TÊTES CHERCHEUSES L'INRA de Clermont planche sur les effets de la sécheresse sur les arbres

Les arbres aussi risquent l'embolie !

Grandeur et majesté ne rendent pas invincibles. La preuve par les arbres qui en cas de grande sécheresse risquent de fatals accidents vasculaires..

Sophie Leclanché
sophie.leclanche@centrefrance.com

Qui n'a pas approché de près la botanique aura du mal à l'entendre mais c'est un fait acquis : les arbres transpirent. Tant et si bien, qu'en cas de sécheresse, ils se déshydratent. Parvenus à un stade critique de la pathologie, ils risquent même une fatale… embolie. C'est sur cette vulnérabilité que planchent, à l'INRA de Clermont-Ferrand, l'équipe d'une dizaine de scientifiques dirigée par l'ingénieur agronome et chercheur, Hervé Cochard. L'unité mixte de recherches qui allie les compétences de l'INRA et de l'université Blaise-Pascal, travaille sur les mécanismes de résistance à la sécheresse et donc sur le fonctionnement hydraulique des arbres. Pour ces scientifiques de l'équipe baptisée opportunément Hydro, il s'agit, explique Hervé Cochard, de cerner « la capacité de l'arbre à maintenir de l'eau dans ses vaisseaux ». Faute de quoi, la sève ne circule plus. Si l'arbre aspire de l'air, c'est le phénomène dit de cavitation, il se produit une embolie potentiellement mortelle pour l'individu. De fait, « les arbres fonctionnent selon le modèle de la pompe aspirante, les feuilles transpirent et perdent de l'eau… si des bulles d'air s'immiscent dans les vaisseaux, la pompe se désamorce ».

HERVÉ COCHARD. Directeur de recherches à l'INRA., de l'UMR de Physique Intégrée de l'arbre fruitier et forestier.
PHOTO FRANCK BOILEAU

Évidemment note le spécialiste de l'éco-physiologie, il existe « de grandes différences entre les espèces ». Y compris dans les mêmes zones climatiques. « Les peupliers sont par exemple très vulnérables à la cavitation contrairement aux pruniers ». De même et logiquement les essences qui poussent dans les zones humides sont moins résistantes que celles qui croissent dans les secteurs arides.

Dans ce laboratoire auvergnat – l'un des pionniers dans ce domaine de recherches – les travaux visent « à connaître les probabilités de cavitation ». À étudier, aussi, les réponses qu'apporte l'arbre privé d'eau : « l'acclimatation », qui voit l'arbre changer son système d'adaptation au milieu ; « l'adaptation » qui fait que l'arbre se modifie génétiquement ; « la migration » au cours de laquelle une espèce disparaît au profit d'une autre, plus résistante.

Dans la perspective des changements climatiques annoncés, ces recherches revêtent une importance considérable. Ne serait-ce que pour les professionnels de la forêt qui plantent aujourd'hui les arbres exploités dans 150 ans…

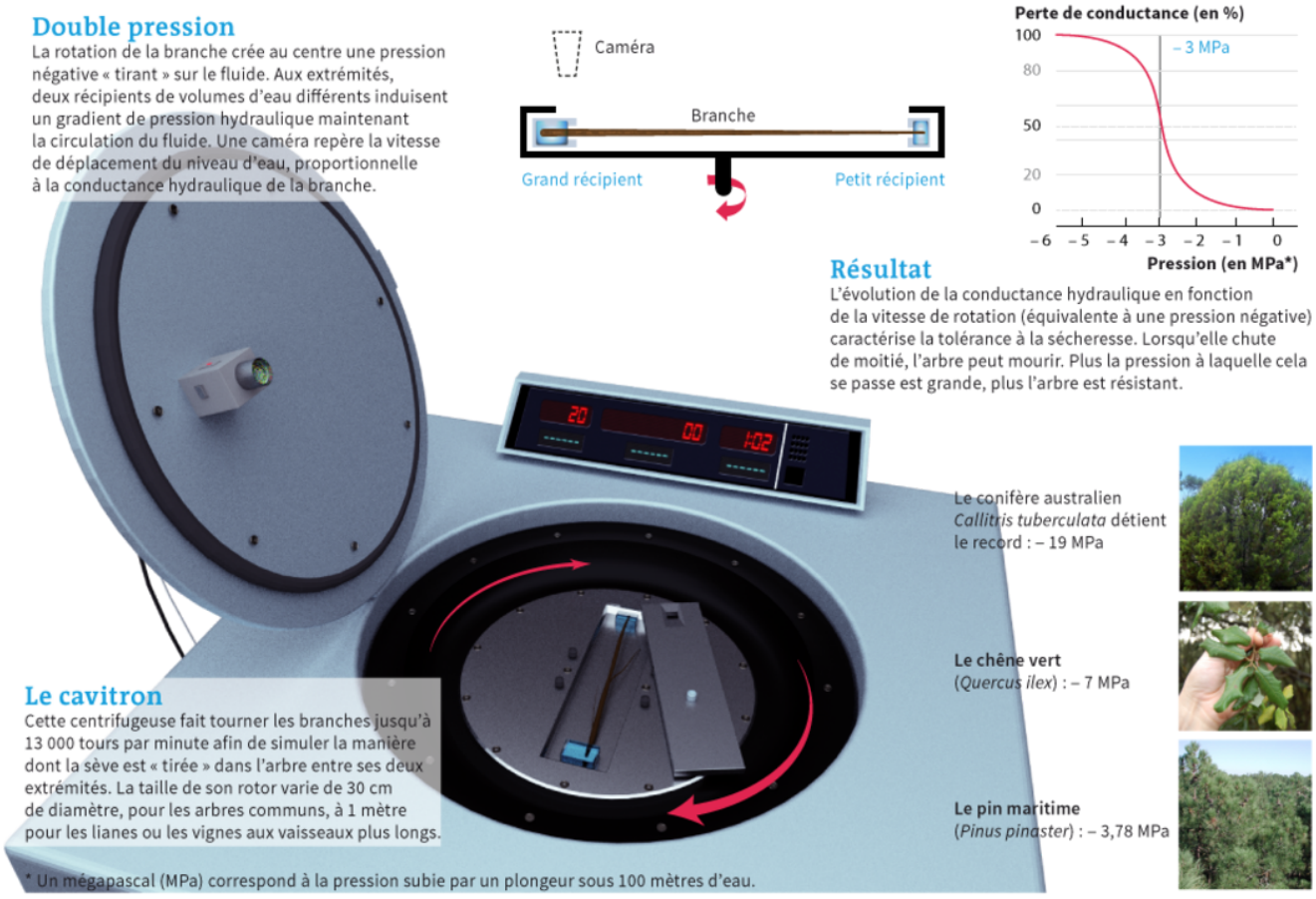
« On constate déjà que le chêne-vert, produit typique du climat méditerranéen, remonte vers le nord, or, ce n'est pas un bois intéressant, remarque Hervé Cochard, cela risque un jour de poser des problèmes à la filière bois ». ■

Une banque internationale de données… mondiales

Hervé Cochard compte parmi la vingtaine de scientifiques, spécialistes de la physiologie des plantes, qui abondent depuis 2009 une base internationale de données relatives au système hydraulique des arbres. Plus de quatre cents essences, représentatives (ou presque) des écosystèmes forestiers de la planète y sont répertoriées. Initiée par Brendan Choat et Steven Jansen des chercheurs respectivement australien et allemand, cette banque et plus particulièrement l'expertise de son contenu, ont permis la synthèse à l'origine de la récente littérature parue dans la revue *Nature* (novembre 2012). Hervé Cochard et son collègue bordelais Sylvain Delzon ont apporté à cette analyse « leur expertise sur la vulnérabilité à l'embolie des espèces ligneuses européennes et des conifères de la planète ».

Le cavitron teste la résistance des arbres à la sécheresse

LE MONDE SCIENCE ET TECHNO | 22.12.2015 à 11h39 | Par David Larousserie (/journaliste/david-larousserie/)



L'INRA de Bordeaux s'est doté d'une machine unique au monde, le Cavi1000 ou Cavicopter, pour estimer la tolérance au stress hydrique des arbres ou des vignes. Ces derniers peuvent mourir par embolie : des bulles d'air apparaissent dans le liquide circulant dans les vaisseaux (le xylème), bloquant la montée du précieux fluide. Ces bulles sont créées lorsque le fluide est tiraillé entre l'appel transpiratoire au niveau des feuilles et un sol trop sec.

Hervé Cochard, de l'INRA de Clermont-Ferrand, a inventé ces machines au début des années 2000 afin d'accélérer les études sur la résistance à la sécheresse. L'instrument, perfectionné par Sylvain Delzon et Régis Burlett, à Bordeaux, mesure simultanément la pression au cœur du fluide et la conductance hydraulique, en moins d'une demi-heure, contre plusieurs jours avec les techniques précédentes. Des cavitrons existent désormais dans plusieurs laboratoires en Australie, en Allemagne, aux Etats-Unis et en Chine. Grâce à eux, les chercheurs ont passé au crible des centaines d'espèces et ont alerté en 2012 sur les très faibles marges de manœuvre des forêts mondiales en cas de réchauffement climatique. L'équipe de Bordeaux envisage de proposer aux pépiniéristes des échelles indiquant la plus ou moins grande tolérance à la sécheresse de leurs plantes.

INFOGRAPHIE : JACQUES LOURADOUR

SOURCES : SYLVAIN DELZON, RÉGIS BURLETT

Jacques Louradour/"Le Monde"

Sylvain Delzon sur le campus universitaire de Pessac (Gironde). RODOLPHE ESCHER POUR « LE MONDE »

Sylvain Delzon, au chevet des arbres

PORTRAIT | A 38 ans, ce spécialiste des forêts vient d'être sacré « Espoir scientifique » par l'INRA pour ses travaux sur la résistance de la sylve à la sécheresse

DAVID LAROUSSERIE

Au Grand Palais, il est venu sans cravate et sans tracteur. C'était plus facile pour la première option car il n'en porte jamais. Plus dur pour la seconde. *« On m'a dit que vous en possédiez cinq »*, a glissé le secrétaire d'Etat à l'enseignement supérieur et à la recherche, Thierry Mandon, venu remettre à Sylvain Delzon le Laurier « Espoir scientifique » de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), le 8 décembre à Paris.

Le jeune lauréat de 38 ans travaille depuis 2011 pour cet organisme de recherche au sein de l'unité Biogeco, après avoir été enseignant-chercheur à l'université de Bordeaux. C'est un spécialiste, au prénom prédestiné, des… forêts. Plus précisément, il s'intéresse aux effets des changements globaux, dont le réchauffement climatique, sur les arbres. Interdisciplinaire, il qualifie son domaine d'écophysiologie évolutive. « Eco » pour comprendre les écosystèmes, « physiologie » pour l'étude de la résistance à la sécheresse par exemple. Et « évolutive » pour *« tirer du passé des enseignements pour l'avenir »*, comme le résume Antoine Kremer, son mentor sur cet aspect de sa discipline à l'INRA de Bordeaux, lauréat du prix Marcus-Wallenberg en 2006. *« Sylvain a un spectre très large. Il aime travailler aux interfaces entre disciplines »*, souligne son second mentor, Hervé Cochard, également à l'INRA (Clermont-Ferrand), qui l'a initié à la physiologie. *« Il n'aime pas les cases étroites »*, ajoute le chercheur. Ce que confirme un coup d'œil aux larges épaules de cet ancien arrière de rugby de l'équipe junior d'Agen, sa ville natale.

C'est par la physiologie et les caractères de résistance à la sécheresse que sa carrière a débuté, grâce notamment à une invention d'Hervé Cochard, le Cavitron. Cette machine permet de mesurer l'évolution de la conductivité hydraulique des branches d'arbre en fonction du stress hydrique. Lorsque ce dernier est trop fort, la colonne d'eau dans l'arbre « casse », des bulles d'air apparaissent, brisant la circulation du liquide. C'est l'embolie et la mort quasi certaine. Avec cet appareil, on peut, sans tuer les arbres, établir le seuil au-delà duquel le risque de dépérissement est grand.

Dans les sous-sols de son laboratoire bordelais, Sylvain Delzon est fier de présenter le Cavi1000, ou Cavicopter, seule machine au monde à pouvoir mesurer la conductance hydrique de branches d'un mètre de long, idéale pour les vignes. *« Travailler avec les premiers Cavitron était risqué !* se souvient le chercheur. *On mettait des boules Quies pour supporter le bruit de la centrifugeuse. On travaillait même capot ouvert. » « Grâce notamment à Sylvain, le dispositif est devenu plus professionnel. Avec Régis Burlett, il a développé l'analyse automatique d'images et le logiciel d'utilisation »*, rappelle Hervé Cochard. Désormais, en *« quinze minutes, on obtient un résultat pour une branche »*, insiste Sylvain Delzon. En novembre 2012, il cosigne dans *Nature* un article retentissant qui estime que 70 % des arbres de la planète n'ont pas de marges de manœuvre pour résister à d'importantes sécheresses. Ils sont pour la plupart à la limite de l'embolie.

En juin 2015, il mettait la main sur le recordman des arbustes résistants, *Callitris tuberculata*, une espèce de conifère d'Australie. *« Il défie les lois de la physique »*, salue Sylvain Delzon tant le Cavitron a dû tourner à plein régime pour arriver à faire « caviter » le liquide dans ses vaisseaux. Le chercheur met maintenant la dernière touche à un article passant en revue les propriétés de la moitié des conifères de la planète, soit 300 espèces environ, dont les branches ont été « cavitronnées » entre Clermont-Ferrand et Bordeaux depuis un peu moins de dix ans. *« Sylvain a aussi montré qu'il y a peu de variabilité génétique sur ce trait de caractère »*, souligne Hervé Cochard. Ce qui rend notamment caduque l'idée de sélectionner des individus plus résistants que d'autres pour améliorer les populations.

Interdisciplinaire, ce chercheur qualifie son domaine d'écophysiologie évolutive

Voilà pour le travail de laboratoire. Mais le chercheur est aussi un homme de terrain. Et pas seulement lorsque quinze jours par an, en vacances, il s'occupe des moissons dans la ferme familiale du Lot-et-Garonne. *« Je n'en ai pas raté une depuis que je suis en âge de les faire ! »*, confirme l'agriculteur. Sa passion l'a conduit aussi bien sur les pentes des Pyrénées que sur les dunes de la Gironde ou des Landes. Il a ainsi mesuré, en fonction de l'altitude et donc de la température, les dates de débourrement et de jaunissement des feuilles. *« Le gradient d'altitude est l'analogue d'un gradient de température, ce qui a permis d'évaluer l'effet d'une augmentation de température sur la phénologie des arbres. En gros, un degré de réchauffement avance d'une semaine les débourrements »*, résume Antoine Kremer. En Gironde, le sportif et ses étudiants ont monté et descendu plusieurs fois par jour une dune d'une soixantaine de mètres pour mesurer les paramètres physiologiques des chênes verts et pédonculés à différentes hauteurs. Des fouilles dans les archives de l'Office national des forêts (ONF) ont montré que le chêne vert, absent sur cette parcelle il y a un siècle, a progressé au détriment de son cousin pédonculé. *« Ces chênes progressent de 50 mètres par an alors que le climat bouge, lui, de 3 kilomètres par an ! »*, constate Sylvain Delzon. De quoi inquiéter à l'heure de changements climatiques.

Maintenant, avec Antoine Kremer, il s'intéresse à des bois vieux de plus de 10 000 ans pour en étudier l'ADN, mais aussi la structure afin de comprendre les différences entre ces arbres et ceux d'aujourd'hui dans des climats différents. *« Je dois dire que la collaboration avec Sylvain est déjà l'une des plus fructueuses de ma carrière. Il entraîne les gens par son enthousiasme »*, souligne le chercheur. Son jeune collègue rêve d'autres horizons, en Asie pour finir sa collection de conifères « cavitronnés », ou en Guyane pour étudier des bois tropicaux.

Retour au laboratoire, pour une autre activité… révolutionnaire. *« Les chercheurs doivent se réapproprier l'édition de leurs articles ! »*, lance Sylvain Delzon. Il peste, comme il l'a rappelé dans son discours de remise des Lauriers, contre les coûts trop élevés des revues qui ponctionnent les moyens de la recherche. *« Devra-t-on bientôt choisir entre pouvoir lire nos articles et faire de la recherche ? »*, s'interroge le chercheur, qui regrette le prix élevé des abonnements à la littérature scientifique. Avec Hervé Cochard, il est entré en résistance contre ce modèle en lançant une revue en *open access* dont la lecture est gratuite. Il vitupère aussi contre le facteur d'impact, cet indicateur de performance des revues scientifiques qui conduit à privilégier la publication d'articles à fort potentiel.

« Sylvain refuse, pour des questions de méthode, de publier des données que d'autres ont eu moins de scrupules à sortir », se souvient Hervé Cochard. *« C'est quelqu'un de très attachant. Et plein d'humour »*, ajoute-t-il. Les deux compères, amateurs de machines agricoles, signaient ainsi leurs courriels en parodiant une fameuse formule publicitaire à propos d'une marque de montres de luxe : *« A 50 ans, si tu n'as pas de tracteur, tu as raté ta vie. »* A moins de 40 ans, Sylvain Delzon a déjà les tracteurs et les lauriers. ■

Cette impitoyable métarecherche

VIE DES LABOS

HERVÉ MORIN

Quelle bonne résolution pourrait donc prendre un chercheur en biomédecine, en ce début d'année ? Ne publier, dans les revues scientifiques de haut niveau, que des travaux solidement étayés, qui aient de bonnes chances d'être confirmés indépendamment par d'autres équipes à qui on aura clairement exposé le protocole suivi et fourni un accès aux données brutes, sans rien cacher de l'identité des commanditaires et des liens d'intérêts éventuels du chercheur ? Voilà qui, selon une étude publiée dans la revue *PLoS Biology* le 4 janvier, trancherait avec les pratiques actuelles et constituerait un progrès indéniable.

L'analyse faite par une équipe conduite par John Ioannidis (université de Stanford) porte sur un échantillon représentatif de la production des journaux biomédicaux entre 2000 et 2014. D'où il ressort que les vertus cardinales de transparence et de reproductibilité des résultats présentés ne sont pas toujours de mise. Les auteurs ont pour ambition de donner là un « point zéro », une référence qui permettra de mesurer dans les années à venir si divers indicateurs de qualité s'améliorent ou non.

John Ioannidis n'en est pas à son coup d'essai. En 2005, dans *PLoS Medicine*, il avait publié un article ravageur, intitulé « Pourquoi la plupart des découvertes publiées sont fausses ». Il y montrait, à partir de simulations, que les résultats publiés *« pourraient n'être bien souvent que des mesures précises des biais »* induits par la méthode utilisée. Depuis, les travaux s'accumulent pour mesurer l'impact de ces biais et d'autres mauvaises pratiques.

Certains vont jusqu'à considérer que 85 % des investissements dans les sciences biomédicales sont du gaspillage – soit quelque 200 milliards de dollars perdus à l'échelle mondiale en 2010. D'autres que 50 % de la recherche préclinique ne peut être répliquée – pour un coût annuel de 28 milliards de dollars rien que pour les Etats-Unis. Les incessantes affaires de fraude, de revues bidons, de processus de relecture défaillant ou trompeur, la hausse du nombre de rétractations d'article sapent aussi la crédibilité de la science.

« Sensibiliser les acteurs de la science »

L'étude conduite par Ioannidis montre que les marges de progrès sont grandes. Sur les 441 articles biomédicaux analysés sur la période 2000-2014, une seule étude présentait en détail le protocole utilisé, aucune ne permettait un accès direct aux données brutes. Quatre seulement s'attachaient à répliquer des résultats déjà publiés. Un progrès est à noter sur les déclarations d'intérêts, absentes dans 94,4 % des articles en 2000 et dans 34,6 % en 2014 – ce qui reste tout de même *« préoccupant »*, soulignent les auteurs. Les articles relevant de la recherche clinique (essais de traitements) étaient deux fois plus susceptibles que les autres de ne rien dire sur les financements, lesquels provenaient deux fois plus du secteur privé. *« Nous espérons que cette étude va plus encore sensibiliser les scientifiques, les financeurs, les revues et les autres acteurs de la science de la nécessité d'améliorer ces indicateurs »*, concluent les auteurs.

Dans un éditorial, *PLoS Biology* annonce parallèlement qu'il inaugure une nouvelle rubrique consacrée à la *meta-research* – cette recherche sur la recherche qui a fait son apparition ces dernières années dans les grandes revues scientifiques et médicales. *« Elle vise, avec des méthodes issues de l'épidémiologie, à conduire une réflexion quantitative sur le gâchis de la recherche »*, résume l'épidémiologiste Isabelle Boutron (Inserm - université Paris-Descartes), qui a été invitée à faire partie du comité éditorial de *PLoS Biology* pour « muscler » sa nouvelle rubrique.

La métarecherche *« a le vent en poupe »*, souligne la chercheuse : la Commission européenne vient par exemple d'accorder 3,8 millions d'euros pour financer une quinzaine de thèses sur le sujet. Le « gâchis de la recherche » mériterait de faire l'objet d'un enseignement pluridisciplinaire auprès des futurs chercheurs, indique-t-elle. Car au-delà du diagnostic, sévère, la métarecherche commence à proposer des solutions – comme des aides à la rédaction d'articles plus transparents. Outils évalués, comme il se doit, scientifiquement, pour éviter d'ajouter du gâchis au gâchis. ■

POURQUOI TANT DE HAINE ENVERS LES RICHES ?
CULTURE & IDÉES – SUPPLÉMENT

RECORD DE VITESSE À LA VOILE EN **KITESURF**
SPORT & FORME – SUPPLÉMENT

La scientifique de l'année, les réformes de la recherche
SCIENCE & TECHNO – SUPPLÉMENT

Le Monde WEEK-END

Samedi 24 novembre 2012 - 68e année - N°21103 - 3,50 € - France métropolitaine - www.lemonde.fr —
Fondateur : Hubert Beuve-Méry - Directeur : Erik Izraelewicz

A l'UMP : Juppé en arbitre, Sarkozy reste dans le jeu

- Le maire de Bordeaux obtient un fragile cessez-le-feu entre M. Copé et M. Fillon
- Le conflit pour la présidence de l'UMP favorise ceux qui n'ont pas pris position
- Nicolas Sarkozy échappe à une mise en examen dans l'affaire Bettencourt

Jeudi soir 22 novembre, à l'issue d'une nouvelle journée rocambolesque, Alain Juppé, cofondateur de l'UMP en 2002, est devenu l'homme providentiel d'un parti politique en décomposition avancée. L'ancien ministre des affaires étrangères de Nicolas Sarkozy présidera une instance collégiale afin de réexaminer les résultats du vote et rendra ses conclusions sous quinze jours.

La journée a par ailleurs été clôturée par une autre bonne nouvelle pour l'UMP : Nicolas Sarkozy a quitté le palais de justice de Bordeaux après douze heures d'interrogatoire dans l'enquête Bettencourt sans avoir été mis en examen. Son statut de témoin assisté signifie que les indices qui suggèrent qu'il aurait participé à une infraction ne sont ni graves ni concordants. Il conserve ainsi une marge de manœuvre pour intervenir dans la bataille de l'UMP, dont il n'a cessé d'appeler les protagonistes ces derniers jours.

LIRE PAGES 8, 10 et 12

DEUX ARBRES SUR TROIS POURRAIENT MOURIR

- La revue « Nature » publie une vaste étude scientifique qui révèle qu'un dessèchement fatal menace 70 % des arbres de la planète
- Toutes les espèces sous tous les climats sont concernées
- Le réchauffement s'en trouvera accéléré

LIRE PAGES 2-3

DOCTEUR HERVÉ COCHARD/INRA

VOTRE MAGAZINE
+ TROIS SUPPLÉMENTS

Ces parents qui n'existent pas
Enquête sur l'autre, celui qui dans le couple gay n'a aucun droit vis-à-vis de l'enfant

M
LE MAGAZINE DU « MONDE »
UNIQUEMENT EN FRANCE MÉTROPOLITAINE, EN BELGIQUE ET AU LUXEMBOURG

AUJOURD'HUI

Barcelone va-t-elle divorcer de Madrid ?
L'indépendance est au cœur des élections régionales qui se tiennent ce dimanche en Catalogne. La coalition de droite, en tête des sondages, promet un référendum dans les deux ans.
INTERNATIONAL – PAGE 4
DÉBATS – PAGE 17

Désaccord à Bruxelles sur le budget européen
Le sommet des chefs d'Etat et de gouvernement s'orientait, vendredi 23 novembre, vers un échec. L'enjeu des négociations est la maîtrise de l'enveloppe communautaire pour les années 2014-2020.
INTERNATIONAL – PAGE 6

M. Montebourg veut nationaliser temporairement le site de Florange
Le gouvernement a huit jours pour trouver un repreneur pour les hauts-fourneaux d'ArcelorMittal en Moselle. Le sidérurgiste rappelle qu'il emploie 20000 personnes en France.
ÉCONOMIE – PAGES 14 ET 16

LE MONDE HISTOIRE

L'Egypte, de Nasser au « printemps arabe »
Le nouveau volume de notre série « Comprendre un monde qui change », disponible chez votre marchand de journaux.
PRIX DE VENTE : 6,90 EUROS

CULTURE & STYLES

La soif de comprendre, nouveau créneau du business culturel
Assises, forums, rencontres : partout en France les « agoras d'idées » drainent un public de plus en plus nombreux. Cela n'a pas échappé aux médias en quête de diversification pour leurs contenus. LIRE PAGE 20

Manuel Bravo, géant mexicain de la photo
Une rétrospective lui rend hommage au Jeu de paume, à Paris. LIRE PAGE 21

A Gaza, une « pax egyptiana »

Les quatre premiers jours de la bataille de Gaza, les Grands n'étaient pas là. L'aviation et la marine israéliennes bombardaient sans relâche le territoire palestinien, d'où les groupes islamistes tiraient à répétition des centaines de roquettes sur leur voisin du nord. Les Grands étaient aux abonnés absents.

Américains, Russes, Européens, enfin ceux qui prétendent habituellement pouvoir peser sur le cours des événements dans cette partie du monde, étaient passifs. Quant aux fameuses puissances émergentes – Brésil, Chine, Inde, etc. –, celles qui sont censées prendre le relais, elles avaient moins à dire encore. Elles n'existaient pas.

Un seul pays s'est activé dès le début à obtenir au plus vite l'arrêt des combats : l'Egypte. Et un seul homme a occupé le devant de la scène : le nouveau raïs égyptien, Mohamed Morsi.

On n'était plus habitué aux initiatives diplomatiques venues du Caire. Du temps d'Hosni Moubarak, le plus peuplé des pays arabes, celui qui fut longtemps la grande puissance régionale, s'était endormi – replié sur ces innombrables problèmes intérieurs, ayant fait la paix avec Israël, aligné sur la politique américaine.

Depuis la chute du régime de Saddam Hussein en Irak, le chef de file du monde arabe sunnite était l'Arabie saoudite. L'Egypte semble aujourd'hui s'être réveillée. Si elle se confirme, c'est une évolution importante.

Dès les premiers échanges de tirs entre Gaza et Israël, M. Morsi dépêche Hicham Kandil, son premier ministre, dans le territoire palestinien. Il n'y a pas d'envoyé spécial américain, russe ou européen (*« Hello Lady Ashton, are you at the office ? »*) – la secrétaire d'Etat, Hillary Clinton, ne se rendra au Caire que cinq jours plus tard ; mais il y a une initiative égyptienne appuyée par la Turquie et le Qatar.

Barack Obama inaugure au même moment son deuxième mandat par une tournée en Asie. Il aimerait tant ne plus avoir à s'occuper de cette région maudite qu'est le Proche-Orient. Mais il est rattrapé par le désespérant conflit israélo-palestinien.

Au bout d'une petite semaine de combats, le président américain s'implique et son interlocuteur privilégié sera M. Morsi. L'ancien apparatchik des Frères musulmans, premier islamiste et premier civil élu à la tête de l'Egypte, s'est imposé.

Il tient une ligne difficile. Il a une relation privilégiée avec le Hamas – version palestinienne des Frères –, mais il s'est engagé à respecter le traité de paix conclu en 1979 entre l'Egypte et Israël. Il a un besoin urgent des Etats-Unis sur le plan économique, mais il doit tenir compte d'une opinion publique de plus en plus anti-israélienne.

L'ancien docteur en science de l'université de Californie du Sud a noué une bonne relation avec Mme Clinton ; l'ancien hiérarque des Frères musulmans est tout aussi à l'aise avec les chefs du Hamas. En août, il a pris ses distances avec Washington en se rendant en Iran. Mais il a surpris tout le monde à Téhéran en dénonçant la politique iranienne au Proche-Orient.

Pragmatisme et indépendance : voilà un homme qui, sous ses costumes cravate les plus anodins, pourrait cacher un politique inattendu. M. Obama a salué sa médiation à Gaza. Il ne faudrait pas que Mohamed Morsi gâche ce succès – le retour de l'Egypte sur la scène proche-orientale – en se comportant chez lui en autocrate. ■

ÉDITORIAL

LIRE NOS INFORMATIONS PAGE 5

UK price £1,70
M 00146 - 1124 - F: 3,50 €

Algérie 150 DA, Allemagne 2,20 €, Antilles-Guyane 2,00 €, Autriche 2,40 €, Belgique 3,50 €, Cameroun 1 600 F CFA, Canada 4,25 $, Côte d'Ivoire 1 600 F CFA, Croatie 18,50 Kn, Danemark 28 KRD, Espagne 2,00 €, Finlande 2,80 €, Gabon 1 600 F CFA, Grande-Bretagne 1,70 £, Grèce 2,20 €, Hongrie 750 HUF, Irlande 2,00 €, Italie 2,20 €, Luxembourg 3,50 €, Malte 2,50 €, Maroc 12 DH, Norvège 28 KRN, Pays-Bas 2,20 €, Portugal cont. 2,00 €, Réunion 2,00 €, Sénégal 1 600 F CFA, Slovénie 2,20 €, Suède 35 KRS, Suisse 3,20 CHF, TOM Avion 380 XPF, Tunisie 2,00 DT, Turquie 6,50 TL, USA 3,95 $, Afrique CFA autres 1 600 F CFA.

Les deux tiers des arbres dans le monde

Les forêts sont beaucoup plus vulnérables à la sécheresse que les scientifiques ne le pensaient : 70 % des espèces sont à

Les forêts, poumons de la Terre, sont menacées de dépérissement. Les arbres se montrent beaucoup plus vulnérables à la sécheresse que ce que les scientifiques imaginaient. Quand ils manquent d'eau, ils font des embolies : des bulles d'air obstruent les vaisseaux de transport de la précieuse sève des racines à leurs cimes. Un dessèchement fatal les guette. Toutes les espèces sont concernées : feuillus ou conifères. Tous les climats également : humides ou secs.

Pour la première fois, une vaste étude internationale jette un regard global sur ce phénomène. Sur plus de 220 espèces réparties dans 80 régions aux climats variés, leurs conclusions, publiées en ligne dans la revue *Nature* le 21 novembre, pointent une vulnérabilité alarmante pour l'avenir des écosystèmes.

Environ 70 % des arbres étudiés seraient sur le fil du rasoir, fonctionnant à la limite de l'embolie. Leurs marges de manœuvre sont étroites, qu'ils poussent en zone tropicale, en zone tempérée ou en zone de type méditerranéen. *« Tous les arbres et toutes les forêts du globe vivent en permanence à la limite de leur rupture hydraulique. Il y a donc une convergence fonctionnelle globale de la réponse de ces écosystèmes à la sécheresse »*, résume Hervé Cochard, chercheur à l'Inra, à Clermont-Ferrand, et coauteur de l'étude pilotée par Brendan Choat, de l'université Western Sydney (Australie), et Steven Jansen, de l'université d'Ulm (Allemagne).

Une mortalité accrue des arbres fait planer sur les écosystèmes une menace non prise en compte dans les scénarios climatiques

Cette découverte étonnante conduit à envisager des scénarios catastrophe, sur lesquels les chercheurs ne se prononcent pas : les évolutions prévues du climat devraient être marquées par des épisodes de sécheresse plus fréquents. Une mortalité accrue des arbres fait planer sur les écosystèmes une nouvelle menace, non prise en compte actuellement dans les scénarios climatiques.

Pour aboutir à ces constats, les chercheurs se sont transformés en plombiers de la biosphère, afin de sonder l'état de santé des systèmes vasculaires de transport du liquide nutritionnel chez les plantes. La probabilité d'apparition de bulles d'air dans la sève augmente si l'arbre est contraint d'aspirer plus fort la sève dans ses ramifications. C'est ce qui arrive en cas de fortes chaleurs, qui augmentent la transpiration de l'arbre, ou lors d'une carence en eau, qui oblige la plante à pomper intensément.

Ce phénomène d'embolie ou de cavitation a été mesuré dans les années 1960 en utilisant des microphones enregistrant l'éclatement de ces bulles. Depuis, les techniques ont été perfectionnées et les chercheurs sont capables de mesurer à partir de quelle pression dans la sève la conduction hydraulique est diminuée de moitié par la formation de bulles. Ce seuil de vulnérabilité est ensuite comparé à la pression de sève, mesurée in situ pour différentes espèces.

Mauvaise surprise, les scientifiques ont découvert que cette différence est finalement faible pour la majorité des espèces recensées. *« Que les forêts de type méditerranéens, soumises à des sécheresses, soient proches de ce seuil n'est sans doute pas étonnant. Mais même les forêts tropicales ont peu de marge de manœuvre »*, constate Hervé Cochard.

« J'ai pu récemment observer en Guyane que la saison sèche, particulièrement aride cette année, a causé des dégâts. Les plantes pourront sans doute s'en sortir, mais que se passera-t-il si ces épisodes se multiplient ? », s'interroge Jérôme Chave, du laboratoire Evolution et diversité biologique du CNRS, à Toulouse.

En 2010, dans la revue *Forest Ecology and Management*, une autre équipe avait alerté sur le nombre inquiétant de forêts affaiblies par la sécheresse. Les 88 zones recensées depuis 1970 n'étaient pas toutes en zone aride et leur nombre était en augmentation.

« La tendance à la hausse se poursuit. En vingt ans, les superficies connaissant un dépérissement des forêts ont été multipliées par quatre. Dans l'Ouest canadien, c'est une zone équivalente à la forêt française qui est dans ce cas », précise Michel Vennetier, de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, à Aix-en-Provence, coauteur de l'étude de 2010. Le chef de cette équipe, Craig Allen, plaide d'ailleurs pour un observatoire mondial du dépérissement des forêts, trop de zones, comme la Russie, restant hors des radars faute de données fiables.

« Il est un peu exagéré de faire des problèmes d'embolie la cause unique des dépérissements et mortalité des arbres. D'autres causes existent », note Hendrik Davi, de l'Inra à Avignon. Les arbres peuvent, par exemple, également « mourir de faim » suite à une sécheresse, et pas seulement de soif.

Le premier réflexe d'un arbre soumis à un stress hydrique ou de température est de fermer les organes qui lui permettent d'échanger avec l'extérieur, les stomates. Cela pour éviter la transpiration. Mais ce faisant, le CO_2 n'est plus absorbé et la photosynthèse ne peut plus produire les sucres nécessaires à la croissance. Celle-ci ralentit. L'arbre puise alors dans ses réserves, jusqu'à l'épuisement et éventuellement la mort.

La fin peut être accélérée par l'arrivée d'insectes, comme les scolytes, qui profitent de cet affaiblissement du végétal pour le coloniser.

La fin peut être accélérée par l'arrivée d'insectes, qui profitent de l'affaiblissement du végétal pour le coloniser

Les « légistes » ont donc souvent du mal à identifier une cause unique lors d'un décès. *« Au minimum, ce phénomène de cavitation est un facteur déclenchant. Le seuil que nous avons estimé est aussi le seul trait physiologique pour lequel nous ayons une vision globale »*, indique Hervé Cochard.

Son équipe a constaté que les arbres ont des capacités d'adaptation. Ainsi, selon leurs estimations, 40 % des feuillus vivent au-dessus du seuil d'embolie, alors que seuls 6 % des conifères en sont capables. Ce qui prouve que des stratégies de résistance existent. Mais leurs mécanismes ne sont pas encore compris, et les auteurs notent que *« ces réparations ne peuvent fonctionner que si les périodes de sécheresse sont suivies de précipitations suffisantes pour revenir à la normale »*.

« En Provence, les années suivant la canicule de 2003 ont également été très sèches, et nous avons constaté des mortalités importantes sur les pins sylvestres, les sapins et les chênes-lièges quelques années après », rappelle Michel Vennetier.

« C'est important pour nous de disposer de données physiologiques mondiales. Nous pourrons ainsi les intégrer dans nos modèles climatiques tenant compte de la végétation et faire le lien entre les échelles globales et locales. Mais il est trop tôt pour se prononcer sur les conséquences de la découverte de ces risques d'embolie », estime Nicolas Viovy, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA-CNRS-université de Versailles-Saint-Quentin), spécialiste de ces questions de modélisation. ■

David Larousserie

Le tronc d'un hêtre mort à Peaston, en Ecosse (Royaume-Uni), en août 2006. HERVÉ COCHARD/INRA CLERMONT FERRAND

Les indégivrables Xavier Gorce

« Ces puits de carbone sont un enjeu majeur pour le climat »

Entretien

La concentration de carbone dans l'atmosphère a atteint un nouveau record en 2011, selon les chiffres publiés, mardi 20 novembre, par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le rôle de séquestration joué par les océans et les forêts apparaît d'autant plus précieux dans la lutte contre le changement climatique. Mais il est fragile, comme le montre l'étude publiée par *Nature*, consacrée à la mortalité des arbres. Une vulnérabilité que les modèles climatiques ne prennent pas en compte explique Jérôme Chave, directeur de recherche au CNRS.

Connaît-on avec précision le rôle que jouent les forêts ?

La réponse des forêts au changement climatique est un enjeu majeur, car elles ont jusqu'à présent joué un rôle d'amortisseur. Les données dont nous disposons ne sont pas très précises. Les plus récentes montrent que la moitié des émissions de carbone dans l'atmosphère sont absorbées par les océans, l'autre moitié par les terres émergées. En revanche, ce sont de loin les forêts – par la photosynthèse des arbres – qui jouent un rôle primordial à la surface de la Terre. Savoir quel type de forêt stocke davantage de carbone est une question plus délicate.

Dans les forêts tempérées, exploitées depuis longtemps, la séquestration se produit à travers la régénération des massifs. Cela prend des décennies.

Dans les zones tropicales, le phénomène est très différent. Ces forêts sont très anciennes et sont sur l'essentiel de leurs superficies en situation d'équilibre. Ont-elles encore la capacité de « manger » du carbone au fur et à mesure que la concentration de CO_2 dans l'atmosphère augmente ? Les observations faites sur des parcelles dans les trois bassins tropicaux du monde montrent, jusqu'à présent, que oui.

Cette capacité de stockage a-t-elle une limite ?

Oui, car à côté de ces observations de terrain les travaux théoriques de modélisation montrent que cette activité de stockage ne fonctionne plus au-delà d'une limite établie à une concentration de CO_2 dans l'atmosphère de 600 parties par million *[ppm]*. Au-delà, pour les arbres, c'est une forme d'indigestion qui semble se produire. La concentration actuelle est proche de 400 ppm *[l'augmentation au cours de la dernière décennie a été de 2 ppm par an]*. Ces puits de carbone sont donc temporaires.

Pour l'instant, ces « puits » semblent-ils davantage menacés par les sécheresses récurrentes ?

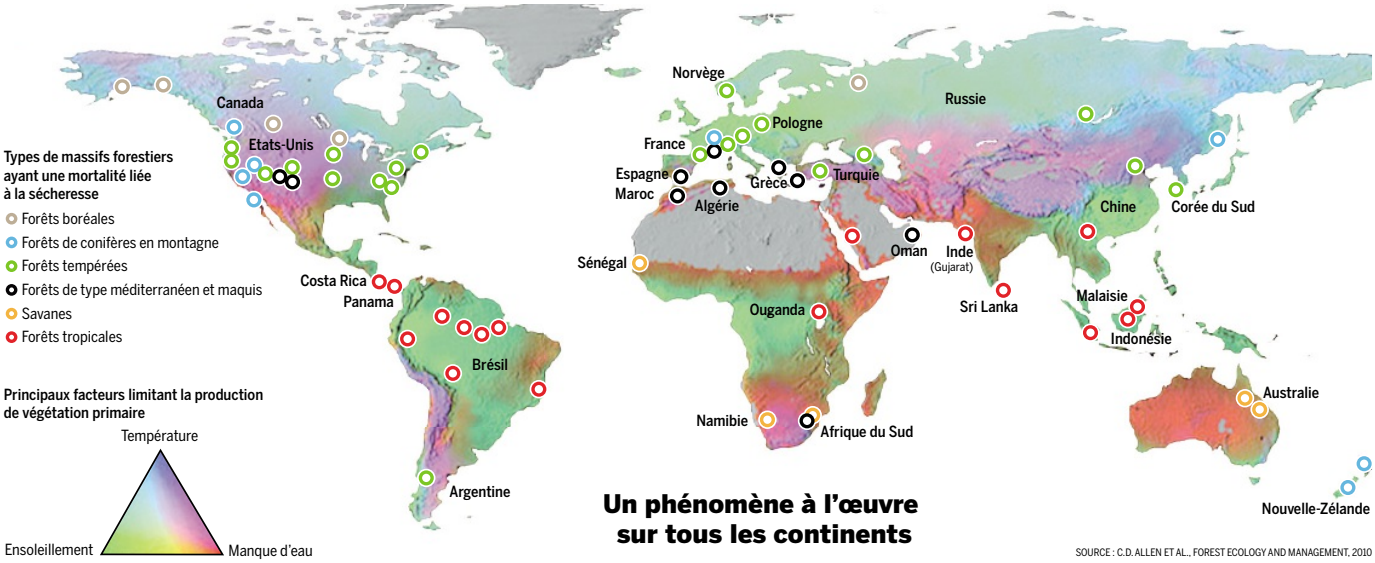
Nous avons constaté la vulnérabilité des forêts tropicales à des changements radicaux comme les sécheresses. Leurs mécanismes de résistance sont limités. Les plantes peuvent constituer des réserves, mais si les épisodes de sécheresse se prolongent trop longtemps, elles finissent par mourir de faim. Ce risque de famine est maintenant mieux pris en compte par les modèles climatiques.

En revanche, l'autre conséquence des sécheresses – une mortalité massive des arbres par embolie –, décrite par l'étude publiée dans *Nature*, n'est pas prise en compte. Ce dysfonctionnement du système hydraulique des plantes peut rendre les forêts beaucoup plus fragiles qu'on ne le pensait. Les scénarios sur lesquels discutent les gouvernements dans le cadre des négociations climatiques sont donc certainement trop optimistes. ■

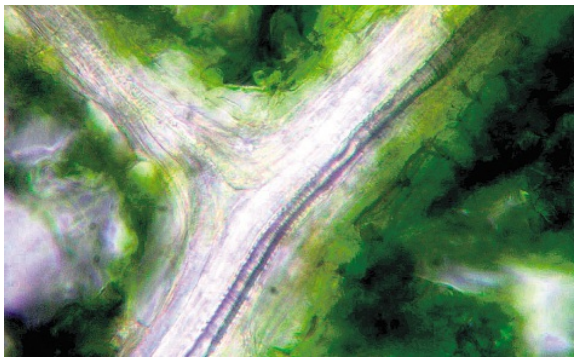
Propos recueillis par Laurence Caramel

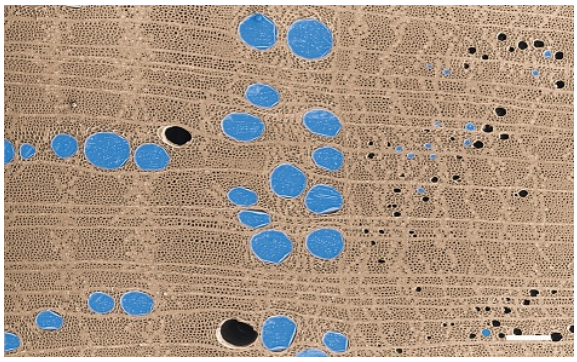
sont menacés de dépérissement

la limite de l'embolie, selon une étude scientifique publiée par « Nature »



SOURCE : C.D. ALLEN ET AL., FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 2010





A gauche, coupe d'une feuille de noyer dont une nervure (le fin « tube » assombri) est embolisée par une bulle d'air.
HERVÉ COCHARD/INRA

A droite, tronc de cerisier, vue en microscopie électronique, dont des vaisseaux sont emplis d'air (en noir) ou d'eau (en bleu).
YUZON SONO (HOKKAIDO UNIVERSITY)

En Lorraine, les scientifiques au secours du chêne pédonculé

Reportage

Champenoux (Meurthe et Moselle)
Envoyé spécial

Le laboratoire de recherche de Nathalie Breda est au cœur de la forêt de Champenoux, à quelques kilomètres au sud-est de Nancy. La scientifique de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) veille sur les chênes du massif lorrain, les observe, épie comment ils tentent de s'adapter aux épisodes de sécheresse qui mettent à mal leur système hydraulique et leur font faire des embolies : *« Globalement, nous étudions la réponse de la forêt au climat, qu'il s'agisse du gel, de la sécheresse, de l'excès d'eau,* explique la directrice de recherches à l'UMR écologie et écophysiologie forestière, à l'INRA de Nancy-Champenoux. *Mais aussi l'influence de leur environnement comme la qualité des sols, par exemple, ou la sylviculture. Quelles en seront les conséquences sur la croissance des arbres, leur dépérissement ou leurs modes d'adaptation ? »*

En ce mois de novembre, la forêt de Champenoux est somptueuse. Ses arbres pénètrent largement dans le campus où travaillent les chercheurs qui circulent sur des passerelles.

Le site de l'INRA, né de l'Ecole nationale des eaux et forêts de Nancy créée en 1882, fait partie d'un programme mondial d'étude des flux d'eau et de carbone. Car les arbres transpirent : ils ont un système vasculaire qui transporte chaque jour des centaines de litres d'eau, et c'est par des « pores » comme ceux de notre peau – les stomates – situés à la surface des troncs et des feuilles que l'eau s'échappe. Grâce à cette transpiration, les arbres régulent leur température. Et c'est aussi par les stomates que les arbres absorbent le CO_2.

> On pourrait croire la forêt lorraine à l'abri des sécheresses, mais c'est une erreur

On pourrait croire la forêt lorraine à l'abri des sécheresses, mais c'est une erreur. Les épisodes caniculaires de 1976, 1990, 1991, et plus près de nous de 2003 et 2006, ont laissé des traces. *« Quand les sécheresses sont longues et répétées, elles peuvent affecter l'équilibre de l'arbre car ils perturbent son système hydraulique fonctionnel,* indique Nathalie Breda. *C'est comme une thrombose, avec apparition de bulles d'air. On voit alors des cimes d'arbres ou des petites branches complètement desséchées. »*

L'exemple du chêne en Lorraine illustre parfaitement cette problématique. *« Nous avons deux espèces de chênes dans la région, le chêne sessile et le chêne pédonculé. Les forestiers préfèrent le second car il pousse plus vite dans son jeune âge. Mais il est le plus sensible à la sécheresse. Nous avons ainsi constaté que les chênes pédonculés du Pays des Etangs, près de Sarrebourg ont été fortement fragilisés par la canicule de 2003. Et ont ensuite subi des attaques de chenilles processionnaires. La forêt est désormais fragilisée ».*

Cette exposition des arbres aux aléas climatique, Nathalie Breda l'a éprouvée dès 1992. A l'époque, elle grimpait dans les arbres de la forêt de Champenoux où avait été installée une sorte de toit pour provoquer une sécheresse artificielle. *« J'allais mesurer les taux d'ouverture des stomates ! Ça permet d'évaluer la transpiration de l'arbre et voir la dynamique de récupération. Tous les arbres, d'une même espèce, dans une même parcelle ne récupéraient pas de la même manière après les sécheresses qui les avaient frappés. Certains avaient été embolisés dans les parties terminales, d'autres étaient résilients... »*

Les études menées par l'INRA ont permis d'établir que quand la capacité de « vascularisation » d'un chêne est perturbée par la sécheresse, puis les chenilles, bien souvent il n'y a pas de production d'anneau de croissance. L'arbre affaibli est alors exposé aux pathologies secondaire : champignons ou saprophytes qui mangent le bois.

Comprendre comment et pourquoi les arbres dépérissent est un enjeu scientifique, écologique et économique. Car les conceptions scientifiques ne sont pas toujours celles des sylviculteurs.

Les études menées permettent une meilleure connaissance des écosystèmes forestiers et deviennent une source précieuse d'information pour les gestionnaires de la forêt. Ils ont tout à fait conscience qu'ils seront confrontés dans l'avenir à des épisodes de sécheresse plus fréquents, plus longs et plus sévères. Et qu'il faut tenter de sauver ce qui l'est.

Des pistes sont lancées. Comme, par exemple, la réduction du nombre d'arbres par parcelle pour diminuer quantitativement le feuillage, et donc la demande en eau. Ou encore un plus grand mix des essences, ou l'amélioration de la nutrition des arbres. Les forêts vosgiennes, qui poussent sur un sol acide vont ainsi bientôt recevoir un apport calco-magnésien par voie aérienne. ■

Monique Raux

80 %

C'est le taux de mortalité maximum de pins sylvestres, constaté dans le massif des Alpes du Sud et en Provence de 2003 à 2008, à la suite de la canicule de 2003, selon l'étude de Craig Allen et al., publiée en 2010 dans *Forest Ecology and Management*.