations pour l'exploitation des peuplements chablis.....	338
20. Cartographie prédictive des stations forestières : le cas des Vosges après la tempête de 1999	341
<i>Jean-Claude Gégout, Christian Piedallu, Jean-François Cornu</i>	
Données spatialisées disponibles pour l'ensemble du massif.....	341
Inventaire et caractérisation écologique des stations forestières	342
Modélisation des facteurs écologiques par les variables numériques spatialisées	342
Typologie et cartographie des stations	345
21. Successions forestières spontanées après tempête : les cas de l'Auvergne (1982) et de la Bretagne (1987)	347
<i>Christian Gauberville</i>	
Caractéristiques des tempêtes auvergnate (1982) et bretonne (1987)	348
Questions posées	348
Recherche du matériel d'étude	348
Méthode d'observation	350

Résultats.....	351
Discussion.....	358
Conclusion.....	360
22. Observation de la dynamique naturelle de reconstitution après tempête : organisation et premiers résultats	363
<i>Éric Lacombe, Annabelle Mengin, Linde van Couwenberghe</i>	
Les réseaux d'observation	363
Protocoles et échantillonnages.....	364
Premiers résultats	366
Discussion et perspectives	371
 PARTIE 6. AVANCÉES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 	
23. Tempêtes et forêts : quelles avancées scientifiques depuis 1999 ?	377
<i>Yves Birot</i>	
Connaître les tempêtes : occurrence, impact et traitement de leurs dommages	378
Comprendre la stabilité des arbres et des peuplements : de l'échelle de l'individu à celle du paysage.....	381
Conclusion.....	385
24. Vers une prise en compte du risque de tempête dans la gestion forestière	387
<i>Philippe Riou-Nivert</i>	
Introduction	387
Prise en compte de la stabilité au stade du reboisement	389
Prise en compte de la stabilité au stade du peuplement	394
Prise en compte de la stabilité à l'échelle de la propriété	402
Prise en compte de la stabilité à l'échelle régionale.....	405
Prise en compte de la stabilité confrontée aux autres objectifs de gestion	406
Conclusion	408
Références bibliographiques	409
Conclusion. Quelques enseignements pour la gestion technique, économique, politique et humaine des grands chablis	411
<i>Michel Badré, Guy Landmann</i>	
Des postures et des relations nouvelles au sein de la collectivité forestière	411
Les besoins des gestionnaires et les enseignements tirés des recherches	412
Et ensuite ?	414
Conclusion.....	418
Abréviations et sigles	421
Projets de recherche lancés après les tempêtes de 1999	423
Liste des auteurs	429

Remerciements

Les travaux de recherche relatés dans cet ouvrage ont été financés par les ministères en charge de la forêt et de l'environnement, les organismes de recherche (Inra et Cemagref) qui ont dégagé des moyens spécifiques (une liste des projets est donnée en annexe p. 421).

À Ecofor, la mise sur les rails de l'expertise collective en 2000 et les deux programmes de recherche successifs ont été portés par Olivier Larourissinie, Sébastien Drouineau, et Jean-Claude Bergonzini.

L'expertise collective (2000) a été animée par Yves Birot, Daniel Terrasson, Thomas Formery et Bernard Roman-Amat, et coordonnée par Sébastien Drouineau et Olivier Laroussinie.

Les comités de pilotage des deux programmes ont élaboré les deux textes des appels à proposition de recherches et ont évalué les qualités scientifiques des projets et des rapports rendus au cours des différentes étapes des projets. Les deux comités de pilotage étaient composés de : Yves Birot (Inra) (Président), Laurence Bouhot-Delduc (ministère de l'Agriculture et de la pêche), Jean-Marc Boussard (Inra), Yves Brunet (Inra), Françoise Burel (Université de Rennes), Michel Denis (Cemagref), Jean-François Dhôte (Office national des forêts), Pierre Donadieu (École nationale supérieure du paysage), Erwin Dreyer (Inra), Thomas Formery (Centre national professionnel de la propriété forestière), Alain Franc (Inra), Claude Gilbert (Gis Risque collectif et situation de crise), Frédéric Gosselin (Cemagref), Paul-Antoine Lacour (Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement), Jean-Paul Lescure (IRD, Institut de recherche pour le développement), Claude Millier (AgroParisTech, Engref), Jean-Luc Peyron (Gip Ecofor), Gêrôme Pignard (Inventaire forestier national), Bernard Roman-Amat (Office national des forêts), Bernard Saugier (CNRS), Bernard Thibaut (Université Montpellier II).

Au total, près de 70 auteurs ont participé à la rédaction des 27 contributions de cet ouvrage.

Les textes ont fait l'objet de lectures attentives et de critiques par des relecteurs. La qualité scientifique des textes leur doit beaucoup. Il s'agit de : Claire Atger (Pousse-Conseil), Michel Badré (ministère en charge de l'écologie, MEEDDAT), Didier Bert (Inra), Yves Birot (Inra), Hugues Claessens (Faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique), Thomas Curt (Cemagref), Philippe Drobinski (Institut Pierre Simon Laplace), Patrick Duncan (CNRS), Thomas Formery (Centre national professionnel de la propriété forestière), Beat Forster (Institut fédéral de recherches sur la Forêt, la neige et le paysage, Suisse), Meriem Fournier (AgroParisTech, Engref), François Goreaud (Cemagref), Jean-Claude Grégoire (Université Libre de Bruxelles), Stéphane Guitet (Office national des forêts), Dominique Guyon (Inra), Patrice Harou (AgroParisTech, Engref), Jacques Hébert (Faculté des sciences agronomiques de

Gembloux, Belgique), Myriam Legay (Office national des forêts, Inra), François Lieutier (Inra), Claude Millier (AgroParisTech, Engref), Frédéric Mortier (Office national des forêts), Dominique Pépin (Inra), Jean-Luc Peyron (Gip Ecofor), Jean-Pierre Renaud (Office national des forêts), Claudine Richter (Office national des forêts), Jacques Rondeux (Faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique), Jean-Claude Ruel (Université Laval, Canada), Bernard Saugier (Université Paris Sud), Jean-Philippe Schutz (ETH Zürich, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Suisse), Jean-Philippe Terreaux (Cemagref).

Natacha Massu et Marie-Hélène Lagarrigue ont fourni une aide précieuse aux dernières étapes de la préparation de l'ouvrage. Sandrine Landeau et Natacha Massu du Gip Ecofor ont également contribué à la qualité scientifique de plusieurs articles.

À tous, les coordinateurs de cet ouvrage adressent les plus vifs et sincères remerciements.

Paris et Avignon, mars 2008

Les coordonnateurs de l'ouvrage,

Yves BIROT, Chef de Département honoraire des recherches forestières de l'Inra

Guy LANDMANN, Directeur Adjoint du Gip Ecofor

Ingrid BONHÈME, Chargée de mission au Gip Ecofor

Préface

Les 26 et 27 décembre 1999, en pleine trêve des confiseurs, Lothar et Martin¹, deux tempêtes lourdes d'effets ont traversé la France, laissant derrière elles des forêts méconnaissables, des forestiers meurtris, et une filière de la forêt et du bois fortement et durablement affectée.

Quelques années plus tard, et faisant suite à un ambitieux programme de recherche, cet ouvrage restitue les résultats des investigations et recherches engagées, ainsi que les réflexions et enseignements qu'on a pu en tirer.

Son sujet, forêts et tempêtes, s'étudie souvent selon des approches couplées : aléas et risques, résistance et résilience, calamité et renaissance, recherche et gestion, écologie et économie. Il fait le choix d'un contenu large, au-delà du seul programme « Forêt, vent et risque » animé par le Gip Écofor. Il reste incomplet et constitue un point d'étape plus qu'un point final, parce que la matière, abondante et dense, est loin d'avoir été exploitée intégralement et parce que certaines questions cruciales restent en souffrance.

Dire, dire juste, pas plus qu'on ne peut, à plusieurs voix, dire pour être compris, c'est l'ordinaire de l'ouvrage collectif, et celui-ci s'est construit comme à l'ordinaire, écriture, lecture, relecture, réécriture, parfois jusqu'à la crispation passagère des auteurs et des coordonnateurs. L'écriture collective a aussi les défauts de ses qualités, en particulier le caractère parfois hétérogène des éléments de l'ouvrage ; le présent livre n'a pu y échapper. Les articles sont, dans certains cas de vrais états de l'art, tandis que dans d'autres, on a plutôt affaire au bilan d'un projet de recherche.

Remarques et critiques seraient une reconnaissance pour ses promoteurs et acteurs, un signe que la synthèse – dans la langue de Molière qui plus est –, discipline ardue et en recherche d'encouragements, reste utile, et sans doute plus que jamais nécessaire. Écofor se fera un devoir de les faire fructifier.

Ce livre est dédié aux équipes de recherche qui se sont mobilisées avec détermination sur les programmes de recherche, avec leurs moyens propres et le renfort de nombreux étudiants, à tous ceux qui ont vu le vent effacer « leur » forêt, révélant brutalement la force des liens qui les unissent à elle, et à tous les acteurs d'une filière durement éprouvée mais réactive dans la crise.

À travers la somme des connaissances mises à disposition dans ce livre, la communauté scientifique impliquée souhaite contribuer à nourrir le dialogue entre la science et la gestion et entre la science et la société, et à faire émerger une expertise améliorée dans la perspective de futures tempêtes de grande ampleur.

1. Prénoms masculins en année impaire, les noms des tempêtes sont gérés par l'institut météorologique allemand : <http://www.met.fu-berlin.de/adopt-a-vortex/histoire/> (consulté le 26 mars 2008)

Avant-propos

Yves BIROT

Par leur ampleur et leur intensité, les tempêtes de la fin décembre 1999 ont infligé aux forêts françaises des dégâts énormes, frappant de manière durable l'ensemble du secteur forestier au plan environnemental, mais surtout économique et social.

►► Un événement majeur pour la forêt française et le secteur forestier

Cette catastrophe liée à un risque naturel de première importance a une dimension particulière, car elle a touché les écosystèmes forestiers perçus par la société comme réservoirs de « naturalité ». En d'autres termes, la nature semble s'être déchaînée contre elle-même. Au-delà des acteurs économiques du secteur forestier directement impliqués, qui ont été durement touchés, la répercussion sociétale et politique de cette crise a été très importante, motivant une réponse de grande envergure des décideurs politiques (Barthod et Barrillon, 2002).

►► Expertise collective et mobilisation de la communauté scientifique

Toute crise associée aux risques naturels soulève la question du « pourquoi » et du « comment ». Dans le cas des dégâts causés aux forêts par les tempêtes, on s'interroge :

- pourquoi de tels aléas se produisent-ils ?
- pourquoi la vulnérabilité des écosystèmes forestiers est-elle si grande ?
- comment en limiter les effets par la prévention, la réduction et le partage du risque ?

Il s'agit de comprendre pour gérer, d'enrichir le corpus de connaissances et d'en tirer le meilleur parti par le moyen d'une expertise scientifique, support d'une politique raisonnée. La crise engendrée en France par les tempêtes de 1999 a conduit à mobiliser dans les mois qui ont suivi les tempêtes l'expertise scientifique disponible. Il ne s'agit pas d'un exemple unique ; l'expertise scientifique est de plus en plus directement et fréquemment sollicitée face à des questions émergentes d'envergure : changements climatiques, énergies renouvelables, zoonoses, sécurité alimentaire, etc.

L'expertise collective sur les tempêtes a montré les acquis, mais aussi les lacunes dans les connaissances (Bergonzini et Laroussinie, 2000 ; Drouineau *et al.*, 2000 et 2001 ; Birot et Gollier, 2001 ; Birot, 2002), justifiant le lancement d'un programme de recherche d'envergure. Ce programme (Birot, 2004) a comporté deux phases :

– la première phase, financée par le ministère chargé de la Forêt (budget de 0,47 million d'euros), visait à monter dans l'urgence des projets de recherche courts (sur deux ans de 2000 à 2002), principalement fondés sur l'observation des dégâts immédiats. Il s'agissait notamment d'étudier les arbres abattus ou brisés avant qu'ils ne soient exploités, afin de mieux connaître les facteurs influant sur leur stabilité, et d'anticiper les questions liées aux travaux de reconstitution (aspects socio-économiques, sylvicoles et de planification forestière) ;

– la deuxième phase, dénommée « Forêt, vent et risque », a été financée par les ministères chargés de la Forêt et de l'Environnement, l'Inra et le Cemagref (budget total : environ 1 million d'euros). Elle avait comme objectif une réflexion approfondie sur les besoins de recherche à moyen terme. Cette réflexion a servi à la rédaction d'un appel d'offres détaillé et, finalement, à la mise en place d'actions de recherche pour la période de 2001 à 2004. Les aspects socio-économiques de ce programme de recherche ont fait l'objet d'une articulation forte avec le groupement d'intérêt scientifique Économie forestière, en termes de financement et d'évaluation scientifique. Le groupe d'expertise collective a fourni le cadre conceptuel pour la mise en œuvre de la première phase ; il a ensuite été relayé par le conseil scientifique du Gip Écofor, puis par un comité de pilotage et un comité scientifique propre à la deuxième phase.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce programme de recherche ont été présentés aux scientifiques et praticiens forestiers en décembre 2002, lors d'une conférence portant sur la première phase du programme, et en mars 2005, pour l'ensemble des deux phases.

►► Les deux axes majeurs du programme « Forêt, vent, risque »

Le programme, avec ses deux phases, a porté essentiellement sur deux axes majeurs, l'évaluation de la vulnérabilité forestière et la gestion du risque. On notera que ces deux axes « se répondent » puisque c'est à partir de l'analyse du risque et de l'évaluation de la vulnérabilité qu'il devient possible de formuler une stratégie de gestion du risque, et c'est une gestion du risque adaptée qui conduit à abaisser la vulnérabilité.

La vulnérabilité

Ce volet s'est intéressé dans un premier temps aux dégâts, indépendamment de leur quantification économique, et a cherché à évaluer les facteurs impliqués dans l'apparition des dommages sur les arbres et les peuplements. Il s'agissait de préciser les effets directs du vent, du sol, des arbres et des peuplements, ainsi que les interactions entre ces trois facteurs dans la tenue au vent, en intégrant les caractéristiques liées à l'espèce ou aux facteurs génétiques intra-spécifiques, ainsi que celles liées à la croissance de l'arbre ; les échelles étudiées vont de l'arbre au paysage. Les approches utilisées ont combiné l'observation, des mesures *in situ*, des expérimentations en soufflerie et de la modélisation numérique et ont fait appel, au-delà des sciences forestières traditionnelles, à des spécialistes en biomécanique, micro-météorologie, aérologie et dynamique des fluides. L'analyse historique et géographique des tempêtes et de leurs dommages aux forêts a également été prise en compte.

Dans un second temps, il s'agissait de « passer des dégâts aux pertes », en essayant de caractériser les pertes directes et indirectes liées aux principaux enjeux assignés à la forêt. L'appel d'offres a mis l'accent sur les bilans environnementaux des tempêtes, en particulier sur les cycles du carbone et de l'eau, ainsi que sur la biodiversité liée à la dynamique d'après la tempête, y compris la diversité génétique dans les jeunes peuplements forestiers issus de régénération naturelle. Toutefois, ce dernier thème n'a fait l'objet d'aucune réponse, comme d'ailleurs le thème « Impact des tempêtes sur la qualité des paysages et leur évolution future ». La vulnérabilité des forêts dépend de facteurs de résistance et de résilience de diverses natures (physique, écologique, économique, et sociale) ; c'est pourquoi on peut définir la vulnérabilité comme « le niveau d'affectation potentiel des enjeux ». Son appréhension est rendue plus complexe par le fait que les enjeux associés à la forêt varient spatialement et temporellement ; c'est ainsi qu'au cours de la dernière décennie, un accent plus fort est mis sur les fonctions environnementales et sociales de la forêt. Le programme a notamment pris en compte les questions suivantes :

- les dégâts de tempêtes aux forêts modifient-ils les valeurs attribuées à la forêt par le public et, si oui en fonction de quels enjeux, par exemple le paysage ?
- quels sont les facteurs régionaux, liés ou non à la filière, à son organisation et à son niveau d'intégration, qui influent sur le niveau économique des pertes ?
- la résilience écologique et la résilience économique vont-elles de pair ? Quel est le comportement des gestionnaires et propriétaires face aux traumatismes et au risque (assurance) ?

La gestion du risque

Ce volet s'est intéressé aux outils d'analyse à mettre en œuvre en cas de tempêtes ayant entraîné des dommages massifs aux forêts, pour : 1) évaluer les dégâts aux peuplements (en particulier : intérêt et limites de l'outil satellitaire) ; 2) assurer le *monitoring* phytosanitaire et la dynamique des populations d'ongulés ; 3) évaluer la résilience (diagnostic du potentiel de régénération naturelle). Un autre élément important était la prévention du risque par des mesures de gestion forestière appropriées aux différentes échelles spatiales ; elles consistent en l'évitement (essai de zonage et de cartographie du risque) ou la réduction du risque par l'amélioration de la stabilité et l'optimisation du calendrier de récolte (notamment la longueur des rotations). Cette démarche soulève, bien entendu, la question des coûts et des avantages de différents scénarios sylvicoles. L'intérêt de la modélisation, et en particulier le couplage de modèles de croissance, de modèles spécifiques de casse au vent (cf. le modèle anglais ForestGALES) et de modèle économique, a été souligné.

Par ailleurs, la question du partage du risque, notamment par le système assurantiel et d'autres systèmes complémentaires est centrale ; la recherche peut aider à identifier les éléments qui permettraient une meilleure couverture du risque. Enfin, la recherche peut contribuer à la définition de stratégies adéquates de gestion de crise : l'analyse comparée des crises semblables intervenues en France et dans les pays voisins, et de leur gestion en termes politiques et techniques, pouvant être tout à fait éclairante.

La diversité thématique et le caractère multidisciplinaire des recherches menées se sont traduits par l'implication de nombreuses équipes universitaires et d'organismes de recherche principalement en France mais aussi à l'étranger (Australie, Royaume-Uni).

►► L'ouvrage

À l'issue de cinq années de recherches, qui ont fait l'objet d'un financement public très significatif, il apparaissait opportun de faire le point sur l'avancée des connaissances permise par le programme « Forêt, vent, risque » et sur les réflexions que celles-ci ont amenées dans le domaine de la gestion forestière. De manière à exposer un état de l'art plus complet, des éléments extérieurs au programme de recherche et issus d'autres études touchant notamment au suivi sanitaire ou à la gestion ont été intégrés.

Afin de replacer les résultats scientifiques dans le contexte qui les ont fait naître, un retour sur la crise humaine et économique liée aux tempêtes de 1999 est d'abord présenté. L'ouvrage détaille ensuite les avancées scientifiques et techniques en les structurant en quatre parties portant sur :

- l'analyse de l'aléa (le vent), des dommages aux forêts et des perturbations du fonctionnement des écosystèmes forestiers causés par les tempêtes ;
- l'analyse de la stabilité de forêts, de l'échelle de l'arbre à celle du paysage. Cette analyse est conduite sur la base de l'exposition et de la vulnérabilité au risque et s'attache à relier l'aléa à ses conséquences par le biais d'une fonction de dommages ;
- la recherche d'une stratégie de prévention et de partage des risques qui permette soit d'éviter de subir l'aléa soit d'en minimiser la portée. Elle s'appuie par exemple sur des techniques sylvicoles particulières, ou encore sur des instruments de type assurantiel ;
- la stratégie de gestion et de reconstitution des peuplements sinistrés.

Avec cet ouvrage qui reflète une très large fraction des investigations scientifiques et techniques entreprises en France après le passage de Lothar et Martin, et qui a tenté de privilégier les aspects de synthèse, nous espérons avoir constitué une source d'information de qualité sur les dégâts causés par les tempêtes aux forêts. Bien entendu, des questionnements demeurent, et il serait heureux que les pistes nouvelles identifiées puissent être abordées avant que, tôt au tard, une nouvelle tempête majeure n'intervienne.

►► Références bibliographiques

Barthod C., Barrillon A., 2002. L'État au secours de la forêt : le plan gouvernemental. *Revue forestière française*, LIV (n° spécial) : 41-65.

Bergonzini C., Laroussinie O., (coord.), 2000. Les écosystèmes forestiers dans les tempêtes. Paris, Gip Ecofor, 133 p.

Birot Y., Gollier C., 2001. Risk Assessment, Management and Sharing in Forestry, with Special Emphasis on Windstorms. In Kokkonen O., Proceedings of the 14th Convocation of the International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences (CAETS). Espoo (Finlande), The Finnish Academies of Technology (FACTE), 233-266.

Birot Y. 2002. Tempêtes et forêts : perturbations, catastrophes ou opportunités ? *Annales des Mines*, août 2002 : 96-102.

Birot Y., 2004. Forêt, Vent et Risques : le programme de recherches français « post-tempêtes ». *Natures, Sciences, Sociétés*, 12 : 221-224.

Drouineau S., Laroussinie O., Birot Y., Terrasson D., Formery T., Roman-Amat B., 2000. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et leur reconstitution. Paris, Inra-ME&S, *Les dossiers de l'environnement*, 20, 336 p.

Drouineau S., Laroussinie O., Birot Y., Terrasson D., Formery T., Roman-Amat B. 2001. Joint Evaluation of Storms, Forests Vulnerability and their Restoration. Joensuu, European Forest Institute, Discussion paper, 9, 39 p.