

SCIENCE & VIE

NOVEMBRE 2015 N° 1178  MONDADORI FRANCE

DOSSIER SPÉCIAL

80 PAGES

TOUT CE QUI VA CHANGER



CLIMAT

LE TOUR DE FRANCE DES RÉGIONS

France métro: 4,80 € - D: 6,90 € - BEL: 4,95 € - ESP: 5 €
GR: 5 € - DOM: surr: 5 € - DOM: avion: 6,90 € - ITA: 5 € - LUX: 4,95 €
PORT CONT: 3 € - CAN: 6,95 \$ CAN - MAR: 65 DH
TOMS: 750 CFP - TOMA: 1400 CFP - CH: 8,5 PS - TUN: 11 DTU

M 02578 - 1178S - F: 4,80 € - RD



Renault KADJAR

Vivez plus fort.



Système Easy Park Assist*
Boîte automatique EDC à double embrayage*
Projecteurs avant Full LED Pure Vision*

Réservez votre essai au **3023**
APPEL GRATUIT

* Disponible de série ou en option selon version. **Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 3,8/5,8.**
Émissions CO₂ min/max (g/km) : 99/130. Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.

Renault recommande **elf**



RENAULT

La vie, avec passion





Le soleil éclaire maintenant le jour et la nuit

Avec ENGIE, l'énergie est maintenant plurielle.

Premier acteur du solaire en France, ENGIE développe des solutions plus respectueuses de l'environnement pour favoriser **la transition énergétique**.

engie.com

L'énergie est notre avenir, économisons-la !



Alors que doit débiter à Paris, début décembre, la Conférence pour le climat, le sujet est dans toutes les têtes – selon un sondage réalisé cet été par l'Ifop, 76 % des Français estiment que le réchauffement est une “menace sérieuse” pour eux et leur mode de vie. Mais concrètement ? Comment ce changement global va-t-il

Chaque région aura ses défis

se traduire au niveau local ? A quoi ressembleront nos régions en 2050 ? En 2100 ? *Science & Vie* s'est lancé dans une vaste enquête, interrogeant plus de 170 scientifiques – climatologues, physiciens, océanologues, mais aussi spécialistes de l'économie, des sols, des bâtiments... Du vin de bordeaux à la pêche en Bretagne et des neiges alpines à la betterave du Nord ou les cigognes d'Alsace, voici 66 défis – menaces ou opportunités – qui interrogent l'identité de nos territoires. Comme une plongée dans l'âme d'un pays appelé à réinventer ses paysages et ses traditions. **S&V**

FORD MOTOR COMPANY PRÉSENTE



Consommations mixtes (l/100 km) : 8,0/13,5. Rejets de CO₂ (g/km) : 179/299 (données homologuées conformément à la Directive 80/1268/EEC amendée).
Ford France, 34, rue de la Croix de Fer - 78122 St-Germain-en-Laye Cedex. SIREN 425 127 362 RCS Versailles.

ford.fr



La Ford Mustang est en France.



Go Further

16

[illegible]

actus equivoco

28



46



CLIMAT

Le tour de France des régions

ÎLE-DE-FRANCE	52
RHÔNE-ALPES	62
CENTRE	74
NORD-EST	82
SUD-EST	94
SUD-OUEST	104
GRAND OUEST	114
DOM-TOM	124

Nul ne l'ignore : la planète se réchauffe. La planète, d'accord ; mais en France ? Concrètement ? Si les prévisions d'une hausse des températures se vérifient, que se passera-t-il... en Bretagne ? Dans les Alpes ? A Paris ? Dans le Nord et l'Est ? Le long du pourtour méditerranéen ? ... Région par région, notre rédaction s'est mobilisée pour recenser tous les effets attendus du réchauffement, au cas par cas. A la clé ? Tout ce qui risque de changer localement, dans tous les secteurs, où que l'on habite en France. De quoi savoir à quoi s'attendre et anticiper l'avenir. Car une chose est sûre : des défis vont se poser.

DOSSIER RÉALISÉ PAR VINCENT NOUYRIGAT
AVEC PIERRE-YVES BOGQUET, THOMAS CAVAILLÉ-FOL,
FIORENZA GRACCI, ANGÉLIQUE LE TOUZE, ALEXANDRA PIHEN,
YVES SCIAMA, CAROLINE TOURBE
ILLUSTRATIONS YANNICK MONGET (VUES D'ARTISTE),
BRUNO BOURGEOIS (CARTES) ET MIKO KONTENTE (INFOGRAPHIES)

NOVEMBRE | 2015 | **SV** | 41

132

Le mystère
des mondes
intraterrestres

[illegible]

138

DE L'EAU SUR MARS!

► Pourquoi le doute n'est plus permis
► Ce que cela change

Cette fois, c'est sûr. Fin septembre, la Nasa a annoncé la présence d'écoulements d'eau le long de quatre cratères de Mars. Une eau qui, pour être hyper salée, met fin à une très longue quête. Surtout, elle pose plein de nouvelles questions. **George Brainerd** et **Mathieu**
Bruneau remontent l'évolution en perspective

SCIENCE & VIE 8, rue François Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél.: 01 46 48 48 48 Fax: 01 46 48 48 67
E mail: symens@mondadori.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 145.** Pour commander d'anciens numéros, rendez vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com. Un encart Abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro France Métropolitaine / Suisse / Belgique.

Un catalogue Boutique Science & Vie est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.

Un encart Science & Vie Voyages est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.

10 Forum

Actus

16 Labos

Homo naledi enrichit la famille humaine; une particule à 5 quarks a été détectée; pour la première fois, un trou noir double se dévoile...

28 Environnement

Les fourmis ont leur atlas mondial; l'Arctique ne serait finalement pas une bombe climatique...

34 Médecine

Le cerveau des prématurés se développe plus tôt; un antidiabétique semble guérir un cancer incurable...

40 Technos

Le premier textile vraiment "intelligent" voit le jour; on a imprimé en 3D du verre transparent!

A la Une

46 CLIMAT

Le tour de France des régions

52 Ile-de-France

Face aux canicules, Paris va devoir se réinventer; des maladies tropicales sont déjà signalées; les façades historiques vont souffrir; rails et routes risquent de mal supporter la chaleur...

62 Rhône-Alpes

La fin de la neige est programmée; le Rhône va rester une ressource fiable; les sommets vont devenir inaccessibles; le nouvel éden des vaches; les glaciers en voie de disparition...

74 Centre

L'idée de cultiver le blé à l'ombre est à l'étude; le gros gibier va proliférer; le chêne risque de disparaître; le poulet pourrait perdre ses plumes; les vitraux de Chartres risquent de souffrir...

82 Nord-Est

Les inondations sont vouées à devenir un problème majeur; la betterave à sucre va bien profiter de la chaleur; vers de nouvelles espèces de faune et de flore; la pollution va s'amplifier...

94 Sud-Est

La guerre de l'eau aura-t-elle lieu? Des poissons différents... et moins nombreux; les colères du ciel toujours menaçantes; en Camargue, la tentation de l'abandon...

104 Sud-Ouest

Menace sur les crus de bordeaux; Lacanau ne pourra pas résister à l'océan; le sorgho à la place du maïs; le chikungunya risque de s'installer; l'art pariétal fragilisé...

114 Grand Ouest

Poissons et coquillages exotiques vont changer la donne; la Bretagne pourrait devenir un pays viticole; le porc industriel devra s'adapter à la chaleur; le marais poitevin menacé...

124 DOM-TOM

A la Réunion, la canne à sucre se prépare déjà à se reconvertir dans l'électricité; en Nouvelle-Calédonie, les coraux vont encore souffrir; Tahiti va devoir se mobiliser pour ses huîtres perlières...

Science & découvertes

132 Microbiologie

Le mystère des mondes intraterrestres

135 Cognition

ADN de la pieuvre: il révèle une autre histoire de l'intelligence

138 Astrophysique

De l'eau sur Mars!

- Pourquoi le doute n'est plus permis
- Ce que cela change

Culture science

146 Bon à savoir

148 Questions/Réponses

152 A voir / à lire

154 Technofolies

160 Il y a... 100 ans: Albert Einstein publie "La relativité générale"

Forum

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

Fruit ou légume, un dilemme vraiment quantique

Votre dossier "On pense tous quantique" d'octobre fait référence à une expérience (déterminer si un champignon est un fruit ou un légume) qui aboutit à voir dans l'ambiguïté du classement du champignon un phénomène quantique. Mais il ne s'agit jamais que d'une ambiguïté sémantique. Un aliment peut être à la fois fruit et légume, puisque la défini-

tion même d'un légume est "nom générique de toute les plantes potagères dont certaines parties (feuille, racine, tubercule, bulbe, fruit, graine, fleur, tige) peuvent entrer dans l'alimentation humaine".

René Rouet, Fontenay-le-Comte (85)

SV Vous avez raison : par définition, un légume peut être un fruit. Mais cela n'in-



valide pas l'explication quantique, seule à rendre compte des résultats de l'expérience que nous rapportons : aucune des personnes testées ne considère

que le champignon est un fruit puisque 50 % d'entre elles pensent que c'est un légume... et 90 % que c'est un fruit ou un légume. Un résultat incompatible avec les règles de probabilités classiques. D'autres tests, indépendants des notions de fruit et de légume, donnent d'ailleurs des résultats tout aussi... quantiques. Le mot "ail" est considéré comme appartenant à la catégorie "nourriture" à 95 % et à 70 % à la catégorie "plante", mais à 79 % à la catégorie "plante comestible"... ce dont rend compte la théorie quantique, mais pas les règles de probabilités classiques qui fixent cette dernière valeur à 70 %.

“ Je bondis de lire dans vos Actus que c'est "pour se protéger que la moultarde pique autant". La nature n'a pas de but. Ce type de phrase à consonance finaliste empêche de comprendre la théorie de l'évolution. ”

Cécile Astier, Angers (49)

Techniques véhicules du futur

Voiture volante

Encore raté ?

Séparées à la naissance, aviation et automobile pourraient-elles être réunies dans une machine hybride ? Tandis que l'un des prototypes les plus avancés vient de s'envoler lors d'un vol d'essai, Frédéric Lert fait le point sur les dernières tentatives pour réunir le vol et les roues.

Les deux domaines, l'aviation et l'automobile, ont longtemps évolué séparément. Mais aujourd'hui, les ingénieurs cherchent à les réunir dans une seule machine : la voiture volante. Le projet est ambitieux, mais les progrès sont constants. En 2015, le Carplane, développé par la société allemande Aeromobil, a effectué son premier vol d'essai. Il s'agit d'une voiture à quatre roues qui peut se transformer en avion en quelques minutes. Le prototype est équipé d'un moteur à combustion interne et d'un système de propulsion électrique. Il peut voler à une altitude de 1000 mètres et à une vitesse de 100 km/h. Le Carplane est une véritable révolution dans le domaine des véhicules personnels. Il ouvre de nouvelles perspectives pour la mobilité de demain.

Vous avez oublié le Carplane !

Bravo pour votre article sur les voitures volantes, un rêve pour les pilotes en herbe comme pour les conducteurs pris dans les bouchons. Dommage par contre d'avoir oublié de citer le Carplane présenté à l'AERO de Friedrichshafen en avril dernier.

Frédéric Buehler, Neuchâtel (Suisse)

SV Notre ambition n'était pas de citer tous les projets, mais de mettre en lumière les enjeux et les limites du concept. Le Carplane est similaire à l'Aeromobil que nous évoquons. Souhaitons à ses concepteurs de réussir, même si ses prouesses laissent très dubitatif...

Méfiez-vous du mythe des "dents de la mer"

Style et propos de votre article sur le requin bouledogue "nouveau tueur des mers" [S&V n° 1172, mai 2015] ne dépareraient pas dans un journal à sensation. Vous laissez le côté "dents de la mer" prendre bêtement le dessus. C'est choquant, car de nombreux squales sont des espèces menacées, et le seront d'autant plus si la mentalité à leur sujet ne change pas. De nombreux scientifiques tirent depuis des années la sonnette d'alarme afin qu'on cesse d'ostraciser bêtement ces animaux alors qu'ils font leur "travail utile" dans la mer.

Michel Citroën, e-mail

Sans nucléaire... et importatrice d'électricité

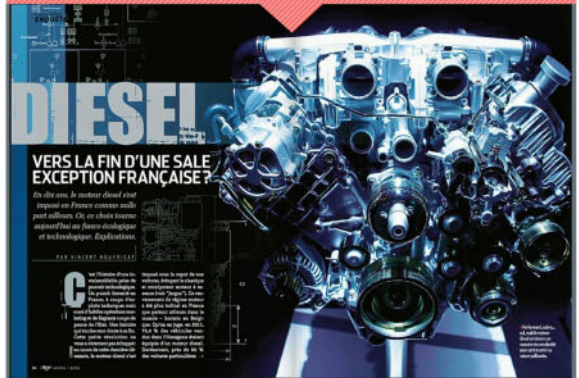
Dans "La France sans nucléaire, c'est possible" (S&V n° 1176), le graphe de la distribution en octobre fait apparaître 10 à 20 % d'import. Que devient l'indépendance énergétique du pays, actuellement exportateur ? Et si, comme en Allemagne il y a quelque temps, on se retrouve plusieurs jours en panne de vent, on fait quoi ?

André Lespes, Bourg-St-Andéol (07)

SV Vous êtes un observateur averti des marchés de l'électri-

cité ! La simulation de quelques jours d'un mois d'octobre sans énergie nucléaire montre en effet une part non négligeable d'importations. Mais pas de conclusions hâtives : des phases d'exportations massives rééquilibreraient la balance. Quant au cas de figure d'un hiver glacial et très peu venteux, il est très étudié, et comme nous l'écrivions, les systèmes de stockage pourraient prendre le relais pendant plusieurs jours d'affilée.

On en reparle



COUP DE GRÂCE POUR LE DIESEL ?

En avril 2012, *Science & Vie* analysait l'essoufflement du moteur diesel, hégémonique dans la production automobile de l'Hexagone. Notre titre était en l'occurrence pour le moins cinglant : "Vers la fin d'une sale exception française ?" (S&V n° 1135).

De fait, cette technologie rencontre d'immenses difficultés pour satisfaire aux plus récentes normes environnementales. Respecter la limite des émissions d'oxydes d'azote (NOx) exige d'installer des dispositifs consommateurs de carburant, coûteux, encombrants, lourds en maintenance et présentant des risques de défaillance. Au point que certains constructeurs ont visiblement été tentés de... tricher !

Le vendredi 18 septembre 2015, l'agence américaine de l'environnement révélait en effet que Volkswagen avait fraudé aux tests antipollution : un logiciel installé à bord de ses véhicules diesel permettait, pendant les épreuves, de réduire subitement les émissions de NOx par quelques artifices. L'affaire, qui a fait la une des journaux du monde entier, ressemble à un coup de grâce. Il ne s'agirait pas de jeter le convertisseur diesel à la poubelle : à l'heure actuelle, aucune autre technologie n'est meilleure pour propulser, par exemple, les poids lourds à moindre émission de CO₂. En revanche, le scandale sonne certainement comme la fin de son usage excessif et aberrant pour les citadines.

V.N.

PEUGEOT ELECTRIC BOX

LA 1^{ERE} BOX DE MOBILITÉ 100% ÉLECTRIQUE

iOn à partir de
99€ TC/MOIS⁽¹⁾

après un premier loyer de 2800 €
TC Superbonus écologique déduit
sous condition de reprise⁽²⁾

**1 VÉLO ÉLECTRIQUE
PEUGEOT OFFERT** ⁽³⁾

**BATTERIE
GARANTIE
8 ANS** ⁽⁴⁾

ASSISTANCE OFFERTE JUSQU'AUX 8 ANS DU VÉHICULE ⁽⁵⁾

(1) Exemple pour la location longue durée d'une Peugeot iOn Active neuve, option peinture métallisée, pour une durée de 48 mois et pour 40 000 km. Montants exprimés hors prestations facultatives. (2) Sous réserve d'éligibilité au bonus écologique de 6 300 € et au superbonus gouvernemental de 3 700 €, sous condition de reprise d'un véhicule diesel immatriculé avant le 01/01/2001. (3) Vélo à assistance électrique HYbrid-bike Peugeot eC03.200 offert à particuliers, pour l'achat ou la location d'une Peugeot iOn neuve entre le 01/09/2015 et le 31/12/2015 dans le réseau Peugeot. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable du 01/09/2015 au 31/12/2015 pour toute location longue durée d'une Peugeot iOn neuve dans le réseau Peugeot participant et sous réserve d'acceptation du dossier par Peugeot Finance - Loueur : CREDIPAR, SA au capital de 138 517 008 €, RCS Nanterre n° 317 425 981, 12 avenue André Malraux, 92300 Levallois-Perret. (4) Batterie de traction, propriété du client garantie 8 ans ou 100 000 km, au premier des deux termes atteints. (5) Voir conditions sur apv.peugeot.fr



PEUGEOT

MOTION & EMOTION



SCIENCE & VIE

en partenariat avec

L'Université de la Terre

Le climat en débat

Les délégations nationales de 195 États concluront les négociations sur le climat début décembre à Paris, dans le cadre de la COP21. Au cœur de ce sommet : les engagements sur les réductions des émissions de gaz à effet de serre. Mais sera aussi interrogée la capacité des hommes à réduire l'effet des gaz à effet de serre déjà émis. Reforestation, capture du CO₂, modifications délibérées de la chimie de l'océan ou de l'atmosphère... Qu'est-ce qui est possible ? Souhaitable ? Dangereux ? Comment identifier les faits scientifiques solides pour décider ? *Science & Vie* fera le point sur ces questions et en débattrà en public, avec des experts réunis à la maison de l'Unesco, à Paris, les 4 et 5 décembre prochains, dans le cadre de "L'Université de la Terre", organisée par la Fondation Nature et Découvertes. Les débats, gratuits, sont ouverts à tous.

Des oignons à pleurer de rire

En lisant la réponse à la question "Pourquoi les oignons font-ils pleurer?" (S&V n° 1176, septembre 2015), j'ai d'abord cru lire, en lecture rapide, "Je n'ai jamais eu de problèmes, rassure Alain Ducasse"... J'ai immédiatement pensé qu'il s'agissait du chef multi-étoilé Alain Ducasse... Alors que l'Alain Ducasse de votre article est un ophtalmologue, qui n'a "jamais vu de problèmes" d'oignons. Bravo pour ce clin d'œil – fortuit ? – qui m'a bien fait (pleurer de) rire !

Christophe Malaurie, Maxilly-sur-Léman (74)

L'informatique, une question de langage...

Dans votre article sur l'échec des maths au collège, vous soulignez que la réforme du collège entend miser, notamment, sur l'apprentissage de la programmation. Mais programmer, c'est exprimer, avec un vocabulaire univoque et dans une grammaire tout aussi univoque, ce que l'on souhaite obtenir d'une machine. L'échec en programmation est le résultat de fautes de grammaire ou d'orthographe autant que de ne pas avoir compris l'objectif à atteindre. Il n'y a rien de mathématique en cela.

Jean-Louis Guyot, Jasseron (01)

S&V A priori, la programmation est en effet une affaire de syntaxe et de logique ; les mathématiques de théorèmes et de calcul. Il n'y aurait donc aucune raison d'assimiler l'un à l'autre. Sauf que tout problème mathématique peut être exprimé en langage informatique (sous forme de programmes), et tout programme informatique peut être exprimé en langage mathématique

(sous forme de théorèmes). Une équivalence à l'origine de l'informatique : en 1931, le logicien Kurt Gödel construit un système de codage qui permet d'exprimer toute formule mathématique par des nombres entiers, et tout raisonnement mathématique par une suite de calculs sur ces nombres. Six ans plus tard, l'Anglais Alan Turing conçoit une machine théorique capable, à partir du code de Gödel d'une formule mathématique, d'effectuer le calcul correspondant à sa démonstration (ou infirmation) – Turing est d'ailleurs l'inventeur d'un des premiers langages de programmation.

L'informatique est donc issue des mathématiques, historiquement et thématiquement. L'informatique théorique est même une branche des mathématiques. L'apprentissage de la programmation mobilise ainsi le raisonnement logico-mathématique – via par exemple les notions de boucles, de dénombrement, de fonctions... – et pas seulement le respect d'une grammaire et d'une syntaxe.

La boutique **SCIENCE & VIE**

Plus de

400

► Livres

► Objets scientifiques

► Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com



Première fois pour moi. Première fois pour M. Robot. Prochaine fois : avec plaisir !

Chaque
passager est
un invité de
marque



Chez Lufthansa, nous essayons de faire de chaque seconde de votre vol un moment exceptionnel. Nous faisons donc tout ce que nous pouvons pour que vous vous sentiez toujours bienvenu à bord. Des vols faciles à réserver aux atterrissages en douceur, vous bénéficiez d'une prise en charge professionnelle, à chaque instant. Sur votre premier vol. Sur le suivant. Et sur tous les autres.



Lufthansa

Des vaches connectées et... plus fragiles?



Votre article de septembre (n° 1176) sur "Les vaches laitières 2.0" met en avant l'amélioration des rendements, notamment par sélection génétique, sans évoquer les risques liés à une homogénéisation des génomes entre cheptels, comme la perte de diversité et la vulnérabilité accrue aux maladies. Une uniformisation des génomes, c'est pourtant un risque énorme qui pèse ensuite sur l'ensemble des bêtes qui pourraient être décimées d'un coup en cas de pandémie.

Yohan Obadia, Paris

S&V C'est vrai, la sélection génétique des animaux reproducteurs peut entraîner une diminution de la diversité génétique des troupeaux, et favoriser la propagation de pathogènes. Même si "aujourd'hui, le génotypage est aussi utilisé pour sélectionner des caractères de résistance aux maladies", précise Etienne Verrier, à AgroParisTech. Mais ce que nous décrivons, c'est l'utilisation croissante des techniques de génotypage non plus seulement sur les taureaux mais aussi sur les vaches. Une pratique qui,



selon Etienne Verrier, devrait avoir un effet insignifiant sur la perte de diversité génétique: "Contrairement aux taureaux, les vaches font peu de veaux dans leur vie. La moitié d'entre elles doit être fécondée chaque année pour renouveler le cheptel, ce qui laisse peu de place à la sélection."

Errata

S&V 1177, p. 134

Le "Phonotonic" est en forme de polyèdre, et non de polygone.

S&V 1176, p. 59

La légende "artère coronaire" sur l'infographie a été insérée par erreur.

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Orly
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités, société),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Katia Davidoff, Boris Bellanger
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, L. Blancard,
P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, S. Brunier,
F. Cadu, O. Capronnier, T. Cavallé-Fol,
G. Cirade, A. Dagan, A. Debroise,
O. Donmars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousseau,
C. Hancock, M. Kontente, O. Lapirot,
A. Le Touze, Y. Monget, E. Monnier,
N. Picard, A. Pihen, B. Rey, Y. Sciamia,
M. Spée, E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),
Siham Daassa (responsable diffusion
marché)

MARKETING

Sandra Boixel (responsable marketing),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive),
Caroline Soret (directrice de groupe
commercial titres Automobile et Science),
Virginie Commun (directrice de publicité
adjointe), Lionel Dufour (directeur de
clientèle), Christine Chesne (assistante),
Stéphanie Guillard, Angélique Consoli,
Sabrina Rossi-Djenidi (planning), Stéphane
Durand (trafic), Jean-Jacques Benezzech,

Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière
(opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(info@publieurope.com -

44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich

(info@publieurope.com

0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne

(info@publieurope.com

0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid

(info@publimedia-gestion.es

0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck,
Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,
Murielle Luche

ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Orly
92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal : novembre 2015

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,

CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

Par internet (taper directement dans votre

navigateur) : abo.scienceetvie.fr

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue
François-Orly,
92543 Montrouge Cedex.
Par mail : sev.lecteurs@
mondadori.fr

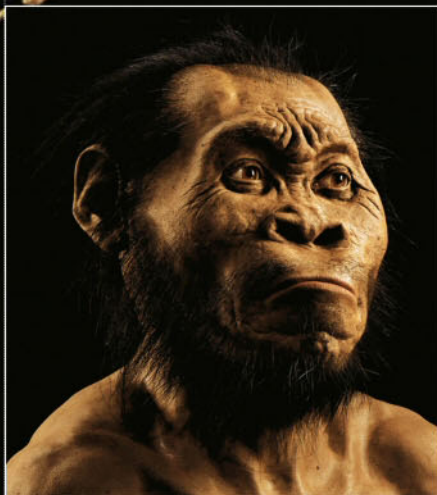
COMMANDE D'ANCIENS
NUMÉROS, RELIURES
ET VPC :

Tel. : 01 46 48 48 83

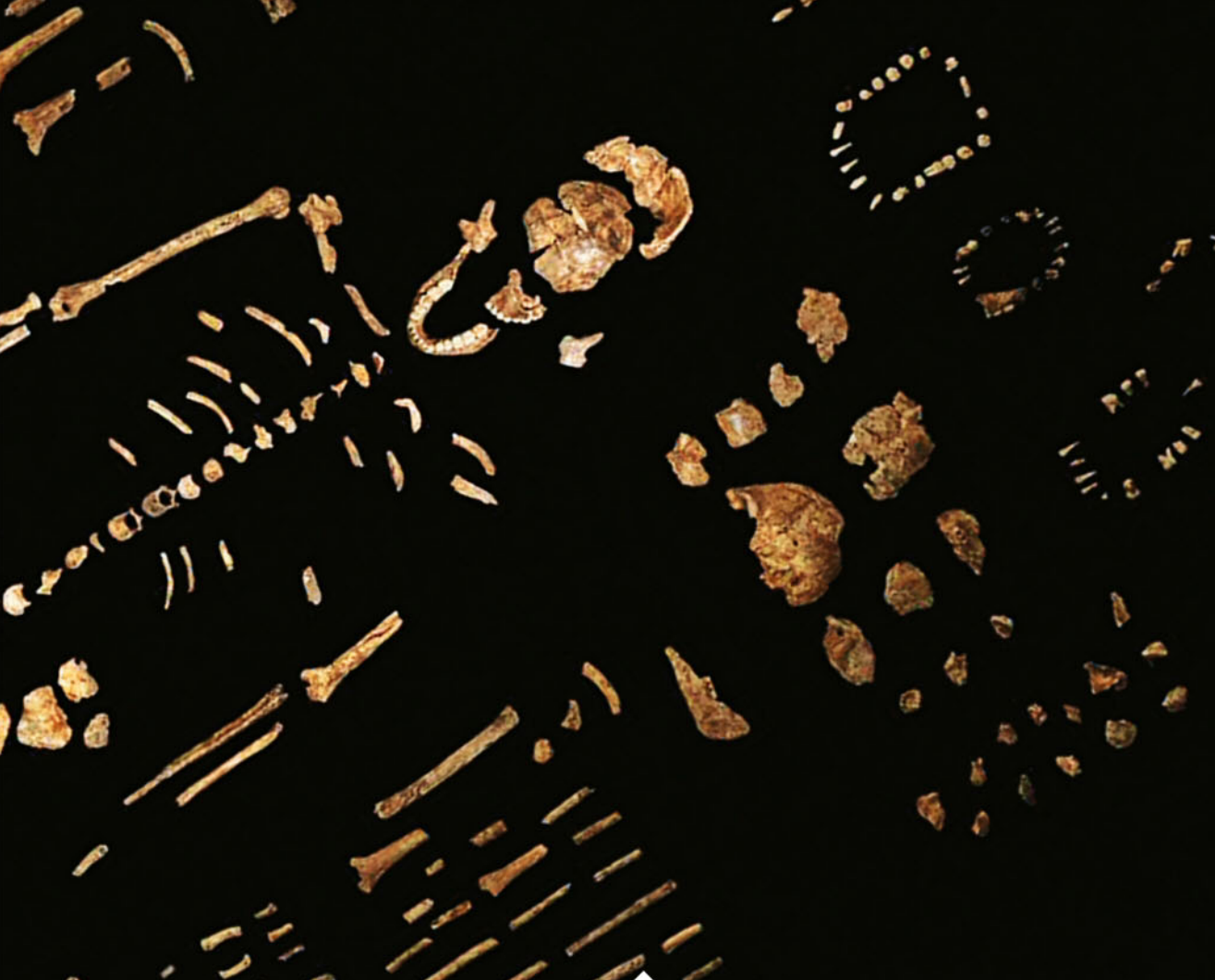
Contact@laboutiquescienceetvie.com



actus



>^ Découverts en 2013 en Afrique du Sud, ces 1550 os révèlent qu'*Homo naledi* (reconstitution ci-contre) partage certains traits avec des australopithèques, des *Homo*... Un mélange unique.



PALÉONTOLOGIE

HOMO NALEDI ENRICHIT LA GRANDE FAMILLE HUMAINE

C'est une incroyable collection d'ossements qui semblait attendre les spéléologues assez fous pour la débusquer au fin fond de la grotte sud-africaine de Dinaledi... La rencontre a eu lieu, par hasard, en octobre 2013, et elle s'est aussitôt transformée en défi pour le paléontologue américain Lee Berger, qui a fait remonter pour analyse 1 550 os

– un trésor ! Les résultats révélés aujourd'hui par la soixantaine de chercheurs appelés à leur chevet sont stupéfiants : appartenant au minimum à 15 individus, des deux sexes et de tous âges, ils n'entrent dans aucune case – ou plutôt, dans plusieurs à la fois. Les hommes mosaïques qui se dessinent sont de taille moyenne (1,50 m), fins, do-

tés de pieds similaires aux nôtres et de mains à pouce opposable mais aux phalanges courbes adaptées à la vie arboricole ; hanches et épaules sont par contre plus "australopithèque"... Et si le cerveau est petit (500 cm³ contre 1 500 cm³ pour nous), sa morphologie évoque ce qui existe chez les premiers *Homo*.

Tout, chez ces fossiles, est

unique, d'où la proposition de les rassembler dans une nouvelle espèce humaine : *Homo naledi*. Si la communauté scientifique reconnaît l'importance de la trouvaille, beaucoup attendent sa datation (pour l'heure, entre 2 millions d'années et... 20 000 ans) pour évaluer sa place dans notre arbre familial. **E.R.**



▲ Dans cet embryon de 8 cellules, seuls 129 gènes (sur les 23 000 humains) s'expriment.

EMBRYOGENÈSE

LES GÈNES QUI INITIENT LA VIE SONT ENFIN CONNUS

Que se passe-t-il juste après la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde ? Des généticiens de l'institut Karolinska de Stockholm viennent d'éclaircir cette étape fondamentale, et pourtant méconnue, du développement en identifiant les gènes exprimés par l'œuf fécondé lors de ses toutes premières divisions. Ils ont pour cela étudié des ovules humains tout juste fécondés et congelés, mais ne faisant plus l'objet d'un projet parental. Deux jours après la fécondation (l'embryon est alors formé de 4 cellules), seuls 32 gènes s'activent sur les quelque 23 000 de notre génome. Au troisième jour

(embryon de 8 cellules), 129 gènes sont exprimés. Certains codent directement pour des protéines, tandis que d'autres sont impliqués dans la régulation de l'expression d'autres gènes. ZSCAN4, par exemple, est fortement exprimé lorsque l'embryon ne se compose encore que de 4 cellules. Il intervient dans la mise au point des cellules souches pluripotentes induites (iPS), capables de se multiplier à l'infini et de se différencier en tout type de cellule. Cette découverte pourrait permettre d'améliorer les procédés de fabrication des iPS et de remédier aux problèmes de fertilité. **O.D.**

BACTÉRIOLOGIE

Chacun s'entoure de son propre nuage de bactéries

La nouvelle va donner des cauchemars aux germaphobes... Des chercheurs de l'université de l'Oregon (Etats-Unis) révèlent que, non contents de déposer une partie des bactéries qui colonisent notre peau et nos muqueuses sur chaque objet que nous touchons (voir *SEU* n° 1169, p. 66), nous les émettons également en permanence dans l'air. La composition de ce nuage bactérien est spécifique de chaque individu, comme l'a montré l'analyse d'échantillons d'air récoltés autour de 8 personnes. **E.A.**



➤ Le venin de *C. greeningi* est deux fois plus toxique que celui d'une vipère mortelle.

HERPÉTOLOGIE

Deux grenouilles s'avèrent plus dangereuses que des vipères

En plus d'être vénéneuses (leur peau est toxique), *Aprasphenodon brunoi* et *Corythomantis greeningi*, deux grenouilles amazoniennes, sont venimeuses : elles empoisonnent leurs victimes grâce à des épines osseuses situées sur leur museau. L'herpétologiste Carlos Jared l'a appris à ses dépens ! Avec ses collègues brésiliens et américains, il a analysé le venin de ces deux espèces : celui de *C. greeningi* est deux fois plus toxique que celui de la vipère mortelle du Brésil *Bothrops leucurus*, et celui de *A. brunoi* l'est 25 fois plus ! Cette stratégie d'attaque n'avait encore jamais été observée chez les grenouilles. **M.S.**



NOUVEAU VITARA. Réinventons la légende

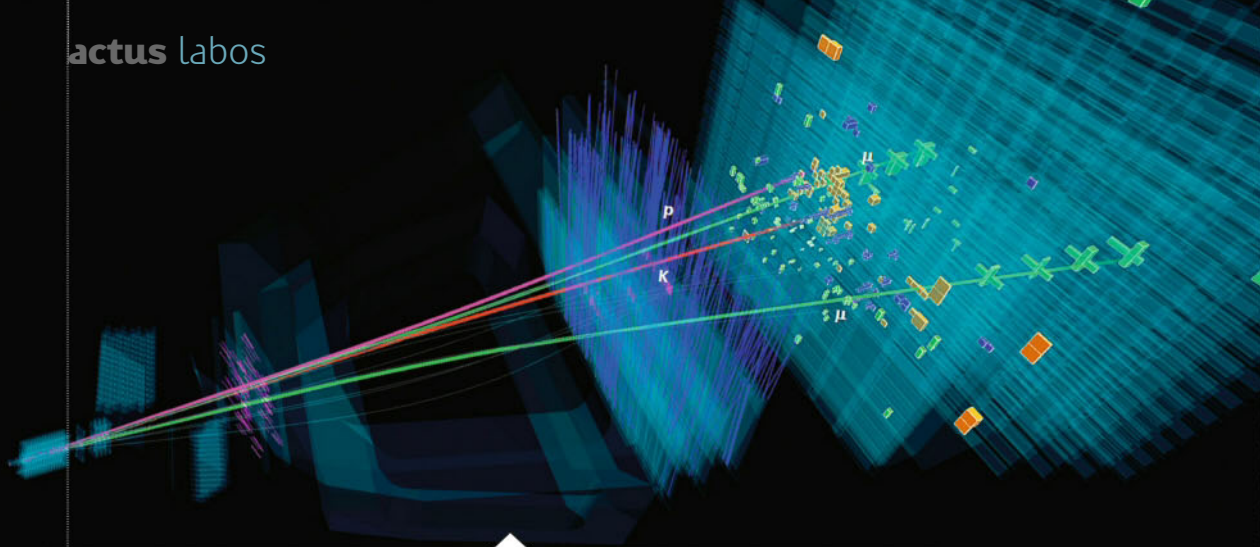
Gamme à partir de 15 990 €⁽¹⁾

Et si plutôt que de conduire une voiture, vous preniez le volant d'une légende ? Dans le nouveau Vitara, vous ressentirez l'héritage de la tradition 4x4 Suzuki mais aussi toute la modernité de son nouveau design et d'équipements innovants. Disponible en 2 ou 4 roues motrices, le SUV⁽²⁾ compact Suzuki intègre les technologies les plus avancées, dont la transmission ALLGRIP, des solutions de connectivité et des milliers de possibilités de personnalisation, garantissant plaisir de conduite et tranquillité d'esprit en toutes circonstances. Parce que les plus belles légendes sont celles qui durent.

(1) Prix TTC du nouveau Vitara 1.6 VVT Advantage après déduction d'une remise exceptionnelle de 1 500 € offerte par votre concessionnaire Suzuki. Offre réservée aux particuliers dans la limite des stocks disponibles valable pour tout achat d'un Vitara neuf du 14/09/2015 au 30/11/2015. **Modèle présenté : Suzuki Vitara 1.6 VVT Pack : 19 790 €, remise de 1 500 € déduite + peinture métallisée So'Color en option : 850 € et pack «Urban» : 660 €.** Consommations mixtes CEE gamme Vitara (l/100 km) : de 4,0 à 5,7. Emissions de CO₂ (g/km) : de 106 à 131. (2) SUV (Sport Utility Vehicle) : concept urbain et tout chemin. Tarifs TTC clés en main au 14/09/2015. *Un style de vie !

Garantie 3 ans ou 100 000 km au 1^{er} terme échu.

www.suzuki.fr



PHYSIQUE

UNE PARTICULE EXOTIQUE À 5 QUARKS A ÉTÉ DÉTECTÉE

Cela faisait douze ans que les physiciens l'attendaient. Enfin, ils ont la preuve de l'existence du pentaquark. Cette particule exotique, qui n'existe pas à l'état naturel, est un assemblage de cinq quarks, les briques élémentaires de la matière. Réalisée grâce à l'expérience LHCb, installée sur le grand accélérateur du Cern, près de Genève, cette découverte fait suite à celle de plusieurs particules composées de quatre quarks

ces deux dernières années. Jusqu'alors, seules des particules à trois quarks (les baryons, dont font partie les protons et les neutrons qui composent les atomes) ou à deux quarks (les mésons) étaient connues. En 2003, le synchrotron SPRing-8, au Japon, avait bien failli détecter un pentaquark. Mais une expérience similaire dans l'accélérateur du JLab américain avait invalidé l'observation. "Des particules composées de plus

de trois quarks n'étaient a priori pas interdites par la théorie, commente Sébastien Descotes-Genon, directeur du Laboratoire de physique théorique, à Orsay. *Mais celle-ci est si difficile à manier que les prédictions que l'on peut faire avec sont discutables. L'analyse des propriétés du pentaquark va aider à y mettre de l'ordre.*" Les physiciens pourront ainsi continuer à explorer les propriétés parfois exotiques de la matière ordinaire. **M.G.**

△ Le pentaquark est ici vu en train de se scinder en plusieurs particules dans le détecteur LHCb.

NEUROLOGIE

Parler le "turc sifflé" mobilise tout le cerveau

Parler, écrire ou même signer une langue fait appel, presque exclusivement, à notre cerveau gauche. Mais des chercheurs turcs et allemands ont trouvé une exception à cette règle : le turc sifflé (utilisé pour communiquer à distance dans certaines régions montagneuses) sollicite, lui, les deux hémisphères cérébraux. Il faudra étudier les autres langues sifflées (aux Canaries, en Amazonie ou dans le Béarn) pour découvrir si elles aussi sont concernées. **C.H.**

BOTANIQUE

Certaines plantes ont un comportement individualiste

Pour croître, la vigne *Cayratia japonica* enroule ses vrilles autour d'autres plantes plutôt que de prendre le risque de s'étrangler. Le mécanisme en jeu ne semble pas génétique : elle s'agrippe en effet le plus souvent à une plante avec laquelle elle ne partage aucune tige, même s'il s'agit d'un clone possédant le même génome. Reste à savoir si toutes les plantes grimpantes adoptent cette stratégie. **E.A.**

× *C. japonica* s'accroche à ses voisins pour grimper sans risque.



À la CASDEN, le collectif est notre moteur !

Banque coopérative créée par des enseignants, la CASDEN repose sur un système alternatif et solidaire : la mise en commun de l'épargne de tous pour financer les projets de chacun.

Comme plus d'un million de Sociétaires, faites confiance à la CASDEN !



Découvrez la CASDEN
sur www.casden.fr ou contactez
un conseiller au 01 64 80 64 80*



L'offre CASDEN est disponible
dans les Délégations Départementales CASDEN
et les agences Banques Populaires.

Accueil téléphonique ouvert du lundi au vendredi
de 8h30 à 18h30 (heure de Paris).
Appel non surtaxé. Coût selon votre opérateur.



CASDEN, la banque coopérative de l'éducation, de la recherche et de la culture



△ Les chercheurs ont remplacé les synapses de *C. elegans* (ici vu au microscope).

NEUROBIOLOGIE

LES RÉACTIONS D'UN VER ONT PU ÊTRE "INVERSEES"

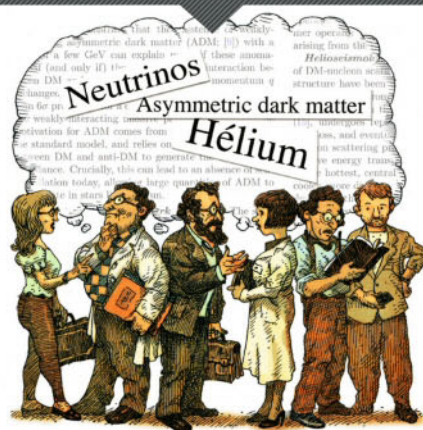
D'un neurone à l'autre, l'information se transmet, chez l'homme comme chez le ver nématode *Caenorhabditis elegans*, à travers des connexions appelées synapses, qui jouent un rôle soit excitateur, soit inhibiteur. Or, l'équipe de Mark Alkema (université du Massachusetts, Etats-Unis) vient de montrer qu'il suffit de remplacer une synapse inhibitrice par une

autre excitatrice pour modifier le comportement de ce ver. Ainsi, lorsqu'on touche un ver normal, celui-ci interrompt les mouvements exploratoires de sa tête, la relâche et effectue un long mouvement de fuite en arrière. A l'inverse, le ver génétiquement modifié ne parvient pas à arrêter les mouvements de sa tête, il la contracte et sa fuite est de plus courte durée. **C.H.**

770

C'est, en gigapascals, la pression faramineuse – deux fois celle du noyau terrestre – atteinte en pressant un échantillon d'osmium (l'élément naturel le plus dense sur Terre) de quelques micromètres entre deux demi-sphères de diamant. Les atomes de ce métal deviennent alors si proches que leurs électrons internes se mettent à interagir, contredisant les lois de la chimie... mais il résiste ! **M.F.**

Ça reste à prouver



Le Soleil carburerait à la matière noire

"Aucune autre solution ne marche, atteste le Britannique Aaron Vincent. Cela ne veut pas dire qu'il n'y en a pas, mais pour l'instant, la matière noire est la piste la plus prometteuse..." Les astrophysiciens sont confrontés au problème depuis des années : la structure du Soleil déduite à partir des mesures des télescopes ne correspond pas à celle des modèles mathématiques. Peut-être parce que ces derniers oublient de tenir compte d'une particule... D'une particule de matière noire, cette hypothétique substance qui abonderait dans l'Univers ? Aaron Vincent (université de Durham) et Pat Scott (Imperial College London) ont fait le test, intégrant les modèles les plus réalistes de matière noire à leurs simulations. Et ils ont retrouvé les mesures exactes des télescopes ! Au gré de sa course dans le halo galactique, le Soleil capturerait des particules fantômes qui transporterait de la chaleur depuis le cœur de l'étoile jusqu'à ses couches les plus externes... expliquant l'écart observé. Cerise sur le gâteau : si ces modèles sont exacts, les particules de matière noire pourront être détectées au LHC, près de Genève, ou par l'une des expériences souterraines comme SuperCDMS (Etats-Unis), dans les années à venir. **M.F.**



Innovation
that excites

NISSAN NOTE

UN INTÉRIEUR MODULABLE ET UN PRIX QUI SE PLIE À VOTRE BUDGET.



À PARTIR DE
139 €/MOIS⁽¹⁾
**4 ANS D'ENTRETIEN
INCLUS**
SANS APPORT - SANS CONDITION⁽²⁾⁽³⁾

- Aide au stationnement avec 4 caméras*
- Surveillance des angles morts*
- Banquette arrière coulissante*

* Équipements disponibles de série
ou en option selon versions sauf Visia.



Réservez votre essai sur nissan.fr

YOU+NISSAN**

NOTRE PROMESSE. VOTRE EXPÉRIENCE.

- + Véhicule de remplacement gratuit.
- + Entretien Nissan au meilleur prix.
- + Nissan assistance gratuite illimitée.
- + Diagnostic systématique offert.

Contactez-nous 24h/24, 7j/7 :
En France **0805 11 22 33**
De l'étranger **+33 (0)1 72 67 69 14**

Innovar autrement. **Dans cadre opérations d'entretien ; Conditions sur nissan.fr/promesse-client. (1) Exemple pour une Nissan NOTE Visia 1.2L 80 neuve en Location Longue Durée sur 49 mois, 40 000 km maximum, premier loyer de 3 618 €⁽²⁾ puis 48 loyers de 139 € entretien inclus⁽³⁾. Restitution du véhicule chez votre Concessionnaire en fin de contrat avec paiement des frais de remise en état standard et des kilomètres supplémentaires. Sous réserve d'acceptation par Diac - RCS Bobigny 702 002 221. **Modèle présenté** : Nissan NOTE N-TEC 1.2L 80 avec option peinture métallisée, premier loyer de 3 420 €⁽²⁾ puis 48 loyers de 203 € entretien inclus⁽³⁾. (2) Premier loyer pris en charge par votre Concessionnaire NISSAN. (3) Comprenant les prestations d'entretien et pièces d'usure (**hors pneumatiques**) selon conditions contractuelles sur 49 mois / 40 000 km (au premier des deux termes échus), incluses dans le loyer financier pour 1 €/mois. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable jusqu'au 31/12/2015 chez les Concessionnaires participants. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 € - RCS Versailles B 699 809 174 - Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron - CS 10213 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 3,6 - 5,1. Émissions CO₂ (g/km) : 93 - 119.



△ Au cœur de la galaxie Markarian 231, deux trous noirs se tournent autour.

ASTROPHYSIQUE

POUR LA PREMIÈRE FOIS, UN TROU NOIR DOUBLE SE DÉVOILE

Le premier pèse autant que 150 millions de Soleil. Il entraîne dans une danse effrénée le second, plus modeste (40 millions de masses solaires tout de même...). Pour la première fois, un trou noir supermassif binaire a été observé. *"Il y avait quelques candidats, mais c'est le premier à être identifié aussi clairement"*, se félicite Youjun Lu, de l'Observatoire astronomique national de Chine. Le chercheur a fouillé dans les archives du télescope *Hubble*, à la recherche du rayonnement ultraviolet particulier qui devrait être émis par un trou noir double. Et il

a trouvé du premier coup : au cœur de la galaxie Markarian 231, à 600 millions d'années-lumière de la Terre, les UV s'interrompent trop brutalement pour pouvoir être émis par un disque de gaz et de poussières, comme on en trouve autour de tous les trous noirs. C'est qu'il y a non pas un, mais deux monstres, le plus petit grignotant le disque du plus gros de l'intérieur, n'en laissant qu'un anneau. Deux monstres qui se seraient rapprochés à la faveur d'une collision de galaxies, et qui devraient finir par fusionner dans quelques centaines de milliers d'années. **M.F.**

LES GENS TRISTES VOIENT VRAIMENT TOUT EN NOIR

Une expérience a montré qu'être déprimé modifiait la perception des couleurs : des étudiants ont visionné un film soit triste, soit drôle ; les premiers éprouaient ensuite plus de difficultés à identifier des tons de bleu et de jaune. **C.H.**

UNE GALAXIE À L'AUBE DE L'UNIVERS

EGSY8p7 : c'est le nom de la galaxie la plus lointaine jamais découverte. Elle brillait quand l'Univers n'avait que 570 millions d'années, un âge où l'on pensait ne rien pouvoir détecter à cause du gaz épais qui stoppait la propagation de la lumière. **M.F.**

BÂILLER EST CONTAGIEUX... SAUF POUR LES PSYCHOPATHES

Des chercheurs ont mesuré les caractères à "tendance" psychopathique (faible empathie, manipulation...) de 135 étudiants : plus ces derniers en possédaient, moins la vue d'un bâilleur les poussait à bâiller ! **E.A.**

CONCHYLILOGIE

Le secret des perles parfaites a été percé

Pendant sa formation au sein d'une huître, la perle tourne sur elle-même. Si la chose était suspectée, personne n'en avait fait la preuve. Jusqu'à ce que Yannick Gueguen et ses collègues de l'Iframer introduisent un élément magnétique dans la petite bille de nacre utilisée pour former les perles de culture : ils ont alors observé que le champ magnétique créé changeait constamment de direction, preuve d'un mouvement de rotation. Ils ont également découvert que pour être parfaitement ronde, une perle doit tourner dans tous les sens – celles qui tournent sur un axe fixe sont irrégulières. Si la vitesse de rotation a pu être mesurée (4h43 en moyenne pour un tour), l'origine de ce mouvement reste mystérieuse. **C.H.**

▽ Pour être bien ronde, une perle doit tourner dans tous les sens durant sa formation.





S'IL EST SI BON, C'EST QUE NOTRE SAVOIR-FAIRE
S'EXPRIME DEPUIS UN SIÈCLE ET DEMI, À LA LOUCHE.

Le Camembert Lanquetot est lentement Moulé à la Louche
parce que c'est cette technique, inspirée d'un savoir-faire séculaire, qui lui offre
sa croûte délicatement tourmentée, son moelleux parfait, son goût franc
et généreux et son arôme subtilement boisé.



Jusqu'où ira le plaisir Camembert?



DS préfère TOTAL

TOUS LES EXPLORATEURS LE SAVENT,
LE PLUS EXCITANT EST
CE QU'IL RESTE À DÉCOUVRIR.

Dr SYLVESTRE MAURICÉ - ASTROPHYSICIEN

NOUVELLE DS 5



Spirit of avant-garde = L'esprit d'avant-garde.

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE NOUVELLE DS 5 : DE 3,5 À 5,9 L/100 KM ET DE 90 À 136 G/KM. Automobiles Citroën RCS Paris 642 050 199.



DS AUTOMOBILES

SPIRIT OF
AVANT-GARDE



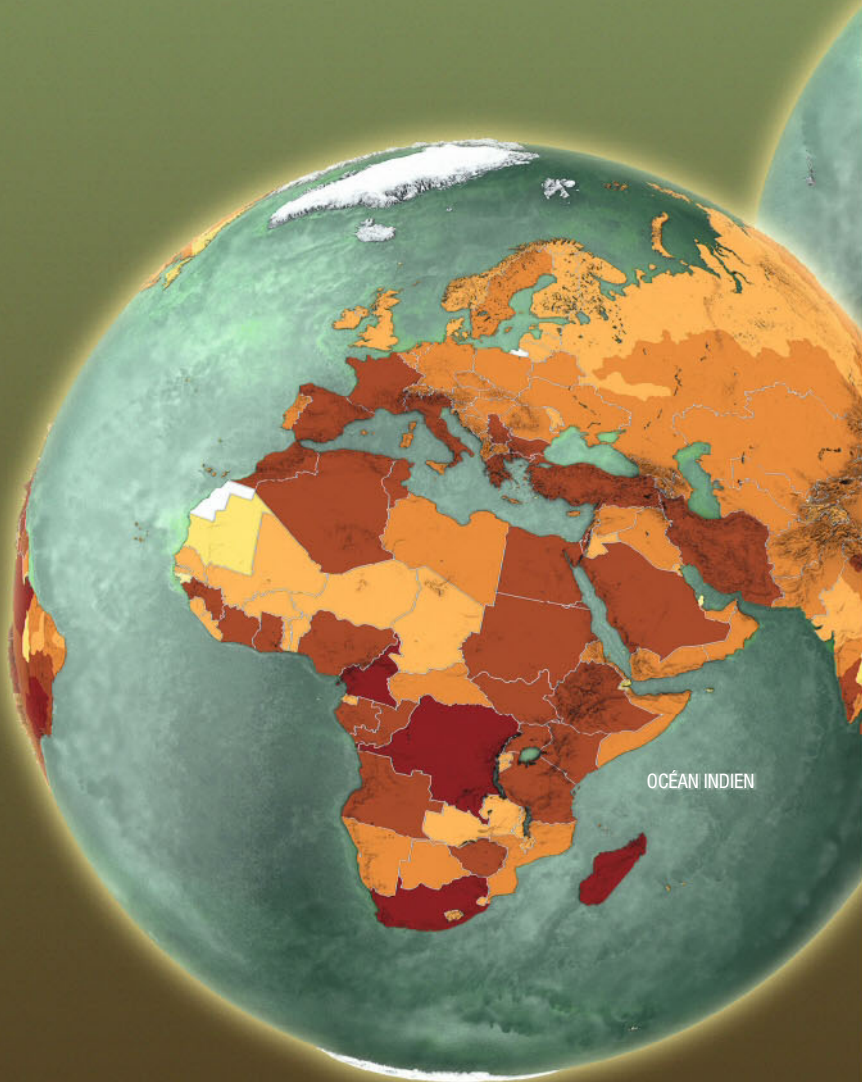
www.driveDS.fr

BIODIVERSITÉ

LES FOURMIS ONT Désormais LEUR ATLAS MONDIAL

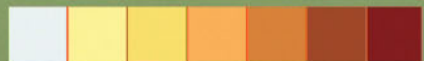
Les fourmis ont colonisé presque tous les milieux terrestres en se diversifiant. Et c'est dans les régions tropicales, et à basse altitude, que l'on trouve le plus grand nombre d'espèces. Voici ce qui ressort de la première carte mondiale interactive des espèces de fourmis, inaugurée cet été par l'équipe d'Evan Economo, à l'Institut des sciences et de la technologie d'Okinawa (Japon).

Cette carte est le résultat d'un travail de... fourmi, témoigne le chercheur : *"Nous avons commencé il y a quatre ans à éplucher 1,6 million de données publiées depuis deux cents ans par les muséums et les revues."* Des descriptions qu'il a fallu traduire, vérifier et réactualiser selon les nomenclatures modernes... Antmaps.org recense aujourd'hui 15 000 espèces de fourmis, natives ou introduites. On y apprend que le Groenland n'abrite pas d'espèces natives alors que la France en compte 225, et le Queensland, en Australie, 1 458. Mais c'est aussi une base de réflexion pour les spécialistes de la conservation, qui identifieront les espèces invasives, celles qui vivent dans un espace protégé ou celles dont l'habitat est en danger... Les fourmis occupent en effet une place prédominante dans de nombreux écosystèmes, assurant l'aération des sols et la dispersion des nutriments et des graines. **A.D.**

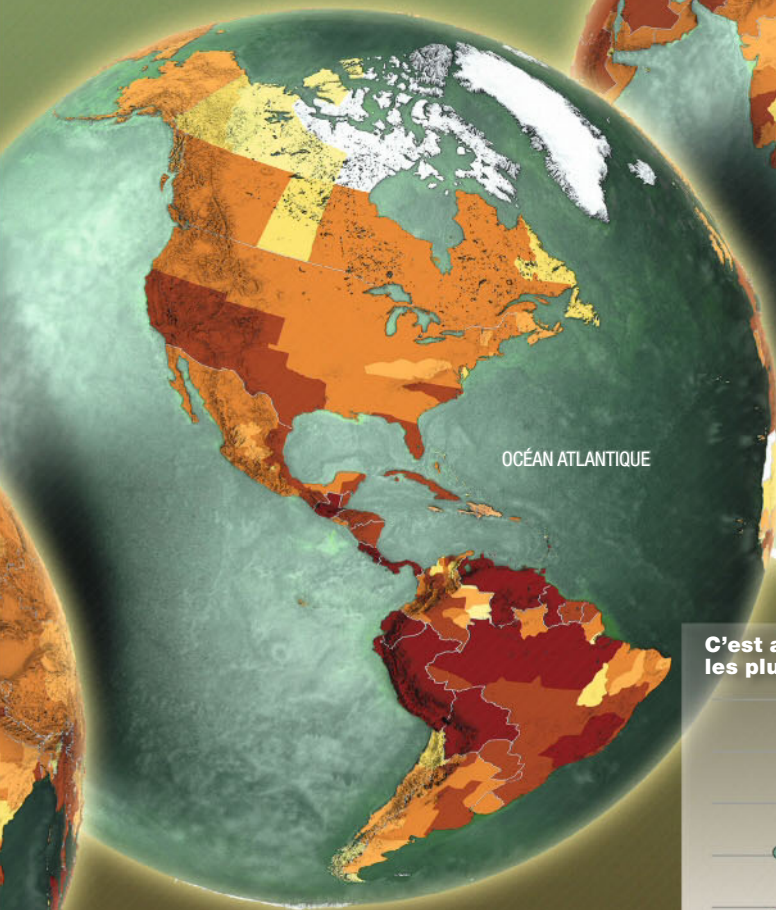


Elles sont partout sauf aux pôles

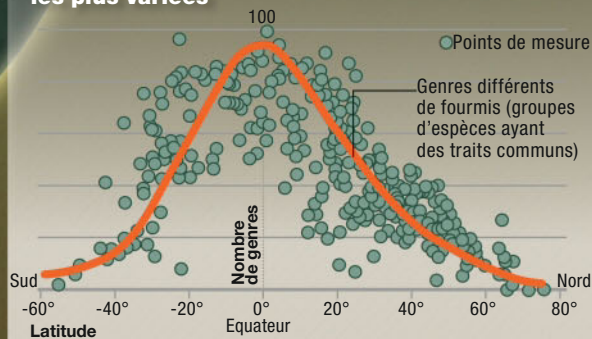
Le nombre d'espèces (natives) de fourmis par Etats ou régions.



0 de 1 à 8 de 9 à 22 de 23 à 64 de 65 à 181 de 182 à 514 de 515 à 1458



C'est autour de l'équateur que les fourmis sont les plus variées



SOURCES: BENOÎT GUÉNARD, ELS, 2013 - ANTMAPS.ORG

1/3

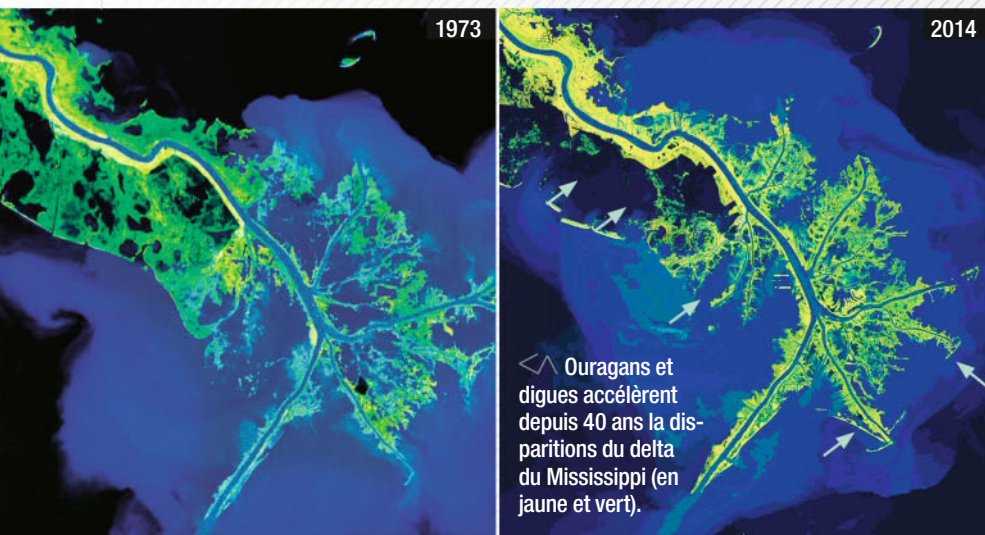
C'est la proportion de fourmis dans la biomasse de la forêt amazonienne.

110

C'est l'âge, en millions d'années, du plus vieux fossile de fourmi.

3

C'est, en moyenne, le nombre de nouvelles espèces de fourmis décrites par semaine.



HYDROLOGIE

LES GRANDS DELTAS S'ENFONCENT INEXORABLEMENT DANS LA MER

Ce sont 350 millions de Terriens – et le chiffre ne cesse d'augmenter – qui habitent les 48 grands deltas de la planète, ces zones où les principaux fleuves rejoignent la mer. S'ils se répartissent sur tout le spectre du développement, de la très riche Hollande (Rhin) au très pauvre Bangladesh (Gange), les menaces qui pèsent sur eux sont les mêmes. Selon

Zachary Tessler, de la City University de New York, qui a hiérarchisé leur vulnérabilité, *"il y a d'une part la mer qui monte, et dans une certaine mesure le nombre de tempêtes qui s'intensifient, et d'autre part le fait que ces zones s'enfoncent (la subsidence)"*. Les deltas s'affaissent en effet naturellement : les boues sédimentaires qui les constituent se

tassent, un phénomène en principe compensé par l'apport constant de nouveaux sédiments. Or, digues et barrages empêchent désormais ces nouveaux dépôts. *"Du coup, les zones les plus protégées, comme La Nouvelle-Orléans, s'enfoncent plus vite, et le prix à payer pour les sauvegarder va devenir exorbitant"*, estime Zachary Tessler. **Y.S.**

PALÉOENVIRONNEMENT

Métaux lourds : ils ont déjà provoqué des extinctions

On sait que les extinctions ont ponctué l'histoire de la vie, emportant parfois jusqu'à 85 % des organismes. En cause ? Météorites, volcanisme, acidification... Or, une étude internationale attribue aujourd'hui à une concentration élevée en métaux lourds l'extinction majeure de la fin de l'Ordovicien, il y a près de 500 millions d'années. L'aspect des fossiles évoque les pollutions actuelles, et les analyses ont confirmé la présence de fer, de plomb et d'arsenic. **Y.S.**

3 000 milliards

Ce nombre, récemment revu à la hausse d'un facteur 7 par une étude internationale, est une estimation du nombre d'arbres sur Terre. Définis comme des végétaux ligneux de plus de 10 cm de diamètre à hauteur d'homme, les arbres sont les plus nombreux dans les forêts tropicales (1 300 milliards) et boréales (750 milliards). Mais leur nombre, divisé par deux depuis l'invention de l'agriculture il y a 12 000 ans, continue à diminuer au rythme de 15 milliards par an.



↖ Ce plancton fossile de l'Ordovicien présente des marques de pollution aux métaux lourds.

USGS/NASA - Z. TESSLER/USGS/NASA LANDSAT PROGRAM - THIJS VANDENBRUCKE



Il y a du Orange chez Paul

Payer ma
baguette
avec mon
mobile



Orange
Cash
avec Visa

Téléchargez l'application Orange Cash utilisable
dans plus de 320 000 points de vente et recevez 10€*.



**Vous rapprocher
de l'essentiel**

*Au premier rechargement de votre compte Orange Cash (0,79€), 10€ automatiquement crédités sur votre compte Orange Cash. Offre valable à partir du 8/10/2015, soumise à conditions, limitée aux 150 000 premiers clients Orange Cash. Plus de 320 000 points de vente en France métropolitaine. **Compte Orange Cash** : compte de monnaie électronique prépayé et rechargeable, émis et géré en France métropolitaine par Wirecard Card Solutions Ltd - 3rd Floor Grainger Chambers, 3-5 Hood Street, Newcastle upon Tyne, NE1 6JQ, UK - société autorisée par la Financial Conduct Authority (réf. 900051), sous licence Visa Europe. Service soumis à conditions, réservé aux utilisateurs majeurs d'une ligne mobile Orange souscrite en France métropolitaine (hors offre prépayée) et détenteurs d'une carte SIM et d'un terminal Orange compatibles. Visa et la marque Visa sont des marques déposées de Visa. Plus d'info sur orangecash.fr

✓ 87 % du pergélisol arctique consommerait plus de méthane qu'il n'en émettrait.



CLIMATOLOGIE

L'ARCTIQUE NE SERAIT FINALEMENT PAS UNE BOMBE CLIMATIQUE

"J'encourage tous les scientifiques à tenter de répliquer nos résultats, ce qui peut être fait en quelques semaines."

Chui Lim Lau, chercheuse à Princeton, tient peut-être de quoi renverser un des paradigmes de la climatologie. Depuis des années, en effet, les scientifiques avertissent que les tourbières et les sols gelés riches en carbone des hautes latitudes, pourraient, en se réchauffant, libérer du méthane – un gaz à effet de serre puissant – du fait de l'entrée en activité de microbes méthanogènes. Or, dans sa station du Nord canadien, Chui Lim Lau a constaté le contraire ! Non seulement le

sol y consomme du méthane, mais, chauffé en laboratoire, il en consomme encore davantage grâce à des bactéries inconnues qui métabolisent ce gaz en alcool. *"Notre site est fait de sols essentiellement minéraux, explique-t-elle, qui ne se comportent pas du tout comme les tourbières. Or, ces sols pauvres en carbone occupent près de 87 % du pergélisol ! A l'échelle globale, l'Arctique pourrait donc éliminer du méthane atmosphérique."* Cette découverte, corroborée par deux équipes mais qui appelle d'autres confirmations, interroge sur le rôle climatique de l'Arctique. **Y.S.**

DES EAUX USÉES MIEUX DÉPOLLUÉES

Un nouveau procédé de traitement des eaux usées a été breveté par une collaboration franco-hispano-mexicaine. Utilisant l'ozone, il porte à 95 % le taux de destruction des perturbateurs endocriniens, contre 50 % en conventionnel.

LE CHALUTAGE PROFOND EST AUSSI CONTRE-PRODUCTIF

Une équipe britannique a démontré qu'au-delà de 600 m de profondeur, le chalutage n'est pas soutenable : il détruit une proportion rapidement croissante d'espèces non commercialisables ou protégées, tandis que la valeur globale des captures décroît.

UNE CARTE DES TSUNAMIS EN MÉDITERRANÉE

Un premier modèle simulant les conséquences d'un tsunami en Méditerranée a été mis au point. Sur ces rivages très peuplés, il se produit un tsunami par siècle environ.

BIODIVERSITÉ

La pomme perd sa richesse génétique

Si les pommiers sauvages européens constituent une précieuse réserve de gènes pour améliorer et adapter les pommiers cultivés, des chercheurs du CNRS viennent de révéler que près du quart de ces arbres étaient déjà des hybrides ! De multiples gènes de pommiers domestiques se sont en effet introduits dans leur ADN. Un phénomène dont l'ampleur surprend, car les variétés cultivées sont issues d'une espèce bien distincte originaire d'Asie centrale. Pour préserver les pommiers natifs, les chercheurs en appellent à des plantations (haies, forêts...). **Y.S.**

> 25 % des pommiers sauvages européens se seraient hybridés avec des variétés domestiques.





UN AUTRE MONDE

NOUVEL OUTLANDER HYBRIDE RECHARGEABLE

À partir de **549 € par mois⁽¹⁾**

SANS APPORT⁽²⁾ ET SANS CONDITION DE REPRISE

FINANCEMENT EN LOCATION LONGUE DURÉE (LLD) SUR 61 MOIS ET 10 000 KM/AN

Le Mitsubishi Outlander Hybride Rechargeable relève tous les défis. Ce crossover enregistre une autonomie record de 824 km dont 52 km en 100% électrique. Il se distingue par ses performances, avec sa consommation record de 1,8L au 100 km et son bonus gouvernemental de 4 000 €.



42 g/km



4 000 € de bonus
gouvernemental



Technologie hybride rechargeable



4 roues motrices
permanentes



(1) Exemple de Location Longue Durée sur 61 mois et 10 000 km annuels pour un Mitsubishi OUTLANDER PHEV Intense : avec un apport placé en 1^{er} loyer majoré à 8 550 € TTC⁽²⁾ et 60 loyers mensuels de 549 € TTC (hors assurances et prestations facultatives). **Modèle présenté** : exemple de Location Longue Durée sur 61 mois et 10 000 km annuels pour un Mitsubishi OUTLANDER PHEV Instyle avec peinture métallisée : avec un apport placé en 1^{er} loyer majoré à 9 000 € TTC⁽²⁾ et 60 loyers mensuels de 660 € TTC (hors assurances et prestations facultatives). Offre réservée aux particuliers, valable du 01/07/2015 au 31/12/2015 sous réserve d'acceptation du dossier par SEFIA, SAS au capital de 10 000 000 euros, 69, avenue de Flandre 59708 Marcq-en-Baroeul Cedex – SIREN 491 411 542 – RCS Lille Métropole. (2) Premier loyer majoré pris en charge par votre Concessionnaire MITSUBISHI, incluant 4 000 € de bonus gouvernemental. Offre réservée aux particuliers, chez les concessionnaires Mitsubishi Motors participants. Tarifs Mitsubishi Motors maximum autorisés en vigueur en France Métropolitaine au 10/09/2015 chez les distributeurs participants. Garantie et assistance : limitées à 5 ans/100 000 km, au 1^{er} des 2 termes échu, selon conditions générales de vente. M MOTORS AUTOMOBILES FRANCE SAS au capital de 10 000 000 € - RCS PONTOISE n° 428 635 056 - 1, avenue du Fief - 95067 Cergy Pontoise Cedex.
Consommation normalisée (L/100 km) : 1,8. Émissions CO₂ (g/km) : 42.

MMAF recommande **MOTUL**

Retrouvez-nous sur facebook

www.mitsubishi-motors.fr

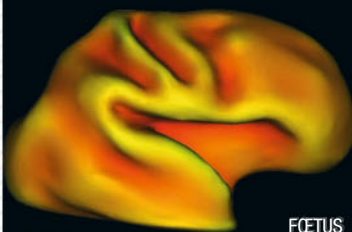


TECHNOLOGIE
GRANDEUR NATURE



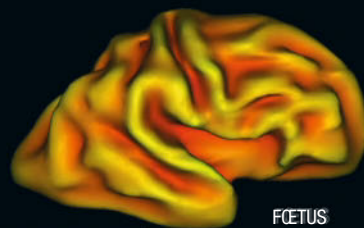
28 SEMAINES

FŒTUS



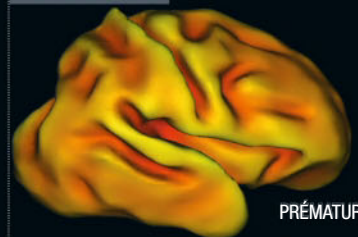
30 SEMAINES

FŒTUS

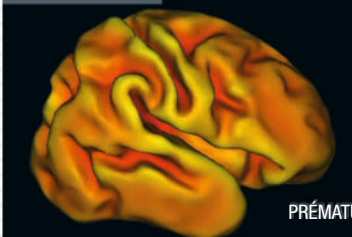


32 SEMAINES

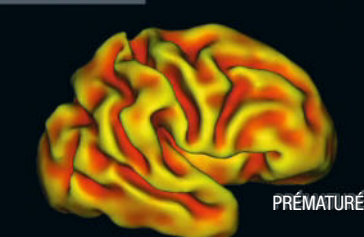
FŒTUS



PRÉMATURÉ



PRÉMATURÉ



PRÉMATURÉ

NÉONATOLOGIE

LE CERVEAU DES PRÉMATURÉS SE DÉVELOPPE PLUS TÔT

Les clichés obtenus par IRM sont saisissants. Le cerveau d'un prématuré qui vient de naître est très différent de celui d'un bébé arrivé au même stade de développement, mais qui est encore dans le ventre de sa mère. "À l'âge gestationnel égal, le cerveau des prématurés est plus plissé, plus évolué que celui des fœtus", indique Julien Lefèvre, l'un des chercheurs de l'université d'Aix-Marseille qui ont observé le cortex de

27 prématurés et de 14 fœtus. "Cela signifie que pour vérifier l'évolution cérébrale des enfants nés avant terme, il ne faut plus simplement se baser sur ce qui se passe normalement in utero", ajoute son collègue David Germanaud (Assistance publique - Hôpitaux de Paris; CEA Saclay). Pour ce neuropédiatre, "les différences observées entre fœtus et nouveau-nés prématurés suggèrent que le grand bouleversement de la naissance

affecte rapidement l'architecture cérébrale, un phénomène jusqu'ici insoupçonné". Faut-il en conclure que le cerveau des prématurés se développerait plus vite? Pas vraiment, car s'il semble prendre de l'avance au début, d'autres études montrent que lorsqu'un prématuré arrive à la date initialement prévue pour sa naissance, son cerveau paraît, au contraire, moins plissé que celui d'un enfant né à terme. **C.H.**

△ À l'âge gestationnel égal, le cortex d'un prématuré est plus plissé que celui d'un fœtus (ici leurs modélisations en 3D).

CARDIOLOGIE

Une molécule produite par le cœur peut le réparer

Une équipe internationale de chercheurs a identifié une molécule favorisant la régénération du cœur : FSTL1 est naturellement produite à sa surface (par l'épicarde), sauf après une crise cardiaque. Greffés chez des souris et des porcs après un infarctus (destruction massive des cellules cardiaques), des patches de collagène contenant cette molécule ont notamment entraîné la multiplication des cellules encore viables, amélioré la fonction contractile, et globalement prolongé la durée de vie. **E.A.**

NUTRITION

Le régime des Inuits n'est pas forcément bon pour la santé

Du le faible risque cardio-vasculaire des Inuits, on pensait que leur régime riche en oméga 3 (des acides gras très présents dans les poissons gras) les protégeait, et que c'était le cas pour tout le monde. Mais en comparant les gènes d'Inuits à ceux d'Européens et de Chinois, des chercheurs danois ont découvert que le génome des premiers semble particulièrement bien adapté à ce régime riche en graisses animales... ce qui n'est peut-être pas le cas du nôtre. **C.H.**



NOTRE BANQUE NOUS PERMET D'AGIR POUR L'ENVIRONNEMENT.



L'HEURE VERTE

RENCONTREZ VOTRE CONSEILLER,
ET TROUVEZ ENSEMBLE LES SOLUTIONS
QUI VOUS CONVIENTENT.

RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

- LE PRÊT PERSONNEL TRAVAUX VERT⁽¹⁾⁽²⁾
- L'ÉCO-PRÊT À TAUX ZÉRO⁽³⁾



ÉCOMOBILITÉ

- LE PRÊT PERSONNEL VÉHICULE VERT⁽¹⁾
- L'ASSURANCE AUTO POUR LES VÉHICULES VERTS⁽⁴⁾

LA BANQUE



POSTALE

3639

Service 0,15 € / min
+ prix appel

BUREAUX DE POSTE

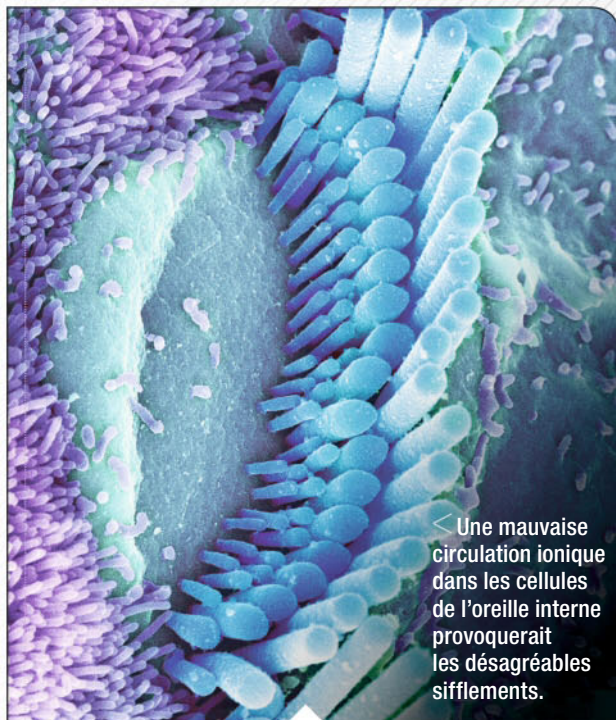
LABANQUEPOSTALE.FR⁽⁵⁾

BANQUE ET CITOYENNE

UN CRÉDIT VOUS ENGAGE ET DOIT ÊTRE REMBOURSÉ. VÉRIFIEZ VOS CAPACITÉS DE REMBOURSEMENT AVANT DE VOUS ENGAGER.

⁽¹⁾ Offre réservée aux particuliers sous réserve d'étude et d'acceptation définitive de votre dossier par le prêteur, La Banque Postale Financement. Vous disposez d'un délai légal de rétractation de 14 jours calendaires révolus. ⁽²⁾ Hors travaux de construction avec permis de construire, financement composé de PEL/CEL, travaux accompagnant une acquisition/construction. ⁽³⁾ L'obtention de l'Eco Prêt à Taux Zéro se fait sous réserve d'acceptation du dossier par le prêteur, La Banque Postale. Dans le cadre d'un crédit à la consommation, vous disposez d'un délai légal de rétractation de 14 jours calendaires révolus à compter de la date d'acceptation de votre contrat de crédit. Dans le cadre d'un crédit immobilier, vous disposez d'un délai de réflexion de 10 jours avant d'accepter les propositions d'offre de prêt qui vous sont faites. Toute vente ou construction est subordonnée à l'obtention du(des) prêt(s) sollicité(s). En cas de non-obtention de ce(s) prêt(s), le demandeur sera remboursé par le vendeur des sommes qu'il aura versées. ⁽⁴⁾ Dans les limites et conditions prévues aux Conditions Générales de votre contrat d'Assurance Auto. Sont considérés comme véhicules verts uniquement les véhicules hybrides et ou électriques couverts par votre contrat d'Assurance Auto.

⁽⁵⁾ Coût de connexion selon le fournisseur d'accès. • LA BANQUE POSTALE ASSURANCES IARD - S.A. au capital de 26 640 000 €. Siège social : 34 rue de la Fédération 75015 Paris. RCS Paris 493 253 652. Entreprise régie par le Code des assurances. Prêteur pour les prêts personnels : LA BANQUE POSTALE FINANCEMENT - S.A. à Directoire et Conseil de Surveillance au capital de 2 200 000 €. Siège social : 34 rue de la Fédération 75737 Paris CEDEX 15. RCS Paris 487 779 035. Code APE 6492Z. Intermédiaire d'assurance immatriculé à l'ORIAS sous le n° 09 051 330. La Banque Postale Financement est une filiale de La Banque Postale. Distributeur/intermédiaire de crédit du prêteur pour les prêts personnels et Prêteur pour l'Eco-Prêt à taux zéro : LA BANQUE POSTALE - S.A. à Directoire et Conseil de Surveillance au capital de 4 046 407 595 €. Siège social : 115 rue de Sèvres 75275 Paris CEDEX 06. RCS Paris 421 100 645. Code APE 6419Z. Intermédiaire d'assurance immatriculé à l'ORIAS sous le n° 07 023 424.



Une mauvaise circulation ionique dans les cellules de l'oreille interne provoquerait les désagréables sifflements.

OTO-RHINOLOGIE

ON A TROUVÉ UNE CAUSE BIOLOGIQUE AUX ACOUPHÈNES

Des bourdonnements ou des sifflements qui résonnent dans votre tête alors qu'il n'y a aucun bruit... S'il a été démontré que les acouphènes peuvent être provoqués par une exposition à des sons trop violents (concert, marteau-piqueur...), personne ne sait pourquoi ils apparaissent chez certaines personnes, quand d'autres semblent en être protégées. L'équipe de Shuang Li (université de Pittsburgh, Etats-Unis) apporte de premiers éléments de réponse. En étudiant l'oreille interne de souris, les chercheurs ont

découvert que le fonctionnement de certaines cellules de l'audition était perturbé chez les animaux les plus sensibles aux acouphènes. Après l'écoute d'un bruit très fort, de petits canaux situés à la surface de ces cellules, chargés de laisser entrer et sortir des ions potassium, perdaient en efficacité. Et cette mauvaise circulation ionique se prolongeait uniquement chez les rongeurs qui développaient ensuite des acouphènes, comme l'a révélé une analyse par imagerie de leur activité cérébrale. **C.H.**

DES CHAMPS MAGNÉTIQUES CONTRE LE "PIPI AU LIT"

Vingt-deux adolescents souffrant d'énurésie ont été soumis à dix séances de stimulation magnétique des nerfs sacrés (reliés à la vessie). Un mois plus tard, la fréquence de l'incident avait baissé de 80 %. **E.A.**

DROGUE : LA RECHUTE SE VOIT DANS LES NEURONES

Dans le cerveau d'anciens héroïnomes abstinents depuis trois ans, des chercheurs ont observé une perturbation durable des connexions neuronales, qui faciliterait les rechutes. **C.T.**

UN BOÎTIER POUR PILOTER LA CROISSANCE OSSEUSE

Une technique moins douloureuse est testée en France pour allonger l'os (en cas de jambe plus courte) : les broches sont reliées à un implant contrôlé par le patient grâce à une télécommande, qui permet une croissance progressive (1 mm par jour). **C.T.**

PHARMACOLOGIE

Du tabac OGM pourrait aider à combattre les tumeurs !

La découverte peut sembler ironique : le tabac, responsable de 6 millions de morts par an dans le monde, notamment par cancers, pourrait bientôt être utilisé pour fabriquer de l'étoposide, un puissant traitement... contre les tumeurs. Jusqu'ici, cette molécule était produite à partir de podophyllotoxine. Problème : la plante himalayenne dont est extraite cette substance se fait rare et pousse très lentement. Après avoir identifié les dix protéines impliquées dans la synthèse de la podophyllotoxine, Elizabeth Sattely et Warren Lau, chimistes à l'université Stanford (Etats-Unis), ont alors eu l'idée d'introduire les gènes correspondants dans le génome d'une plante beaucoup plus commune, le tabac. Avec succès : leurs plants se sont bel et bien mis à synthétiser la molécule tant recherchée. **C.H.**



Votre voiture vous obéit
au doigt et à l'œil. Elle.



Nouveau Touran avec services en ligne Car-Net sur écran tactile. Prenez la vie de famille du bon côté.

Grâce aux services mobiles en ligne Car-Net*, contrôlez de nombreuses fonctionnalités depuis l'écran tactile de votre Nouveau Touran. Profitez de systèmes d'infodivertissement et de navigation de dernière génération pour optimiser vos déplacements et connectez votre smartphone pour utiliser vos applications directement sur l'écran tactile. Parce que même si vos enfants n'en font qu'à leur tête, en voiture, c'est vous le chef.



Shazamez l'image pour découvrir le Nouveau Touran.



Das Auto.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

Volkswagen Group France - s.a. - R.C.S. Soissons B 602 025 538

* En option selon modèle et finition. **Modèle présenté :** Nouveau Touran Carat 1.2 TSI 110 BVM6 avec options jantes alliage 18" 'Marseille', Pack 'LED' avec projecteurs LED directionnels, Pack 'Voyage', peinture métallisée Bleu Caraïbes et Pack R-line. **Das Auto. : La Voiture.**

Cycle mixte (l/100 km) : 5.4 Rejets de CO₂ (g/km) : 126.

Professionnels, découvrez la version Business de ce véhicule sur volkswagen-professionnels.fr



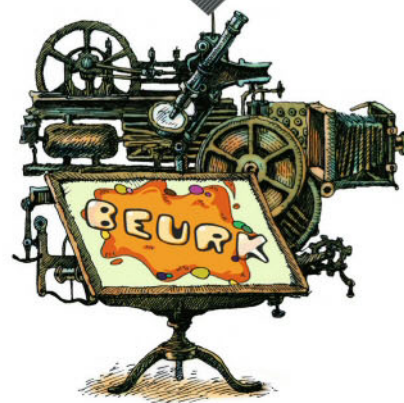
◀ Dans le cas de la leucémie myéloïde chronique, certaines cellules cancéreuses (en violet) résistent aux traitements classiques.

CANCÉROLOGIE

UN ANTIDIABÉTIQUE SEMBLE GUÉRIR UN CANCER INCURABLE

Un simple antidiabétique pourrait révolutionner le traitement des patients atteints d'une forme incurable de cancer du sang, la leucémie myéloïde chronique. Des chercheurs français ont montré que la pioglitazone, molécule qui renforce l'effet de l'insuline, augmentait l'efficacité des traitements actuels, soulevant l'espoir de guérir totalement de ce cancer. Le médicament de référence utilisé aujourd'hui (l'imatinib, ou Glivec) est très efficace, mais il doit être pris à vie. En effet, une minorité de cellules cancéreuses lui résiste et se met en sommeil, risquant de se réactiver à l'arrêt des

soins. *"La pioglitazone réveille ces cellules souches cancéreuses, qui recommencent alors à se diviser et deviennent sensibles aux traitements classiques"*, explique Stéphane Prost, du CEA. Vingt-sept patients du centre hospitalier de Versailles ont suivi ce traitement combiné. Au bout d'un an, plus de la moitié d'entre eux ne présentaient plus aucune trace détectable de cancer. Et trois ans après l'arrêt de l'antidiabétique, la maladie n'avait pas réapparu. Pour le chercheur, *"cette stratégie visant les cellules souches cancéreuses pourrait être appliquée à d'autres types de tumeurs"*. **O.C.**



Pour étudier les virus, ils inventent la "machine à vomir"

L'idée peut paraître saugrenue... et surtout peu ragoûtante. Mettre au point une machine à vomir est pourtant le meilleur moyen qu'a trouvé l'équipe de Lee-Ann Jaykus, de l'université d'Etat de Caroline du Nord, pour comprendre le rôle des vomissements dans la transmission des norovirus, fréquemment impliqués dans la survenue de gastro-entérites. Certes, la voie "royale" pour ces virus est celle appelée "fécale-orale" : on oublie de se laver les mains après être allé aux toilettes, et on contamine la nourriture. Mais des études avaient montré que des épidémies de gastro-entérites pouvaient aussi se déclencher dans un environnement clos, un restaurant par exemple, après qu'un des convives a vomi. Les chercheurs soupçonnaient donc que les vomissements permettaient la mise en suspension dans l'air des norovirus, comme le font les éternuements pour le virus de la grippe. Soupçon désormais avéré grâce à cette machine à vomir qui reproduit à la fois l'anatomie humaine, la cinétique des vomissements ainsi que la consistance et le volume de vomé émis : selon les conditions de l'expérience, ce sont entre 36 et 13 000 particules virales qui sont vaporisées, une dose suffisante pour contaminer l'entourage. **C.H.**



Innovation
that excites

zero Emission*

NISSAN LEAF, LA FAMILIALE 100% ÉLECTRIQUE. MAINTENANT JUSQU'À 250 KM D'AUTONOMIE.⁽¹⁾



À PARTIR DE
169 €/MOIS⁽²⁾

SANS APPORT - BATTERIE INCLUSE

sous condition de reprise et bonus écologique de 6300€ déduit

NISSAN LEADER MONDIAL
DES VÉHICULES 100% ÉLECTRIQUES.
REJOIGNEZ LE COURANT.



Nissan, partenaire
de la Conférence de Paris (COP21).

YOU+ NISSAN**

NOTRE PROMESSE. VOTRE EXPÉRIENCE.

- + Véhicule de remplacement gratuit.
- + Entretien Nissan au meilleur prix.
- + Nissan assistance gratuite illimitée.
- + Diagnostic systématique offert.

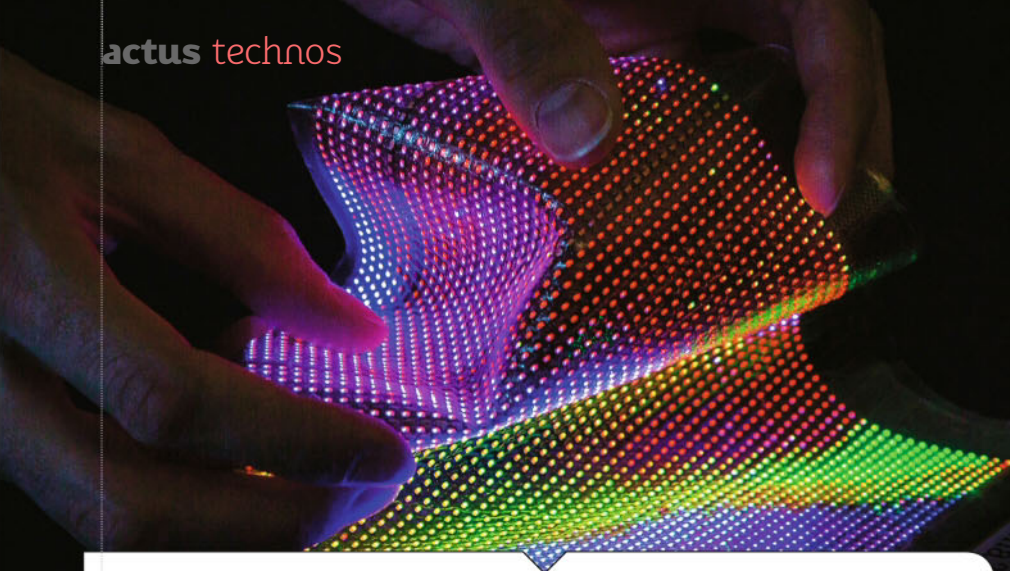
Contactez-nous 24h/24, 7j/7 :

En France **0805 11 22 33**

De l'étranger **+33 (0)1 72 67 69 14**

Pour plus d'informations rendez-vous sur **nissan.fr/leaf**

Innover autrement. *Zéro émission de CO₂ à l'utilisation, hors pièces d'usure. **Dans cadre opérations d'entretien : Conditions sur **nissan.fr/promesse-client** (1) Autonomie cycle NEDC pour une Nissan LEAF 2016 30 kWh, en cours d'homologation, détails sur **nissan.fr/cycle-NEDC** (2) Exemple pour une Nissan LEAF 2016 Visia 24 kWh (autonomie jusqu'à 199 km) avec batterie, kilométrage maximum 37 500 km. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat avec paiement des frais de remise à l'état standard et des km supplémentaires. Premier loyer de 10 000 € (dont 6 300 € de bonus écologique, et prime à la conversion de 3 700 € pour la destruction d'un véhicule diesel immatriculé avant le 1^{er} janvier 2001, applicables sous réserve de modification de la réglementation et d'éligibilité à ces avantages) et 36 loyers de 169 €. **Modèle présenté** : Nissan LEAF 2016 Tekna 30 kWh en Location Longue Durée avec un 1^{er} loyer majoré de 10 000 € et 36 loyers de 297 €. Sous réserve d'acceptation par Diac RCS Bobigny 702 002 221. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable jusqu'au 31/12/2015 chez les Concessionnaires participants. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 € RCS Versailles B 699 809 174 Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.



ÉLECTRONIQUE

LE PREMIER TEXTILE VRAIMENT "INTELLIGENT" VOIT LE JOUR

Aujourd'hui, ce qu'on appelle les "smart textiles" désigne essentiellement des tee-shirts connectés et lumineux sur lesquels des capteurs ou petits écrans sont accrochés... Or, l'étape ultime – et complexe – pour les ingénieurs consiste aujourd'hui à intégrer un véritable écran flexible directement dans un tissu.

Ce défi vient d'être relevé par des chercheurs du Holst Centre à Eindhoven

(Pays-Bas). Comme les écrans souples existants ne peuvent pas être étirés et courbés dans tous les sens comme du textile, au risque de se fissurer, ils ont trouvé une parade : monter des LED, habituellement rigides, sur un substrat en polyimide, et les encapsuler dans du caoutchouc.

Ils ont ainsi conçu le premier écran AMOLED (32x32 pixels) extensible qui peut être intégré dans

des tissus. Particulièrement fin (3 mm), celui-ci permettra, une fois couplé à différents capteurs, d'afficher des informations, comme la fréquence cardiaque et les calories dépensées, directement sur le tee-shirt. Selon Jeroen van den Brand, qui a participé aux recherches, il reste encore à "améliorer la résolution et les performances de l'écran, et le rendre aussi parfaitement lavable en machine". **L.B.**

△ Composé de LED organiques, cet écran extensible peut s'intégrer à un tissu.

MATÉRIAU

Du cuivre peut devenir magnétique

"On savait qu'en enrobant un aimant de molécules carbonées on perturbe son champ magnétique, relate Oscar Cespedes, de l'université de Leeds. Nous avons eu l'idée de faire la même chose avec des matériaux non-magnétiques..." Résultat : du cuivre et du manganèse se sont transformés en aimants ! Un miraculeux effet d'interface encore inexploité, mais qui devrait être vite exploité. Car quantité d'objets ont besoin d'aimants. Or, jusque-là, il n'existait que trois éléments magnétiques : le fer, le cobalt et le nickel. **M.F.**

ROBOTIQUE

Ce robot sait transmettre des connaissances

Une équipe de l'Inserm a mis au point un nouveau système de mémoire pour robot, qui tient compte du contexte et date les événements. Le robot est ainsi capable d'apprendre de nouvelles actions et de les transmettre. Après avoir appris à réparer une carte électronique, par exemple, il saura expliquer à son tour comment s'y prendre. Un tel appareil pourrait servir de relais entre équipes de maintenance, mais aussi jouer le rôle d'aide-mémoire personnel. **O.L.**

▽ La machine est enrichie d'une mémoire chronologique.



” COMMENT
LE LIVRET **DISTINGO**
PEUT-IL RAPPORTER
PLUS QUE SON TAUX ?

TELE EST LA QUESTION ! ”

DISTINGO

3,60%
BRUTS
GARANTIS 3 MOIS*

L'ÉPARGNE INVESTIE EN FRANCE
DANS L'ÉCONOMIE RÉELLE



Pour en savoir plus,
rendez-vous sur psabanque.fr

PSA BANQUE
PSA PEUGEOT CITROËN
BANQUE DE L'ÉCONOMIE RÉELLE

*Offre soumise à conditions, valable pour toute ouverture d'un Livret d'épargne DISTINGO jusqu'au 30/11/2015. Taux promotionnel annuel brut de 3.60%, garanti pendant 3 mois à compter de l'ouverture, jusqu'à 75.000€. Au-delà, taux annuel brut de 1.40% susceptible de variations à la baisse. Taux bruts exprimés avant prélèvements sociaux et fiscaux. PSA BANQUE, marque de SOFIB - 652 034 638 RCS Nanterre.

✓ Montre, ceinture ou bracelet connectés communiquent entre eux *via* les tissus biologiques.



TRANSMISSION

LE CORPS DEVIENT UN TRANSMETTEUR D'INFORMATIONS

Des chercheurs américains de l'université de Californie (San Diego) ont eu l'idée originale d'utiliser le corps humain comme vecteur d'information sans fil... Le principe? Ce sont les tissus biologiques qui véhiculent les ondes magnétiques et permettent à des objets connectés, portés sur soi, de communiquer. Ce "voyage" corporel réduit les pertes énergétiques de plus de 10 millions de fois par rapport au Bluetooth, ce qui accroît l'autonomie des batteries. Autre avantage, la sécurisation des données: quasiment aucune ne fuit dans une transmission par

le corps, alors qu'en Bluetooth elles risquent d'être interceptées dans un rayon de 10 mètres. En revanche, seules les formes circulaires, captant facilement les champs magnétiques, ont été testées, ouvrant la voie aux montres, ceintures et bracelets connectés; *quid* des patches...?

En outre, "*l'intensité du champ utilisé est à peu près la même que celle du champ magnétique terrestre*", précise Jiwoong Park, premier auteur de l'étude. Soit environ 100 000 fois inférieure à celle d'une IRM, ce qui écarterait tout risque sanitaire potentiel. **A.P.**

LA GLACE QUI NE DÉGOULINE PLUS

Elle a été élaborée par des chercheurs des universités de Dundee et Edimbourg grâce à la protéine naturelle BslA. Cette dernière adhère aux gouttelettes de gras et aux bulles d'air qui constituent la glace, favorisant sa stabilité. **S.F.**

UNE BATTERIE À RECHARGER AU SOLEIL

Des chercheurs de Kogakuin (Japon) ont conçu une batterie lithium-ion solaire, ultra-plaque (moins de 100 nanomètres) et... transparente. Lorsque la lumière la traverse, ses électrons sont conduits vers son électrode négative, ce qui la recharge. **S.F.**

POUR ORBITER PLUS "VERT"

Mi-2016, la Nasa va tester pour ses satellites un nouveau carburant à base de nitrate d'hydroxylammonium. L'AF-M315E dégagera des gaz non-toxiques: vapeur d'eau, hydrogène, dioxyde de carbone... **E.T.-A.**

MATÉRIAU

On a imprimé en 3D du verre transparent!

Créer une forme complexe en verre transparent grâce à l'impression 3D, voici la prouesse réalisée par une équipe du Lab Glass du MIT (Etats-Unis). Toute la difficulté consistait à maintenir le verre – à base de silice, calcium et sodium – à une température assez élevée (plus de 1 000 °C) tout au long du processus. Pour y parvenir, le verre a d'abord été placé en fusion dans un creuset, avant de couler à travers une buse, puis de finir sa course dans une chambre de chauffage maintenue juste au-dessus de la température de solidification. L'objectif était de le refroidir progressivement en évitant qu'il ne se brise. Les chercheurs doivent encore comprendre les contraintes de fabrication mécaniques, optiques... avant d'envisager des débouchés industriels. **E.T.-A.**



△ Le processus exige de passer de 1 000°C à 0°C sans que le verre ne casse.

C'EST TELLEMENT SIMPLE DE PASSER À L'HYBRIDE TOYOTA



TOUJOURS
MIEUX
TOUJOURS
PLUS LOIN

Si seulement c'était
le cas de mon téléphone
portable...

Pas besoin de la brancher

Les Hybrides Toyota ne se branchent pas.
Elles se rechargent automatiquement en roulant.
Ainsi, pas de problème d'autonomie.

Consommation réduite

En ville, une Hybride Toyota parcourt jusqu'à
2/3 de son trajet grâce à l'énergie électrique.
C'est pour ça qu'elle consomme moins.

Moins de pièces
à remplacer...

... c'est plus
de pièces dans le
porte-monnaie

On se connaît ?

Moins de coûts à l'usage

Sur une Hybride, il n'y a ni démarreur,
ni alternateur, ni embrayage, ni courroie
de distribution. Et moins de pièces,
ça fait moins d'interventions.

Entre stars,
on se comprend

8 millions

L'Hybride par Toyota, tout le
monde adore. Plus de 8 millions
de conducteurs l'ont déjà
adoptée dans le monde, dont
22 acteurs oscarisés.

Toyota champion
de la fiabilité

Hollywood

TOYOTA AURIS HYBRIDE

À PARTIR DE

239 €/MOIS⁽¹⁾

ENTRETIEN INCLUS
SANS CONDITION DE REPRISE**

LOA* 37 MOIS. 1^{er} LOYER DE 3990 € (BONUS ÉCOLOGIQUE***
DÉDUIT), SUIVI DE 36 LOYERS DE 239 €.
MONTANT TOTAL DÙ EN CAS D'ACQUISITION : 26 068 €.



DÉCOUVREZ TOUTES LES BONNES RAISONS DE PASSER À L'HYBRIDE TOYOTA
SUR TOYOTA.FR/HYBRIDE

UN CRÉDIT VOUS ENGAGE ET DOIT ÊTRE REMBOURSÉ. VÉRIFIEZ VOS CAPACITÉS DE REMBOURSEMENT AVANT DE VOUS ENGAGER.

Consommations mixtes (l/100 km) et émissions de CO₂ (g/km) / AURIS HYBRIDE : de 3,5 à 3,9 et de 79 à 91 (A). Données sous réserve d'homologation (CE).

(1) Exemple pour une Nouvelle Toyota Auris Hybride Tendence 5 portes neuve avec Toyota Safety Sense™ inclus au prix exceptionnel de 22 900 €, remise de 2 550 € déduite. *Location avec Option d'Achat 37 mois, 1^{er} loyer de 3 990 € (après déduction de 1 145 € de Bonus Écologique***), suivi de 36 loyers de 239 €/mois hors assurances facultatives. Option d'achat : 12 329 € dans la limite de 37 mois & 45 000 km. Montant total dû en cas d'acquisition : 26 068 €. Assurance de personnes facultative à partir de 25,19 €/mois en sus de votre loyer, soit 932,03 € sur la durée totale du prêt. **Modèle présenté** : Nouvelle Auris Hybride Design 5 portes avec peinture métallisée, phares BI-LED et Toyota Safety Sense™ inclus, au prix exceptionnel de 25 570 €, remise de 2 550 € déduite, soit 289 €/mois en LOA* 37 mois & 45 000 km. 1^{er} loyer de 3 990 € (après déduction de 1 278,50 € de Bonus Écologique***), suivi de 36 loyers de 289 €/mois. Option d'achat : 13 455 € dans la limite de 37 mois & 45 000 km. Montant total dû en cas d'acquisition : 29 127,50 €. Assurance de personnes facultative à partir de 28,13 €/mois en sus de votre loyer, soit 1 040,81 € sur la durée totale du prêt. **Entretien inclus dans la limite de 3 ans & 45 000 km (au 1^{er} des 2 termes atteint). ***Pour l'acquisition ou la location (durée ≥ 24 mois) d'un véhicule hybride émettant jusqu'à 110 g/km de CO₂, Bonus Écologique dépendant du coût du véhicule neuf (équipements intrinsèques inclus, toutes remises déduites et hors accessoires, services et frais annexes), soit 5 % du coût d'acquisition TTC, et ce dans la limite de 1 000 € (min) à 2 000 € (max). Selon conditions et modalités du décret n° 2014-1672 du 30 décembre 2014. Offre réservée aux particuliers, valable jusqu'au 31 octobre 2015 chez les distributeurs Toyota participants et portant sur le tarif en vigueur au jour de la souscription du contrat. En fin de contrat, restitution du véhicule dans votre concession avec paiement des frais de remise en état standard et des éventuels kilomètres excédentaires. Sous réserve d'acceptation par TOYOTA FRANCE FINANCEMENT, 36 bd de la République 92423 Vaucresson, RCS 412 653 180 - n° ORIAS 07 005 419 consultable sur www.orias.fr.

SCIENCE&VIE

vous présente

LA NOUVELLE CROISIÈRE

LES CAPITALES de la Baltique

du 18 au 25 juin 2016

SCIENCES & GÉOPOLITIQUE

avec
Cédric Villani
& **Alexandre Adler**

SUÈDE
Stockholm



RUSSIE - St. Pétersbourg

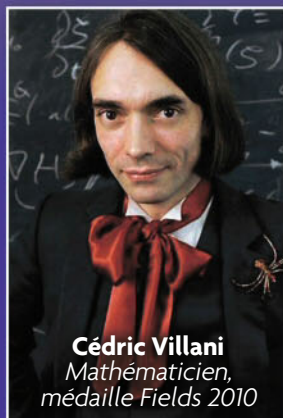


FINLANDE - Helsinki

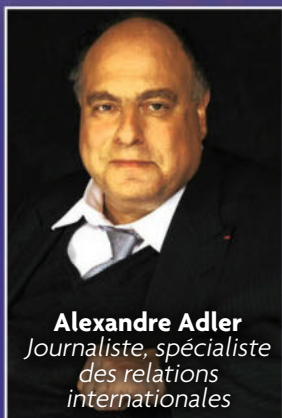
A BORD DU COSTA LUMINOSA
EN PARTENARIAT AVEC

Costa

AVEC LA PRÉSENCE EXCEPTIONNELLE DE :



Cédric Villani
Mathématicien,
médaillé Fields 2010



Alexandre Adler
Journaliste, spécialiste
des relations
internationales

ÉVÈNEMENT

Les points forts de votre croisière Science&Vie

- ✓ Un programme exclusif de conférences « **Sciences, Géopolitique et Société** ».
- ✓ Des invités prestigieux : **Cédric Villani** récompensé par la médaille Fields et **Alexandre Adler** spécialiste des relations internationales.
- ✓ Un itinéraire spectaculaire de **8 jours à la découverte des splendeurs du Nord** : Saint Pétersbourg, Stockholm, Helsinki et Tallinn.



Visitez le musée en plein air de Stockholm et son centre historique, remontez le temps dans la cité médiévale de Tallinn et ses toits de tuiles rouges, touchez le faste des tsars et les merveilles architecturales de Saint-Petersbourg, flânez dans les rues d'Helsinki, capitale du design et si proche de la nature.

Une croisière inoubliable alliant visites et conférences captivantes.

SUÈDE
Stockholm

FINLANDE
Helsinki

RUSSIE
St. Pétersbourg

ESTONIE
Tallinn

8 jours / 7 nuits
à partir de

1490€

EN PENSION COMPLÈTE
boissons incluses aux repas
Au départ de PARIS

Prix TTC/pers. en cabine double cat. IC.
forfait séjour inclus.

NOTRE PRIX COMPREND

- ✓ La croisière 8 jours/7nuits
- ✓ Le vol Paris/Stockholm/Paris
- ✓ Le transfert aéroport/port/aéroport
- ✓ La pension complète et une sélection de boissons aux repas (eau minérale, soft drink, bières et vins pour les diners)
- ✓ Le forfait de séjour à bord et les taxes portuaires
- ✓ Le programme de conférences exclusives de la croisière Science&Vie
- ✓ Des accompagnateurs dédiés à la croisière Science&Vie
- ✓ Le cocktail Science&Vie en présence de nos invités

Appelez-nous !
c'est rapide, facile
et cela n'engage à rien.

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

01 41 33 57 06

Du lundi au samedi de 9h à 19h (prix d'un appel local)

EN PRÉCISANT **SCIENCE&VIE**

OU SUR LE SITE :

www.croisieres-lecteurs.com/sv

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRES - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

☐ **OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION**
COMPLÈTE de la croisière BALTIQUE proposée par Science&Vie.

SCIENCE&VIE

CS5V1D

☐ Mme ☐ M Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville : Date de naissance :

Tél. : Email :

☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires. Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant. Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières : Costa Crociere S.p.A. France - Atout France 092100081. Science&Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Dry - 92 543 Montrouge Cedex. Création, réalisation : aptitude - C.M.D. Crédits photos : © iStock. © Costa Croisières.





CLIMAT

Le tour de France des régions

ÎLE-DE-FRANCE

52

RHÔNE-ALPES

62

CENTRE

74

NORD-EST

82

SUD-EST

94

SUD-OUEST

104

GRAND OUEST

114

DOM-TOM

124

Nul ne l'ignore : la planète se réchauffe. La planète, d'accord ; mais en France ? Concrètement ? Si les prévisions d'une hausse des températures se vérifient, que se passera-t-il... en Bretagne ? Dans les Alpes ? A Paris ? Dans le Nord et l'Est ? Le long du pourtour méditerranéen ?... Région par région, notre rédaction s'est mobilisée pour recenser tous les effets attendus du réchauffement, au cas par cas. A la clé ? Tout ce qui risque de changer localement, dans tous les secteurs, où que l'on habite en France. De quoi savoir à quoi s'attendre et anticiper l'avenir. Car une chose est sûre : des défis vont se poser.

DOSSIER RÉALISÉ PAR VINCENT NOUYRIGAT
AVEC PIERRE-YVES BOCQUET, THOMAS CAVAILLÉ-FOL,
FIORENZA GRACCI, ANGÉLIQUE LE TOUZE, ALEXANDRA PIHEN,
YVES SCIAMA, CAROLINE TOURBE
ILLUSTRATIONS YANNICK MONGET (VUES D'ARTISTE),
BRUNO BOURGEOIS (CARTES) ET MIKO KONTENTE (INFOGRAPHIES)

Il suffit d'ouvrir les yeux. Il suffit de prêter un peu attention à tel ou tel signe étrange dans le paysage, à ce petit détail qui cloche ou cette anomalie qui bouscule de vieux adages bien ancrés. L'évidence saute alors à la figure : le réchauffement climatique mondial est en train de transformer la France.

Depuis maintenant plusieurs décennies, les indices s'accumulent dans tous les coins de l'Hexagone. Que ce soit en ville, à la campagne, à la montagne ou sur le littoral... En Lorraine, les semis de blé sont effectués un mois plus tôt qu'en 1970 ; dans le massif du Mont-Blanc, il faut descendre chaque année une dizaine de marches supplémentaires pour accéder à la Mer de glace ; à Châteauneuf-du-Pape (Vaucluse), les vendanges ont été avancées d'environ trois semaines depuis les années 1950 ; dans le Maine-et-Loire, les pommiers fleurissent une semaine plus tôt que dans les années 1990 ; en Normandie, le rouget s'est invité à la table des restaurants gastronomiques ; à Paris, les perruches côtoient les pigeons...

Ces changements perceptibles et avérés n'ont qu'une explication : au cours du XX^e siècle, la température moyenne dans notre pays s'est élevée de 1°C sous l'effet des émissions industrielles. *"Cela n'a peut-être l'air de rien, mais cet écart représente 20 % de la différence thermique séparant une période de glaciation d'une période 'normale'"*, relève Eric Brun, de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc), un organisme placé sous l'autorité du ministère de l'Ecologie. *"Une hausse de la température de 1°C correspond, pour des régions comparables, au déplacement du climat de 180 km vers le nord ou de 150 m plus haut en altitude"*, enchaîne Serge Planton, directeur de recherche au Centre national de recherches météorologiques.

Pour le dire autrement, l'organisme humain devient fiévreux à partir de 39°C ; s'il atteint 41°C, sa vie est menacée ; s'il retombe à 37°C, tout

va bien. Deux degrés de plus ou de moins font une énorme différence.

L'histoire est en marche... Et les négociateurs qui affluent du monde entier vers Paris pour participer à la COP21 (voir encadré p. 51), fin novembre, n'y pourront pas grand-chose ! *"L'inertie du système climatique est telle qu'il n'est plus possible d'infléchir la tendance d'ici à 2050"*, lance Eric Brun. *Les décisions prises en ce moment n'auront un impact que sur la seconde moitié du*



Vers 2030-2040, il faudra commencer à sortir des référentiels connus (...). Ensuite, des décisions plus radicales devront être prises, peut-être l'abandon de cultures emblématiques.

XXI^e siècle." Il y a urgence quand on sait que 2015 est en passe de devenir l'année la plus chaude jamais enregistrée.

Ce qui nous attend pour le siècle à venir ? Difficile d'être très précis : les climatologues se débattent avec plusieurs scénarios très différents d'émissions de CO₂ et une flopée de modèles numériques dont les résultats ne convergent pas toujours (voir ci-contre). Il n'empêche, des tendances se dégagent nettement.

Dans l'Hexagone, le climat sera de plus en plus chaud tout au long de l'année, les canicules estivales vont se multiplier et l'été sera toujours plus sec sur l'ensemble du pays – car la chaleur accentue l'évaporation des sols et la transpiration des plantes. Autant dire que le brûlant été 2003 est voué à devenir la norme...

Le régime des pluies sera aussi probablement impacté : les précipitations devraient augmenter en hiver et diminuer en été, avec un risque accru de pluies extrêmes. Tandis que le niveau des mers pourrait s'élever d'une cinquantaine de centimètres.

ÉVOLUTION EN ACCÉLÉRÉ

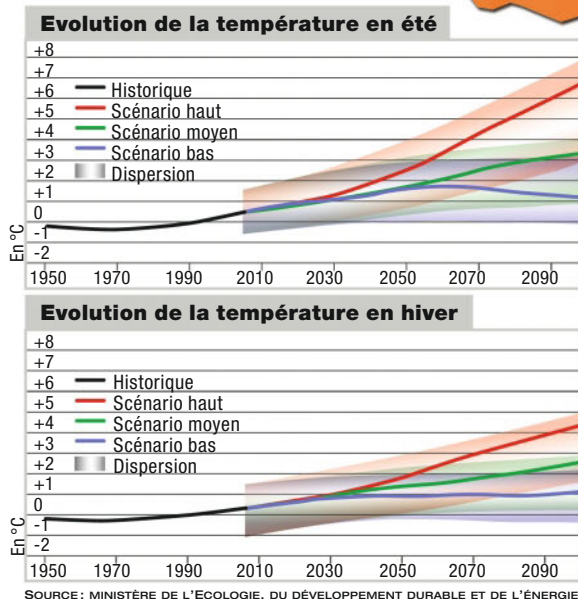
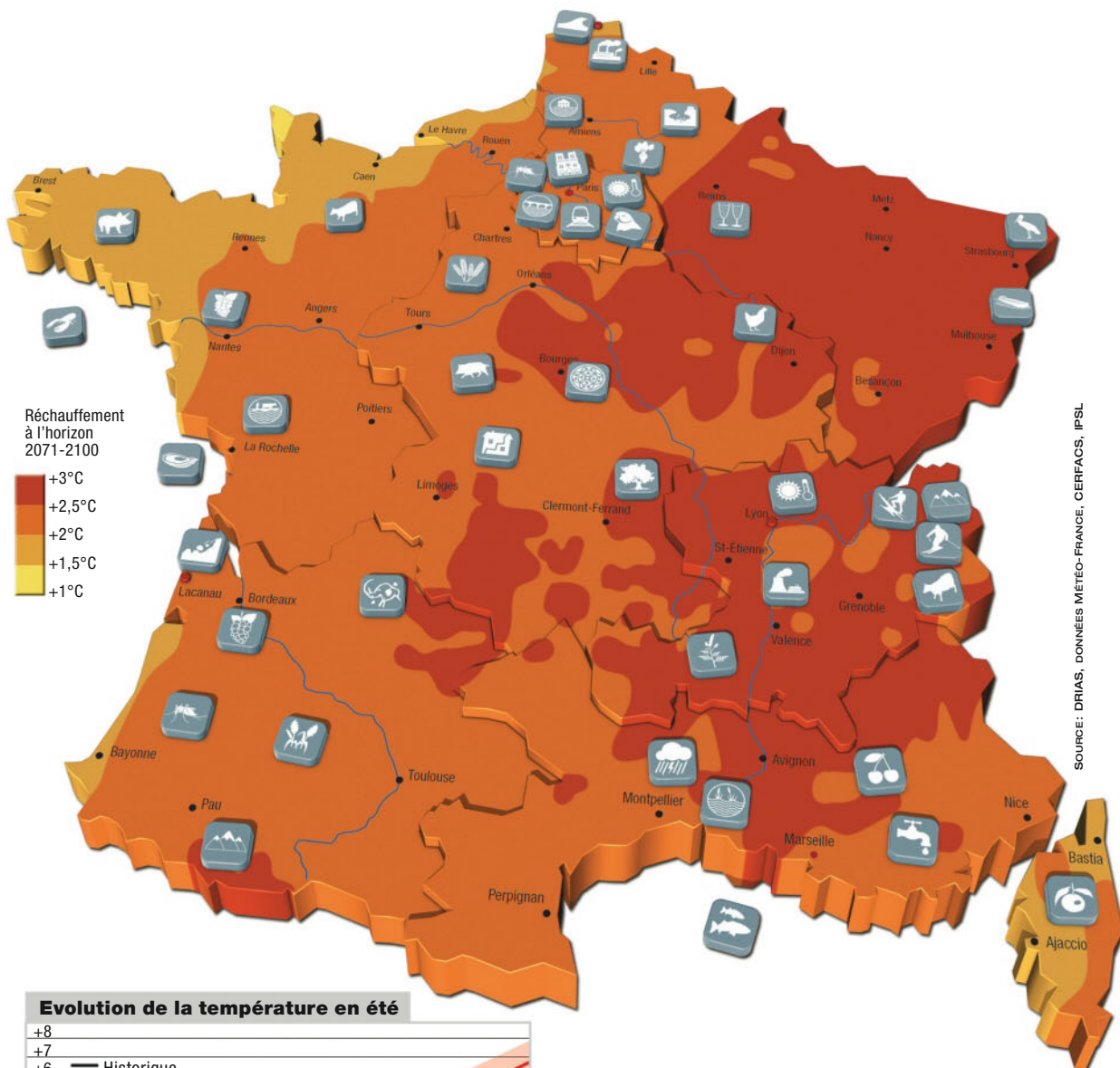
Peut-être plus que son ampleur, c'est la vitesse du changement à venir qui interpelle : *"Dans les cinquante prochaines années, nous devrions encaisser à peu près le même échauffement que lors du siècle dernier"*, pointe Serge Planton. Même si, à bien des égards, la société évoluera sans doute plus vite que le climat.

Personne ne peut rester indifférent à ces projections dans un pays comme le nôtre, si dépendant de ses terroirs et de ses climats. La France est le premier exportateur européen de céréales, le premier producteur mondial de vin, la première destination touristique, le plus grand domaine skiable du monde, un pays bordé par trois mers et un océan en élévation... *"Ne pas chercher à s'adapter reviendrait à se tirer une balle dans le pied !"*, lance Eric Brun.

Bonne nouvelle : l'adaptation au nouveau climat est justement devenue un objet de recherche en soi. Avec, à la clé, des pistes pour l'avenir.

"Jusqu'à maintenant, nous nous sommes adaptés en fonction de l'expérience acquise, par petits incréments, à l'image du décalage de la date des semis, analyse Thierry Caquet, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). Mais vers 2030-2040, il faudra commencer à sortir des référentiels connus, avec l'apparition de nouvelles cultures, de nouveaux systèmes de production – pourquoi pas issus des pays du Sud. Ensuite, des décisions plus radicales devront être prises, peut-être l'abandon de cultures emblématiques."

D'ores et déjà, les agronomes se ruent sur leurs archives et leurs grandes collections de ➔

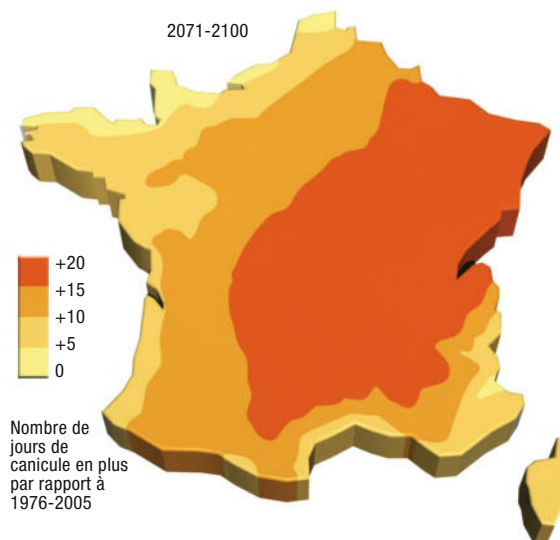


SOURCE : MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

+ 2,4 °C : le scénario le plus probable en France

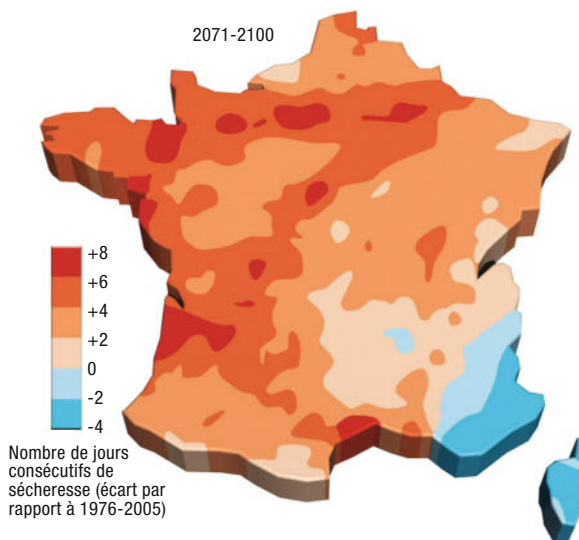
Voici une projection du climat de la France des années 2070-2100... Une projection parmi d'autres, car il existe plusieurs scénarios d'émissions de CO₂ (voir ci-contre) et différents outils de simulation numériques. Nous avons choisi un scénario médian (trait vert, correspondant à un changement mondial de 1,7 à 3,2°C) simulé par le modèle Aladin-Climat exploité par Météo-France. Constat frappant : le changement climatique n'aura rien d'homogène à l'échelle du territoire ; la vallée du Rhône devrait subir un réchauffement trois fois supérieur à celui de la pointe du Cotentin ! Quelle que soit leur ampleur, ces dérèglements auront un impact sur les activités et les paysages les plus emblématiques de nos régions.

Vers un bouleversement des climats et des paysages



Les vagues de chaleur seront plus longues

Dans les années 2071-2100, les vagues de chaleur estivales dureront davantage. Les zones de climat continental, dans l'est de la France, seront les plus touchées.



La sécheresse devrait gagner tout le territoire

Le nombre de jours d'été consécutifs comptant moins de 1 mm de précipitations risque d'augmenter sur la majeure partie du territoire. Notamment à l'ouest, habituellement bien arrosé.

semences. Ils commencent aussi à analyser plants de vigne, arbres (fruitiers ou non), céréales ou espèces animales exploités dans les endroits les plus chauds et arides de la planète. A la recherche de tout ce qui serait capable de supporter un été caniculaire, un automne chaud ou même un hiver trop doux.

LOURDES DÉCISIONS

Ces problèmes peuvent paraître lointains. Erreur ! La question est déjà brûlante pour les forestiers, par exemple, dont les arbres plantés aujourd'hui seront exploités vers la fin du siècle. *"Il existe un paquet d'incertitudes sur la capacité des arbres à s'adapter aux sécheresses extrêmes attendues, nous sommes dans l'inconnu, témoigne Hervé Le Boulter, de l'Office national des forêts (ONF). A vrai dire, toutes les essences sont susceptibles d'être mises en difficulté par ces stress hydriques. Il faut trancher... ça ressemble à une situation de guerre."*

Un peu partout, de lourdes décisions devront être prises. Face à la

montée du niveau de la mer, *"les zones à forts enjeux industriels et humains (Dunkerque, Le Havre...) seront protégées à tout prix, annonce Eric Brun. Dans d'autres endroits, en revanche, il faudra accepter de cesser la lutte et d'abandonner des terrains à la mer"*.

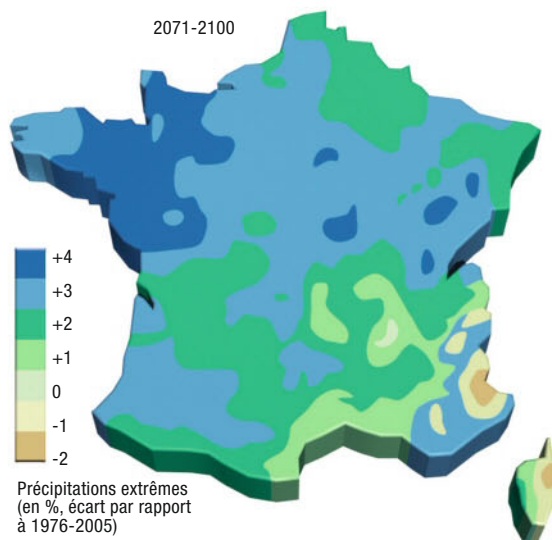
Une chose est sûre : les conséquences dépasseront largement le simple décalage des vendanges ou de la date de floraison des pommiers et des mirabelliers.

Rien ne sera simple. De lourds investissements devront être consentis pour ériger des digues supplémentaires, inventer des systèmes d'irrigation, lancer une lutte massive contre des parasites ou des maladies mal connus, mettre en place des compétences inédites, imaginer de nouvelles filières économiques, s'adapter à d'autres rythmes de vie, se lancer dans de nouvelles cultures qui, au début, pourraient échouer lamentablement... *"Les agriculteurs devront renégocier les cahiers des charges des appellations d'origine contrôlée de leurs produits, qui n'auront plus*

forcément le même goût ni le même aspect", avance Thierry Caquet.

Ici, il faudra peut-être faire le deuil d'une infrastructure emblématique devenue caduque : une station de ski, une promenade sur le front de mer, une route départementale... Là, abandonner des savoir-faire ancestraux. Des paysages typiques deviendront méconnaissables. Quelques itinéraires de promenade bien connus se révéleront trop dangereux. D'inquiétantes maladies, que l'on croyait réservées aux pays tropicaux, nous toucheront de plein fouet. Les ingrédients de certaines recettes traditionnelles seront plus difficiles à trouver.

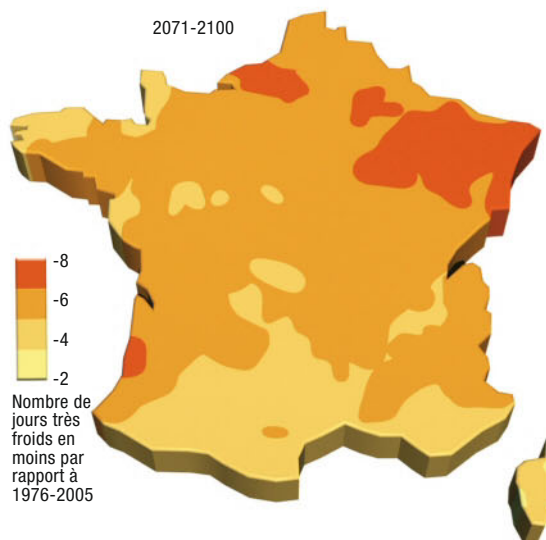
Inutile, pour autant, de céder au catastrophisme : les Français sont loin d'être les plus mal lotis face au changement climatique. Notre territoire ne sera pas constamment submergé comme certaines parties du Bangladesh ou n'importe quelle île du Pacifique. *"La France restera un pays tempéré, avec ses variations saisonnières qui lui sont propres – il y aura toujours des perturbations en hiver"*, rétablit Robert Vautard, chercheur au Laboratoire



Précipitations extrêmes
(en %, écart par rapport
à 1976-2005)

Des murs d'eau remplaceront le crachin

La part des précipitations extrêmes va augmenter notamment dans les régions où ce phénomène météorologique est rare aujourd'hui.



Nombre de
jours très
froids en
moins par
rapport à
1976-2005

Les gelées se feront plus rares

Le nombre de jours hivernaux affichant une température anormalement basse (au moins 5°C inférieure à la normale) se réduira. À commencer par le nord-est, où le gel domine.

des sciences du climat et de l'environnement. Selon plusieurs modèles, la vitesse des vents violents aurait même tendance à s'atténuer dans l'Hexagone. Et il ne s'agirait pas non plus d'accuser le climat à tort et à travers à chaque nouvelle catastrophe naturelle.

DES VIGNES PARTOUT EN FRANCE

Surtout, le changement climatique ne peut se résumer à une douloureuse et tragique rupture d'équilibres. Des opportunités se présenteront aussi. Quoi qu'on en pense, le surplus de CO₂ présent dans l'atmosphère stimule la croissance de nombreux végétaux ! Et puis, le déplacement de certaines espèces vers le nord crée de nouvelles possibilités sur ces territoires – toute la France sera bientôt éligible à la viticulture. Pour sa part, la raréfaction des périodes de gel ouvre le champ des possibles dans le nord-est de la France et dans les massifs montagneux. Plusieurs espèces aujourd'hui marginales sur notre territoire, comme le pin d'Alep ou le sorgho, pourraient enfin trouver la place qu'ils méritent. “*Les cultures*

rustiques et diversifiées devraient prendre l'avantage sur les systèmes hyper-performants”, relève, non sans plaisir, Patrick Bertuzzi, directeur de l'unité de recherche Agrocim (INRA Avignon). Comme un air de revanche sur le productivisme et l'uniformisation à tout crin.

À l'heure où Paris débat du climat mondial, *Science & Vie* a voulu explorer le visage de cette France où plus rien ne sera jamais comme avant. La France de la seconde moitié du XXI^e siècle, le pays dans lequel vivront nos petits-enfants et arrière-petits-enfants. Notre rédaction s'est attachée à restituer ces changements, en s'appuyant sur les nombreux travaux des scientifiques et l'expérience des acteurs de terrain. Une grande plongée dans l'âme du pays, région par région, paysage par paysage, tradition par tradition.

Pour enfin comprendre ce qui se passera près de chez vous. Que vous soyez en Ile-de-France, Rhône-Alpes, dans la région Centre, le Nord-Pas-de-Calais, en Alsace-Lorraine, Provence, Aquitaine ou Bretagne...

V.N.

Qu'est-ce que la COP21 ?

À partir du lundi 30 novembre se tiendra à Paris la COP21, c'est-à-dire la 21^e Conférence des parties de la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Les “parties” sont les 195 États ayant ratifié cette convention de principe lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992. La COP en est l'organe de décision suprême. Cette conférence est organisée chaque année dans une ville différente. Objectif affiché à Paris : obtenir un accord juridiquement contraignant pour contenir le réchauffement planétaire sous les 2°C en 2100.

B.BOURGEOIS

Ile-de-France



Paris doit s'attendre à connaître des chaleurs dignes du sud de l'Espagne

Ni trop froid l'hiver ni trop chaud l'été... les 12 millions de Franciliens sont habitués à vivre sous un climat typiquement modéré. Mais voilà : d'ici à la fin du siècle, ils vont voir les températures s'élever de 2 à 4 °C, avec un climat qui deviendra comparable à celui que connaît actuellement Cordoue, dans le sud de l'Espagne ! Comment adapter les infrastructures et les matériaux urbains à des vagues de chaleur répétées pour lesquelles ils n'ont pas été conçus ? Des pénuries en eau sont-elles à craindre ? Des maladies inconnues sous nos latitudes vont-elles proliférer ? Autant de questions qui se posent déjà. Et les réponses ne laissent aucun doute : la région la plus urbanisée de France devra apprendre à vivre sous des canicules et des sécheresses à répétition.

Patrimoine

p. 60

L'érosion des monuments historiques pourrait s'accélérer

Urbanisme

p. 54

Paris va devoir se transformer pour supporter les canicules à répétition

Virus

p. 58

L'émergence de maladies tropicales comme la dengue est à redouter

Bassin hydrographique

p. 61

L'eau pourrait devenir un problème

Faune

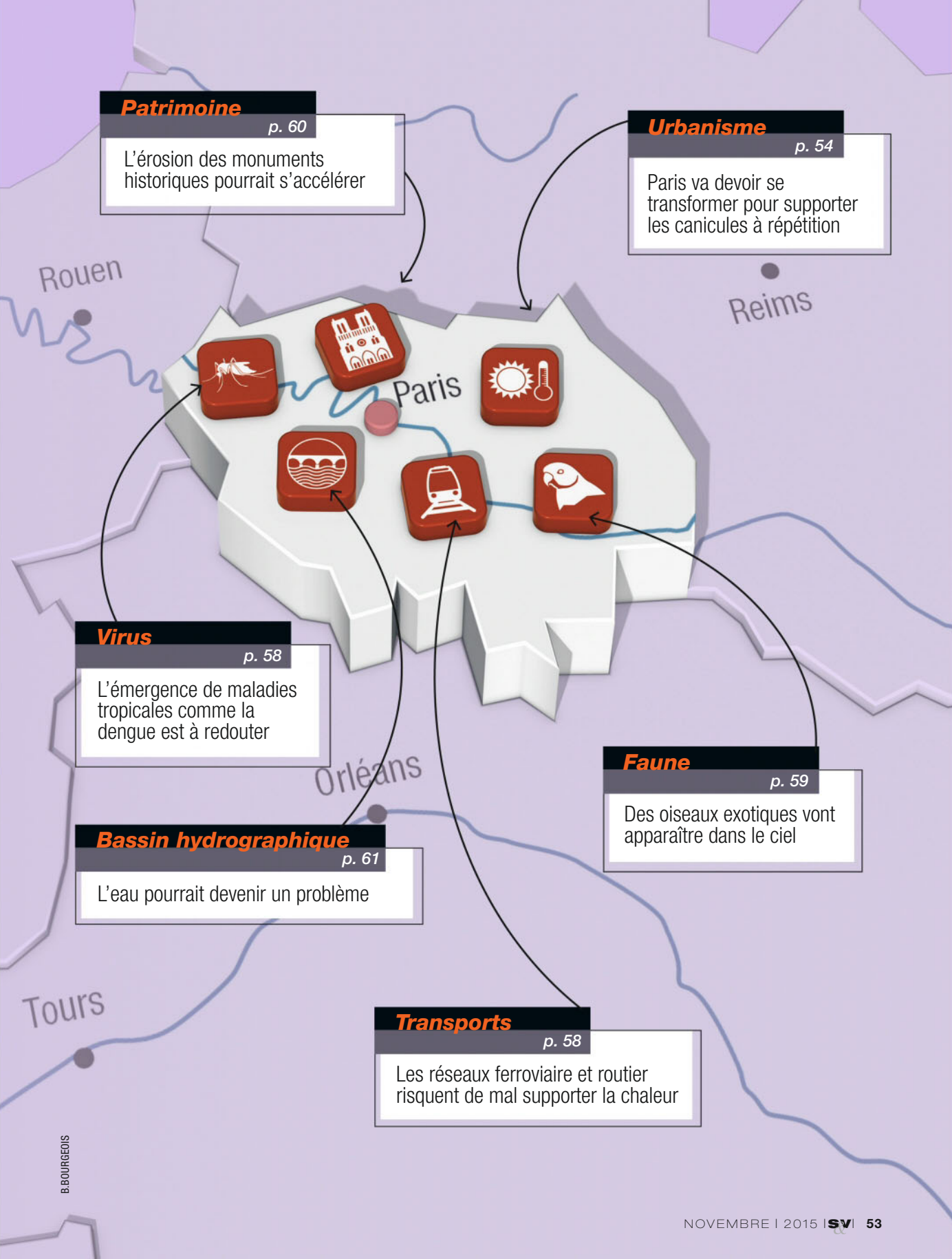
p. 59

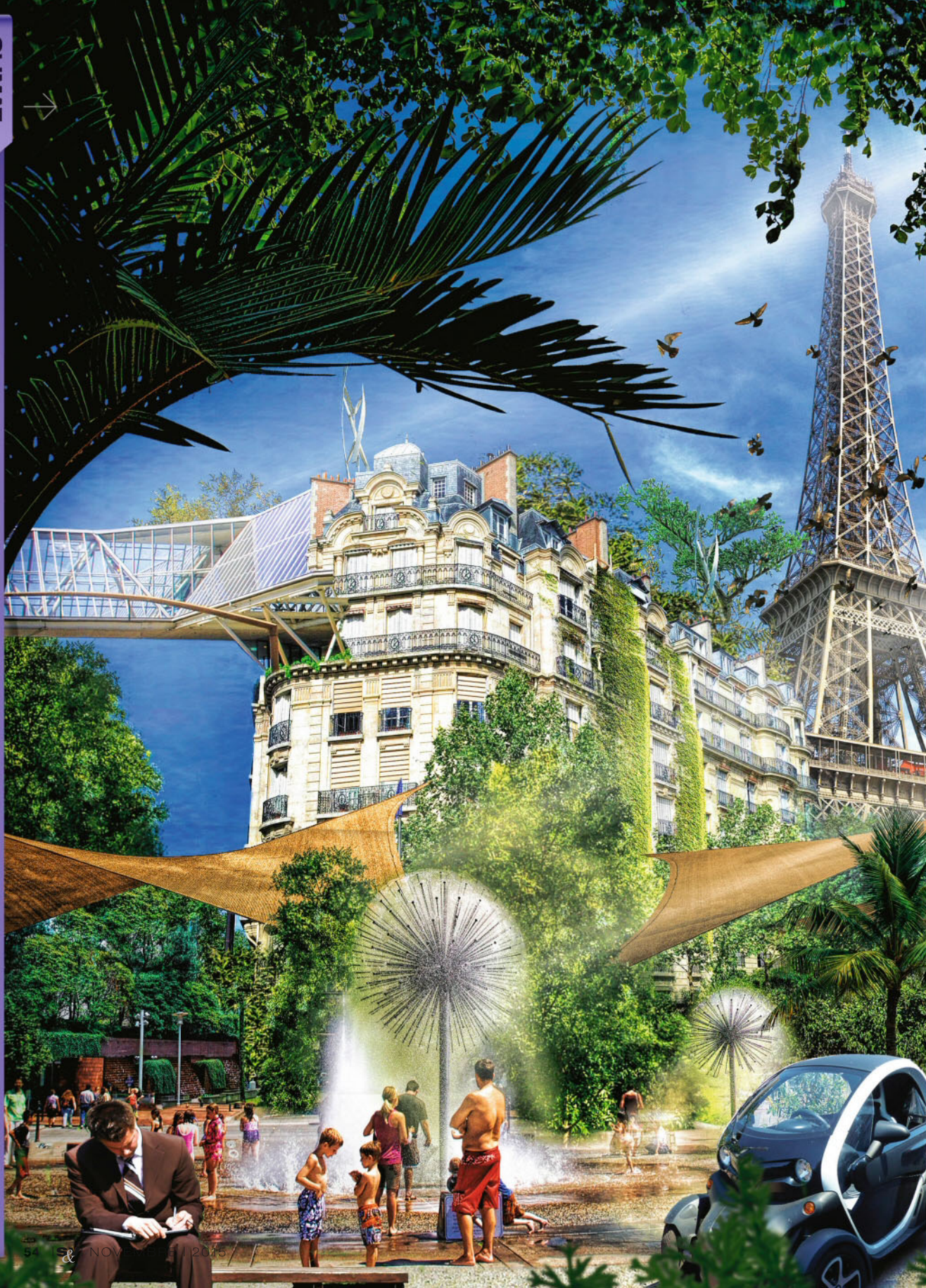
Des oiseaux exotiques vont apparaître dans le ciel

Transports

p. 58

Les réseaux ferroviaire et routier risquent de mal supporter la chaleur







Urbanisme

Face aux canicules, Paris va devoir se réinventer

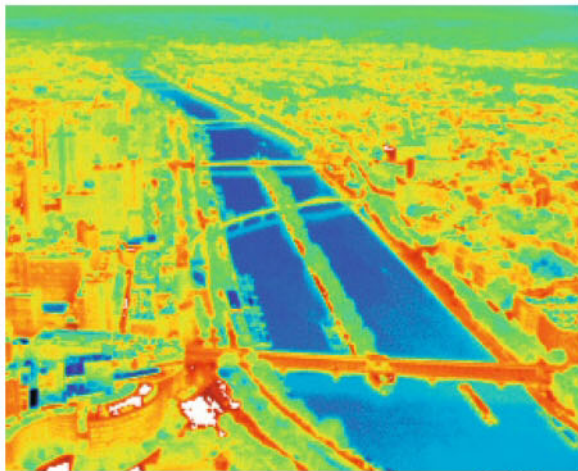
Et si Paris devenait invivable... Et si l'une des plus belles villes du monde venait à être désertée par ses habitants, voire ses touristes, une partie de l'année!

Ces perspectives paraissent aujourd'hui saugrenues. Elles sont pourtant fondées: "Au lieu d'une seule alerte à la canicule par an en moyenne dans la capitale, les simulations du scénario pessimiste indiquent 10 à 26 alertes par an à la fin du siècle, signale Julien Desplat, responsable des études à la direction Ile-de-France de Météo-

France. Une canicule, à la différence d'un simple pic de chaleur, signifie une succession d'au moins trois jours pendant lesquels la température maximale dépasse les 31 °C et la température minimale ne descend jamais en dessous des 21 °C... Or, le refroidissement nocturne est essentiel à la récupération des organismes."

C'est que la capitale, à la fois très dense (21 000 habitants/km²) et minérale, forme un redoutable amplificateur de chaleur – sans que l'on puisse compter ici sur la moindre brise ➔

Le phénomène “d’îlot de chaleur” urbain amplifie les canicules



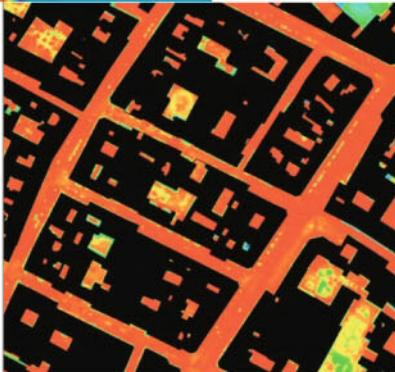
◀ Le bitume des rues et le béton des immeubles restituent la nuit la chaleur emmagasinée le jour : c’est le phénomène dit d’îlot de chaleur urbain.

▶ La différence de température entre le centre et la campagne (ici le 12 août 2003) peut s’élever jusqu’à 7 °C.

→ marine, comme à Marseille. En moyenne, la différence de température entre le centre-ville et la campagne environnante atteint 2,5 °C. Et en période caniculaire, ce déséquilibre s’accroît encore : “Lors de la vague de chaleur de ce début juillet, nous avons observé des écarts de 7 °C”, relève Valéry Masson, spécialiste en climatologie urbaine au Centre national de recherches météorologiques.

L’îlot de chaleur urbain, voilà la plaie des étés parisiens : le bitume des rues et le béton des immeubles emmagasinent la chaleur pendant la journée et la restituent ensuite pendant la nuit, ne laissant aucun répit aux habitants. Un phénomène artificiel qu’aucun urbaniste – et sûrement pas le baron Haussmann – n’a encore cherché à contrecarrer. Il le faudra pourtant, au vu de la soixantaine de jours de forte chaleur redoutés chaque année.

Le confort thermique des urbains, à l’intérieur des immeubles comme dans la rue en plein cagnard, est devenu un sujet de recherche à part entière. Tout doit être envisagé pour repousser, évacuer, esquiver, extraire cette chaleur étouffante.



△ Dans cette ville musée au tissu très dense, les rues ne refroidissent pas la nuit et la chaleur se condense sous les toits en zinc.

“Il existe une large palette de solutions ancestrales développées en milieux extrêmes, que ce soit chez les Perses ou dans l’architecture arabo-andalouse, observe Jean-Luc Salagnac, chercheur au centre scientifique et technique du bâtiment. Le problème est que Paris est une ville-musée où il est délicat d’intervenir : difficile par exemple d’imaginer la capitale sans ses toits en zinc caractéristiques et... accumulateurs de chaleur.” Les architectes des bâtiments de France veillent à la plus petite modification du centre-ville historique.

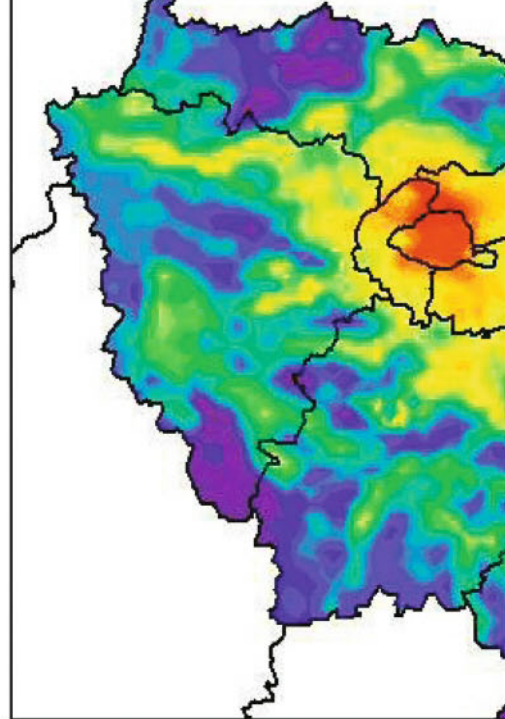
Intuitivement, la bonne idée serait de renvoyer directement le rayonnement

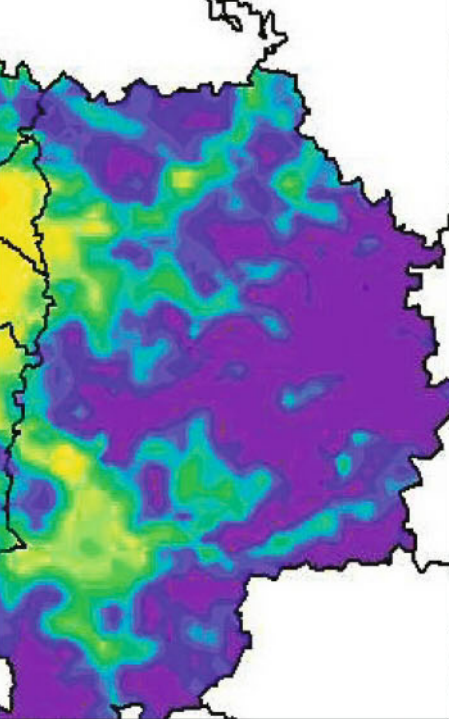
solaire, à la manière d’un village grec aux murs et aux toits d’un blanc immaculé. Paris, la blanche ? Un tel bouleversement paraît difficile à imaginer, même si le phénomène d’îlot de chaleur urbain en serait logiquement réduit. “Paris est déjà assez clair”, tranche Morgane Colombert, professeur à l’Ecole des ingénieurs de la ville de Paris. Des solutions moins choquantes – et moins éblouissantes – sont envisagées, comme des revêtements aux couleurs neutres capables de réfléchir le spectre infrarouge.

UNE VILLE DE JARDINS ET DE FONTAINES

Les critères architecturaux de la capitale se sont déjà accommodés des dernières réglementations thermiques, qui intègrent l’usage de volets et de persiennes si répandus dans le sud de l’Europe. “Lors des vagues de chaleur, la municipalité de Lisbonne déploie au-dessus des rues de vastes toiles humidifiées ; ce système d’ombrières aurait probablement toute sa place dans une ville-musée comme Paris”, lance Yann François, responsable de la division Climat-Energie à la Ville de Paris.

Autre solution envisageable : le verdissement massif de la capitale, c’est-à-





dire la multiplication des espaces verdoyants en lieu et place des surfaces minérales. L'avantage ? En réalisant leur photosynthèse, les végétaux exploitent directement l'énergie solaire et transpirent l'eau puisée par leurs racines, générant alors un aérosol rafraîchissant. Auquel s'ajoute l'effet de l'ombre portée par les arbres. *“Nous avons simulé cette stratégie sur les huit jours les plus chauds de la canicule de 2003 : le refroidissement atteint 2 °C en moyenne, avec des effets locaux autour des parcs de l'ordre de 5 à 6 °C par moments”, analyse Julien Desplat.*

“La technique fonctionne à condition d'arroser cette végétation, car une pelouse sèche se comporte comme du béton, complète Yann Françoise. Des essais sont en cours pour évaluer la diffusion de cet effet rafraîchissant. On pourrait même imaginer végétaliser une partie de la voirie, entre les bandes de roulement des véhicules... mais je crains que ces terrains ne se transforment en boursier pendant l'hiver.”

Notez au passage que les toitures végétalisées n'ont qu'une influence marginale sur la température de la ville ; ces dispositifs se contentent en effet d'offrir une meilleure isolation

thermique aux locataires du dernier étage.

La formation d'îlots de fraîcheur un peu partout dans la capitale passerait aussi par quelques manœuvres tactiques : *“Nous testons actuellement à Paris et à Lyon l'arrosage des rues afin d'améliorer le confort thermique des piétons en pleine journée, confie Morgane Colombert. Paris a la chance de bénéficier d'un réseau d'eau non potable depuis le XIX^e siècle.”*

Certains envisagent aussi la formation de petites zones humides dans les rues de la capitale, qui dissiperaient les apports solaires en s'évaporant. *“D'après nos calculs, bassins et fontaines se révèlent le moyen le plus efficace pour rafraîchir l'atmosphère localement, approuve le thermicien Stéphane Ginestet, chercheur à l'Institut national des sciences appliquées, à Toulouse. Au final, toutes ces stratégies peuvent voir leurs effets se cumuler.”*

ADAPTER NOS RYTHMES DE VIE

Réfléchir, ombrager, évaporer... Ces adaptations techniques n'auraient qu'une efficacité limitée sans une grande remise en question des comportements des habitants. A commencer par quelques réflexes de bon sens, comme fermer ses volets durant

la journée, aérer le soir, s'hydrater, etc.

Mais surtout : face aux vagues de chaleur nettement plus nombreuses et plus longues de la seconde moitié de ce siècle, le rythme de vie du Parisien lambda pourrait se transformer radicalement. *“Il n'est pas impossible d'envisager un mode de vie espagnol avec, entre*

12 h et 17 h, une bonne sieste ou en tout cas une forte baisse d'activité, imagine Guillaume Simonet, du pôle de recherche politique climatique locale à la Caisse des dépôts. Des simulations sont déjà menées pour la ville de Londres afin d'identifier les pertes de productivité.” Les horaires des écoles et des bureaux pourraient ainsi évoluer. *“Nous regardons ce qui se pratique ailleurs, comme à Bilbao dont les services administratifs passent début juin à des horaires spéciaux : 7 h-13 h, confie Yann Françoise. Aujourd'hui, notre ‘plan canicule’ prévoit déjà le report des chantiers trop pénibles. A l'avenir, ce dispositif pourrait prendre de l'ampleur en cas de chaleur extrême : la ville de Washington, par exemple, dispose d'un plan ‘Grand froid’ durant lequel seuls les salariés d'infrastructures vitales sortent de chez eux pour se rendre au travail.”*

Paris arboré, Paris climatisé, mais Paris déserté ? **V.N.**

26

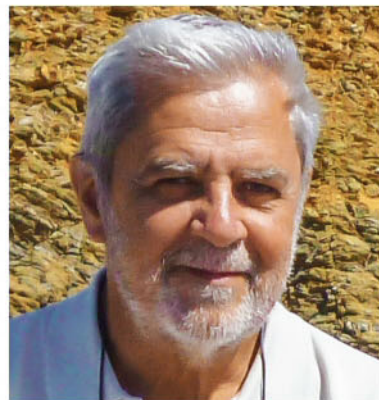
A la fin du siècle, Paris pourrait connaître jusqu'à 26 alertes à la canicule chaque année, contre seulement une alerte par an aujourd'hui.



JEAN-LUC SALAGNAC

Chercheur au Centre scientifique et technique du bâtiment

Il existe une large palette de solutions ancestrales déjà développées en milieux extrêmes





**Le signe
avant-coureur...**

1^{er} juillet 2015, gare Saint-Lazare : la canicule provoque une panne électrique. 1 000 personnes sont évacuées.

Virus

Des maladies tropicales sont déjà signalées

La logique semble implacable : dans les prochaines décennies, Paris deviendra la ville européenne la plus menacée par la dengue, cette infection virale, endémique dans les pays tropicaux, qui touche des dizaines de millions de personnes et en tue des dizaines de milliers ! *“La dengue a émergé comme la plus importante maladie virale véhiculée par les moustiques à l’échelle du globe, et cette ‘fièvre rouge’ a pris des proportions pandémiques avec une multiplication par 30 du nombre de cas au cours du dernier demi-siècle”*, note l’équipe

d’épidémiologistes qui s’est penchée l’année dernière sur ce nouveau risque pour l’Europe.

Pour l’instant, Madrid, Rome et Milan sont les villes les plus menacées : elles ont déjà été colonisées par le moustique tigre (*Aedes albopictus*), l’insecte vecteur de cette maladie, qui ne peut se propager sans sa présence. Mais Paris et Londres sont les deux villes européennes dont les aéroports reçoivent le plus de passagers provenant de pays où sévit la dengue (de l’ordre de 250 000 en 2014 pour Paris, dont 953 étaient porteurs de la maladie). Dès que le funeste diptère aura remonté jusqu’à la Seine, poussé par

le réchauffement climatique, Paris passera au premier rang du risque – Londres, de son côté, restera peut-être protégé par la Manche.

Et l’affaire pourrait aller plus vite que prévu. *Albopictus*, qui ne devait théoriquement pas arriver dans la capitale avant des années, a déjà été signalé au Parc Floral de Vincennes, à Créteil et dans quelques autres communes franciliennes en 2014 et 2015. Au point que ces sites ont été démoustiqués. Des mesures qui donnent bon espoir aux spécialistes d’avoir réussi à éviter l’établissement d’une population reproductrice. Mais, à terme, personne ne doute que l’espèce s’implantera.

Outre le problème sanitaire, *“des flambées régulières de dengue au pied de la tour Eiffel pourraient nuire à l’attractivité touristique de la ville lumière”*, avertit l’épidémiologiste Jan Semenza.

Y.S.

Transports

Rails et routes risquent de mal supporter la chaleur

Cela ne manque jamais : chaque canicule occasionne retards des trains de banlieue, coupures d'électricité et chaussées impraticables. De fait, sous l'effet de la chaleur, les rails se dilatent, les caténaires se déforment, les transformateurs électriques surchauffent et le bitume ramollit. Une fatalité ?

"Lorsque la température est de 40 °C, celle de nos rails atteint 60 °C, interpelle Philippe Pouligny, responsable de la division Etudes des voies ferrées à la SNCF. Suite à la canicule de 2003, nous avons restructuré nos voies pour qu'elles puissent supporter 76 °C sans se déformer. Les ralentissements vécus cet été sont liés aux travaux ou au matériel vieillissant." Même explication

du côté du réseau haute tension, dont les pièces sensibles à la chaleur sont en voie de remplacement. *"Les bitumes, auxquels on ajoute des polymères, pourront atteindre un point de ramollissement de 75 °C : tous les acteurs travaillent sur le sujet, répond Bernard Lombardi, directeur du groupement professionnel des bitumes. Mais les formules haut de gamme sont destinées aux grands réseaux routiers, quand les départementales ne sont équipées que d'une seule couche d'enrobé multitâche."* Résumons. En théorie, nos infrastructures sont capables d'affronter les canicules du siècle à venir... en pratique, rien n'est moins sûr.

V.N.

Faune

Des oiseaux exotiques pourraient s'implanter

Quel impact aura le changement climatique sur la faune parisienne de demain ? *"Les tendances sont identifiées, répond Romain Julliard, professeur d'écologie au Muséum d'histoire naturelle : la faune urbaine va être de plus en plus généraliste et méridionale."*

Prenons le cas des oiseaux. *"Le réchauffement semble ne favoriser que les espèces généralistes, capables de s'acclimater à un certain écart de températures, ou prêtes à modifier leur régime alimentaire pour se nourrir en ville",* explique Philippe Clergeau, professeur d'écologie urbaine au Muséum d'histoire naturelle. Ainsi le pigeon ramier, qui migre traditionnellement de l'Est vers l'Espagne, se sédentarise depuis peu en Ile-de-France. *"À l'abri des chasseurs et des prédateurs, il profite de la chaleur urbaine ; se nourrissant de végétaux, il n'entre pas en compétition avec le pigeon des villes",* précise Philippe Clergeau. Cet îlot de chaleur protecteur attire les espèces du Sud. *"La perruche à collier, une espèce introduite originaire d'Inde, est en augmentation croissante",* affirme Romain Julliard. Quand les espèces spécialisées, telle la mésange boréale, quittent l'Ile-de-France.

Mais le futur ciel parisien dépendra aussi des actions locales. *"En faisant communiquer les espaces verts et en préservant les friches, se développera une faune qui s'autogère, plus régionale, plus diversifiée, et donc mieux adaptée",* analyse Nathalie Frascaia, professeur à AgroParisTech. T.C.F.

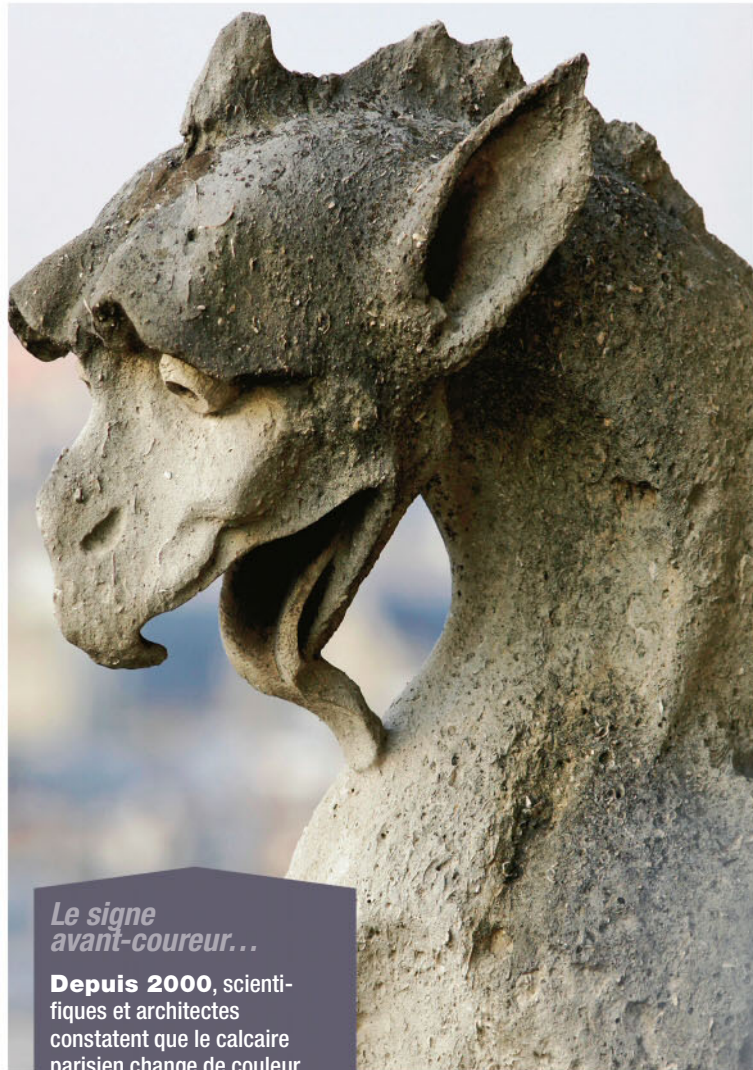
Pas de chiffres
Absence du moustique
Présence du moustique

Trafic voyageurs en provenance de pays où sévit la dengue (en milliers)

< à 1
1 à 10
10 à 50
100 à 250

Colonisation du moustique tigre en Europe en 2010

Vu le trafic de leurs aéroports, Londres et Paris sont fortement menacés par la dengue. En France, le moustique est déjà installé au sud de la Loire.



**Le signe
avant-coureur...**

Depuis 2000, scientifiques et architectes constatent que le calcaire parisien change de couleur.

Patrimoine

Les façades historiques vont souffrir

L'érosion des façades et des sculptures de Notre-Dame va-t-elle s'accélérer? La question, complexe, ne se pose pas que pour ce bâtiment emblématique.

"La Sainte-Chapelle, les immeubles et les hôtels particuliers de l'île Saint-Louis, les larges avenues du baron Haussmann... Tous ces bâtiments du cœur historique de Paris, classés au patrimoine mondial de l'humanité, subiront l'influence des changements climatiques au XXI^e s., prévoit Roger-Alexandre Lefèvre, rapporteur du Plan national d'adaptation du patrimoine culturel matériel au changement climatique. Evidemment, des inondations ou d'autres effets extrêmes sont toujours à craindre, mais il existe des risques plus insidieux, comme une modification du rythme de l'érosion ou des changements de couleur des façades."

Ces effets, plus lents, se mesureront sur les matériaux, au premier rang desquels le calcaire, qui constitue l'essentiel du bâti au centre de Paris, mais aussi sur les vitraux menacés par le lessivage chimique des pluies (voir p. 80).

Et aussi...

Le champignon de Paris ne sera plus blanc

Désormais cultivé dans des salles climatisées, l'*Agaricus bisporus* exige d'importantes dépenses d'énergie pour maintenir les 17 °C dont il a

besoin. "Nous étudions des variétés sauvages qui, après hybridation, pourraient supporter des températures allant jusqu'à 25 °C", lance le mycologue Jean-Michel Savoie. Des champignons qui virent au brun.



L'Île-de-France va-t-elle enfin produire de bons vins?

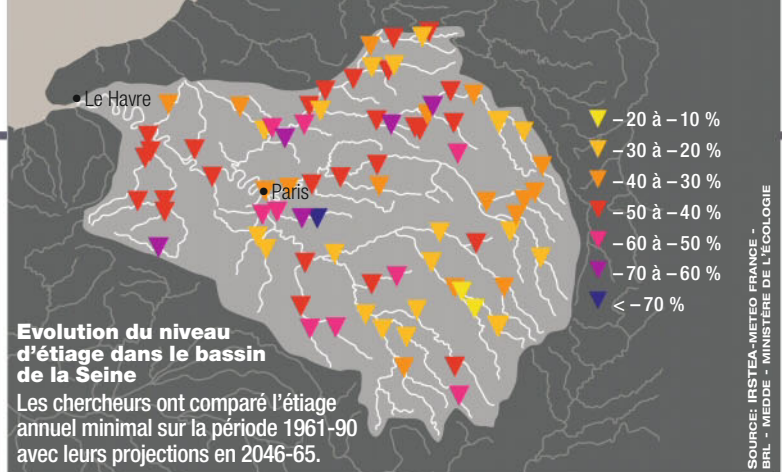
Avec la hausse des températures, les baies de raisin pourraient bientôt atteindre leur pleine maturité en région parisienne! "Un vin excellent est

V.N.



Une équipe franco-anglaise s'est donc lancé pour défi de modéliser et cartographier les dommages potentiels sur toutes les façades situées entre le pont de Sully, à l'est de Paris, et le pont d'Iéna, à l'ouest. Un travail d'envergure et de précision réalisé par l'université Paris-Est Créteil et l'université d'East Anglia (Angleterre), avec l'aide de Météo-France et Airparif. *"Nous utilisons les différents scénarios climatiques du Giec, du plus optimiste au plus pessimiste, que nous croisons avec les 'fonctions dose-réponse', qui servent à prévoir le comportement d'un matériau placé dans des conditions nouvelles, climatiques et de pollution",* détaille Anda Ionescu, une des coordinatrices du projet. *"Nous avons ainsi montré qu'à l'avenir, la récession de la surface du calcaire lutétien par érosion-dissolution, après avoir très fortement diminué depuis le milieu du XX^e siècle, pourrait s'intensifier."*

En cause, les hausses des températures et de la concentration en CO₂ qui provoquent conjointement une diminution du pH de l'eau de pluie. Plus acide, celle-ci devrait donc attaquer le calcaire plus rapidement. Des enseignements utiles pour mieux adapter les éventuels traitements hydrofuges des pierres, ainsi que les campagnes de ravalement-restauration de ces façades monumentales. **C.T.**



Bassin hydrographique Des pénuries d'eau sont à redouter

On considère volontiers le bassin de la Seine comme une zone généreusement arrosée dont il faudrait se méfier des débordements – la crue de 1910, qui avait submergé Paris pendant plus d'un mois, est encore dans les mémoires.

A l'avenir, le problème sera tout autre : vers 2070, les scientifiques prévoient un affaiblissement de 10 à 50 % du débit moyen du fleuve sous le pont d'Austerlitz... Et l'étiage estival devrait être encore plus entamé. *"Ces baisses sont plus fortes que dans le reste du nord du pays, mais le plus inquiétant tient aux forts taux de population et d'activités qui reposent sur ce bassin hydrographique",* s'alarme l'hydrologue Charles Perrin, à l'Irstea. Des pro-

jets de recharge artificielle des nappes phréatiques sont déjà à l'étude. Mais dans la capitale, où chaque vague de chaleur se traduit par des pics de consommation d'eau potable (record battu en juillet dernier), la perspective d'une pénurie commence à être envisagée. *"Pourra-t-on décemment continuer à arroser nos espaces verts alors que les Parisiens seraient soumis à des restrictions d'eau?",* s'interroge Yann Françoise à la Mairie de Paris. *"Désormais, nous choisissons nos essences d'arbres sur leur capacité à résister au stress hydrique extrême : il faut éviter qu'ils tombent sur la voie publique et minimiser les risques de propagation de feux de forêt!"* Paris brûle-t-il ? **V.N.**

déjà produit dans le Val-d'Oise, et plusieurs initiatives intéressantes sont déjà mises en œuvre dans les Hauts-de-Seine", approuve Denis Thiéry, de l'Inra, à Bordeaux. **V.N.**

Pas de répit pour la pollution à l'ozone

Malgré des réglementations de plus en plus

drastiques, l'ozone devrait rester un problème dans la région. En effet, les fortes températures stimulent la formation dans l'atmosphère de ce polluant secondaire, néfaste à la santé humaine. **V.N.**

La chenille processionnaire du pin débarque
Même si le réchauffe-

ment l'y pousse, on pensait que *Thaumetopoea pityocampa*, cet insecte originaire du bassin méditerranéen, aurait du mal à remonter bien haut vers le nord, faute de forêts de conifères à envahir sur

son chemin. C'était sans compter les arbres des parcs et des jardins qu'elle a colonisés sur son trajet... Cette bête aux poils très urticants, qui se déplace en file indienne, est déjà arrivée dans la région. **Y.S.**



Rhône-Alpes



Toutes les activités liées à la montagne vont devoir s'adapter

Cette région industrielle et très peuplée (plus de 6 millions d'habitants) va subir une des plus fortes hausses des températures. Si toute la région est impactée, les regards se portent en priorité vers les montagnes, élément incontournable du paysage et poumon économique pour nombre de vallées à l'heure des sports d'hiver. Car les massifs sont aussi les milieux les plus sensibles aux changements : au moindre degré Celsius supplémentaire, l'enneigement, les espèces animales ou végétales se décalent de 150 mètres en altitude. Peut-être plus qu'ailleurs, le réchauffement climatique soulève ici l'inquiétude. Pourra-t-on skier à la fin du siècle ? Nos petits-enfants verront-ils encore des glaciers ? Quelles nouvelles activités pourront se développer en altitude ?

Urbanisme

p. 69

Lyon n'échappera pas aux fortes canicules

Alpinisme

p. 71

Les sommets vont devenir inaccessibles

Paysage alpin

p. 72

Les glaciers en voie de totale disparition

Stations de sports d'hiver

p. 65

La fin de la neige paraît déjà programmée

Industries

p. 68

Même affaibli, le Rhône va rester une ressource fiable

Plantes invasives

p. 68

L'ambrosie va gagner toujours plus de terrain

Pâturages

p. 71

De nouveaux alpages pour les vaches





Stations de sports d'hiver

La fin de la neige est programmée

En France, il y a du vin, du fromage, des cosmétiques, des avions et... plus de 200 stations de ski. Car voilà un produit bien de chez nous : l'Hexagone peut se targuer d'être la 1^{re} destination mondiale de ski, avec 10 millions de visiteurs par an. A lui

seul, ce sport d'hiver génère 20 % du chiffre d'affaires de l'ensemble du tourisme dans notre pays. Une véritable industrie lourde.

Mais voilà. Ce n'est un secret pour personne : cette activité vitale pour tant de vallées alpines autrefois dé-

sertées, ce sport réjouissant pratiqué par 9 % des Français, cet art de vivre, reposent sur une ressource menacée : la neige.

L'équation est dramatiquement simple : le réchauffement provoque l'élévation de la limite naturelle

YANNICK WONGET

pluie-neige, au rythme d'environ 150 m à chaque degré; il pleut au lieu de neiger. En témoignent les données relevées sur le site expérimental du col de Porte, à 1325 m d'altitude dans le massif de la Chartreuse: "Dans cette région pourtant bien arrosée, le manteau neigeux a perdu 13 cm d'épaisseur chaque décennie, soit près de 70 cm depuis un demi-siècle, signale Pierre Etchevers, directeur du Centre d'études de la neige (Météo-France, Saint-Martin-d'Hères). En outre, cette couche de neige ne recouvre plus le sol que quatre mois par an au lieu de cinq dans les années 1960." Une tendance qui concerne toute la moyenne montagne, jusqu'à 1800 voire 2000 m.

Y aura-t-il de la neige à Noël? La question promet d'être toujours plus angoissante. Les projections de Météo-France interpellent: à une altitude de 1800 m dans les Alpes du Nord, les gestionnaires des stations de ski devraient ainsi se préparer à une réduction de 35 jours d'enneigement vers 2050 et jusqu'à 75 jours aux alentours de 2100 (soit -65%). De quoi remettre en cause la fiabilité de la plupart des domaines skiables de moyenne montagne; dans la

75

C'est le nombre de jours d'enneigement que les Alpes du Nord risquent de perdre à 1800 m d'altitude, vers 2100. Soit -65% par rapport à aujourd'hui!

peu enneigées, les skieurs qui évoluaient tous près des villages sont allés chercher des 'champs de neige' à plus haute altitude, raconte Anouk Bonnemains, du laboratoire Environnements, dynamiques et territoires de la montagne (université de Savoie). Puis la succession d'années sans neige de 1980 à 1990 a stimulé la course technologique à la neige artificielle."

L'OR BLANC, RESSOURCE CRITIQUE

Depuis, l'or blanc est traité comme une ressource critique. De nombreux ingénieurs, nivologues et même physiciens spécialistes en cristallographie tentent de prolonger au maximum la durée de vie de ce précieux tapis. Dès novembre, toutes les stations lancent d'intenses campagnes de production de neige artificielle pour bâtir une solide sous-couche. Sachant que "les domaines skiables sont maintenant restructurés pour rendre le moindre centimètre cube de neige exploitable, toutes les irrégularités sont gommées,

pratique, la rentabilité d'une station ne semble pouvoir être assurée qu'à partir d'un manteau neigeux de 30 cm assuré pendant 100 jours, 7 années sur 10.

Jusqu'à présent, les stations ont toujours su s'adapter aux aléas de cette matière première. "Après les saisons 1947-1948 et 1948-1949



△ Dans les stations, la densité de la neige est régulièrement contrôlée; sa résistance mécanique en dépend.

explique Louis Guily, directeur du bureau d'études Dianeige. Les pistes ont été considérablement élargies pour mieux répartir les contraintes exercées par les skis qui dégradent le manteau neigeux". Pièges et barrières à neige, chargés de récupérer les flocons balayés par le vent, commencent à être installés un peu partout. Quant à l'entretien des pistes, il est devenu une discipline toute scientifique: les dameuses compactent la neige afin d'améliorer ses propriétés thermiques et augmenter sa résistance mécanique; les techniciens veillent même à conserver sa propreté, car un fort albédo ralentit la fonte.

Sauf que tous ces efforts seront vains si la douceur s'installe durablement en altitude! Faire cracher les canons à neige n'est raisonnable qu'à partir d'une température de l'air inférieure à -2°C. "Les créneaux de production se réduisent, reconnaît Louis Guily. Nos modèles statistiques permettront de décider des moments les plus propices, mais, honnêtement, produire



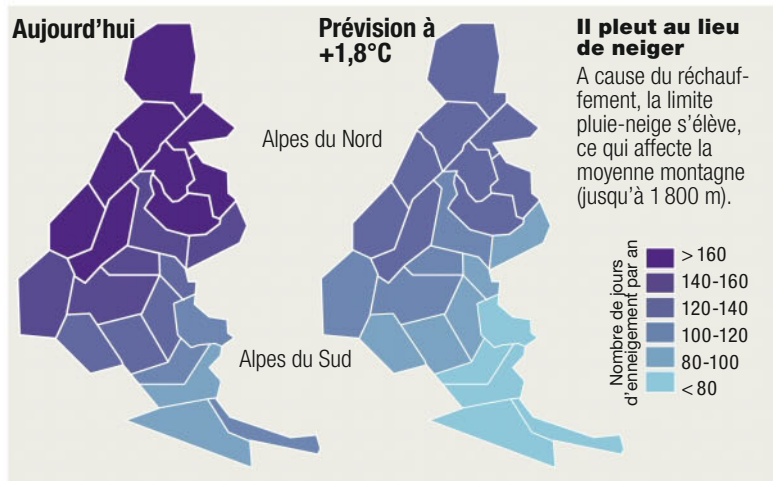
HUGUES
FRANÇOIS

Chercheur à l'unité de développement des territoires montagnards (Irstea Grenoble)

Les moyens techniques qui pallient le manque de neige seront de plus en plus coûteux



En dessous de 1 800 m, il pleuvra davantage qu'il neigera



entre 0 °C et -2 °C revient bien trop cher.” Cette activité pompe en effet beaucoup d’eau et d’électricité. “La neige est un mélange d’eau et d’air qu’il est physiquement impossible de produire à température positive, complète Pierre Etchevers. Même si l’on y parvenait, elle fondrait rapidement une fois arrivée au sol.”

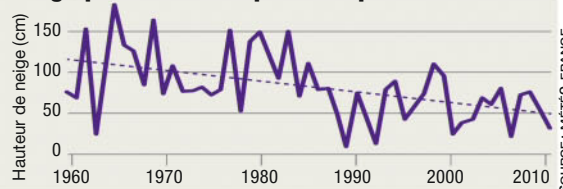
FAIRE LE DEUIL DU SKI ?

Les stations situées aux alentours de 1 500 m d’altitude ne pourront échapper à ces limites physiques évidentes. Elles auront beau diversifier leurs activités hivernales (piscines, visites culturelles, balades à vélo...), le ski reste leur raison d’être. “Le problème, c’est qu’en l’absence de neige, ces territoires se trouvent en concurrence avec d’autres formes de tourisme rural souvent plus accessibles”, fait remarquer Hugues François, chercheur à l’unité de développement des territoires montagnards (Irstea Grenoble).

Faire le deuil du ski sera forcément douloureux : les très rares maires qui ont osé envisager le démontage de leurs remontées mécaniques, au Biot ou à Abondance, ont récolté une tempête de critiques. “Il est très dif-

Au col de Porte, la neige perd 13 cm d’épaisseur par décennie

Sur ce site expérimental du massif de la Chartreuse, à 1 325 m d’altitude, le manteau neigeux est mesuré depuis décembre 1960.



ficile de fermer un domaine skiable car tout un tissu social s’est bâti autour”, analyse Hugues François. Il faut s’attendre, dans le siècle à venir, à de violents débats sur l’aménagement de ces territoires, autour de stations aussi réputées que Megève, Saint-Gervais, Combloux, Morzine, La Clusaz... D’autant que “plus personne n’envisage aujourd’hui d’aménager des stations entières à haute altitude dans les Alpes françaises”, évoque Emmanuelle George-Marcelpoil (Irstea).

En densifiant leurs domaines au-dessus de 2 000 m, les usines à ski de la Tarentaise (les Arcs, La Plagne, Tignes, Val-d’Isère, Val-Thorens...) devraient s’en sortir bon an mal an. Cependant, note Hugues François, “les énormes moyens techniques mis en place pour pallier le manque de neige naturelle seront de plus en plus coûteux et pèseront sur les forfaits :

le consentement à payer des clients pourrait alors atteindre ses limites !”

Au point qu’une hypothèse étonnante fait son chemin pour la seconde moitié du siècle : voir ces sites perchés devenir des destinations d’été à part entière. Face aux canicules qui sévissent en région méditerranéenne, l’altitude devrait en effet offrir un havre de douceur à une population vieillissante – “la montagne a toujours servi de refuge dans l’histoire”, note Christophe Chaix, de l’Observatoire savoyard du réchauffement climatique. “La plupart des stations disposent déjà d’un réel niveau de service et d’hébergement, qu’il faudra adapter pour l’été, estime Emmanuelle George-Marcelpoil. Ce serait un retournement ironique de l’histoire, puisqu’au XIX^e siècle une partie des Alpes vivait du tourisme estival quand la Riviera était, elle, une destination d’hiver...”

V.N.

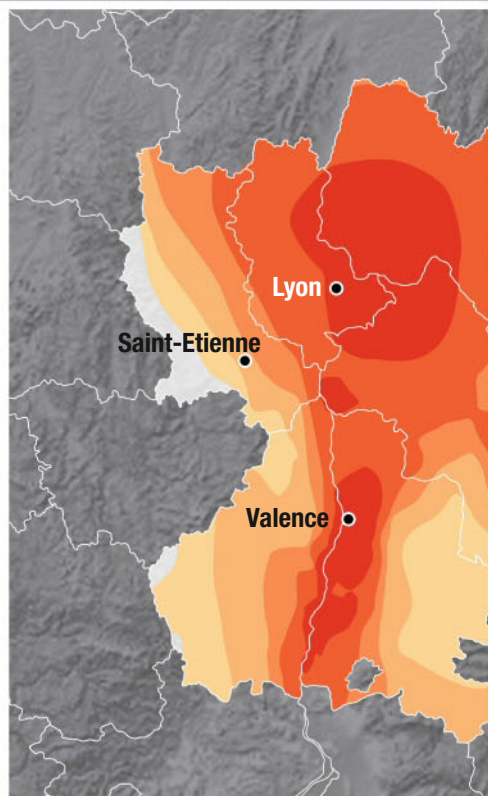
Plantes invasives

L'ambroisie va provoquer toujours plus d'allergies

C'est le territoire le plus touché de France. *"En Rhône-Alpes, l'ambroisie est implantée quasiment partout dans les altitudes inférieures à 350 m, déplore Michel Thibaudon, directeur du Réseau national de surveillance aérobiologique. La quantité de pollen a progressé de 20 % dans la région lyonnaise les vingt dernières années. Et déjà 20 % des sujets exposés sont malades."*

Cette plante invasive est en effet très allergisante: *"Un faible nombre de grains d'ambroisie par mètre cube d'air suffit à stimuler chez le sujet la production d'anticorps induisant les réactions allergiques"*, indique le Dr Bruno Girodet, pneumologue-allergologue.

Or, une étude européenne de mai 2015 basée sur l'évolution de l'humidité et de la température prévoit quatre fois plus de pollens d'ambroisie dans l'air européen d'ici à 2100, dont 2/3 dus au changement climatique. Il est donc probable que la plante progresse encore dans le centre et le nord de la France. En Rhône-Alpes, des techniques mécaniques et chimiques sont préconisées depuis quelques années pour juguler sa progression. Gilles Domenech, biologiste des sols, prône, lui, les méthodes douces: *"Il suffit de la faucher avant la floraison et de s'en servir comme biomasse. Un sol riche et l'apparition de plantes concurrentes la feront disparaître progressivement."* **A. LE T.**



Industries

Même affaibli, le Rhône va rester une ressource fiable

Ce fleuve paraît aujourd'hui inépuisable. Avec un débit moyen à son embouchure de 1700 m³ par seconde, le Rhône est le plus puissant des cours d'eau français – très loin devant la Loire et ses 930 m³/s – et l'un des piliers de l'économie nationale: à lui seul, il contribue à fournir 20 % de l'électricité de l'Hexagone, entre les 14 réacteurs nucléaires qu'il refroidit et la soixantaine de grands barrages qu'alimente son bassin. Ses eaux sont aussi puisées par les nombreuses usines de la "vallée de la chimie", au sud de Lyon.

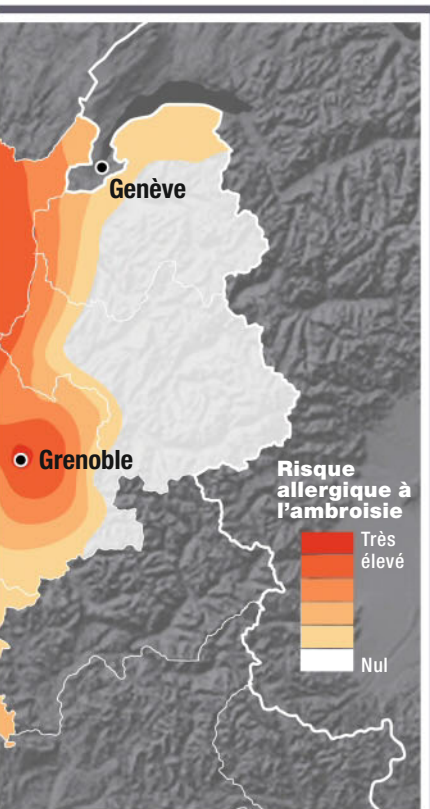
La France pourra-t-elle encore compter sur le Rhône? A vrai dire,

cette source risque de perdre en vigueur: les scientifiques anticipent une baisse de 30 % du débit estival, sous l'effet de l'évapotranspiration liée à la chaleur et d'un changement de régime de certains affluents en raison d'une fonte plus précoce de la neige et des glaciers. Les gestionnaires des barrages devront revoir leurs procédures. Mais Xavier Eudes, de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, l'assure: *"Cette perte de niveau d'eau ne pose pas de problème de sûreté nucléaire."* Chaque réacteur prélève – avant de rejeter – entre 2 et 50 m³/s d'eau; même avec un "niveau de crise" de 130 m³/s, la

centrale du Bugey pourrait être exploitée à pleine puissance.

Autre évolution à prévoir: la température de l'eau devrait, selon EDF, gagner 3 °C d'ici à la fin du siècle. Lors de la canicule d'août 2003, la puissance de certaines tranches nucléaires avait été abaissée pour respecter les limites en température des rejets... Depuis, *"les limites réglementaires ont été revues à la hausse, après des études menées sur la faune aquatique"*, précise EDF. Les industriels sont sereins. *"La sécheresse extrême ou la canicule – qui ne se sont pas encore produites simultanément – ne posent pas de problème de production ni de sûreté"*, résume Xavier Eudes. *"C'est dans le pire des cas simulés qu'il faudrait peut-être se passer d'une tranche nucléaire..."* Si le nucléaire perdure. Dans une France asséchée, le Rhône restera bien la dernière valeur sûre. **V.N.**





SOURCE : AIR RHÔNE-ALPES

Et Lyon ?

La cité rhodanienne sera soumise aux mêmes canicules répétées que Paris (voir p. 54), nuancées cependant de ses particularités. *“L’îlot de chaleur lyonnais est maximal dans le sud et l’est, industriels, où la chaleur s’évacue très bien la nuit”,* explique Luce Ponsar, responsable du projet Plan Climat Grand Lyon. *“Le centre chauffe moins car les bâtiments hauts ombragent les rues. Nous profitons aussi du vent qui balaie le Rhône.”* Sans surprise, c’est à Grenoble, où les rares vents sont chauds, que la chaleur urbaine sera la plus étouffante. Toutefois, *“des actions, comme les toitures végétalisées, sont entreprises depuis plusieurs années”,* assure Murielle Pezet-Kuhn, de l’Agence d’urbanisme de la région grenobloise. T.C.-F.



Le signe avant-coureur...

Au cours de l’été 2006, la canicule qui a sévi n’a pas perturbé la production d’électricité (ici, la centrale de Cruas-Meysses).

*Le signe
avant-coureur...*

Le 11 septembre 2011, un pan des Drus (massif du Mont-Blanc) s'effondre. Un éboulement lié à la fonte du permafrost.

Alpinisme

Les sommets vont devenir inaccessibles

A la fois héroïque et inutile, la conquête des plus hauts sommets alpins continue d'aimer les foules : chaque été, environ 25 000 personnes tentent l'ascension du mont Blanc. Sauf que la haute montagne pourrait devenir, au XXI^e siècle, en grande partie inaccessible.

Sous l'effet des températures caniculaires, le permafrost présent à ces altitudes fond progressivement ; l'isotherme 0 °C dépasse par moments les 4 000 mètres. Or, ce gel permanent fige et assure la cohésion des plus hauts sommets : *"La dégradation du permafrost liée au réchauffement augmente le risque d'éboulements rocheux"*, a établi Ludovic Ravanel, géomorphologue à l'université de Savoie et membre de la Compagnie des guides de Chamonix. Un exemple : après les fortes chaleurs de juin 2005, 265 000 m³ de roche se sont effondrés dans la face Ouest des Drus... aujourd'hui quasi impraticable.

Mais la canicule peut aussi se manifester par des chutes mortelles de séracs, ces immenses blocs de glace

issus de la fracturation des glaciers, voire l'effondrement de pans entiers de glaciers installés en pente raide.

LA GLACE A FAIT PLACE AUX ROCHERS

Au cours de ce mois de juillet 2015 brûlant, le refuge du Goûter, sur la principale voie d'ascension du mont Blanc, a ainsi été fermé pendant près de quinze jours. Une décision du maire de Saint-Gervais et du préfet prise pour des raisons de sécurité impérieuses. *"Certains endroits ne sont plus fréquentables au cœur de l'été, le rapport plaisir/risque n'est plus favorable"*, soupire Ludovic Ravanel. *"Il faut être un peu inconscient pour s'aventurer, par exemple, sur la face Nord des Droites à cette période"*, remarque le glaciologue Christian Vincent. D'après l'alpiniste Bernard Amy, président de l'Observatoire des pratiques de la montagne, *"certaines voies d'initiation considérées jusqu'ici comme faciles sont devenues trop difficiles voire impossibles car la glace a cédé la place à des rochers délités. Les débutants rêvent de*

courses célèbres qui ne seront bientôt plus praticables. Plusieurs grandes classiques sont devenues franchement effrayantes"... A moins d'oser aborder ces pics acérés en plein hiver, à la faveur du gel – un alpinisme hivernal encore réservé à une élite.

Même l'accès à la fameuse Mer de glace, site touristique visité depuis le milieu du XVIII^e siècle, se complique : *"Chaque année, nous devons ajouter 10 ou 15 marches pour l'atteindre, témoigne Damien Girardier, de la Compagnie du Mont-Blanc. Aujourd'hui, il faut franchir plus de 430 marches, descendre et remonter 230 mètres de dénivelé : on assiste depuis quelques années à une désaffection du public."*

En haute montagne, la présence humaine semble plus que jamais en sursis : *"Nous avons recensé 1 800 infrastructures (refuges, pylônes, routes) de haute montagne menacées par ces dégradations, relate Ludovic Ravanel. Et les vallées ne sont pas à l'abri : on a déjà vu des laves torrentielles s'écouler sur plus de 10 kilomètres de long..."*

V.N.

Pâturages

Le nouvel éden des vaches

Pour les bovins, le spectacle promet d'être irrésistible : dès le mois de mars, les alpages exploseront d'une flore chamarrée et délicieuse à brouter. Car le réchauffement climatique, avec la fonte précoce des neiges, s'annonce comme un formidable accélérateur de la pousse d'herbe dans les prairies : de +5 à +20 % sur les rendements !

Au risque de l'embouteillage. Car les élevages du sud, promis à une aridité extrême, seront tentés de

débarquer en Rhône-Alpes dès le printemps. *"Certains prés de fauche devraient alors être reconvertis en pâturages"*, imagine Baptiste Nettier, doctorant en agronomie à l'Irstea.

Or, derrière cette surproduction printanière se cache un piège potentiel : les scientifiques prévoient en effet des sécheresses sévères et une interruption de la croissance d'herbe au cœur de l'été. *"Nous ne savons pas quel sera l'impact de sécheresses ré-*

pétées sur la végétation", prévient Gregory Loucougaray chercheur en écologie alpine (Irstea).

Plusieurs solutions sont envisagées. Par endroits, des réseaux d'irrigation pourraient être réhabilités. *"Il est possible d'importer du fourrage, mais c'est coûteux et strictement limité par les cahiers des charges des AOC"*, signale Baptiste Nettier. On pourrait aussi introduire des cultures de complément ; ou décaler les périodes de vêlage pour mieux répartir les besoins alimentaires des troupeaux... Et tout cela sans bouleverser les arômes des fromages de la région.

V.N.

Paysage alpin

Les glaciers en voie de disparition

Combien seront-ils à la fin du siècle? Combien restera-t-il de ces géants aux neiges prétendument éternelles?

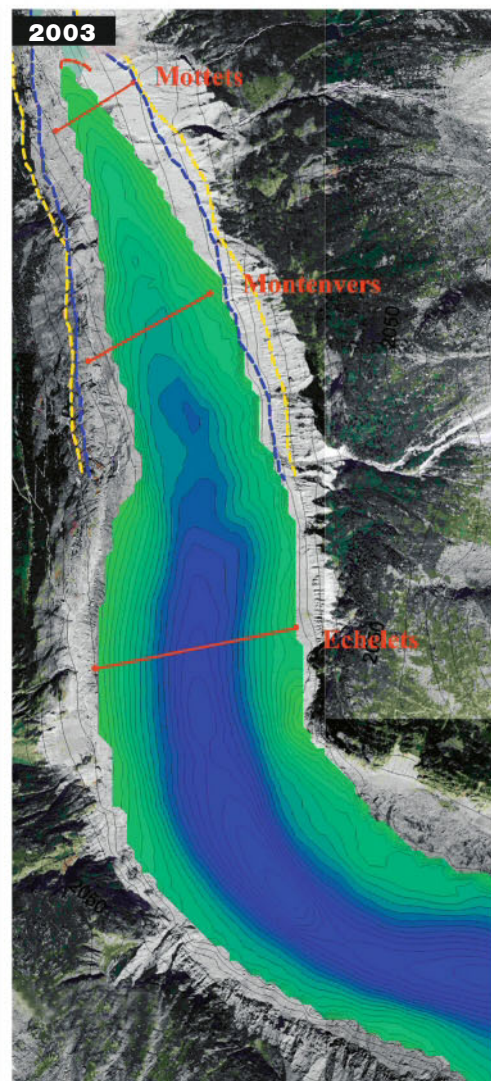
“La plupart des glaciers alpins vont disparaître dans le siècle à venir”, lance, fataliste, Christian Vincent, glaciologue à l’université de Grenoble. Les relevés sont en effet accablants: depuis 1970, ces monstres blancs ont déjà perdu un quart de leur surface, de 369 km² à moins de 275 km² sur le territoire français. Et ce rétrécissement s’accélère... En cause? La hausse des températures en été qui ronge petit à petit la ligne d’équilibre de ces systèmes glaciaires, marquant la limite entre la zone d’accumulation et la zone de fonte estivale. Chaque canicule devient un supplice: le seul été 2003 aurait consommé 8 % du volume de glace des Alpes; à ce titre, l’année 2015 aura sûrement commis des dégâts considérables.

Les cas individuels sont encore plus déchirants. Prenez le glacier de Sarenne, dans le massif des Grandes

Rousses, qui n’offre plus que des lambeaux faméliques de neige sale: “Il aura complètement disparu dans moins de vingt ans”, estime Christian Vincent. Les glaciers du massif de Belledonne et ceux de l’Ubaye ne seront bientôt qu’un souvenir. Même les sommets éclatants des Ecrins font pâle figure.

Les tout derniers rescapés se trouveront dans le massif du Mont-Blanc, pour l’instant protégés par leur altitude: “Sur le dôme du Goûter, à 4 300 m, aucune perte significative n’a été recensée en un siècle”, signale le glaciologue. Des rescapés qu’il sera de plus en plus difficile d’admirer: plus gros glacier français, la Mer de glace a ainsi reculé de 700 m en 30 ans et perdu dans ses parties basses 80 m d’épaisseur... “D’après nos calculs, cette langue glaciaire de 13 km reculera encore de 1,2 km d’ici à 2040”, expose Christian Vincent. Les prochaines générations devront se contenter de quelques glaçons fantomatiques.

V.N.



Et aussi...

Les marmottes en péril?

La couverture de neige, qui procure un effet isolant en période d’hibernation, est de moins en moins épaisse au fil des ans. Les femelles marmottes puisent donc dans leurs ressources

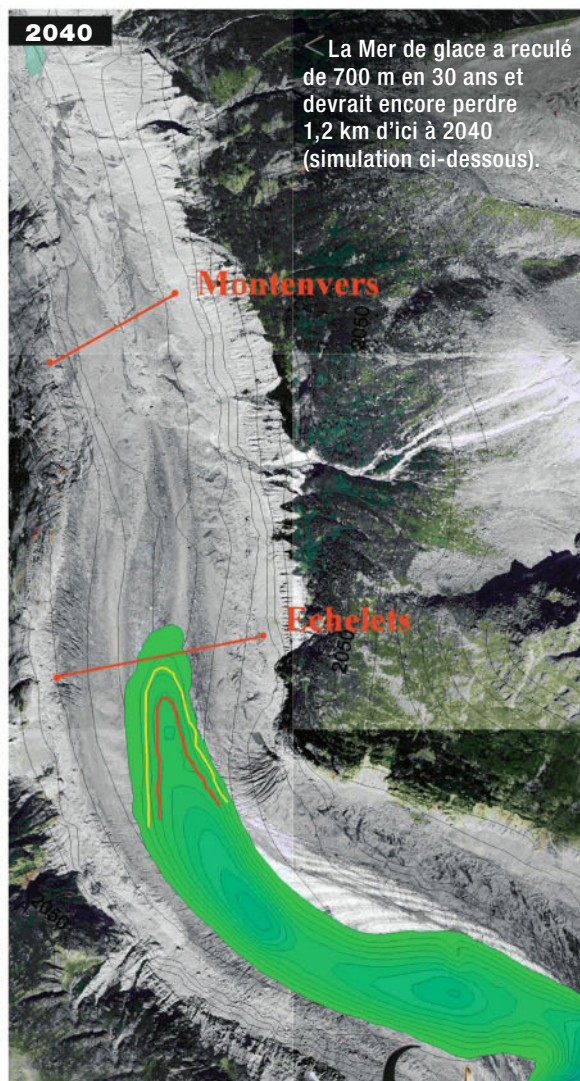
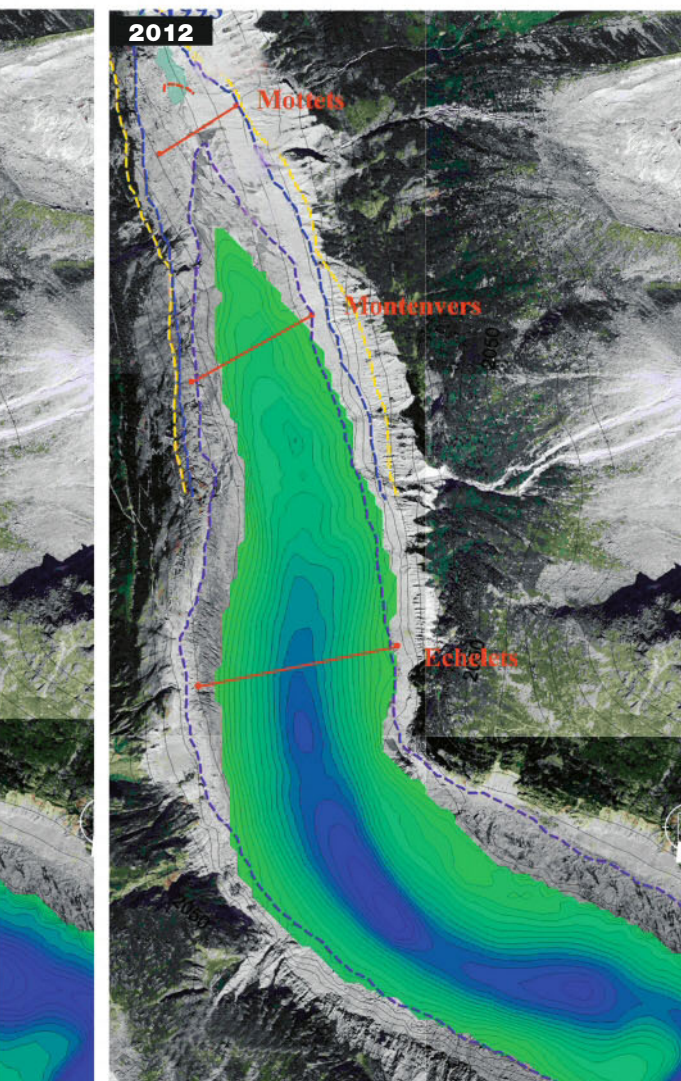
pour maintenir leur température. Au printemps, leur condition corporelle est diminuée, ce qui a un effet funeste sur les nouvelles portées. T.C.-F.

L’edelweiss en sursis

Contrairement aux plantes de basses altitudes, celles de hautes montagnes, comme l’étoile d’argent, ne



pourront pas grimper davantage pour échapper au réchauffement! “Selon les simulations, un quart des plantes alpines pourraient dis-



paraître d'ici à 2100", prévient le laboratoire Ecospat. T.C.-F.

Les avalanches seront moins meurtrières

Le nombre de coulées de neige va logiquement se réduire, étant donné qu'il est prévu une durée d'enneigement plus courte. En outre, "les plus faibles quantités de

neige présentes sur les versants produisent des avalanches de moindre énergie", analyse Pierre Etchevers, du Centre d'études de la neige. V.N.

Les chamois seront de plus en plus petits

Depuis les années 80, le poids moyen des chamois alpins a diminué

de 25 %. Un phénomène imputable au climat plus doux, selon les chercheurs, qui pousserait ces mammifères à se reposer plutôt qu'à chercher de la nourriture. "Cette réduction de la condition physique pourrait impacter la survie des chamois, notamment chez les jeunes", préviennent les auteurs de l'étude. T.C.-F.



Centre



Promise à la surchauffe, la région risque de changer de visage

C'est ici que bat le cœur de la France, entre patrimoine séculaire, élevages, forêts et, surtout, grandes cultures. Mais les 6 millions d'habitants de ce Centre élargi vont voir leur climat, qui est actuellement teinté d'influences océaniques et continentales, passer dans une autre dimension en se réchauffant de plus de 2,5 °C à la fin du siècle – et jusqu'à 4 °C selon certains scénarios. Avec quelles conséquences pour les rendements agricoles de cette région, véritable grenier à blé de la France ? Pour ses forêts ? Son gibier ? Et ses élevages ? Inédite, cette chaleur étouffante promet de bouleverser bien des traditions.

Monuments historiques

p. 81

Inquiétude sur la résistance des vitraux de la cathédrale de Chartres

Rendements céréaliers

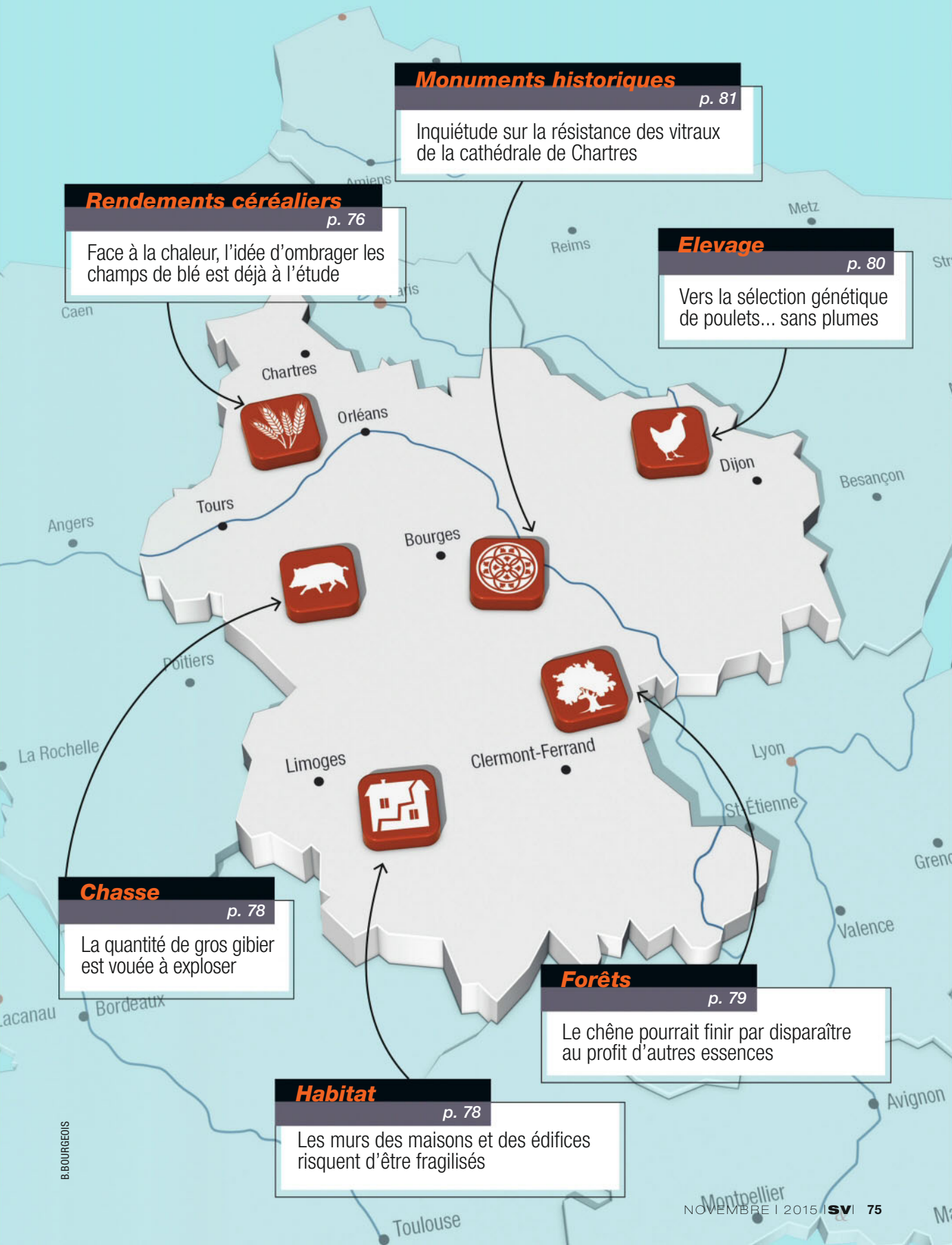
p. 76

Face à la chaleur, l'idée d'ombrager les champs de blé est déjà à l'étude

Elevage

p. 80

Vers la sélection génétique de poulets... sans plumes



Chasse

p. 78

La quantité de gros gibier est vouée à exploser

Forêts

p. 79

Le chêne pourrait finir par disparaître au profit d'autres essences

Habitat

p. 78

Les murs des maisons et des édifices risquent d'être fragilisés



Rendements céréaliers

L'idée de cultiver le blé à l'ombre est déjà à l'étude

Le “pétrole doré” s’étend à l’infini sur le plateau de la Beauce, grenier à blé de la France. Or, ce paysage emblématique, tristement monotone il faut bien le dire, pourrait évoluer.

Car la culture millénaire de blé tendre, dont notre pays est l’un des

premiers producteurs mondiaux, est touchée de plein fouet par le réchauffement. L’explication est physiologique : *“Pendant la phase de remplissage des épis, au mois de juin, cette plante devient très sensible aux fortes températures ; après une canicule,*

l’agriculteur récupère des grains plus petits et moins nombreux”, explique Gilles Charmet, du laboratoire Génétique, diversité et écophysiologie des céréales (Clermont-Ferrand). Dès 25 °C, les rendements du blé baissent. Et les céréaliers français ne



se contenteront pas des performances dérisoires de leurs homologues espagnols, qui plafonnent à 4 tonnes de grains par hectare, contre 7 tonnes en moyenne dans l'Hexagone.

Premier réflexe : rechercher de nouvelles variétés plus résistantes, objectif poursuivi par plusieurs grands programmes de recherche lancés dernièrement. Autre solution ? Planter des arbres au milieu des champs !

“A raison de 50 à 100 noyers à l'hectare, les cultures se retrouvent souvent à l'ombre et bénéficient alors d'un microclimat favorable, lance

Christian Dupraz, directeur de recherche à l'unité Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (Montpellier). *D'autant que les arbres à feuilles caduques posent peu de problème de compétition pour la ressource en eau.*” Bien alignés, ces arbres ne gênent pas non plus les moissonneuses-batteuses.

500 000 HECTARES ATTENDUS EN 2050

Résultat : les simulations menées par les agronomes montrent une stabilisation des rendements. *“Les années très*

bonnes sont un peu moins bonnes, certes, mais les mauvaises années de canicule restent bonnes, précise cet ingénieur en chef du génie rural. *Nous recherchons encore dans les variétés anciennes de blé des caractères mieux adaptés à l'ombrage.”*

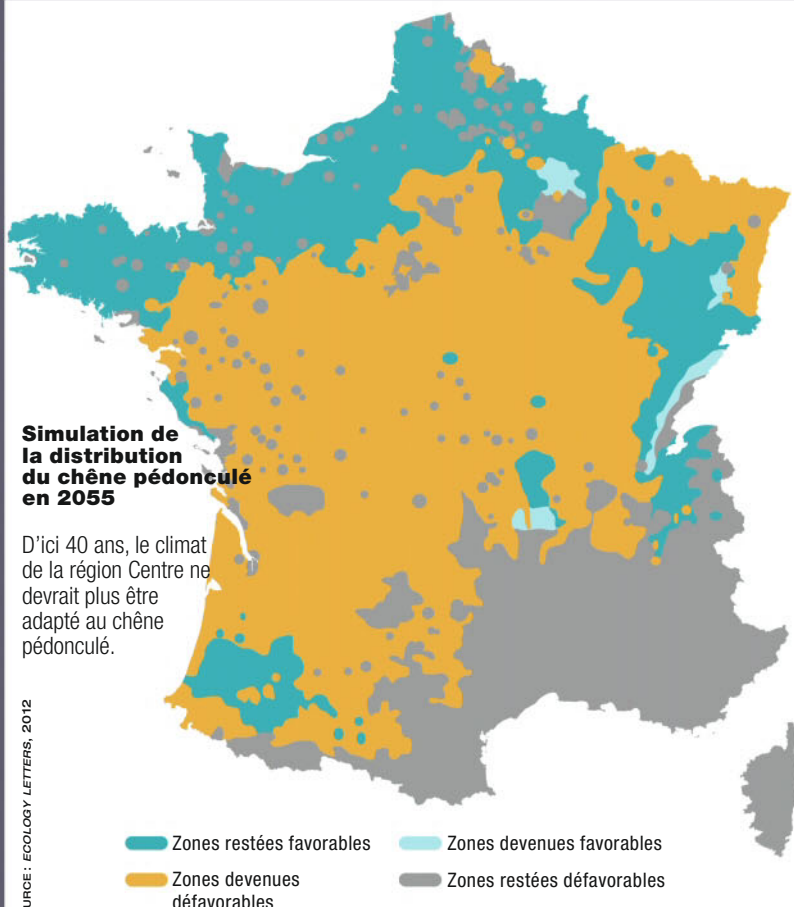
Cette “agroforesterie” est, en 2015, l'apanage de quelques militants. Mais à force de bouche-à-oreille élogieux, au moins 500 000 hectares de ces cultures mixtes sont attendus en France vers 2050. De quoi marquer un territoire. **V.N.**

Habitat

Menaces sur les maisons

Le phénomène ne fait pas la une des journaux. Il risque pourtant d'être ravageur pour nos habitations, avec la multiplication des sécheresses. Les sols argileux, omniprésents dans le Loiret et l'Indre-et-Loire, se rétractent fortement sous l'effet de l'évaporation. Résultat : des mouvements de terrain capables de fissurer les murs. *"Si la sécurité des personnes n'est pas en jeu, le coût pour la société est très élevé, à raison de 5 000 à 150 000 € la réparation,* indique Jean-Bernard Kazmierczak, spécialiste des risques naturels (Ineris). *En 2003, au niveau national, ce retrait des argiles était le deuxième poste d'indemnisation nationale juste derrière les inondations !"* De nouvelles règles de construction devraient s'imposer, privilégiant des fondations plus profondes.

V.N.



Chasse

Le gros gibier va proliférer

Une cinquantaine de sangliers tués en une battue... Un tableau de chasse de plus en plus banal, car la population de grands gibiers explose en France. En vingt-cinq ans, le nombre de sangliers a été multiplié par cinq pour atteindre les 2 millions. Si la faible proportion de prédateurs (loup, renard, lynx) joue un rôle dans cette prolifération, le changement climatique aussi. *"Avec ce climat doux, la productivité des forêts s'accroît,* explique Jean-Claude Ricci, directeur de

l'Institut méditerranéen du patrimoine cynégétique et faunistique. *Les années riches en châtaignes et en glands, dont raffolent les sangliers, se succèdent. Or, le poids de la laie déterminant sa maturité sexuelle, l'augmentation de la population devient plus rapide."*

Quant au nombre de cerfs et de chevreuils, il a, lui, quadruplé depuis trente ans. Mais si le cerf a avancé sa période de reproduction pour faire coïncider naissances et arrivée précoce du printemps, le chevreuil, lui, n'a pas

pu s'adapter avec autant de succès. *"L'effectif est toujours en augmentation, mais il va falloir le surveiller de près",* commente Jean-Claude Ricci.

Or, cette explosion du grand gibier a un impact économique. *"Les dégâts aux cultures sont en hausse depuis plus de quarante ans,* précise Antoine Berton, rédacteur en chef du *Chasseur français*, et chasseur. *La pression est forte sur les fédérations de chasseurs qui doivent à la fois rembourser les dégâts – 50 millions d'euros en 2013-2014 – et se soumettre aux quotas grandissants."*

La gestion du gibier repose sur les chasseurs, moitié moins nombreux depuis les années 70. Classé nuisible dans plusieurs départements, le sanglier le deviendra-t-il partout en France ? **T.C.-F.**



Forêts

Le chêne pourrait disparaître, faute d'eau

Sa silhouette tortueuse est reconnaissable entre toutes... Cet arbre majestueux trône au milieu de nos places, de nos prairies et peuple les plus belles forêts plantées par Colbert pour alimenter la construction navale.

Le chêne pédonculé n'est pas seulement un arbre emblématique, il est l'essence dominante des forêts françaises : ce géant est présent sur 1,9 million d'hectares. Son bois dense et lourd est recherché par les charpentiers, les ébénistes, les tonneliers. Mais ce symbole de force et de justice vacille.

Il ne supporte pas le manque d'eau... Les sylviculteurs ont pu s'en apercevoir après la grande sécheresse de 1976. Les années qui ont suivi ont donné lieu à des dépérissements épouvantables dans les grands massifs forestiers de la région : Tronçais, Vierzon, Bertrange.

La succession de sécheresses à venir fait donc craindre une hécatombe

générale. *“Les chênes succombent à la répétition des déficits hydriques qui épuisent leurs réserves vitales”*, analyse Vincent Badeau, chercheur au laboratoire Ecologie et écophysiologie forestière (Inra, Nancy).

LEUR AGONIE DURE PLUSIEURS ANNÉES

Un enchaînement redoutable se met en place. Sans eau, les feuilles referment leurs stomates et peinent à assurer la photosynthèse ; les sucres nécessaires à l'arbre sont produits en plus faible quantité ; et moins de feuilles sont générées au printemps suivant : *“Ce qui réduit encore les stocks carbonés nécessaires pour reconstituer les feuilles après une attaque de chenille, ou même seulement pour passer l'hiver”*, poursuit le chercheur. Pour peu qu'une ou deux autres sécheresses se manifestent à nouveau, les limites physiologiques sont atteintes.

“L'agonie des arbres dure plusieurs années : à la fin, les principaux rameaux se sont détachés et les pics-verts s'acharnent sur les larves présentes sous l'écorce, raconte Hubert Schmuck, à l'Office national des forêts. Comme chez les humains, les arbres les plus vieux (150-200 ans) sont les plus vulnérables.”

Les sylviculteurs réfléchissent depuis des années aux moyens de sauver le chêne pédonculé. Si irriguer une forêt n'est pas envisageable, il faudrait espacer les individus pour réduire la pression sur la ressource en eau, tout en favorisant les jeunes plants. En réalité, d'autres essences vont prendre sa place : *“Le chêne rouvre résiste mieux à la sécheresse ; le pubescent aussi est intéressant, même s'il supporte mal les sols gorgés d'eau en hiver”*, réfléchit Hubert Schmuck. *“Le chêne vert méditerranéen pousse désormais sans trop de problème dans notre station expérimentale de l'Est, mais sa productivité est ridicule et il n'a pas de débouché”*, regrette Vincent Badeau. Pendant ce temps-là, le roseau, lui, plie mais ne rompt pas. **V.N.**



Le signe avant-coureur...

Depuis 25 ans,
le nombre de sangliers
a été multiplié par 5.



Elevage

Face à la chaleur, le poulet pourrait perdre ses plumes

La première rencontre risque d'être assez désagréable : imaginez une basse-cour remplie de volailles à la peau nue, comme si elles venaient d'être plumées vivantes.

"Le caractère 'sans plume' de ces animaux est apparu spontanément parmi des poussins de race new hampshire élevés en Californie, explique Anne Collin, à l'Inra Val de Loire. Cette particularité génétique est désormais exploitée par des chercheurs israéliens, car elle procure un avantage adaptatif aux fortes chaleurs."

Poules pondeuses et poulets de chair supportent mal les canicules. Très mal même : l'été 2003 a entraîné une hécatombe de quelque 3,5 millions de poulets en France.

Outre les questions de survie et de bien-être, l'enjeu est aussi celui de la productivité : *"Les études montrent qu'à 32 °C, un poulet voit sa croissance ralentir de 25 à 30 %, la chaleur limitant sa prise d'aliments, précise Anne Collin. Les volailles ne peuvent évacuer leur chaleur interne par transpiration, faute de glandes sudoripares fonctionnelles."* Les surfaces d'échanges thermiques sont rares (face, crête, pattes) ; elles accomplissent donc d'immenses efforts pour se ventiler. Problème : leur plumage fait office d'isolant. D'où l'idée d'en éliminer une partie !

"Des variétés 'cou nu' sont déjà introduites dans des élevages", relate la scientifique. Jusqu'à la poule sans plume, qui nous paraîtra peut-être moins repoussante à l'avenir. **V.N.**



Monuments historiques

Les vitraux de

Deux périls planent potentiellement sur les 173 fenêtres couvertes de somptueux vitraux des XII^e et XIII^e s. de la cathédrale de Chartres.

Claudine Loisel, responsable du pôle Vitraux aux monuments historiques, s'inquiète de la multiplication des mini-tornades ou de violents épisodes de pluie et de grêle : *"Il faudra s'assurer que les verrières et les grilles de protection suffisent."*



^ Ce détail de la circoncision de l'enfant est constellé de minuscules cratères creusés dans le verre par le phénomène de lixiviation.

Chartres risquent de souffrir

Histoire d'éviter des destructions comme celles de 2005 à Blois: "A peine inaugurés, les vitraux contemporains de la cathédrale y furent brisés par un orage très violent", se souvient Frédéric Aubenton, du Conservatoire régional des monuments historiques.

Le deuxième péril, connu de longue date, est la lixiviation: une dissolution sélective des ions calcium et potassium qui creuse des cratères dans le verre. A

partir de deux modèles climatiques différents, Anda Ionescu (université de Paris-Est Créteil) a établi deux scénarios: "L'un optimiste: la lixiviation se stabilise puis diminue; l'autre plus pessimiste, avec un processus qui s'accélère avant de diminuer dans la deuxième partie du siècle." Une chose est sûre, la protection des vitraux doit se poursuivre à Chartres... comme ailleurs. **C.T.**

Et aussi...

La force tranquille des vins de Bourgogne

Les Bourguignons pourront toujours compter sur le pinot noir. "Ce cépage affiche la plus grande diversité génétique et promet d'être résilient", estime Benjamin Bois (université de Bourgogne).



V.N.

La Sologne prompt à s'enflammer

Sous l'effet des fortes sécheresses, la végétation de la Sologne deviendra vers 2040 aussi inflammable que la forêt des Landes actuelle ou de certains massifs de Haute-Corse. Pour y remédier, des aménagements coupe-feu devront être tracés au cœur de cette forêt naturelle.

V.N.

Apollon ne passera pas l'hiver

Ce papillon blanc est une espèce montagnarde qui a besoin de grands froids l'hiver. A force de remonter en altitude sous l'effet du réchauffement, il est arrivé aux sommets du Massif central. Avis de disparition.

V.N.



Nord- Est



La douceur à venir promet de bouleverser l'identité de la région

Pour les 12 millions d'habitants du Nord et de l'Est, le réchauffement ressemble plutôt à une bonne nouvelle. Songez qu'en 2080, le climat de Lille sera comparable à celui d'Angers, voire de Toulouse ou de Carcassonne ! Hivers plus doux, étés plus chauds, précipitations maintenues... les conditions seront favorables aux grandes cultures nordistes, voire au tourisme. Mais il ne faut pas oublier que ce territoire industriel et fertile a été en partie gagné sur la mer : la montée du niveau marin sera ici la grande affaire du siècle. Dans l'Est, dont le climat semi-continental fait se succéder étés chauds et hivers rudes, c'est un autre bouleversement qui se prépare : la disparition du froid. Comment la faune et la flore locales vont-elles réagir à cette inédite vie sans gel ?

Territoire

p. 85

Les inondations risquent de devenir le grand problème de la région

Santé publique

p. 92

Déjà présente, la pollution atmosphérique va encore s'amplifier

Carrières

p. 91

Des pans entiers du sous-sol de la région pourraient s'effondrer

Nappes phréatiques

p. 89

Les grandes crues de la Somme devraient peu à peu cesser

Vignobles

p. 90

Le champagne ne sera vraisemblablement pas trop affecté

Faune et flore

p. 88

Avec la fin du gel, la question du comportement des êtres vivants se pose

Agriculture

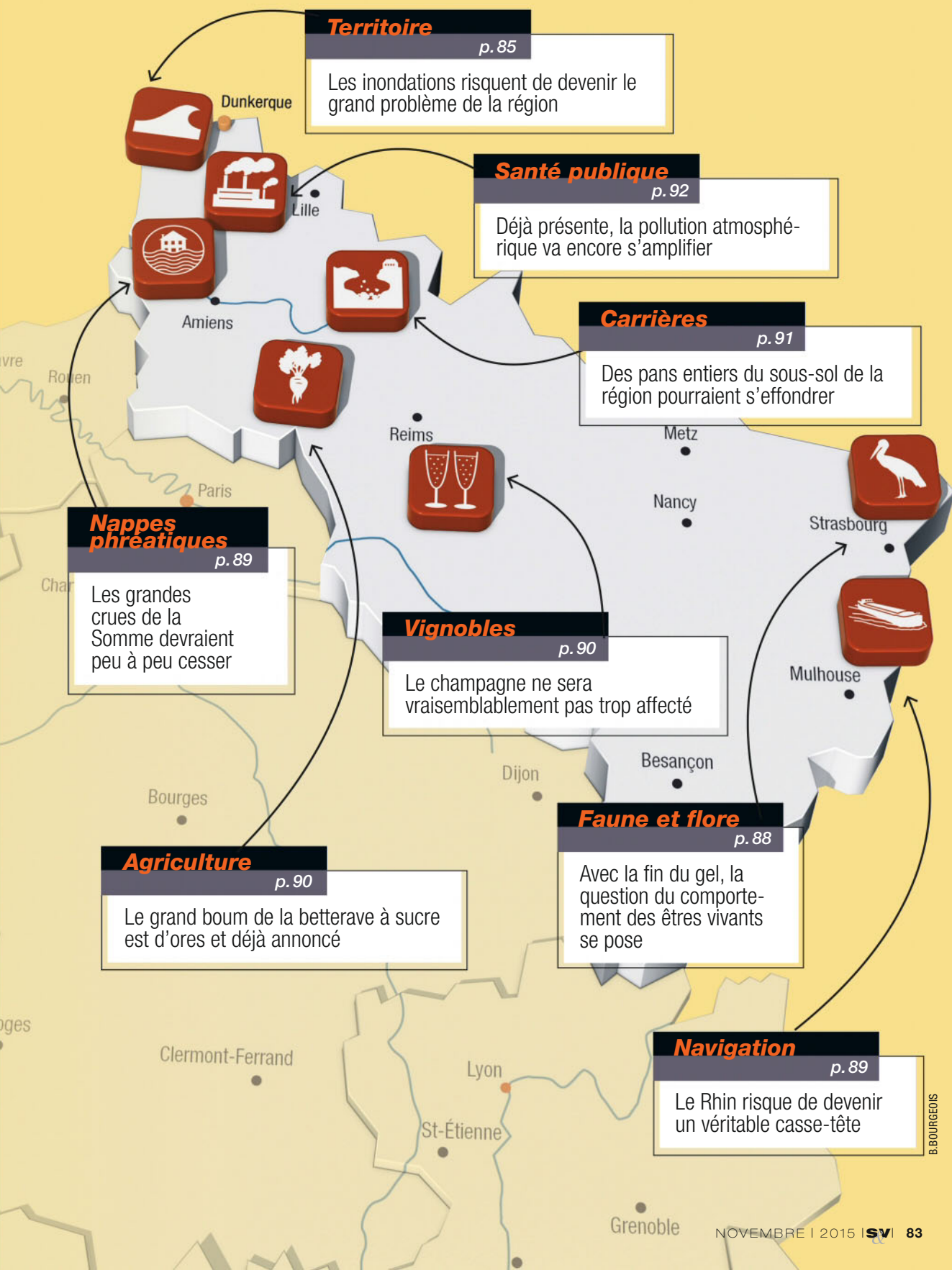
p. 90

Le grand boum de la betterave à sucre est d'ores et déjà annoncé

Navigation

p. 89

Le Rhin risque de devenir un véritable casse-tête







Aménagement du territoire

Les inondations sont vouées à devenir un problème majeur

Depuis son bureau flambant neuf installé sur l'ancien site minier de Loos-en-Gohelle, au pied des deux plus hauts terrils d'Europe, Julien Dumont montre du doigt la pointe nord de la région. "L'un des plus gros impacts du changement climatique sera la

vulnérabilité des waterings face aux inondations continentales, associée au risque de submersion marine", avertit le jeune chargé de mission à l'Observatoire climat Nord-Pas-de-Calais.

Les "waterings"? Ce terme désigne un système de drainage et d'assèche-

ment des terres et, par extension, la portion de territoire occupée par ce dispositif. A savoir un triangle de 100 000 ha – 10 fois la superficie de Paris – reliant Saint-Omer, Calais et Dunkerque, qui recouvre une centaine de communes et concerne près ➔

Pluies et hausse du niveau de la mer vont menacer le littoral

de 450 000 habitants. Et qui héberge de nombreux sites classés Seveso (du nom d'une directive européenne imposant d'identifier les zones industrielles à risque), dont la centrale nucléaire de Gravelines, la plus puissante d'Europe de l'Ouest.

Rappelons que cette ancienne zone marécageuse, comparable aux polders hollandais, était autrefois régulièrement recouverte par la marée haute. Dès le ^v^e siècle, les moines, puis les comtes de Flandre (au ^{xii}^e siècle) mirent en place un ingénieux système de drainage pour assécher ces marécages, les assainir et les reconvertir en terres agricoles.

Ce dispositif est toujours utilisé de nos jours : le ruissellement des eaux de pluie continue de menacer ces terres situées sous le niveau des hautes marées – jusqu'à - 2,5 m aux Moères, la commune la plus basse de la région, à 17 km de la côte. Et les 1 500 km de canaux entrecoupés par plus de 100 stations de relevage qui traversent ce plat pays ont un seul but : éviter que les marécages

À l'ouest de Calais, la dune est le seul rempart contre une éventuelle inondation.

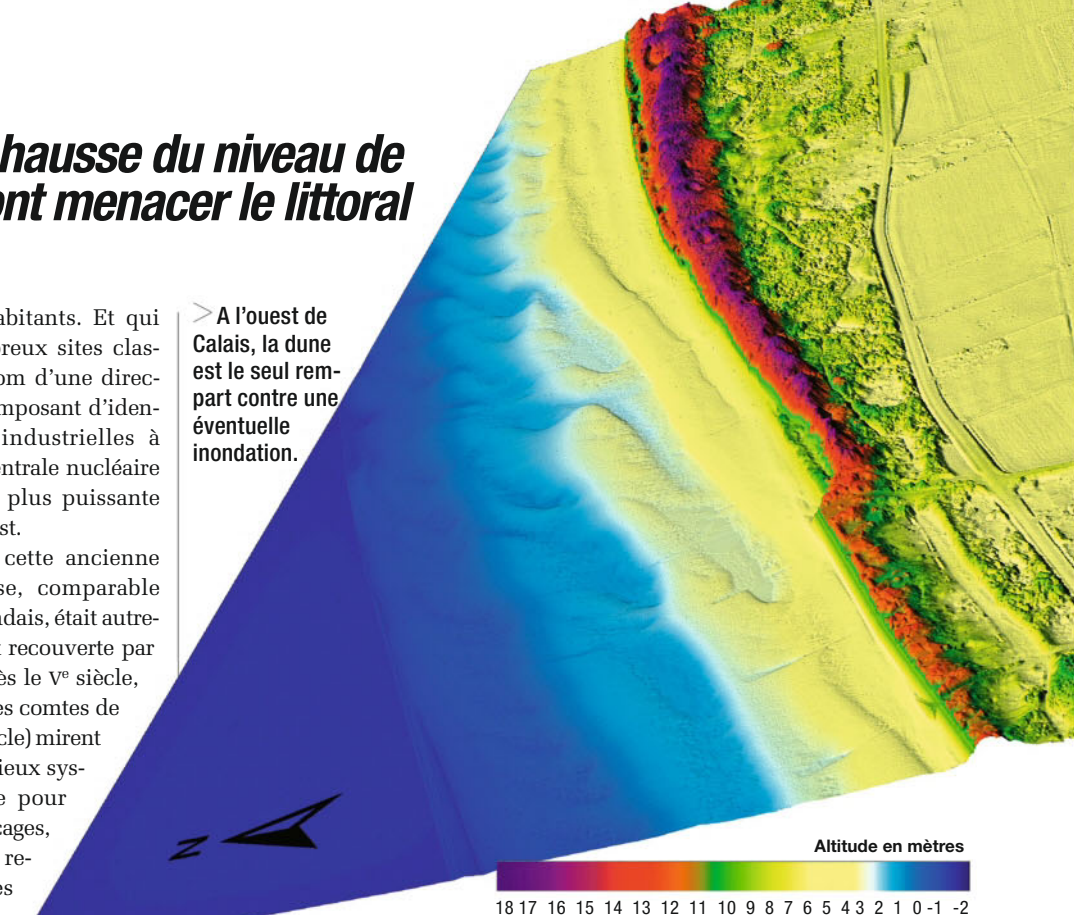
ne reprennent leurs droits en pompant, encore et encore. *"Les waterings, c'est un peu comme les Shadoks"*, résume Yves Fouquart, corédacteur du deuxième rapport du Giec.

Le problème, c'est que personne ne sait combien de temps les waterings pourront être maintenues à sec... Car le réchauffement climatique va prendre la zone en étau. Avec, d'un côté, l'augmentation annoncée des précipitations

hivernales (+ 20 % à + 40 % en 2050 selon les scénarios), et donc des quantités d'eau à pomper ; et, de l'autre, la hausse régulière du niveau de la mer (+ 30 cm à + 80 cm à la même date).

Cette montée des eaux crée en premier lieu un risque de submersion des digues ou des grandes dunes de sable fin, caractéristiques des plages de la région, qui protègent les waterings. *"Certaines zones sont particulièrement sensibles"*, avertit Arnaud Héquette, responsable de l'équipe Dynamique côtière actuelle et récente au Laboratoire d'océanologie et de géosciences. En particulier la baie de Wissant. *"Le littoral y recule à un rythme pouvant atteindre 5 m par an, l'équivalent d'une perte de 25 000 m³ de sable dans les dunes côtières, décrit-il. Et la hausse du niveau de la mer va probablement accentuer ce phénomène."*

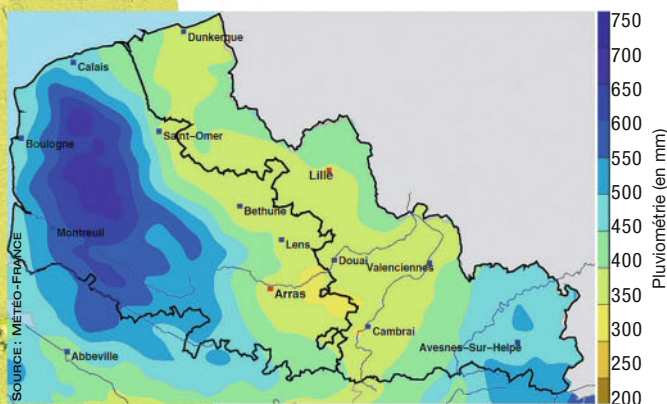
Pour y faire face, la région commence tout juste à s'inspirer des techniques de réensablement de plages utilisées



**YVES
FOUQUART**

Professeur émérite
à l'université de
Lille, corédacteur
du deuxième
rapport du Giec

Deux solutions : améliorer soit le pompage vers la mer, soit le stockage dans les canaux



Des hivers toujours plus pluvieux

Voici la projection, en 2050, des précipitations d'octobre à mars dans le Nord-Pas-de-Calais : 30 % à 40 % de hausse par rapport à aujourd'hui.



La mer va gagner sur les terres

Cette carte simule une élévation de 1 m du niveau de la mer en Nord-Pas-de-Calais. Les prévisions pour 2050 donnent entre +30 cm et +80 cm...

en Belgique et aux Pays-Bas : à Dunkerque, la digue des Alliés vient de recevoir 1,5 million de mètres cubes de sable, et une opération similaire est à l'étude pour Wissant.

Mais la hausse du niveau de la mer va surtout créer un problème d'évacuation des eaux intérieures. Le réseau de canaux des waterings débouche en effet à Calais, Gravelines et Dunkerque sur des "portes à la mer", des barrages dotés de vannes qui empêchent l'eau de s'y engouffrer à marée haute et laissent l'eau canalisée s'écouler à marée basse, par simple gravité. Fatalement, puisque les marées basses seront de plus en plus hautes, les périodes propices à l'évacuation naturelle vont se raréfier.

UNE NÉCESSAIRE RÉORGANISATION

Certes, afin d'évacuer mécaniquement l'eau en urgence, lorsque le niveau de la mer ne permet pas son écoulement naturel, le dispositif est doté de pompes hydrauliques (qui ont remplacé les moulins à vent dans le paysage). Mais malgré son impressionnante capacité de puisage – 100 m³/s au total, l'équivalent du débit de la Marne –, il n'est pas dimensionné pour pomper plus, ni plus souvent.

"Une étude a montré que pour une

hausse de 30 cm du niveau moyen de la mer, il faudrait recourir aux pompes 45 % plus souvent", révèle Yves Fouquart, également coordinateur du Cercle (Collectif d'expertise régionale pour le climat et son évolution), un comité d'une trentaine de scientifiques mis sur pied en 2013 par la Région. Or, tous les ans, durant plusieurs épisodes, le système est exploité à 100 % de sa capacité. "Dans la zone critique des Moères, à 2,5 m sous le niveau de la mer, les pompes peuvent fonctionner jusqu'à cinq jours d'affilée si de fortes précipitations coïncident avec de faibles coefficients de marée, détaille Stéphane Vanhée, chargé de mission à l'Institut interdépartemental des waterings. Et nous souffrons d'un déficit de 20 m³/s pour l'évacuation de la région de Saint-Omer en cas de crue décennale. D'où de fortes inquiétudes sur la capacité des waterings à répondre aux incidences prévisibles du changement climatique."

Le pays des Shadoks va donc devoir se réorganiser. "Puisqu'il est quasi exclu d'évacuer un demi-million de personnes, il ne reste que deux solutions face aux épisodes

extrêmes, estime Yves Fouquart. Augmenter soit la capacité de pompage vers la mer, soit la capacité de stockage dans les canaux existants."

La première solution entraînerait une hausse sensible des frais de fonctionnement du dispositif – le budget nécessaire à la maintenance et au fonctionnement des waterings s'élève à environ 4,5 millions d'euros par an. La seconde exigerait d'abandonner une partie des terres agricoles lors des fortes précipitations hivernales. "En Belgique et aux Pays-Bas, on accepte d'inonder temporairement une partie du territoire, de façon maîtrisée, pour éviter l'inondation de zones urbaines ou industrielles", souligne Stéphane Vanhée.

Dans la région de Saint-Omer, l'idée est évoquée depuis plusieurs années,

mais le choix des terres à sacrifier n'a toujours pas été tranché. Preuve que la prise de conscience n'est pas encore totale. "Parler de réfugiés climatiques à l'échelle du Nord-Pas-de-Calais, c'est un message qui a encore du mal à passer, admet Julien Dumont. Pourtant, si l'on ne fait rien, le risque est bien réel."

P.-Y.B.

45%

C'est la hausse de la fréquence de pompage que nécessiterait une élévation de 30 cm du niveau de la mer, l'élévation minimum prévue à l'horizon 2050.

Faune et flore locales

Vers de nouvelles espèces

Et si le gel disparaissait de Lorraine, des Vosges et d'Alsace ? Chaque décennie depuis 1950, les stations météo de Nancy enregistrent une diminution de cinq jours de gelée par an – il n'en reste qu'une soixantaine.

Les effets sont déjà visibles. Par exemple sur les cigognes. *“Sans le gel pour durcir la couche de terre pleine de vers, elles pourraient se nourrir constamment. Quel serait alors l'avantage d'une migration, qui nécessite une dépense énergétique intense ?”* remarque Sylvie Massemin-Challet, maître de conférences à l'université de Strasbourg.

Il n'y aura pas que des gagnants. *“Les espèces hibernantes, comme le hamster d'Alsace, perdraient un avantage : si le manteau neigeux isolant était remplacé par de la pluie, leurs dépenses énergétiques augmenteraient, ce qui impacterait les portées, prévient Yves Handrich, spécialiste de biodiversité à l'Institut pluridisciplinaire Hubert Curien. Par ailleurs, le gel est un facteur limitant pour les espèces invasives comme le moustique tigre, ainsi que pour les parasites de cultures.”*

Les opportunités en termes d'agriculture seraient, en revanche, nombreuses. Selon le projet Climator, les rendements de culture de colza et tournesol augmenteraient significativement. Et les plantes méridionales pourraient s'acclimater. *“En Suisse, un palmier s'est échappé des jardins et mêlé à la flore indigène. Sa persistance et sa reproduction étaient directement liées à la diminution des jours de gel”,* raconte Gwladys Mathieu, ingénieur agronome au CREA de Chamonix.

De quoi imaginer l'Alsace avec des cigognes toute l'année perchées sur des palmiers...

T.C.-F.



Le signe avant-coureur...

Depuis plusieurs années, les cigognes sédentaires sont plus nombreuses en Alsace.

Nappes phréatiques

Fini, les très grandes crues de la Somme

Dans le bassin de la Somme, la grande crue du printemps 2001 est encore dans tous les esprits. Pendant plus de deux mois, quelque 6 000 hectares de la vallée s'étaient alors retrouvés sous les eaux du fleuve; plus de 1 100 habitants avaient dû être évacués et relogés.

Mais que les Picards se rassurent ! Les modélisations climatiques du XXI^e siècle prévoient une baisse des précipitations annuelles dans la région. Or, les crues de la Somme, contrairement aux crues cévenoles, ne sont pas liées à des épisodes de pluies intenses concentrés sur quelques jours, mais à un lent gonflement des nappes.

"On parle d'effet mémoire' pour décrire l'histoire de ces crues qui se préparent longtemps à l'avance, comme ce fut le cas en 2001 : des années très pluvieuses venaient de se succéder, entraînant mécaniquement une augmentation régulière du niveau des nappes", explique Agnès Ducharne, directrice de recherche au CNRS et coordinatrice du projet sur l'impact du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques de la Somme. Moins d'eau, plus de chaleur : les deux données se conjuguent pour réduire les grandes crues. *"L'analyse des débits de la Somme à Abbeville suggère que les crues rares y auraient des débits associés plus faibles en fin de siècle qu'actuellement."*

En revanche, pour les besoins en irrigation des cultures, c'est un vrai sujet d'inquiétude. **C.T.**



Le fleuve est surtout vulnérable aux crues.

Navigation

Le Rhin risque de devenir un casse-tête fluvial

"2 millions de containers par an sont transportés sur le fleuve, s'exclame Hans van der Werf. Vous imaginez s'ils empruntaient le réseau routier? Cela l'asphyxierait." Si l'enjeu est clair, le secrétaire général de la Commission centrale pour la navigation du Rhin reconnaît que le risque lié au réchauffement, lui, l'est moins. *"Il n'y a pas de prévisions tangibles au-delà de 2050. Nous pouvons juste supposer des précipitations plus concentrées dans le temps, associées à des périodes plus prolongées sans précipitations."* De quoi perturber la navigabilité?

La question est d'autant plus ardue que le Rhin est nourri en amont par la fonte estivale des neiges et glaciers alpins, et en aval par les précipitations hivernales et printanières. Conséquence : en amont, les basses eaux sont en hiver et les crues en été, alors qu'en aval, c'est l'inverse.

Sachant en outre qu'il n'est canalisé qu'en amont, ce qui le prémunit des basses eaux... mais lui confère une plus grande vulnérabilité aux crues.

L'imbroglie devient casse-tête lorsque interviennent les intérêts des neuf pays qu'il irrigue. Meurtris par le souvenir de la submersion marine de 1953 qui fit plus de 1 800 morts et très dépendants du fleuve, les Néerlandais s'inquiètent des crues et poursuivent leurs travaux sur certaines digues. D'autres privilégient l'approfondissement des connaissances, comme en témoigne la vaste étude allemande Kliwas. *"Il reste les problèmes des étiages qui sont gérés au cas par cas et où tout reste à faire à l'international,"* confie Jean-Pierre Wagner, ingénieur à la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Lorraine. *L'idéal serait de partir sur des bases communes objectives. Nous y travaillons."* **A. LE T.**

Rendements agricoles

La betterave à sucre va bien profiter de la chaleur

Une racine, une tige et quelques larges feuilles. Sous ses dehors rustiques, la betterave à sucre cache sans doute l'un des plus beaux succès agronomiques de ce siècle... à raison de 160 kg de sucre blanc produits à partir de chaque tonne de cette racine géante.

C'est que les betteraviers picards bénéficient pleinement du réchauffement. *"En vingt ans, nos rendements sont passés de 70 tonnes à 90 tonnes par hectare, tandis que les apports en engrais ont été largement réduits, se félicite Alain Jeanroy, directeur général de la Confédération générale des planteurs de betteraves. L'évolution du climat a déjà permis d'avancer la date des semis de plus d'une semaine, autorisant une croissance plus longue."*

Surtout, *"l'augmentation des températures accélère la croissance des*

feuilles, qui atteignent leur plein épanouissement lors du maximum solaire de mai-juin", enchaîne Fabienne Maupas, agronome à l'Institut technique de la betterave.

Cette montée en puissance ne demande qu'à se prolonger! Sachant que les sols profonds du Nord-Pas-de-Calais préservent pour le moment des risques de sécheresse. *"Il n'y a pas vraiment de limite. Nous avons un projet de recherche qui vise à doubler le rythme actuel de croissance des rendements, annonce Alain Jeanroy. Nous nous rapprochons petit à petit de la compétitivité de la canne à sucre du Sud brésilien."*

Au point que les agriculteurs de la plaine picarde pourraient devenir des acteurs majeurs sur le marché mondial du sucre. Un marché en plein boom : la demande augmente de 2 % chaque année.

V.N.



Et le champagne ?

Pas d'inquiétude, les bouchons continueront à sauter! *"Le champagne étant essentiellement un vin d'assemblage, on pourra jouer sur la quantité et la variété des cépages et millésimes utilisés, explique Jean-Marc Touzard, directeur de recherche à l'Inra. Par ailleurs, la hausse de la température, qui augmente le taux de sucre, et donc d'alcool, dans le vin, sera moins problématique ici, car les raisins utilisés sont moins sucrés."* Le procédé de fabrication lui-même permet d'ajuster cette variable. Et la concurrence? *"Ils feront de très bons vins effervescents ailleurs, notamment en Angleterre, admet Elodie Briche, géographe climatologue. Mais ça ne s'appellera pas champagne."*

A. L. E. T.





*Le signe
avant-coureur...*

En vingt ans, les rendements de la betterave sont passés de 70 t/ha à 90 t/ha... avec moins d'engrais.

Carrières

Les sous-sols menacés de s'effondrer

C'est une menace venue du fond des âges. Durant des siècles, les hommes ont creusé avec acharnement le sol à la recherche de matériaux de construction, de craie tendre pour fertiliser les champs ou, plus récemment, d'un abri dans l'enfer des combats de la Première Guerre mondiale.

Résultat, *"ces cavités souterraines provoquent des effondrements à chaque épisode de fortes pluies, en raison des surcharges mécaniques exercées par les variations des nappes phréatiques*, informe Jean-Marc Wate-

let, de la Direction des risques sols et sous-sols (Ineris). *Or, les précipitations pourraient à l'avenir s'intensifier*".

Cette tendance n'aurait rien d'alarmant si le sol ne s'éventrait qu'en rase campagne. En fait, ces mouvements de terrain peuvent tuer.

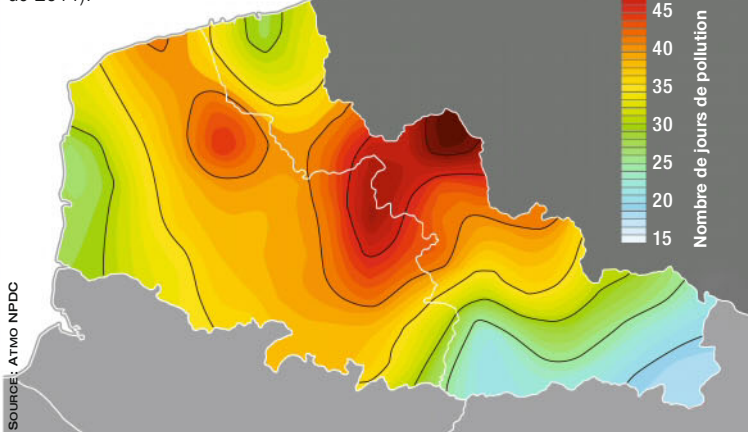
En Picardie, par exemple, *"les 3 000 habitants de la ville haute de Laon vivent au-dessus de trois niveaux de caves, de carrières et de galeries*, signale Denis Montagne, responsable du service d'inspection des carrières de la ville. *Si les précipitations*

s'accroissent, nous en paierons le prix". Et encore, cette cité au patrimoine historique très riche – 70 bâtiments classés – fait l'objet d'un scrupuleux plan de prévention des risques. *"Le problème se posera plutôt pour tous les vides mal connus, voire oubliés, en dessous des zones périurbaines bâties sur des terrains crayeux : aux environs de Lille, Valenciennes, Cambrai, Arras, Amiens..."*, avertit Jean-Marc Watelet. L'inventaire précis du sous-sol sera ici l'un des défis du siècle.

V.N.

Une importante pollution de l'air

Dans la majeure partie du Nord-Pas-de-Calais, le seuil à partir duquel la pollution aux particules fines affecte la santé (35 jours/an) est dépassé (ci-dessous les chiffres de 2011).



Santé publique

La pollution va s'amplifier

Densément peuplé et héritier d'un lourd passé industriel, le Nord-Pas-de-Calais est l'une des régions de France les plus touchées par la pollution, aussi bien de l'air que de l'eau. Une situation qui ne va pas s'arranger avec le réchauffement climatique, bien au contraire...

La région souffre notamment d'une forte pollution aux particules fines, issues du chauffage, du transport et de l'industrie. *"Les épisodes de fortes chaleurs vont solliciter le cœur des personnes les plus fragiles et les rendre encore plus sensibles à la pollution aux poussières, ce qui augmentera les risques de troubles respiratoires et cardio-vasculaires"*, avertit Damien Cuny, professeur d'écotoxicologie à la faculté de pharmacie de Lille.

Même chose pour l'eau des canaux, lacs et rivières. *"Les eaux de la région font partie de l'une des zones – le district international de l'Escaut – les plus polluées d'Europe à cause de la densité de*

population et d'industries", tranche Ludovic Lesven, maître de conférences en physico-chimie de l'environnement à l'université Lille 1. Cette pollution (aux métaux lourds, comme le plomb, le cadmium ou le mercure) est pour l'instant naturellement piégée et neutralisée sous une forme non toxique par les sédiments. Mais *"à l'avenir, l'acidification de l'eau due à l'excès de CO₂ dans l'atmosphère pourrait entraîner la libération d'ions métalliques toxiques, prévient le chercheur. Heureusement, l'eau de la région est très calcaire, ce qui retarde un peu cette acidification"*.

Autre risque: en cas de submersion marine, l'eau salée, contenant des bromures et des chlorures, va s'infiltrer dans les nappes phréatiques. Or, lorsqu'elle est pompée pour l'usage domestique, cette eau est ionisée afin de tuer les bactéries. *"Ce qui risque de transformer les bromures en bromates, qui sont des polluants: les stations devront donc adapter leurs processus"*, conclut Ludovic Lesven.

P.-Y.B.

Et aussi...

Le grillon d'Italie chante déjà sur les terrils

Il a été repéré dès 2000 sur le flanc ensoleillé du terril d'Avion (Pas-de-Calais). *"On le voit partout dans la région, des friches industrielles à la gare de Lens"*, s'étonne Vincent Cohez, directeur scientifique du CPIE Chaîne des Terrils. A.P.



Le Nord, future région touristique ?

Avec ses hivers plus doux et ses étés plus chauds, le Nord pourrait devenir la nouvelle Riviera française. A condition d'adapter les infrastructures. *"Il y a là peut-être un avantage concurrentiel à ne pas négliger"*, souligne Yves Fouquart (CERCLE). A.P.

Le réchauffement pourrait sauver le frêne

Depuis vingt ans, les frênes européens sont décimés par la chalarose, une maladie causée par un champignon. Or, *"le*

réchauffement modéré annoncé dans la région fragiliserait le pathogène sans affecter le frêne, permettant la guérison des forêts", estime Eric Goberville, du Laboratoire d'océanologie et de géosciences de Wimereux.



LION DE PARIS, QUE L'ON PEUT AUSSI RENCONTRER EN AFRIQUE.

Parc Zoologique de Paris - Métro Porte Dorée

   @zoodeparis



PARC
ZOOLOGIQUE
DE PARIS

une nouvelle espèce de zoo

© M.N.H.N. - François-Gilles Grandin



 Île de France

 vetoquinol

 mappy

 AIRFRANCE
CARGO

 Sèche
séchage professionnel

 25

 La Parisien

 T3015

 Eclair

 MAIRIE DE PARIS

 RATP

 SCIENCE VIE

 LE FIGARO

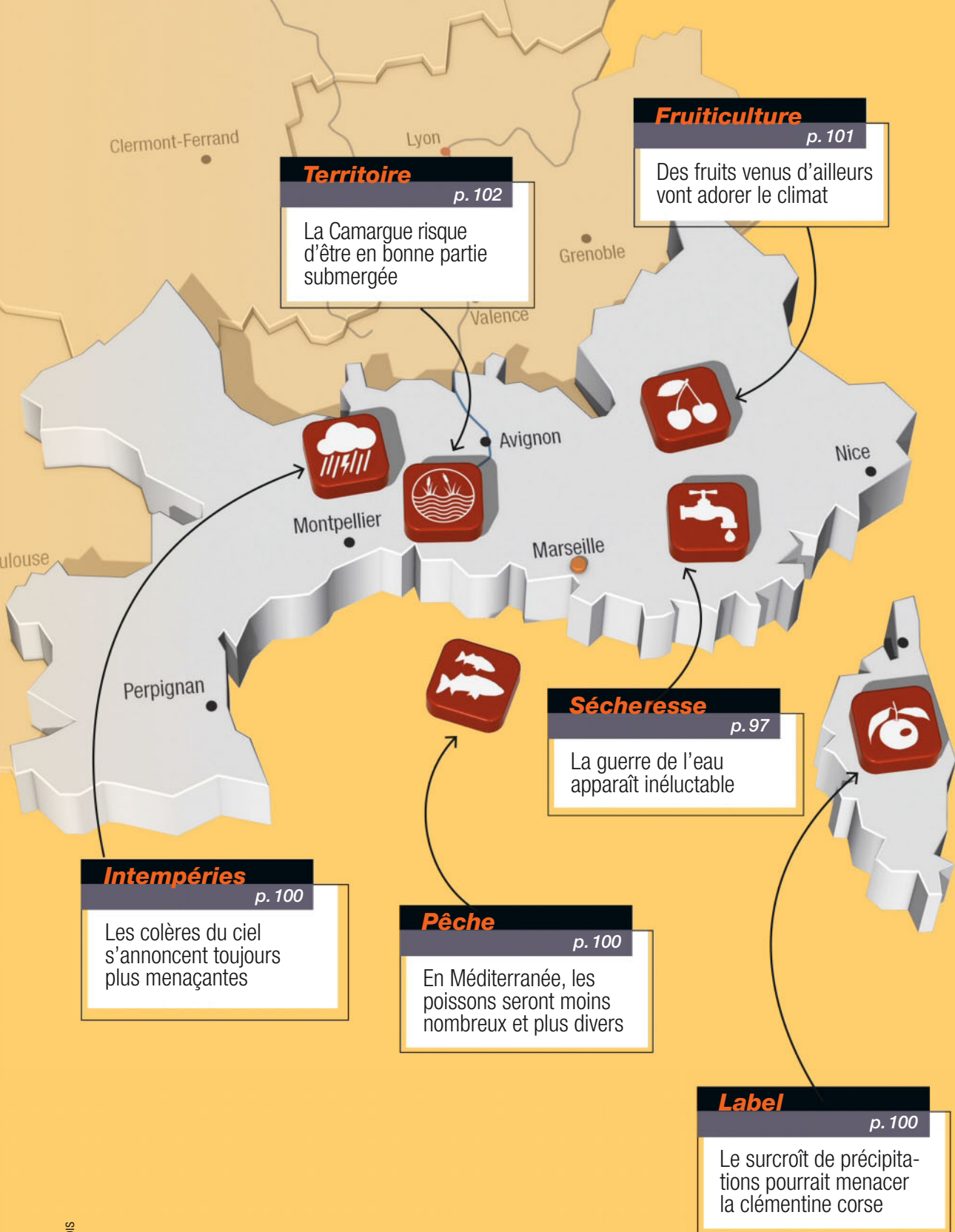
 RTL

Sud- Est



Le réchauffement risque de bouleverser la région dans toutes ses dimensions

Ce sera sûrement la région la plus impactée par le réchauffement. Certes, l'identité régionale est déjà largement façonnée par la chaleur : les 5 millions d'habitants qu'elle compte sont habitués à vivre sous un climat typiquement méditerranéen, marqué par des étés secs et des hivers doux. Mais l'avenir leur promet des étés encore plus secs et encore plus chauds. Or, dans cette région où l'activité est dominée par le tourisme et la fruiticulture, cela promet de fortes tensions autour des ressources en eau. Et que vont devenir les fameuses plages de la Côte d'Azur, particulièrement vulnérables à la montée de la mer ? Comment vont évoluer les colères du ciel, déjà incroyablement violentes ? Depuis les premiers reliefs des Alpes jusqu'aux rives de la Méditerranée, c'est toute la région qui paraît menacée.



Territoire

p. 102

La Camargue risque d'être en bonne partie submergée

Fruiticulture

p. 101

Des fruits venus d'ailleurs vont adorer le climat

Intempéries

p. 100

Les colères du ciel s'annoncent toujours plus menaçantes

Pêche

p. 100

En Méditerranée, les poissons seront moins nombreux et plus divers

Sécheresse

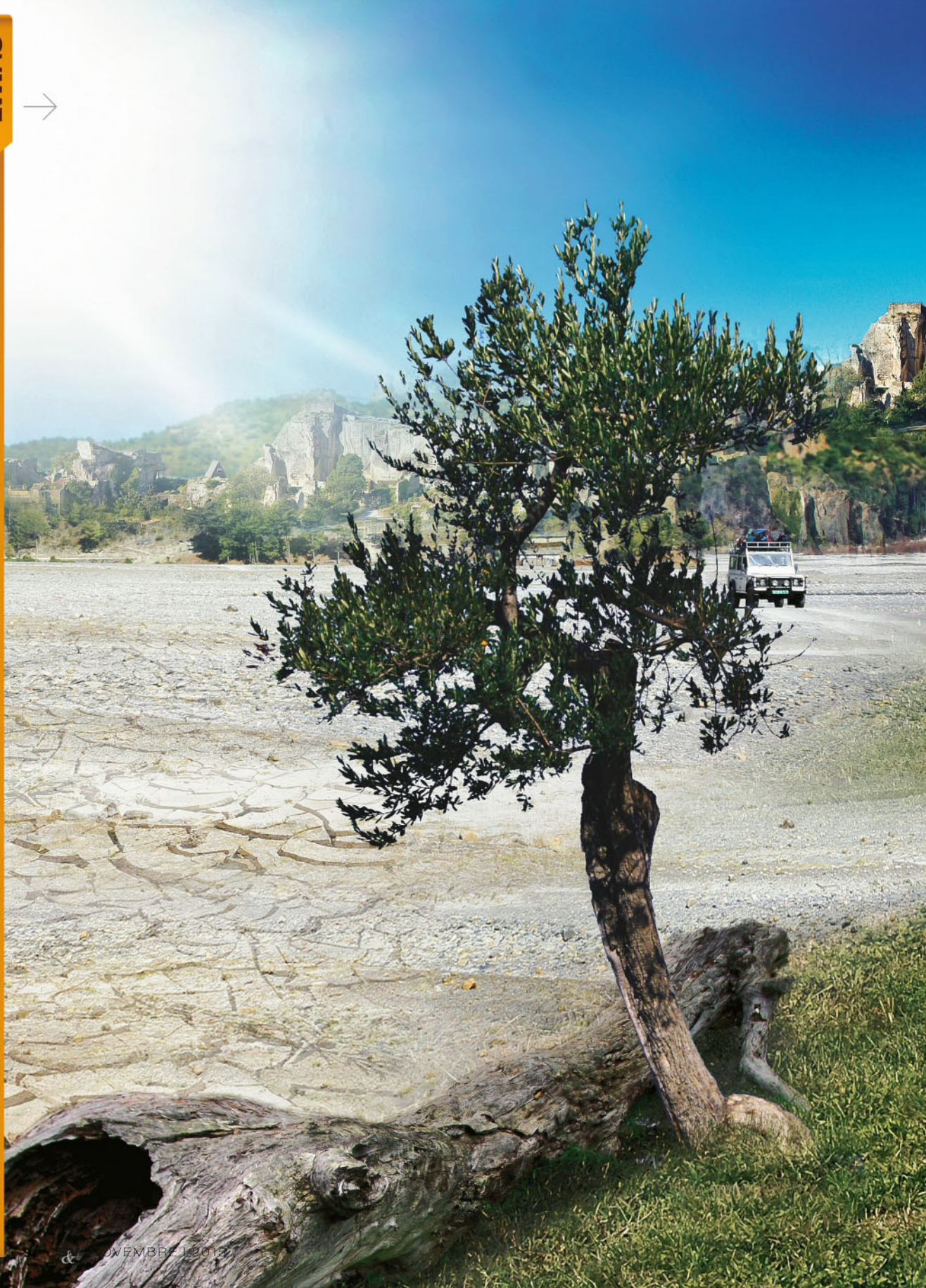
p. 97

La guerre de l'eau apparaît inéluctable

Label

p. 100

Le surcroît de précipitations pourrait menacer la clémentine corse





Ressources

Tout indique qu'une guerre de l'eau va avoir lieu

Verra-t-on, d'ici à la fin du siècle, des guerres de l'eau enflammer tout l'arc méditerranéen ? Mille conflits du type de celui de Sivens semer la discorde ? Des pelleteuses creuser canaux et barages sous la protection des CRS, des commandos d'opposants saboteurs,

une ruineuse guérilla juridique pour se répartir les dernières gouttes du précieux liquide ? C'est en tout cas le scénario catastrophe que les responsables du quart sud-est de la France s'efforcent de déminer. En cherchant dès maintenant à mettre en place les

pare-feu qui permettront de gérer les extrêmes tensions sur l'eau annoncées.

Sachant que ce scénario catastrophe, objectivement, ne manque pas de réalisme : d'ores et déjà, la région est en tension hydrique permanente. *"40% des bassins sous notre*

juridiction sont déjà en déficit structurel, avertit Laurent Roy, directeur général de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. C'est-à-dire qu'ils sont en crise chaque année, qu'il n'y a plus d'eau dans les rivières, et qu'il faut faire intervenir les préfets, appuyés par la police de l'eau, pour procéder à des arbitrages. La crise est en passe de devenir la norme...

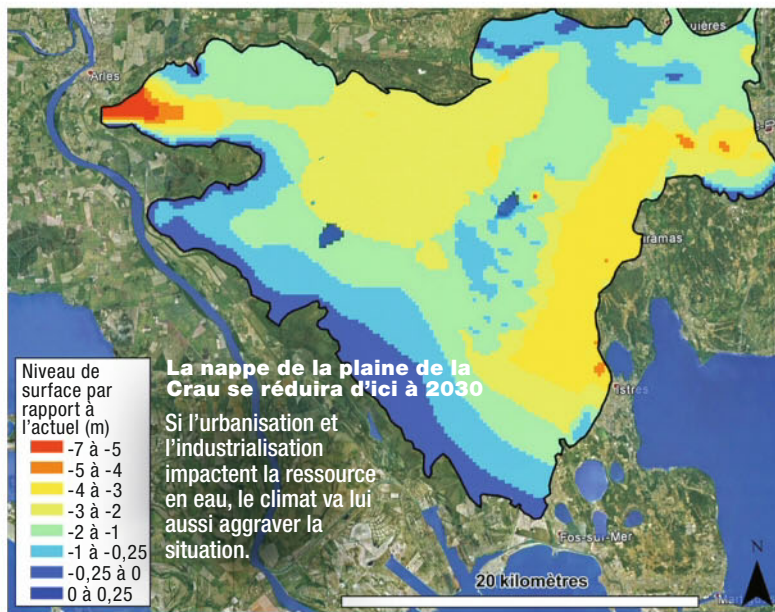
ÉCONOMIES ET AMÉNAGEMENTS

La hausse des températures sur le pourtour méditerranéen, de l'ordre de 1,5°C en un siècle, a bien sûr contribué à cette situation. De plus, la région ne cesse de se peupler depuis quatre décennies : près de 50 000 nouveaux arrivants chaque année, un afflux que l'Insee ne voit que légèrement ralentir à l'avenir.

Par ailleurs, la région a une tradition agricole, beaucoup d'irrigation et un tissu industriel gourmand en eau. Enfin, l'attractivité touristique de la côte, essentielle pour l'économie, fait doubler voire tripler la population des communes littorales en été, créant un énorme appel d'eau... précisément au moment où il y en a le moins dans les rivières et les nappes phréatiques. Ces 31 millions de visiteurs annuels ont en outre de plus en plus d'exigences : désormais, hôtels et hébergeurs se doivent de proposer une piscine, et les parcs aquatiques ainsi que les golfs ont prospéré, y compris dans des endroits notoirement arides...

Mais, à en croire les projections, les tensions actuelles ne sont rien relativement à ce qui va advenir. La continuation de la hausse des températures ne fait plus aucun doute, et un réchauffement de l'ordre de 1,5°C supplémentaire dans les

Le réchauffement frappe des ressources en eau déjà critiques



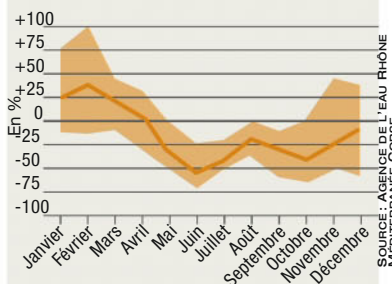
prochaines décennies est acté. Ce qui n'est pas encore joué, c'est l'horizon de la fin de siècle, pour lequel, dans le scénario le plus "émetteur", les chercheurs prévoient des hausses de température de l'ordre de 5°C à Avignon ! L'évolution de la pluviométrie, quant à elle, est plus difficile à prévoir ; mais une baisse perceptible en été se dessine. Tout au plus les modèles montrent-ils, sous réserve, une hausse modeste des pluies hivernales. Résultat, le débit des rivières va baisser en été (en fait, de mai à octobre),

notamment à cause de la disparition de la neige – on parle dès le milieu du siècle de -30% pour le débit estival du Rhône, et de -50% pour la Durance (qui fournit 60% de l'eau consommée en PACA...).

Que faire ? Le maître mot, bien sûr, c'est économiser. Il revient en leitmotiv dans la bouche de Laurent Roy, dont l'agence veut réduire de 20% les

Le débit estival de la Durance pourrait baisser de 50 %

Evolution mensuelle du débit en aval à l'horizon 2050.



prélèvements, en demandant à chacun de faire un effort. Mais les agriculteurs, d'ores et déjà, réclament plus d'aménagements (retenues d'eau, canaux...) et la possibilité de puiser davantage dans des rivières et des nappes souvent exsangues, dont on vient de voir qu'elles baisseront encore. Les aménagements ne sont pas tabous, leur répond l'Agence de l'eau, mais ils sont très coûteux et ne prendront pas forme sans concertation et économies en contrepartie. Des économies obtenues, par exemple, en généralisant le

-30%

C'est la baisse du débit estival du Rhône envisagée pour la moitié du XXI^e siècle. En cause : la disparition de la neige et la baisse de la pluviométrie.



^ Les recherches qui mesurent l'influence de la sécheresse sur les plantes agricoles, comme ici à l'Inra, fourniront des solutions visant à économiser l'eau de la région.

goutte-à-goutte ainsi qu'en recourant à des cultures moins assoiffées.

Les industriels, de leur côté, travaillent à des process moins gourmands en eau, mais l'industrie agro-alimentaire, par exemple, a besoin de beaucoup laver, tout comme l'électronique de pointe, ou la pétrochimie autour de l'étang de Berre. Pas question d'être au chômage technique en été ! Quant aux collectivités locales, elles ont certes fait des progrès : leurs prélèvements ont baissé de quelques pour-cent. Mais l'augmentation de la population sera forcément problématique, et les indispensables dépenses à engager pour refaire les réseaux (parfois si vétustes qu'ils perdent 70 % de leur eau !) sont onéreuses.

BESOIN D'UN DÉBIT MINIMUM

Et attention, pas question de trop puiser dans ce qui restera du débit des rivières pour satisfaire les besoins. D'abord parce que, écologiquement, un débit minimum est nécessaire pour ne pas transformer les cours d'eau en déserts, mais aussi parce que les protecteurs de l'environnement sont devenus aussi prompts à manifester que les agriculteurs. Et puis il y a le tou-

risme, qui s'effondre si les lacs sont vides (Serre-Ponçon, Sainte-Croix) et les rivières à sec. Sans oublier la navigation et les centrales nucléaires, qui ont besoin d'un débit minimum sur le Rhône. Tout comme certains agriculteurs : *"Lorsque le débit du Rhône est trop faible, l'eau salée remonte et je ne peux plus pomper pour irriguer"*, indique Dario Viola, riziculteur à Arles.

Alors, pourra-t-on éviter la guerre de l'eau ? Localement, on veut croire que c'est possible, et on anticipe. La région PACA a commencé à réfléchir au problème il y a déjà dix ans, et a mis sur pied un comité d'experts, le GREC-PACA, qui vient de livrer un rapport

intitulé *Une Région face au changement climatique*. "L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse est la première de l'Hexagone à avoir adopté un plan d'adaptation au changement climatique, dès mai 2014", rappelle de son côté Laurent Roy, qui insiste sur le fait qu'une gouvernance irréprochable sera essentielle pour éviter des catastrophes comme Sivens. *"Il faut absolument que tout le monde soit autour de la table, et qu'on développe à fond la solidarité"*, renchérit Annick Delhay, vice-présidente du conseil régional PACA. Dans ce but, sa région a créé l'Agora (Assemblée pour une gouvernance opérationnelle de la ressource en eau et des aquifères), instance *"d'échange et de coordination"*, autrement dit de déminage, qui vient de prendre ses fonctions après une vaste consultation régionale. *"Et puis nous pouvons nous appuyer sur une culture de l'eau très ancienne, espère l'élue. Le premier canal d'irrigation sur la Durance date du XII^e siècle !"*

Cette culture du partage et de la gestion de l'eau suffira-t-elle à garantir la cohésion sociale lorsque tous les voyants seront au rouge ? En tout cas, insiste Laurent Roy, *"il y a une prise de conscience incontestable, et nous voyons des initiatives d'économie d'eau partout – chez les industriels, les particuliers, les agriculteurs"*... D'ailleurs, la consommation d'eau n'augmente plus sur le bassin, elle aurait même baissé de quelques petits pour-cent depuis 2009. **Y.S.**



LAURENT ROY

Directeur général
de l'Agence de l'eau
Rhône Méditerranée
Corse

*40 % des bassins
sous notre juridiction
sont déjà en déficit
structurel*

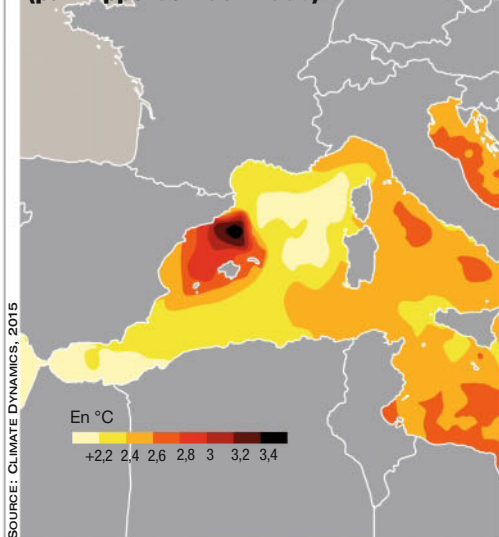
Pêche

Le stock de poissons va diminuer et se diversifier

"La Méditerranée est une des régions marines qui se réchauffe le plus rapidement", ont prévenu cet été un groupe de climatologues, pointant un réchauffement 2 à 3 fois plus rapide que celui de l'océan global, lié principalement à son caractère fermé. Avec quelles conséquences pour les 1500 navires de pêche et les 4000 emplois de marins de la région ? Une équipe de scientifiques grecs a comparé sur plus de 20 ans les statistiques de

pêche et les relevés de température. Résultat ? "60 % des espèces présentaient des taux de capture étroitement corrélés à la température, la grande majorité d'entre elles se raréfiant les années chaudes, montrant une baisse de 44 % en moyenne." Du côté des gagnants : l'anchois, la crevette et le sar. Dans les perdants se trouvent le merlu, le pilchard, le mérout ainsi que les mollusques (calmars, seiches, poulpes, coquillages). La recette de la bouillabaisse devra s'adapter... Y.S.

La température minimale des eaux de surface augmentera en 2070-2099 (par rapport à 1961-1990)



Et la Corse ?

"La Corse est trop petite pour être vue dans les modèles climatiques, avoue Véronique Ducrocq, du CNRM. Mais on prévoit une augmentation du nombre d'événements de précipitations intenses. De près de 10 % pour 2°C." La clémentine, par exemple, risque de perdre de son acidité et de sa couleur, pièces maîtresses de son indication géographique protégée. Il est envisagé de modifier l'irrigation, la fertilisation ou la variété. A. L.E.T.

Intempéries

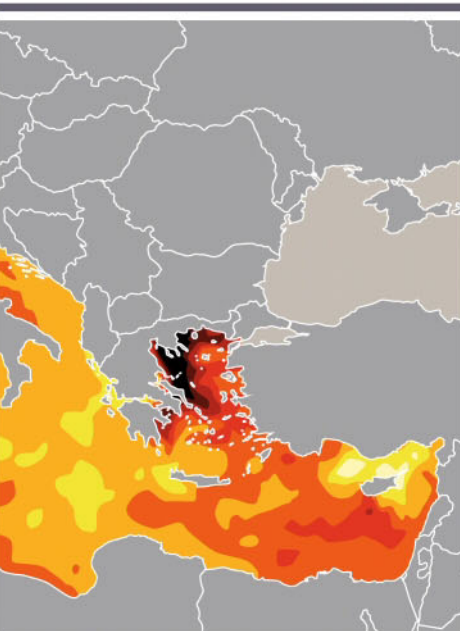
Vers des colères du ciel toujours plus violentes

"Nous sommes tout de même le seul bassin de l'Hexagone où les inondations font chaque année des morts !" rappelle Laurent Roy, directeur général de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. "Les épisodes méditerranéens", dont les pluies cévenoles font partie, constituent les phénomènes météorologiques les plus violents de la France métropolitaine, et produisent les pluies les plus intenses d'Europe", renchérit Samuel Somot, spécialiste du climat méditerranéen au CNRM, le laboratoire de recherche de Météo-France. Des déluges qui s'abattent en outre sur des reliefs tourmentés, capables d'accélérer et de concentrer les flots – les plus modestes rivières se transformant en de monstrueux torrents. Les inondations à Cannes, Nice et Antibes au début du

mois d'octobre dernier l'ont tragiquement rappelé.

Qu'advient-il s'il fait plus chaud ? A Météo-France, on reste prudent. *"Pour représenter ces phénomènes, avertit Samuel Somot, il faut des modèles d'une précision géographique de l'ordre de 2 km, que nous n'avons pas encore."* Mais les travaux existants indiquent une intensification de *"quelques pour-cent par degré de réchauffement, jusqu'à 10 % par degré si l'on prend les pires simulations"*. Logique : la hausse des températures chargera en vapeur d'eau et en énergie les nuages au-dessus de la Méditerranée. Sur les reliefs de cette région, qui ne cesse de se construire et s'imperméabiliser, des pluies de 1000 mm/jour sont alors envisageables. Une violence typiquement tropicale, à ce jour inconnue sur le Vieux Continent. Y.S.





Fruiticulture

Des fruits venus d'ailleurs

Pêches, abricots, cerises... Les vergers du Languedoc-Roussillon prennent une drôle de tournure. En cause: des hivers toujours plus doux. *"Les arbres n'accumulent pas assez de froid et la levée de leur dormance ne s'effectue plus dans de bonnes conditions,* explique Inaki Garcia de Cortazar, ingénieur à l'Inra (Avignon). *Cela va se traduire par une diminution du taux de bourgeons viables et surtout un étalement excessif de la floraison."* Des décalages qui perturbent la pollinisation, voire brisent la concor-

dance de floraison entre deux variétés devant s'inter-polliniser...

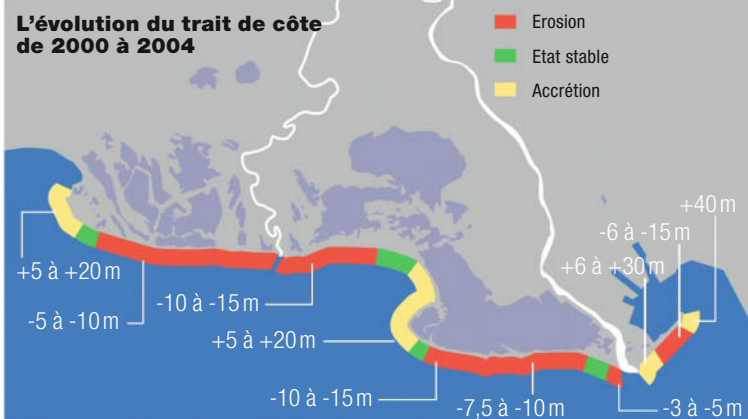
Les scientifiques craignent des chutes de rendement. Et il faut s'attendre, au moment de la récolte, à des fruits de maturité très inégale – avis aux saisonniers. Les consommateurs devront aussi revoir leurs critères: sous l'effet des canicules de juillet-août, l'initiation des bourgeons de l'année suivante connaît des ratés et donne naissance à des fruits malformés; les cerisiers, notamment, produisent des fruits doubles, quasi invendables. **V.N.**



Le signe avant-coureur...

Le 4 octobre dernier, à Cannes, des pluies torrentielles provoquent de meurtrières inondations.

L'évolution du trait de côte de 2000 à 2004



Territoire

La Camargue ne pourra peut-être pas être sauvée

C'est quasi inéluctable : un jour, les vagues prendront le dessus. Certes, pour le moment, la mer ne s'élève que de 2,1 mm/an en Camargue. Mais elle aura pris 50 cm à 1 m en 2100 : profitant des tempêtes, elle enjambra alors les digues et inondera les salines, prés-salés et rizières de ce delta du Rhône, royaume plat de la biodiversité méridionale. Faut-il opérer un repli stratégique et rendre cette terre sauvage aux flamants roses ? Ou faut-il la protéger contre vents et marées ?

Pour l'instant, on ignore lesquels de ses 150 000 ha seront submergés et à quelle fréquence. "Nous allons affiner nos modèles de l'écoulement local pour préciser l'impact des digues, épis ou brise-lames", indique Alexis Stépanian, du BRGM. Ces ouvrages existent déjà à Saintes-Maries-de-la-Mer, (2 500 habitants sur 15 000 Camarguais). Car bien avant la montée de la mer, la perte progressive des sédiments charriés par le Rhône a fait reculer le trait de côte (4 m/an depuis 1895 !). "Ces vingt dernières années, 20 millions d'euros ont été

investis pour protéger Saintes-Maries, et les travaux continuent", rassure Roland Chassain, son maire.

Combien de temps cette lutte sera-t-elle économiquement soutenable ? Le géomorphologue François Sabatier (université Aix-Marseille) n'est pas très optimiste : "L'impact de l'élévation de la mer sera incomparable aux problèmes affrontés jusqu'ici." Et se murer derrière des digues rocheuses de plus en plus élevées ne semble pas si efficace : "Si elles freinent le recul des plages, elles empirent l'érosion sous-marine ! Leurs fondations, privées de sable, peuvent alors céder lors d'une tempête." Au Parc naturel régional de Camargue, on a choisi la stratégie opposée : "Sur un site de 6 500 ha autrefois exploité par les salins, on a laissé digues et épis s'enfoncer, explique Delphine Marobin (chargée de mission littoral). Résultat : l'érosion suit son cours, mais la dynamique naturelle des échanges hydrauliques est rétablie." Reconnectés à la mer, étangs et marais ont vu le retour de l'anguille, pour le bonheur des pêcheurs. Mais tout le monde ne pourra pas être gagnant... F.G.

Et aussi...

Au-revoir grives et merles noirs

Ces oiseaux hivernaient en France 8 années sur 10 il y a trente ans mais se font rares aujourd'hui. Avec les hivers plus doux, grives et merles noirs restent plus longtemps dans leur région d'origine : Pays-Bas, Pays baltes et Scandinavie. T.C.-F.



Les plages de la Côte d'Azur en danger

A raison de 30 cm/an, l'érosion menace les petites criques. "Normalement, la dynamique du littoral ferait simplement reculer ces plages, explique François Sabatier (université Aix-Marseille). Mais adossées à une falaise ou à un parking, elles ne peuvent se retirer et sont vouées à disparaître !" F.G.

Pénurie de truffes !

"Le diamant noir est fragile, explique Michel Tournayre, président de la Fédération française des trufficulteurs, il ne résiste ni aux longues sécheresses, ni aux épisodes ultra-pluvieux, qui semblent devenir la norme." L'avenir repose sur la trufficulture. V.N.



**CE N'EST PAS PAR HASARD QUE
LE MAROC EST RÉPUTÉ POUR SA GASTRONOMIE**



MAROC



Marrakech se hisse dans le top 10 des villes où l'on mange le mieux devant Paris, Tokyo et Barcelone grâce à ses richesses gastronomiques. Découvrez avec gourmandise les multiples facettes du Maroc.



UN PAYS QUI A DU GOÛT

À l'image du pays, la cuisine est riche en saveurs, en arômes et en couleurs. Ses épices et ses associations sucrées-salées sont mondialement réputées. Une grande importance est aussi accordée à l'art de la table. Les assiettes et les verres sont colorés et agrémentés d'ornements, rendant les plats encore plus appétissants et la table davantage accueillante. À la convivialité s'ajoutent les parfums de safran, de cumin et de coriandre, faisant de chaque repas une expérience qui sollicite tous les sens. Chaque région vous révèle ainsi ses spécialités et ses traditions. Les villes, quant à elles, endossent des personnalités différentes, rivalisant de charme et d'hospitalité.

DE GÉNÉRATION EN GÉNÉRATION

La gastronomie est un véritable art de vivre au Maroc. Ici, la cuisine et les recettes se transmettent de mère en fille. Les cités impériales abondent de plats cultes qui se perpétuent de génération en génération. Héritière de la cuisine arabo-andalouse du XIII^e siècle, la gastronomie marocaine emploie délicieusement toutes sortes d'épices et de condiments. Les Maures y ont introduit l'huile d'olive, les amandes, les fruits et les herbes aromatiques. Les Britanniques, eux, ont rapporté le thé devenu l'emblème national. Des plats traditionnels aux fameuses pâtisseries dont seules les marocaines ont le secret, découvrez une cuisine à consommer sans modération.



DÉPAYSEZ VOS PAPILLES

Découvrez le plaisir de boire le thé à la menthe et de déguster les pâtisseries traditionnelles marocaines dans des cadres idylliques. L'ambiance typique et intimiste des riads vous plonge au cœur du mode de vie marocain. Optez pour une pause rafraîchissante au bord de la fontaine d'un patio ombragé. Prenez de la hauteur sur les toits aménagés en hammam et solarium pour profiter d'une vue panoramique sur les médinas. Issus de l'architecture mauresque et de l'artisanat marocain, les riads sont une bonne occasion de se délecter de mets savoureux dans l'atmosphère intimiste des maisons traditionnelles marocaines.



RESTONS CONNECTÉS

facebook.com/moroccannationaltouristoffice

www.visitmorocco.com

Sud-Ouest



C'est toute la qualité de vie de la région qui risque d'être altérée

Il fait bon vivre, manger et boire sous le climat océanique aquitain, marqué par un hiver doux, un printemps plutôt humide, ainsi qu'un été chaud et sec. Mais avec une chaleur un peu plus accablante, les 6 millions d'habitants de la région vont se trouver face à de nombreux défis. Comment vont réagir les baies de raisin dans le Bordelais ? Et les peintures des grottes préhistoriques de Dordogne ? Pourra-t-on continuer la culture intensive de maïs, si exigeante en eau ? Tandis que, sur le littoral, la question se pose déjà : comment faire face à l'élévation du niveau de l'Atlantique ?

Plages

p. 110

Des kilomètres de côtes risquent d'être emportés par l'Atlantique

Patrimoine

p. 112

La question de la préservation des grottes préhistoriques ne pourra pas être éludée

Vignobles

p. 106

La qualité des grands bordeaux menacée par le réchauffement

Virus

p. 112

Toutes les conditions seront réunies pour que le chikungunya s'installe dans la région

Montagne

p. 111

Les glaciers pyrénéens sont menacés de disparition

Agriculture

p. 111

Moins exigeant en eau, le sorgho pourrait détrôner le maïs





Vignobles

Menace sur les crus de bordeaux

Fin, élégant, racé, avec ces notes inimitables de fruits frais... Pas de doute: une grande partie de l'image de la France se joue dans les bouteilles de vin de Bordeaux. Le divin nectar façonné à partir des 120 000 ha de terroir girondin est considéré comme un joyau de notre patrimoine, et le fer de lance d'une filière vins et spiritueux capable

de rivaliser à l'export avec l'aéronautique ou la chimie-cosmétique.

Près de 10 000 exploitations du Bordelais s'attachent chaque année à obtenir ces subtils équilibres aromatiques. Et voilà que le réchauffement déstabilise ces chefs-d'œuvre de l'agriculture!

"Le concept même de millésime illustre la sensibilité du vin au climat",

fait remarquer Nathalie Ollat, ingénieur à l'Institut des sciences de la vigne et du vin (ISVV), et coordinatrice d'un vaste programme de recherche de l'Inra sur ce thème. Qui mobilise agronomes, généticiens, œnologues, climatologues, économistes, issus d'une vingtaine de laboratoires en France. C'est dire l'enjeu.

→ Le problème est assez simple : le raisin mûrit aujourd'hui sous des températures de plus en plus élevées – un phénomène aggravé par leur maturation précoce, dès la fin de l'été. Ces nouvelles conditions agissent sur la composition du fruit, et donc sur les propriétés du vin.

DES VINS QUI SERONT ÉCŒURANTS

Au fur et à mesure que le climat s'échauffe, la teneur en sucres du raisin augmente, conduisant à des vins très – trop ! – alcoolisés. Certains crus ont ainsi pris un degré d'alcool par décennie... La hausse des températures diminue en revanche la teneur en acides du grain, ces composés entrant en jeu dans la fermentation et le contrôle du vieillissement du breuvage. À partir d'un certain seuil de chaleur, les concentrations de polyphénols s'effondrent, alors qu'ils forment la structure gustative du vin, ainsi que la pigmentation du liquide. La liste est encore longue...

"Sur nos courbes, on voit bien qu'il existe une fenêtre de températures permettant de produire les vins qu'on aime ; et nous sommes en train d'en sortir", alerte Jean-Pascal Goutouly, écophysiologiste à l'Inra Bordeaux. *"Le réchauffement désynchronise les processus : l'équilibre entre les sucres et les acides est atteint plus rapidement, alors que la maturité 'phénolique' est plus tardive – les tanins peinent à mûrir, complète Eric Gomès, professeur en biologie moléculaire à l'université de Bordeaux. Au final, c'est tout l'équilibre aromatique qui est modifié : les notes de fruits frais cèdent la place à des goûts 'confiturés'."*

Le goût du vin n'a jamais cessé d'évoluer, répondant aux aspirations d'une génération et aux possibilités

1°

C'est l'augmentation du taux d'alcool que pourraient subir certains vins à chaque décennie. Au risque de changer de nature.



△ Les tests de l'Institut des sciences de la vigne et du vin montrent que l'équilibre aromatique des vins sera fortement modifié par les hausses de températures : ils seront plus sucrés.

techniques du moment. Seulement voilà : les vins du réchauffement pourraient virer à l'écœurant – d'autant qu'ils vieillissent mal. *"Nos tests sur un panel de consommateurs montrent que ces vins d'années chaudes ont tendance à vite lasser",* souligne l'économiste Eric Giraud-Héraud (ISVV).

Le signal est inquiétant. Et les progrès de la vinification apportent peu de réconfort. *"On peut faire en sorte, par exemple, que les levures produisent moins d'alcool par unité de sucre, mais la marge de progrès paraît limitée",* estime Philippe Darriet, professeur à la faculté d'œnologie de Bordeaux. Des techniques plus radicales existent, mais aucune ne

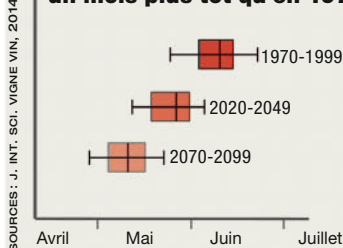
trouve vraiment grâce aux yeux des Bordelais. *"Il est hors de question de multiplier les interventions technologiques, sous peine d'obtenir un produit agroalimentaire banal à la place d'un vin de terroir",* s'emporte Pierre-Olivier Clouet, directeur technique du château Cheval Blanc (Saint-Emilion).

Selon Philippe Darriet, l'enjeu des recherches actuelles est justement de *"préserver le potentiel d'expression du Bordelais, cette originalité du goût, cette exigence"*.

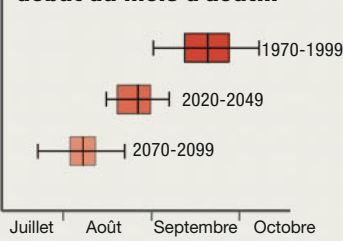
Plusieurs pistes sont explorées. À commencer par la remise en question de certaines pratiques viticoles. Un exemple : jusqu'à présent, les viticulteurs retiraient les feuilles autour des grappes afin de les exposer pleinement au soleil ; les effeuillages se font désormais de plus en plus légers pour mieux protéger le fruit de la chaleur.

En accélérant le cycle de vie de la vigne, le réchauffement va altérer la composition du vin

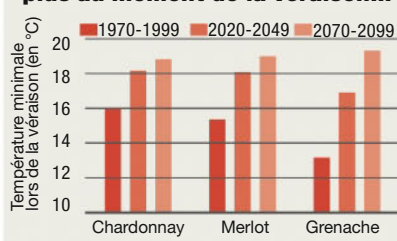
En 2070, la vigne fleurira un mois plus tôt qu'en 1970



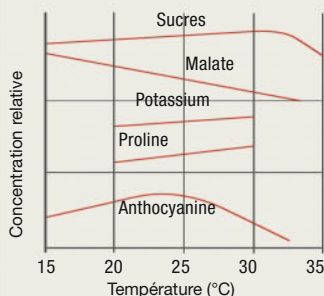
Le raisin, mûre dès le début du mois d'août...



... sera soumis à 2 ou 3 °C de plus au moment de la véraison...



... modifiant la composition et la concentration du vin



SOURCE : WINE SCIENCE

D'autres adaptations sont en cours. Dans les vignobles, certaines zones autrefois jugées mal exposées et trop froides deviennent très prisées. "Il peut y avoir des écarts de 10 °C au sein d'une même parcelle", souligne Philippe Pieri (ISVV). Une variabilité que les grands châteaux étudient au rang près à l'aide de drones. Car ils n'ont pas d'autre choix : leurs vins sont des appellations d'origine contrôlée (AOC) qu'il est impensable de déménager...

MISER SUR DES CÉPAGES TARDIFS

Sauf que ces petits ajustements ne suffiront sans doute pas sur le long terme. Déjà, observe Philippe Pieri, "les viticulteurs ont du mal à valoriser le merlot, un cépage très précoce qui mûrit dans des conditions toujours plus estivales". Un cépage essentiel pour des appellations aussi prestigieuses que Pomerol ou Saint-Emilion. "Les cépages actuels ont été sélectionnés dans les années 1970 avec des critères

qui n'étaient pas ceux d'aujourd'hui, raconte Jean-Pascal Goutouly. Néanmoins, les plants recalés à l'époque ont été conservés dans nos collections : il nous reste 152 "clones" de merlot aux comportements très différents ! Un patrimoine qu'il s'agira d'étudier et de vinifier dans les années à venir." Les décisions devront être prises au plus vite, car une vigne est plantée pour environ trente ans.

Assurément, les Bordelais ne manquent pas de ressources. Des cépages plus tardifs sont largement cultivés dans la région, principalement le cabernet sauvignon ou le cabernet franc. D'autres, plus confidentiels, aiguissent l'attention des connaisseurs. "Le petit verdot pourrait être adapté au réchauffement en cours, propose Eric Gomès. L'ennui, c'est qu'une fois mûr, il se dégrade très vite".

Pour autant, la biodiversité du cru pourra-t-elle soutenir le climat de 2100 ? Rien n'est sûr. Alors les chercheurs de l'Inra ont planté il y a six ans, sur une parcelle-test, 52 cépages provenant de pays brûlants : Portugal, Grèce, Espagne, Italie... Ces produits paraissent exotiques, mais leur qualité est reconnue. Sachant que la vigne génétiquement modifiée n'est en aucun cas à l'ordre du jour.

"La région de Bordeaux fabriquera toujours un vin de Bordeaux, même si son goût évoluera probablement", résume Nathalie Ollat. Une évidence qu'il est bon de rappeler alors que les

possibilités bioclimatiques de la vigne s'étendent peu à peu vers le nord. Les viticulteurs du Val de Loire pourraient tirer leur épingle du jeu. Avant la fin du siècle, toute la France sera éligible à la culture de la vigne (voir p. 120). Le merlot parviendra à maturité dans le Nord-Pas-de-Calais... Pis : l'Angleterre, le Danemark et même la Suède plantent désormais des vignes.

Face à cette nouvelle et féroce concurrence, le Bordeaux pourra-t-il encore faire la différence ? **V.N.**



JEAN-PASCAL GOUTOULY

Ecophysiologiste à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) de Bordeaux

Nous avons en réserve 152 "clones" de merlot qu'il reste à étudier



**Le signe
avant-coureur...**

Début mars 2014, la tempête Christine a une fois de plus ravagé le front de mer : les défenses anti-érosion ont échoué à contenir la houle.

Plages

Lacanau ne pourra pas résister à l'océan

Une plage de sable fin, des surfeurs en démonstration, des restaurants bondés : Lacanau est l'une des stations balnéaires les plus courues d'Aquitaine – Bordeaux est tout proche. Pourquoi diable cela changerait-il ?

Pourquoi ? Parce que l'océan est devenu une menace évidente. Chaque hiver, ses coups de boutoir érodent un peu plus le littoral. En vérité, la carte postale 2015 doit beaucoup aux travaux d'enrochement considérables entrepris au printemps. Une plage de repli a même été érigée en hauteur sur une sorte de contrefort... car il arrive que la marée haute fasse disparaître totalement la plage sèche.

“Cela nous a coûté 3,5 millions d'euros l'an dernier”, soupire Martin Renard, chargé d'urbanisme à la

mairie de Lacanau (4 500 habitants). *“Au XIX^e siècle, les bourgs étaient situés par précaution à plusieurs kilomètres du littoral”,* rappelle-t-il. Bâti sur les dunes côtières a bloqué la dynamique sédimentaire et a accéléré l'érosion.

Résultat : la plage de Lacanau recule de 1 à 2 m par an, selon l'Observatoire de la côte Aquitaine. Et pour l'instant, le réchauffement n'y est pour rien ! *“Les effets de l'élévation du niveau marin (3 mm/an en moyenne) sur l'érosion des côtes sont masqués par des facteurs locaux plus déterminants : houle, vent, constructions,* signale Gonéri Le Cozannet, au Bureau de recherches géologiques et minières. *Mais nous soupçonnons que ce phénomène se manifestera dans les prochaines décennies.”* D'ici à 2050, l'Atlantique devrait s'élever d'au moins 20 cm. La

situation précaire de Lacanau pourrait dès lors devenir ingérable.

La mairie a fait ses calculs : si rien n'est fait, dès 2040, 1 194 logements et 109 commerces et bars/restaurants risquent de tomber à l'eau... Ces biens en péril s'étendent sur une zone de 1,3 km de long et 300 m de large. *“Il s'agit de la zone du front de mer la plus dense et la plus attractive de notre station”,* insiste Martin Renard.

41 % DES CÔTES SABLEUSES EN RECU

Que faire ? Eriger une forteresse sur le modèle de Saint-Malo et lutter pendant des siècles ?

Très vite, une sage proposition a émergé : déplacer toutes ces infrastructures et rendre au littoral sa dynamique naturelle. *“Les activités pourraient se réorienter vers le lac de Lacanau, à*



l'intérieur des terres", suggère Nicolas Rocle, sociologue à l'Irstea.

Problème: *"Aucun outil juridique ou financier ne permet à la puissance publique d'acquérir puis de démolir des biens menacés par l'érosion des côtes sableuses, proteste Arnaud Gueguen, du groupement d'intérêt public Littoral aquitain. Ce n'est pas rien de s'attaquer au droit à la propriété privée, inscrit dans la déclaration des droits de l'Homme."* Un principe que la montée des eaux amènera sans doute à revoir dans le détail.

Car l'impasse dans laquelle se trouve Lacanau se manifestera sur une grande partie du littoral français – 41 % de nos côtes sableuses sont en recul à ce jour. *"Si rien n'est entrepris, les propriétaires improviseront peut-être leurs propres 'digues' contre la mer; de nombreux bâtiments pourraient être laissés à l'abandon, menaçant à tout moment de s'effondrer sur les promeneurs"*, avertit Martin Renard.

Une image des côtes bien éloignée de celle de la belle saison 2015... **V.N.**

Agriculture

Le Sorgho à la place du maïs

Les chiffres sont écrasants: neuf exploitations landaises sur dix cultivent du maïs, et environ 95 % des surfaces céréalières lui sont dédiées.

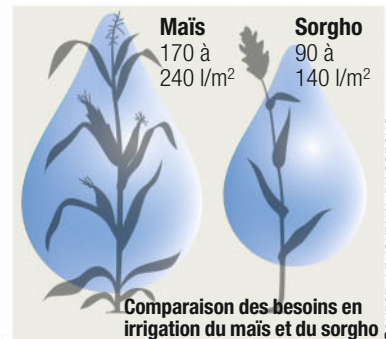
Eh bien, ce règne omnipotent du maïs sur le Sud-Ouest ne durera pas! Les sécheresses attendues vers 2050 rendent en effet inenvisageable l'irrigation généralisée d'une telle plante, qui réclame jusqu'à 2500 m³ d'eau par hectare pour maintenir ses rendements.

Certains agriculteurs commencent donc à le remplacer par du sorgho, une céréale originaire d'Éthiopie, très cultivée dans les pays du Sahel. Cette plante est naturellement mieux équipée face au déficit hydrique, grâce à son système racinaire très profond et son feuillage moins exubérant.

"Avec l'irrigation d'un hectare de maïs, je peux arroser trois hectares de sorgho, témoigne Yvon Parayre, président de la chambre

d'agriculture de Haute-Garonne. Là où les rendements du maïs commencent à plafonner, le sorgho se tient économiquement, à raison de 80-100 quintaux à l'hectare. Et ce, pour une valeur énergétique comparable."

Semenciers et agronomes multiplient les efforts de recherche sur ce nouveau venu, dont les débouchés s'élargissent de plus en plus: ensilage et fourrage pour le bétail, alimentation humaine (biscuits, semoules, bières), biomasse, carburant... La montée en puissance du sorgho paraît inéluctable. **V.N.**



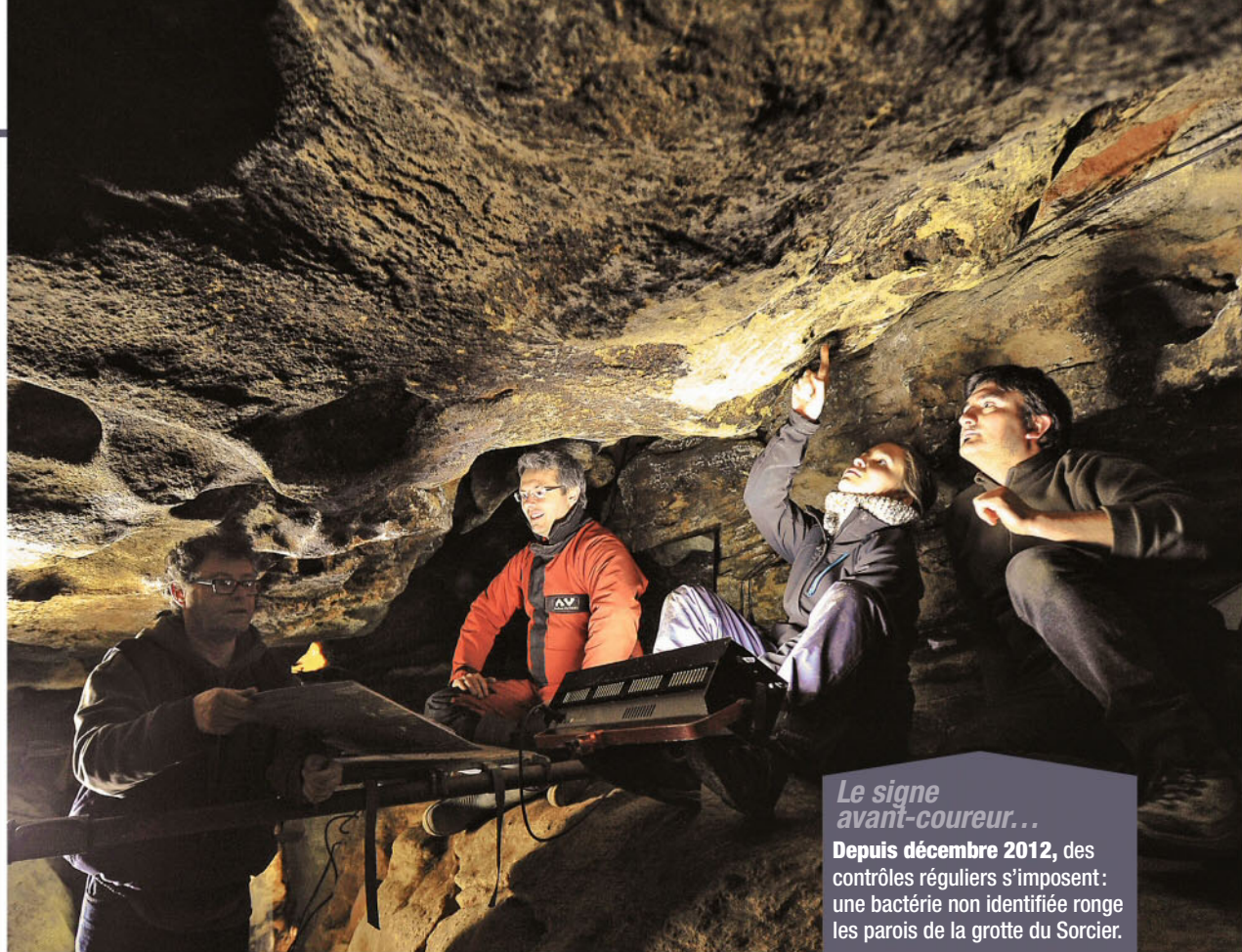
SOURCE: LE JOURNAL DU SORGHO

Et les Pyrénées ?

Comme les Alpes (voir p. 62), le massif souffre du réchauffement. *"Mais les effets sont plus rapides, car altitude et latitude sont plus basses, assène le glaciologue Pierre René. Les 30 glaciers actuels auront disparu d'ici à 2050."* Avec 2 °C de plus en 2100, le nombre de jours de neige au sol devrait diminuer de 30 %. *"Côté espagnol, il y a déjà des risques d'incendies et des opportunités agricoles. Or, ce qui se passe aujourd'hui là-bas se passera demain ici"*, commente Julien Lavaud, à l'Observatoire pyrénéen du réchauffement climatique. **T.C.F.**



M. KONTENTE - J. LESTAGE/MAXPPP - SHUTTERSTOCK



**Le signe
avant-coureur...**

**Depuis décembre 2012, des
contrôles réguliers s'imposent :
une bactérie non identifiée ronge
les parois de la grotte du Sorcier.**

Virus

Le chikungunya risque de s'installer

Pour l'instant, les Français ont surtout payé un lourd tribut au chikungunya dans les DOM-TOM, notamment à la Réunion en 2005, puis aux Antilles et en Guyane en 2014-2015, avec des centaines de milliers de cas.

Mais à l'avenir, le quart sud-ouest de l'Hexagone pourrait devenir l'eldorado de ce virus jusqu'ici tropical, transmis notamment par le moustique tigre et responsable de fièvre et de très fortes douleurs articulaires – il est mortel dans de rares cas. C'est en tout cas ce que montre une carte publiée en 2013 dans la revue *International Journal of*

Health Geographics (voir ci-contre), qui représente une modélisation de la zone climatique favorable au virus pour la fin du siècle : on y voit une ample tache rouge occupant tout le sud-ouest du territoire... Et ce, même pour un scénario de réchauffement modéré ! Sachant que pour le scénario de réchauffement extrême, la zone rouge déborde largement ce foyer et occupe toute la moitié méridionale de l'Hexagone...

UNE ÉPÉE DE DAMOCLÈS SUR LA RÉGION

Pour dresser cette carte, les chercheurs ont établi que, pour que le virus puisse se multiplier, il faut une

température moyenne de 20 °C durant un mois entier, avec au moins six jours d'affilée au-dessus de 26 °C – ce qui, d'ici à la fin du siècle, arrivera plus de quatre mois par an dans cette région.

A condition, bien sûr, qu'il soit déjà présent sur le territoire. Ce qui sera aussi probablement le cas : l'Institut de veille sanitaire (InVS) a calculé qu'en 2014, la France a importé pas moins de 2327 cas de chikungunya !

Il faut, enfin, un peu de malchance : parfois, toutes les conditions sont réunies sans qu'une épidémie ne flambe. C'est ce qu'on appelle une épée de Damoclès...

Y.S.

Patrimoine

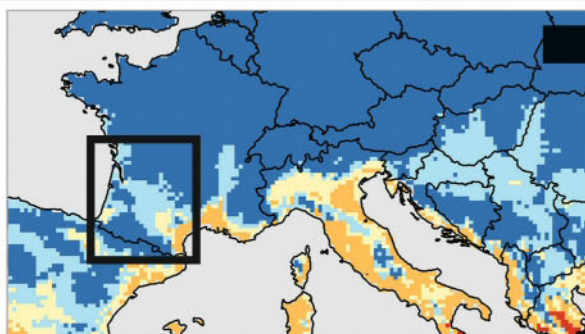
L'art pariétal fragilisé

Variation des taux d'humidité, diversité des bactéries et champignons sur les parois, pénétration des rayons UV... L'équilibre biochimique des abris et des grottes préhistoriques, qui a permis à ces témoignages ancestraux de nous parvenir, est délicat.

"Les changements climatiques pourraient rompre cet équilibre", prévient Patrick Di Martino, spécialiste de l'impact des micro-organismes dans la détérioration des grottes à l'université de Cergy-Pontoise. Financé par la Fondation des sciences du patrimoine, son laboratoire analyse l'effet des saisons dans la grotte du Sorcier et l'abri de Laugerie-Haute, deux sites classés au patrimoine mondial de l'humanité et occupés respectivement il y a 17 000 et 27 000 ans. Après avoir découvert des changements rapides et significatifs de

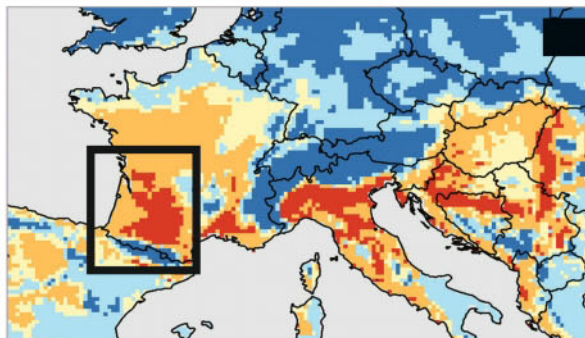
la biodiversité, il reste maintenant à identifier les bactéries liées à la formation des cristaux de gypse, ces dépôts blanchâtres qui effacent peu à peu les traces de nos ancêtres.

Surtout, il faut dresser la liste des conditions climatiques qui les font prospérer ou régresser, avec en filigrane cette question : les micro-organismes les plus agressifs profiteront-ils des changements à venir ? *"Sachant qu'en Dordogne, un ensoleillement renforcé et des sécheresses répétées sont au programme, et que ces deux facteurs tendent à limiter la biodiversité, le risque serait alors de voir un micro-organisme gagner du terrain et mettre en péril la conservation, comme cela a pu se produire à Lascaux", analyse le chercheur.* **C.T.**



Aujourd'hui

Si les conditions climatiques propices au virus et à son vecteur, le moustique tigre, sont encore défavorables (en bleu clair et foncé)...



2070-2100

... elles seront optimales (en rouge) dans le Sud-Ouest en 2070, avec une moyenne de 20 °C sur un mois, ou 6 jours à plus de 26 °C.

Et aussi...



Ça va fort pour le roquefort

Ce fromage profite des canicules lors de son affinage en caves naturelles. *"Durant ces épisodes, la pression atmosphérique propulse l'air frais des éboulis du Combalou vers nos caves, évacuant la chaleur produite par la fermentation de la pâte", se félicite Francis Bousquet, chez Roquefort Société.*

V.N.

La forêt des Landes plus productive et... inflammable

Le pin maritime est bien adapté au climat futur et son rendement progressera encore avec le CO₂. Mais la sécheresse augmentera fortement le risque d'incendie dans ce massif immense et donc difficile à surveiller. **V.N.**



Les palombes ne passeront plus

Pourquoi passer les Pyrénées quand il fait si bon en France ? *"Les palombes migrantes voyagent moins loin, explique Jean-Claude Ricci, président de l'IMPCF. Et la population des sédentaires explose."* L'oiseau s'installe dans les villes et pille les champs de maïs.

T.C.-F.

Grand Ouest



Entre nouveaux défis et opportunités, la région pourrait profiter du réchauffement

Hivers doux, étés sans excès et des précipitations tout au long de l'année : les 13,5 millions d'habitants de la Normandie, de la Bretagne et des Pays de la Loire profitent du régime océanique tempéré par excellence. Problème : l'air frais venant de l'Atlantique aura bien du mal à contrecarrer la hausse des températures. Les Rennais doivent par exemple s'attendre à 45 jours de chaleur supplémentaires (plus de 25 °C) d'ici à la fin du siècle. Avec quels impacts sur la pêche ? Sur l'agriculture ? Sur l'élevage ? Une chose est sûre, il y aura du changement – et pas forcément pour le pire...

Agroalimentaire

p. 121

Conçue pour des températures clémentes, la filière porcine va devoir s'adapter à la chaleur

Brest



Le Havre

Rouen

Amiens

Caen

Paris

Rennes

Production laitière

p. 123

Face à la baisse des rendements, la diversification génétique des troupeaux est à l'étude

Angers



Nantes

Tours

Bourges

Pêche

p. 116

Des poissons exotiques devraient renouveler la ressource halieutique



Poitiers

Terroirs

p. 120

La Bretagne pourrait se mettre à produire du vin



La Rochelle

Limoges

Cler

Ostréiculture

p. 122

Pour limiter les maladies, les parcs à huîtres pourraient être déplacés en mer



Littoral

p. 123

Le marais poitevin risque de disparaître sous le niveau de la mer

Lacanau

Borde

B.BOURGEOIS





Pêche

Poissons et coquillages exotiques vont changer la donne

“Après l’avoir remonté à bord, aucun d’entre nous n’a été capable de dire à quelle espèce ce poisson appartenait”, se souvient Daniel Harache, marin-pêcheur à Trouville-sur-Mer (Calvados). En l’occurrence, le curieux spécimen capturé en pleine Manche était un baliste, un gros poisson évoluant d’habitude dans les récifs subtropicaux !

De telles rencontres vont se multiplier dans les décennies à venir au large de la Normandie et de la Bretagne. Et dans ce territoire qui concentre la plupart des grands ports de pêche français (Lorient, Guilvinec, Granville, Port-en-Bessin...), les pratiques séculaires comme les habitudes alimentaires seront remises en

question. Car dans l’eau aussi, le réchauffement est en marche. En cinquante ans, la température de l’Atlantique Nord-Est a augmenté de près d’un degré Celsius. Et comme sur terre, ce changement se traduit aussi par des décalages biologiques : la ponte des poissons et l’efflorescence des algues se produisent quelques jours ➔

→ plus tôt, le rythme de vie du zooplancton est modifié. Autant de désynchronisations qui perturbent les écosystèmes en place.

Mais il y a plus criant : la quasi-totalité de la faune marine se déplace désormais vers le nord. *“Dans ce milieu sans frontière ni obstacle, les poissons se déplacent à la même vitesse que l'évolution des isothermes, c'est frappant”*, observe Olivier Le Pape, professeur en écologie marine (Agrocampus Ouest, Rennes). *“Les organismes marins sont très sensibles à la température, explique Grégory Beaugrand, biologiste marin au Laboratoire d'océanologie et de géosciences de Lille. La hausse d'un seul degré Celsius dans une zone suffit à faire fuir 80 % des effectifs d'une espèce sub-arctique. Sur place, l'écosystème bascule alors dans un autre équilibre.”* Même si d'autres facteurs comme la surpêche, les espèces invasives ou l'évolution des courants peuvent également jouer.

Chaque espèce de poisson a sa propre fenêtre thermique, propice à sa reproduction et à l'éclosion de sa progéniture. Ainsi, le cabillaud trouve-t-il son confort thermique vers 7 °C, l'églefin plutôt 10 °C et le lieu jaune autour de 13 °C. Conséquence : lorsque la température augmente au large des côtes françaises, les espèces d'eau froide vont chercher la fraîcheur ailleurs, tandis que les spécimens d'eaux

tempérées ou chaudes s'installent sous nos contrées.

Le phénomène est spectaculaire : grâce aux courants océaniques, les organismes marins migrent dix fois plus vite que les animaux terrestres. Quand les principales espèces de poissons se déplacent chaque année de 30 km vers le pôle, le phytoplancton franchit, lui, près de 50 km par an. Bref : *“Dans la zone Atlantique, il faut s'attendre à des changements d'espèces considérables !”*, anticipe Olivier Le Pape.

UNE PLUS GRANDE BIODIVERSITÉ

L'anchois, par exemple. Pêché couramment du large du Maroc au golfe de Gascogne, ce poisson bleu a fait l'objet ces dernières années de pêches miraculeuses... en mer d'Iroise, à la pointe bretonne. Dans la Manche, il est devenu banal de croiser des bancs de rougets-barbets... *“Cette espèce est désormais suffisamment abondante pour permettre des débouchés commerciaux”*, remarque Olivier Le Pape. D'ores et déjà, les pêcheurs normands débarquent quelque 170 tonnes par an de ce poisson à la chair très appréciée.

Quant au *“bar, qu'on allait chercher au fond du golfe de Gascogne, il se retrouve en Manche Ouest”*, observe Eric Guygniec, patron de l'armement de la pêche artisanale de Keroman (Lorient). *“Depuis moins de dix ans, nos hommes rencontrent du maigre, un beau poisson de l'Ouest africain en vogue chez les grands chefs”*, signale aussi Hubert Carré, directeur du Comité national



des pêches maritimes et des élevages marins. Rougets, balistes, saint-pierre argentés ne seront donc bientôt plus des anomalies. Poulpes, calmars et seiches devraient aussi prospérer.

Ce qui n'empêchera pas certaines espèces locales de s'épanouir. A l'image du homard breton, dont la population se porte on ne peut mieux sous des températures élevées. *“On a du homard à ne plus savoir qu'en faire !”*, confie Hubert Carré.

Ces évolutions touchent aussi les coquillages, relate Stéphane Pouvreau, chercheur au Laboratoire physiologie des invertébrés, à l'Ifremer : *“L'huître creuse, importée du Pacifique dans les années 70, ne pouvait se reproduire qu'au sud de la Loire, sa ponte ne se déroulant qu'à partir de 18 °C et son cycle larvaire exigeant au moins 21 °C.”* C'est pourquoi le captage des naissains d'huîtres a longtemps été l'exclusivité des bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron. *“Au début des années 2000, cette activité est devenue rentable dans la baie de Bourgneuf, en Loire-Atlantique, enchaîne le biologiste. Puis des naissains ont été découverts dans la rade de Brest, dans la baie de Cancale... jusqu'en Scandinavie !”*



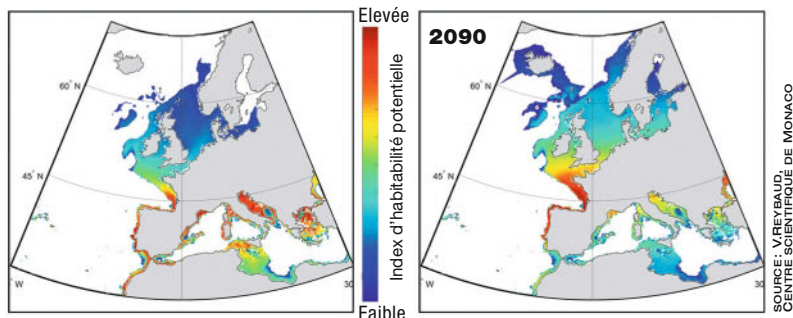
OLIVIER
LE PAPE

Professeur en
écologie marine,
Agrocampus Ouest
(Rennes)

*Le rouget ou le poulpe
offrent désormais de
nouveaux débouchés
commerciaux*



Le réchauffement des eaux attire la faune marine du sud



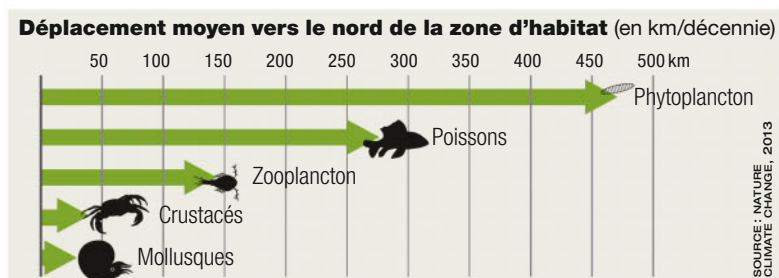
En 2090, l'anchois pourrait avoir trouvé les meilleures conditions d'habitabilité (en rouge) sur la côte Atlantique

< ^ \ Rouget en mer du Nord (à g.), anchois en mer d'Iroise (ci-dessus), bar dans la Manche, poulpe... Mais aussi mollusques, zooplancton et phytoplancton. Chacun à leur rythme, tous se déplacent avec la température (voir ci-dessous), renouvelant l'écosystème de la région.

C'est certain, sous l'effet du changement climatique, l'Atlantique et la Manche changent. *“Des eaux plus chaudes impliquent une plus grande biodiversité – un constat que l'on peut faire en comparant l'écologie des tropiques et celle des pôles, souligne Grégory Beaugrand. Notez cependant que les poissons d'eau chaude sont plus petits que les poissons d'eau froide : à ces températures, la maturité sexuelle est atteinte plus rapidement.”*

LA FILIÈRE DEVRA S'ADAPTER

Ces halles à marées remplies d'espèces variées et haut de gamme ne doivent pas faire oublier la disparition de ressources familières. A commencer par le cabillaud. Le poisson préféré des Français fuit inexorablement vers les mers froides. Cette espèce se retrouve désormais en abondance au large de l'Islande et de la Norvège, voire en mer de Barents, aux confins de l'Arctique. Or, plus il s'éloigne de nos côtes, plus les pêcheurs français doivent consommer de carburant, et plus leur activité perd en compétitivité. *“Techniquement, il faudrait un bateau de 60 m pour se rendre au large de l'Islande”,* estime Hubert Carré. Sur les 4500 bateaux de



pêche français, à peine 0,1 % dépassent les 40 m. Il faudra donc se contenter de filets de cabillaud norvégiens ou islandais – idem pour le hareng.

Même constat pour le bulot : *“C'est une espèce d'eau froide, dont la limite sud se situe en Bretagne, souligne Laurence Hégron-Macé, du bureau d'études Synergie mer et littoral. Nos tests en laboratoire montrent un effondrement des taux d'éclosion avec un réchauffement de 3 °C.”* Tandis que des crises sanitaires à répétition seront à craindre pour les coquillages, certains pathogènes se réveillant à partir d'une température seuil chez les moules, les saint-jacques ou les ormeaux.

“Ces disparitions auront de graves conséquences socio-économiques”, estime Grégory Beaugrand. Et puis l'appropriation de nouvelles ressources ne se fera pas sans mal ; jusque dans les années 1950, les lottes étaient systématiquement jetées par-dessus bord à cause de leur aspect terrifiant. La consommation d'espèces peu familières s'ac-

compagne en effet d'une certaine méfiance... *“Le poulpe n'est toujours pas exploité en France, alors que cette espèce valorisable a réémergé dans nos eaux avec la canicule de 2003”,* fait remarquer Olivier Le Pape. Se faire à l'idée d'un “rouget sauce normande” ou d'un “poulpe à la bretonne” prendra du temps. **V.N.**

30%

La productivité des pêcheries pourrait augmenter de 30 % d'ici à la moitié du siècle dans les zones tempérées. Les zones tropicales se dépeupleraient.



Terroirs

La Bretagne pourrait devenir un pays viticole

Au pays du cidre, ils ne sont pour l'instant qu'une poignée à avoir osé planter de la vigne; tout au plus 200 amateurs qui ont investi une pente ensoleillée de la vallée de la Rance, quelques arpents de terre à Loudéac, Morlaix ou Quimper... Ces vins sans prétention, même pas commercialisés, paraissent dérisoires. D'autant plus que les sols

bretons, souvent acides, et l'humidité ambiante, propice au développement du mildiou, ne simplifient pas la tâche de ces vigneron du dimanche.

Seulement voilà! L'évolution du climat pourrait changer radicalement la donne: "La zone de maturité des baies de raisin s'étend vers le nord de la France, et il semble qu'un

cépage s'exprime au mieux de son potentiel à la limite nord de son extension bioclimatique", informe Philippe Piéri, de l'Institut des sciences de la vigne et du vin.

Cela ressemble à une aubaine: "Les restrictions réglementaires sur la plantation des vignes sont sur le point de s'assouplir et ça commence à s'agiter en Bretagne, fait savoir Gérard Allé, responsable de l'Association pour le renouveau des vins de Bretagne. Plusieurs projets professionnels s'organisent, comme sur l'île de Groix [un vin blanc] et dans le golfe du Morbihan." Affaire à suivre. **V.N.**



**Le signe
avant-coureur...**

Depuis 2004, des vignes
sont plantées sur les rives de
la Rance, à Saint-Suliac, dans
la région de Saint-Malo.

Agroalimentaire

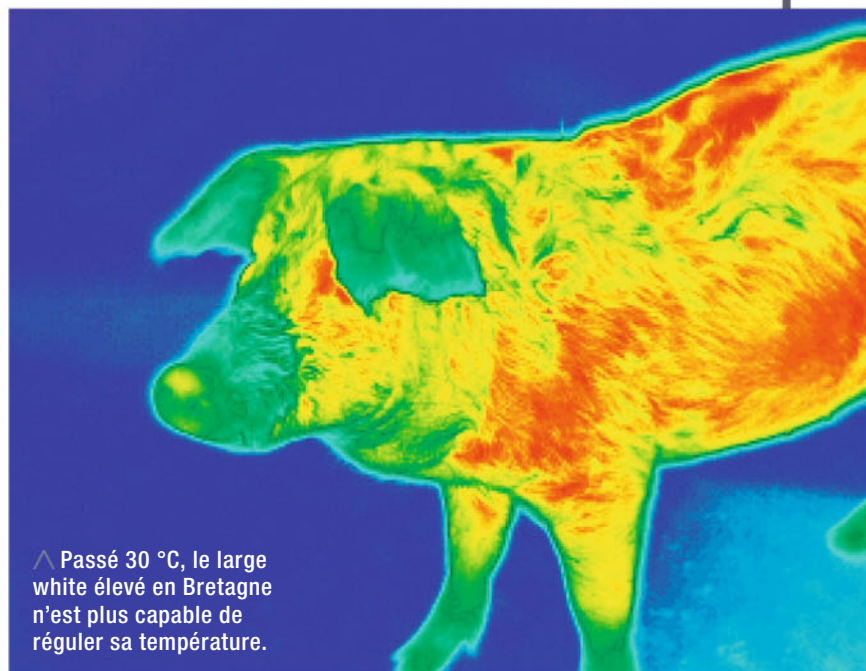
Le porc industriel devra s'adapter à la chaleur

Les éleveurs de porc bretons survivront-ils au réchauffement climatique? La question est particulièrement sensible dans une région où l'on comptabilise quelque 6 500 élevages livrant chaque année 11 millions de porcs – soit trois cochons pour un Breton... En pleine crise des prix agricoles, qui plus est.

Mais parions que les canicules à venir seront l'occasion de grandes remises en question. Car tous ces spécimens de large white ont été sélectionnés pour fabriquer de la viande à des vitesses stratosphériques (passant de 1,2 kg à la naissance à plus de 100 à six mois !), au détriment de fonctions aussi vitales que... leur régulation thermique. Preuve que la course aux rendements est allée trop loin pour ces animaux à la peau épaisse et aux trop rares glandes sudoripares.

Passé 30 °C, la croissance des futurs jambons ralentit brutalement, et le taux de mortalité s'envole. *“Leur potentiel génétique était censé s'exprimer dans un environnement bien particulier, dès lors la moindre perturbation risque d'entraîner des pertes économiques importantes pour les éleveurs”*, indique David Renaudeau, spécialiste de la physiologie du porc à l'Inra (Rennes).

En cas de pic de température, les éleveurs devraient revoir la composition et la fréquence des rations alimentaires. Et à plus long terme? *“Nous sommes en train d'étudier le génome du porc créole des Caraïbes pour mettre en évidence les marqueurs de l'adaptation à la chaleur”*, spécifie David Renaudeau. *Mais, reconnaissons-le, identifier ces mécanismes physiologiques s'avère moins simple que de viser les grands leviers de la productivité...* **V.N.**



△ Passé 30 °C, le large white élevé en Bretagne n'est plus capable de réguler sa température.



*Le signe
avant-coureur...*

20 juillet 2008 : les huîtres juvéniles (ici à La Tremblade) sont décimées par un herpès virus réveillé par le réchauffement.

Ostréiculture

Les parcs à huîtres pourraient prendre le large

Depuis environ dix ans, les fêtes de fin d'année ne sont plus aussi sereines: le spectre de la disparition des huîtres plane (voir *S&V*, décembre 2010)! Ces mollusques cultivés à Marennes-Oléron depuis Napoléon III sont en effet victimes d'agents pathogènes redoutables. *"Le réchauffement n'a pas d'impact négatif sur l'organisme de l'huître en*

tant que tel, mais sur son environnement, explique Fabrice Pernet, chercheur à l'unité Physiologie fonctionnelle des organismes marins (Ifremer, Brest). *Les eaux atteignent des températures qui correspondent à la fenêtre d'activité d'herpès virus ou de bactéries du genre Vibrio.*" Si rien ne change, une grande pandémie est donc à craindre.

Les conditions d'exploitation des huîtres commencent d'ailleurs à poser question: le bassin de Marennes-Oléron concentre en effet plus de 900 fermes ostréicoles... Une haute densité dont les ravageurs profitent pour mieux se propager. *"On pourrait envisager d'espacer les parcs entre eux, créer en quelque sorte des pare-feu,* estime Fabrice Pernet. *Faute de place sur la côte, une solution serait d'élever les huîtres au large, assurant ainsi leur isolement hydrodynamique.*" Même si un tel déménagement ne sera sûrement pas anodin pour des organismes adaptés aux marées et habitués à vivre à l'air libre un tiers de leur temps... **V.N.**

Et aussi...

Le mystère du mont Saint-Michel

Restera ou restera pas une île? Logiquement, la hausse du niveau des mers devrait accentuer le caractère maritime du site. Pour autant, le

géographe Stéphane Costa s'interroge: *"Nous ignorons les interactions entre ce phénomène, la dynamique des sédiments autour du mont et l'extension des prés-salés."* **V.N.**

Les pommes d'Anjou vont verdir

Les vergers d'Anjou se sont fait une spécialité des variétés de pommes



au rouge flamboyant agrémenté d'une touche de jaune pétant. Or *"les chaleurs nocturnes bloquent la pigmentation,* prévient Pascale Guillermin, d'Agrocampus Ouest (Angers). Les



Production laitière

Des vaches plus “rustiques” appelées à la rescousse

“Dans le grand Ouest, on devrait voir les troupeaux ‘rougir’”, s’amuse Stéphane Ingrand, responsable du département Physiologie animale et systèmes d’élevage à l’Inra. Pour l’instant, le pays du beurre, de la crème et des fromages à pâte molle reste indissociable des vaches noir et blanc – les fameuses races prim’holstein et normande. Pour l’instant... Car face aux canicules et aux sécheresses attendues, néfastes à

la production d’un lait de qualité, “il faudrait augmenter la diversité au sein des troupeaux, chaque individu apportant une réponse différente aux stress environnementaux”, insiste le chercheur. Les vaches trop spécialisées dans la production laitière le paient de leur capacité de résistance à la chaleur”. En l’occurrence, la jersiaise, avec sa robe fauve et ses naseaux bruns, ou la pie rouge, couleur acajou, affichent

d’intéressantes prédispositions face aux pics de températures. “Des études montrent que le croisement jersiais, holstein et rouge scandinave est plus résistant que la holstein pure”, précise Sandra Novak, ingénieure à l’unité expérimentale Fourrages, environnements, ruminants de l’Inra.

Dans les pâturages du XXI^e siècle, les troupeaux de laitières seront plus bigarrés et rustiques. En effet, les agronomes étudient des parcelles où, en cas de sécheresse, les bovins se contenteraient des feuilles des arbres ou des ligneux des haies... comme des chèvres. “Reste à étudier les performances de ce mode d’alimentation”, souligne Sandra Novak. Des essais grandeur nature vont débiter.” **V.N.**

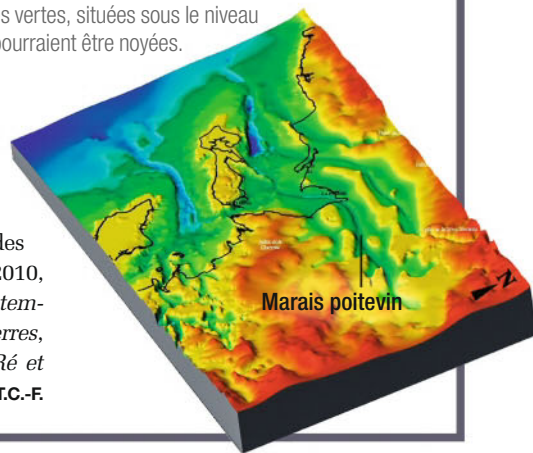
Littoral

Le marais poitevin menacé

Conquis sur l’océan, le marais poitevin retournera-t-il à la mer? “Jusqu’ici, les apports sédimentaires étaient suffisants pour contrer la montée des eaux”, explique Eric Chaumillon (CNRS, université de La Rochelle). Mais personne ne peut prévoir exactement quand ce phénomène s’inversera, sachant qu’on

ne pourra pas remonter les digues à l’infini.” Cette montée des eaux augmentera aussi l’impact des tempêtes de type Xynthia qui, en 2010, inonda 50 000 ha. “Une nouvelle tempête inondera plus loin dans les terres, annonce le chercheur. L’île de Ré et Oléron seront aussi touchées.” **T.C.-F.**

> Les zones vertes, situées sous le niveau de la mer, pourraient être noyées.



fruits mûrs affichent alors un teint chlorophyllien qui posera des problèmes de commercialisation.” **V.N.**

La chaleur sélectionne les pires tiques

“On observe une augmentation des maladies de Lyme en Bretagne”, constate le docteur Brigitte Degeilh, du CHR de

Rennes. Le réchauffement enrayera-t-il ce phénomène? Pas sûr, car



les tiques qui résistent le mieux à la sécheresse sont celles qui transmettent des maladies! Et avec la chaleur, l’affinité de la tique du chien pour l’homme s’accroît. **T.C.-F.**

La côte normande débordée

“L’élévation du niveau de la Manche posera, dans les basses vallées, souvent urbanisées, de gros

problèmes de submersion”, annonce Stéphane Costa, géographe à l’université de Caen. En première ligne: Fécamp, Etretat et Dieppe... “Le port du Havre ne sera pas à l’abri de débordements.” Et en Basse-Normandie, quelque 11 000 habitations et 2000 km de routes se situent sous le niveau actuel de la mer. **V.N.**



DOM-TOM

Des îles avant tout menacées par les effets océaniques du réchauffement

Les tropiques resteront toujours les tropiques ! Toutes les simulations climatiques indiquent en effet que, sur l'ensemble du globe, ce sont dans les deux bandes qui entourent l'équateur que le réchauffement sera le moins marqué. Les habitants des Antilles et de Guyane (plus d'un million de personnes), de la Réunion (850 000), de Nouvelle-Calédonie (250 000), de Polynésie (250 000) ou de Mayotte (200 000) continueront donc à vivre sous les charmes et la dureté du climat tropical. Reste qu'il y fera encore un peu plus chaud, et qu'ils seront en première ligne face à l'élévation du niveau des mers (principalement dans le Pacifique) et à l'acidification des océans. Avec quelles conséquences sur l'agriculture ou le littoral ? Là comme ailleurs, il faudra s'adapter.

Agriculture

p. 126

Moins rentable, la filière de la canne à sucre se prépare déjà à se reconverter dans l'électricité

Saint-Denis

LA RÉUNION

Tourisme et habitat

p. 127

Les Antilles seront directement menacées par la hausse du niveau de l'océan

GUADELOUPE

Pointe-à-Pitre

Basse-Terre

MARTINIQUE

Fort-de-France

Industrie de la perle

p. 128

L'acidification de l'océan pourrait être fatale à la nacre de l'huître de Tahiti

Papeete

POLYNÉSIE FRANÇAISE

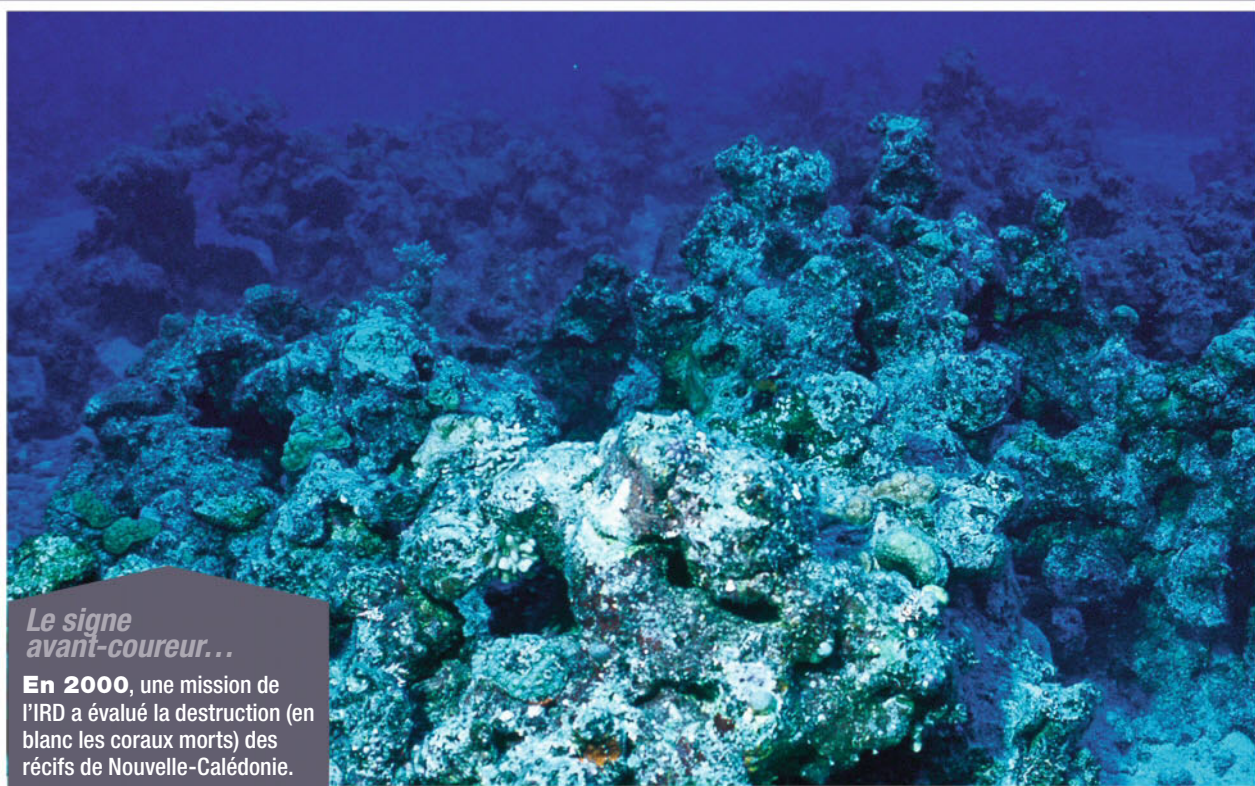
Patrimoine

p. 126

Les récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie vont encore plus souffrir

NOUVELLE CALÉDONIE

Nouméa



Le signe avant-coureur...

En 2000, une mission de l'IRD a évalué la destruction (en blanc les coraux morts) des récifs de Nouvelle-Calédonie.

Agriculture

A la Réunion, la canne à sucre se prépare déjà à se reconvertir dans l'électricité

Cultiver, couper, broyer, extraire le jus et le transformer en sucre: voici le cycle immuable de la canne à sucre. Auquel il faudra sans doute ajouter: brûler les fibres pressées pour générer de l'électricité! Car le taux de sucre tendant à diminuer sous l'effet du réchauffement, cette ultime étape pourrait bien devenir incontournable pour maintenir une filière économique capitale pour La Réunion, qui représente la moitié des surfaces agricoles de l'île.

"Les îles tropicales se réchauffent rapidement du fait de l'urbanisation galopante et de la circulation automobile", note François-Régis

Goebel, du Centre de coopération international en recherche agronomique pour le développement (Cirad). Entre 1999 et 2011, le thermomètre a déjà pris 1 °C. Une hausse qui se répercute directement sur la teneur en sucre de la plante: *"C'est un effet biochimique, explique Edward Gérardaux (Cirad): quand les nuits ne sont pas assez fraîches, la respiration végétale augmente, consommant davantage de sucre pour maintenir les tissus."* Du coup, la richesse en saccharose de la canne diminue... Or, c'est en fonction de celle-ci que les planteurs sont rémunérés! Elle est en moyenne de 13,8 %, mais baisse, selon le Cirad, de

0,5 à 0,6 % par degré supplémentaire! Couverture du sol par des plantes et paillage sont donc testés pour limiter l'évaporation au sol... mais restent impuissants contre la chaleur de l'air. Cultiver en altitude où il fait plus frais, à 700 ou 800 m? Oui, mais les hauteurs de l'île sont très pierreuses... ou protégées. Pour Caroline Lejars (Cirad), la solution est ailleurs: *"Brûler les cannes dont on a extrait le jus dans des centrales thermiques permet déjà de produire 12 % de l'électricité de l'île."* Une adaptation simple à réaliser: elle nécessite de trouver des variétés de cannes à la fois riches en sucre et en fibres, et d'aménager les usines d'extraction.**FG.**



Patrimoine

En Nouvelle-Calédonie, les coraux vont encore souffrir

Somptueux remparts bordant les lagons bleus, les récifs calédoniens sont les deuxièmes plus importants de la planète en étendue (1 600 km), comme en richesse (11 000 espèces animales et végétales). Or, l'alerte est bien connue : le changement climatique serait fatal à cet écosystème foisonnant, le ravageant à jamais. *“Mais ces conclusions sont le fruit de travaux menés exclusivement en aquarium et sur une poignée d'espèces de coraux”*, nuance Claude Payri (Institut de recherche pour le développement de Nouméa). Certes, comme le reconnaît Riccardo Metalpa (IRD), *“la hausse des températures interrompt la symbiose entre le polype et l'algue qui constituent le corail, ce qui le fait*

blanchir et, souvent, mourir”. Ce à quoi s'ajoute l'acidification de l'eau, qui affaiblit sa structure calcaire.

Cependant, toutes les espèces ne sont pas logées à la même enseigne : *“celles massives, du genre Porites, résistent mieux à la chaleur que les ramifiées, type Acropora”*, précise le chercheur. Alors ? *“Nous allons vers une modification profonde des communautés de coraux”*, estime Claude Payri, pour qui les risques locaux restent plus inquiétants. Plus que le réchauffement à long terme, c'est la pollution à court terme due à l'urbanisation et à l'industrie minière qui va déterminer le futur paysage des fonds marins néo-calédoniens.

F.G.

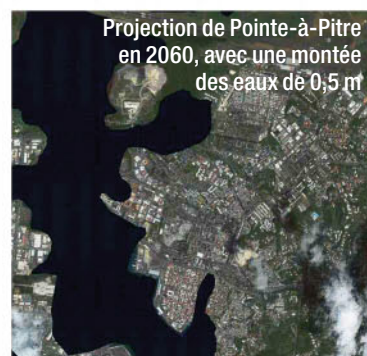
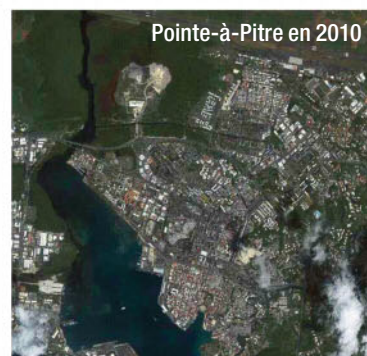
Tourisme et habitat

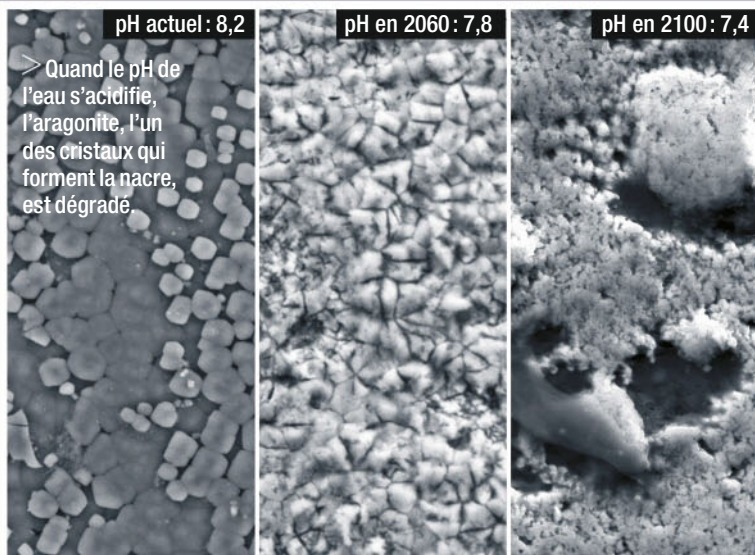
Les Antilles n'échapperont pas à la montée des eaux

“Exposées à l'érosion, agressées par les cyclones, les Antilles sont des territoires exigus où la population se concentre sur le littoral, résume le géologue Jean-Marc Mompelat au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Or, une tempête peut avaler 10 m de côte !” Un risque accru par la dégradation des récifs, seul frein naturel contre la houle. Et les précipitations, destinées à s'intensifier, font craindre également des mouvements de terrain plus fréquents. Très vite, les plans de constructibilité devront donc s'adapter en tenant compte de la hausse du niveau de la mer (au moins 50 cm en 2060 et 80 cm en 2100). Mais il faut

dra sans doute aller plus loin, car les habitations sont déjà nombreuses à ne pas respecter la distance à la mer autorisée. *“Une étude pilote de relocalisation des habitants est en cours sur la commune de Petit-Bourg, en Guadeloupe”*, indique Ywenn De La Torre, au BRGM. Sachant que les possibilités de repli sont limitées géographiquement par les montagnes volcaniques qui campent au centre des îles. Une fois les maisons démenagées, et les coûts assumés, un problème de taille attend encore les Antillais : celui de l'approvisionnement en eau douce, les nappes souterraines subissant d'insidieuses infiltrations d'eau salée...

F.G.





Industrie de la perle

Tahiti va devoir se mobiliser pour ses huîtres perlières

L'éclat mystérieux de sa perle noire, patiemment élaborée en dix-huit mois après une opération de greffe d'une grande délicatesse, en fait l'une des aquacultures les plus lucratives au monde... mais l'huître perlière et ses producteurs risquent gros avec la hausse des températures et l'acidification des océans. "Pinctada margaritifera vit dans le lagon des atolls polynésiens", explique Yannick Guéguen (Ifremer). Or, son pH pourrait passer de 8,2 à 7,4 sous l'effet de la hausse du CO₂ dans l'air, qui acidifie l'eau. Des conditions que Gilles Le Moullac (Ifremer) a testées pendant cent jours en laboratoire: la perle semble préservée, mais sa coquille blanchit et se déminéralise. "Elle perd la membrane de revêtement qui la protège des parasites, s'inquiète-t-il. Comme du verre fondu, la nacre, composée d'aragonite, est dégradée par l'acidité." Inquiétant, surtout pour les larves, dont la coquille est entièrement

composée de ce cristal de carbonate de calcium... Et qui dit larves mal formées dit reproduction menacée!

Enfin, au-dessus de 28,7 °C, le mollusque s'affaiblit: son métabolisme accélère plus que son appareil de filtration ne peut le soutenir. Les solutions? Pour Yannick Guéguen, "les élever entièrement en milieu contrôlé est techniquement impossible, entre autres parce qu'elles se nourrissent de phytoplancton qui n'existe pas sous forme artificielle. Mais on pourrait les faire se reproduire en éclosure." La génétique permettrait aussi de sélectionner celles qui tolèrent le mieux la chaleur, "mais pas plus de 0,5 °C supplémentaires, tempère Gilles Le Moullac. En revanche, on pourrait déplacer la production dans des îles plus fraîches, au sud de la Polynésie". Or, très rentable jusqu'à présent, l'ostréiculture est l'une des seules activités à retenir encore la population dans les atolls. **F.G.**

Et aussi...

A Saint-Pierre-et-Miquelon, la mer de glace fond

Risques de tempêtes ravageuses à venir! Dans ces toutes petites îles subarctiques, l'hiver se faisant plus doux, la glace de mer qui protège le rivage des tempêtes est remplacée par des glaçons, qui fouettent et dégradent la côte. **F.G.**

Moins de tornades mais plus violentes

Le dernier rapport du GIEC estime que le nombre de cyclones va rester stable, ou baisser. Hélas pour les Antilles et La Réunion, précipitations moyennes et vitesses maximales vont, elles, augmenter. **Y.S.**

Les mangroves pourront-elles encore protéger la Guyane?

Les 200 km² de bancs de vase agrémentés de palétuviers qui protègent le littoral guyanais sont entraînés vers le nord par les courants marins, exposant la côte à la fureur des vagues... qui devrait empirer à l'avenir. **F.G.**



1988

INÉDIT
Spécial Cop 21

1982

1958

1971

1965

RETROUVEZ

CLIMAT : PORTRAITS D'UNE FRANCE QUI CHANGE

SAMEDI 21 NOVEMBRE

À 18H30

Un film documentaire
réalisé par Blandine Josselin

Produit par
AB Productions

SCIENCE & VIE TV

la chaîne pour comprendre

@ScienceetvieTV

www.science-et-vie.tv

Olattropp.com

UNE
CHAÎNE



PARIS2015
le climat, c'est notre avenir
COP21-CMP11

LE MEILLEUR DE
SCIENCE & VIE



Prix public:
29€
27,55€

RÉDUCTION
SPÉCIALE **-5%**

201 records choisis par la rédaction de Science & Vie

Retrouvez les exploits accomplis par notre planète et ses animaux dans ce très bel ouvrage scientifique.

La Terre de tous les records

DIM. 22 x 24,5 cm. 240 PAGES.
COÉDITION LA MARTINIÈRE ET SCIENCE & VIE.



Un classique scientifique à offrir

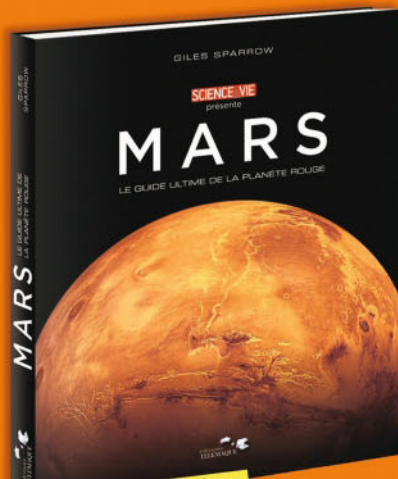
Vous le savez sans doute, ce pendule de Newton illustre les théories de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Et en plus, avec son socle en bois et ses billes de gros diamètre, c'est un bel objet de décoration.

Pendule de Newton Deluxe - 19,90

DIM. 18 x 17,5 x 12 cm. SOCLE NOIR EN BOIS. MÉTAL ARGENTÉ. BILLE DIAM. 1,8 cm.

L'OUVRAGE ÉVÉNEMENT SUR MARS!

À l'occasion de la sortie du nouveau film de Ridley Scott le 21 octobre 2015, **SEUL SUR MARS**, redécouvrez le guide ultime sur la planète rouge.



Offrez-vous cet ouvrage magnifique, richement illustré de photographies réalisées par la NASA et vous dévoilant les mystères de Mars, à partir des toutes dernières découvertes. Les paysages astronomiques sont tout simplement éblouissants.

Mars

AUTEUR : GILES SPARROW. DIM. 35,3 x 43 cm.
224 PAGES. COÉDITION SCIENCE & VIE ET TÉLÉMAQUE.

PARTENARIAT
SCIENCE & VIE

+ de 400 illustrations
format gigantesque!

79€
seulement!

LIVRAISON RAPIDE
COLISSIMO
OFFERTE

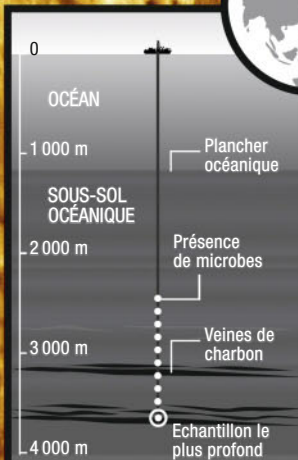


Gardez vos chaussures toujours impeccables!

Cirez vos chaussures en 1 minute sans vous baisser ni vous salir les mains. Munie de différentes brosses à poils plus ou moins durs, d'une brosse pour les chaussures claires et d'une autre pour les foncées, elle s'adapte à toutes vos chaussures et les nettoie complètement.

Cireuse à chaussures automatique Clean Up - 79€

DIM. : 37 x 20 x 29 cm. 7 kg. BOIS / MÉTAL. ALIMENTATION SECTEUR : 220V / 90W.
CAPACITÉ DU RÉSERVOIR DE CIRE : 150 ML. ROTATION : 1400 TR/MIN.
LA CIRE SE TROUVE DANS VOS MAGASINS HABITUELS.



**✓ DE LA VIE JUSQU'À 2 500 M
SOUS LE FOND DE L'OcéAN**

Un forage au large du Japon a révélé la présence de microbes très loin dans le sous-sol océanique ; des cellules bien vivantes, qui ont pu être cultivées en laboratoire (photo).

1 micromètre

Le mystère des mondes intraterrestres

Et il n'y a pas que les extraterrestres ! Sous le plancher océanique, un incroyable écosystème défie ce que l'on sait du vivant. Un monde invisible qu'**Yves Sciama** a exploré.

Record battu ! *“Nous avons détecté des cellules microbiennes intactes jusqu'à 2458 m sous le plancher océanique”*, vient d'annoncer un groupe de géologues et de biologistes japonais qui s'est lancé il y a trois ans dans une grande opération de forage le long de la marge continentale ouest du Pacifique.

Jamais la vie n'avait été observée à une telle profondeur sous l'océan. Car ces microbes

sont bel et bien vivants et actifs, comme l'ont démontré les chercheurs en prenant soin d'éviter tout risque de contamination ; mieux, ils ont pu être multipliés en laboratoire.

De quoi confirmer ce que suggéraient diverses découvertes réalisées ces quinze dernières années : la vie n'a pas seulement colonisé toute la surface de la planète, elle a aussi envahi son sous-sol, tant sous la terre ferme que sous la mer (voir *S&V* n° 1151).

Le trou de 45 cm de diamètre creusé par l'équipe japonaise à travers le plancher océanique donne le vertige. Il suggère que la seule limite que respecte la vie *“intraterrestre”*, pour reprendre l'expression forgée par Bénédicte Ménez, de l'Institut de physique du globe de Paris, semble être celle imposée par la température.

Or, s'il est difficile d'imaginer que la vie puisse subsister au-delà de 120 °C – le record est détenu par l'archée *Geogemma barossii* avec 121 °C –, cette limite, selon les roches et les zones, peut se situer très loin de la surface. Comme l'explique Julie Huber, spécialiste de microbiologie sous-marine au Laboratoire de biologie marine de Woods Hole (Etats-Unis), *“à proximité des sources hydrothermales, le sous-sol est si brûlant qu'on ne peut pas forer – c'est même parfois dangereux. Mais dans les zones sédimentaires, la température n'augmente que lentement avec la profondeur”*.

UN IMMENSE ROYAUME

Dans le cas de ce forage, il ne faisait que 60 °C à – 2 500 m, ce qui laisse supposer l'existence de cellules vivantes à des profondeurs bien plus élevées, sans doute au-delà de 4 000 m sous le plancher océanique.

En “regardant” dans ce trou, on imagine donc l'ampleur du royaume intraterrestre. On devine que les centaines de millions de kilomètres cubes de roches et de sédiments que

Contexte

Le XXI^e siècle sera celui des microbes ! On en découvre dans chaque recoin de notre corps, de nos maisons, dans les nuages... et même dans le sous-sol profond de l'écorce terrestre. On sait depuis une quinzaine d'années que ce milieu abrite une biomasse colossale de ces “intraterrestres”, dont l'influence sur le fonctionnement du globe reste une énigme.

→ L'on croyait encore récemment stériles forment un monde incroyablement vaste, divers – et surtout mystérieux.

Difficile, par exemple, de comprendre pourquoi la concentration de microbes varie autant avec la profondeur. Alors que dans les premières dizaines de mètres de sédiments, les comptages dépassaient les 100 millions de cellules par centimètre cube, à 500 m ce

soit leurs aïeux sont descendus dans les profondeurs à travers des failles; soit ils sont apparus là, à l'intérieur de la Terre, avant de remonter et de peupler la surface.

Dans le cas du forage japonais, la vie semble avoir pris une troisième option. Les extraits d'ADN obtenus dans les couches les plus profondes *"présentaient des séquences très proches de celles que l'on*

mêmes microbes ont réussi à se conserver pendant 20 millions d'années, depuis que la communauté initiale a été ensevelie avec sa matière organique.

"On ne sait pas si ces microbes, une fois enfouis, sont en quelque sorte restés là sans rien faire, ou s'ils se sont adaptés activement, et comment, indique Julie Huber. *On ignore même si tous les organismes du sous-sol profond ont des traits en commun ou non."*

L'écologie de ces profondeurs n'en est qu'à ses débuts. *"Le sous-sol est aussi hétérogène que le sol,* souligne Purificación López-García, microbiologiste au CNRS. *Les contraintes de la vie dans le socle rocheux sous-marin n'ont rien à voir avec celles des sédiments, eux-mêmes très différents selon qu'ils sont marins ou, comme ici, terrestres."* Et les grandes profondeurs de la croûte terrestre restent largement inexplorées (lire l'encadré).

Autant d'énigmes qu'il faudra résoudre pour répondre aux grandes questions sur l'origine de la vie et mieux comprendre le fonctionnement du globe. La quantité de microbes intraterrestres et la vitesse à laquelle ils "travaillent", en particulier, est essentielle pour savoir combien il y a de carbone sur Terre, et comment il circule. Des informations dont les sciences du climat, entre autres, ont un besoin critique. Car ce n'est pas seulement en levant les yeux au ciel que l'on découvre les plus beaux secrets du monde: c'est aussi en plongeant dans ses plus obscures profondeurs.

La vie dans les roches sous-marines reste hors de portée

Le socle basaltique sous-marin est immense: il couvre pratiquement les deux tiers du globe. Et comme le souligne Purificación López-García, "ce milieu presque dépourvu de carbone, mais riche en minéraux réactifs et en eau, est un excellent environnement pour les microbes". Qui demeure cependant peu exploré... *"Un forage dans des sédiments donne de beaux échantillons compacts et étanches, faciles à étudier,* explique Julie Huber. *Tandis que le basalte est perméable et craquelé, avec une porosité élevée – on récupère à peine 30 % de la roche, avec des risques élevés de contamination."* Il faut pourtant s'en convaincre: presque partout dans le globe, sous des kilomètres d'eau et de roches, se cache le plus grand écosystème microbien intraterrestre.

chiffre était tombé à 1 million. Il descend ensuite jusqu'à une centaine de cellules à 1500 m, avant d'osciller en fonction des couches traversées, puis de remonter à 10 000 cellules par centimètre cube au point le plus bas du forage, à 2458 m. *"S'il est possible, pour des micro-organismes, de survivre à haute pression, sans oxygène, sans lumière et sans eau, à des kilomètres de la surface... pourquoi ne sont-ils pas plus nombreux?"*, s'étonne Julie Huber.

Deux hypothèses étaient avancées jusqu'ici pour expliquer comment ces microbes ont envahi la croûte terrestre:

trouve dans les sols forestiers", indique l'équipe. De nombreuses bactéries communes en milieu terrestre, mais rares dans les sédiments marins classiques, ont aussi été identifiées.

DE NOMBREUSES ÉNIGMES

Or, ces couches se sont révélées être d'anciennes zones humides terrestres, riches en végétaux et sillonnées de veines de charbon, enfouies dans les profondeurs océaniques par le jeu de la tectonique des plaques il y a 20 millions d'années.

Tout laisse donc penser que nous sommes face à un véritable monde englouti: les

A lire : le rapport de l'expédition japonaise, et d'autres publications scientifiques.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



ADN de la pieuvre Il révèle une autre histoire de l'intelligence

Pour un mollusque, la pieuvre réalise des prouesses hors norme. Or, son génome révèle que son intelligence a emprunté un chemin évolutif également hors norme. Un secret que nous dévoile **Alexandra Pihen**.

Sa peau est sensible à la lumière. Elle est capable d'utiliser des outils. Elle ruse, joue et mémorise même ce qu'elle apprend. On l'a vue sortir de l'eau et déposer un crabe – dont elle raffole – sur la terre ferme pour le manger plus tard, avant de retourner respirer dans son

élément naturel. Pas de doute : à mesure que les chercheurs observent la pieuvre, la liste de ses prouesses s'allonge. Sur-tout, chaque nouvelle découverte déroute un peu plus : par quel mystère ce mollusque fait-il preuve de talents qui sont *a priori* l'apanage des vertébrés ? Imaginerait-on une palourde faire preuve de comportements aussi sophistiqués ?

L'idée semble absurde. Et pourtant. La pieuvre partage la même lointaine ascendance que les mollusques à coquille – ses ancêtres portaient eux aussi ces protections de calcaire –, mais elle a suivi un chemin évolutif à part. Il y a 276 millions d'années environ,

elle a troqué sa coquille contre huit bras munis de ventouses. Et son système nerveux a drastiquement changé pour la doter des talents qu'on pensait jusqu'ici réservés aux mammifères, champions usuels des systèmes nerveux complexes.

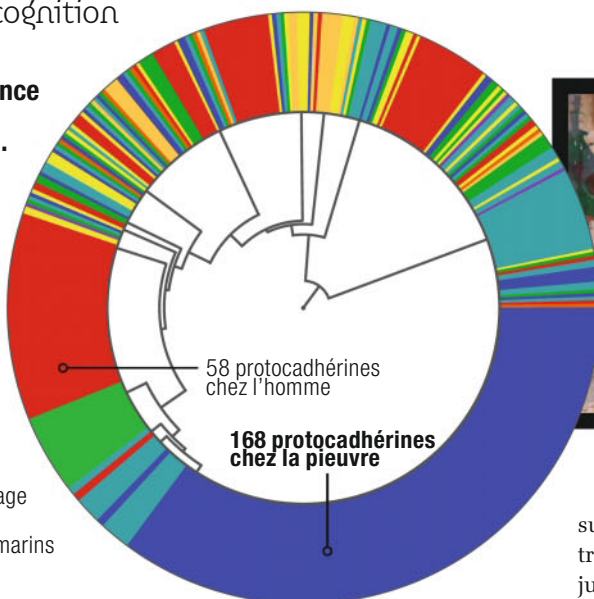
Ce destin hors du commun, ce sont ses gènes qui en témoignent. Précisément ceux de la petite pieuvre à deux points de Californie, *Octopus bimaculatus*. Cette variété est le premier céphalopode (lire "Jargon") à avoir fait l'objet d'un séquençage génétique complet. A l'instar des éthologues qui étudient son comportement, l'équipe internationale de généticiens qui vient d'en

Repères

Pour les chercheurs, l'évolution de l'intelligence est avant tout liée à la taille du cerveau, ainsi qu'à des critères tels que la densité des connexions, la diversité des neurones... Notre volumineux cerveau dispose ainsi de connexions très nombreuses et rapides entre des régions éloignées. Rien de tel chez les céphalopodes, dont le cerveau, logé dans une capsule cartilagineuse dans la tête, est beaucoup moins gros.

Des gènes liés à l'intelligence sont particulièrement présents chez la pieuvre...

Dans l'arbre du vivant, les protocadhérines, des gènes codant pour des protéines essentielles aux connexions nerveuses, s'avèrent trois fois plus nombreuses chez la pieuvre (en bleu) que chez les mammifères (dont l'homme, en rouge), et dix fois plus que chez les invertébrés.



suggère que l'évolution a pu trouver un chemin inconnu jusqu'ici pour élaborer une forme différente d'intelligence.

Le fait est que le système nerveux des poulpes ne ressemble en rien à celui des mammifères: les neurones des céphalopodes, répartis entre le système nerveux central et les systèmes périphériques, manquent de myéline, cette substance qui, en recouvrant les fibres nerveuses des mammifères, leur permet de transmettre des messages rapidement à des régions éloignées du corps. En clair: les neurones de la pieuvre ne fonctionnent bien qu'à courte portée! Or, l'une des clés de l'intelligence humaine est justement la communication rapide entre des régions éloignées du cerveau. Le petit céphalopode semblait donc *a priori* bien peu gâté par l'évolution... Sauf à considérer que ses talents cognitifs trouvent leur origine dans une autre organisation nerveuse. Ce qui semble justement être le cas.

"La pieuvre a développé une famille de gènes spécifiques pour un contrôle nerveux précis traduisant des compétences élaborées. Trouver autant de protocadhérines confirme sa position d'animal sophistiqué capable de résoudre des

quand, n'importe comment... Mais ça fonctionne!", s'exclame Laure Bonnaud-Ponticelli, spécialiste des céphalopodes au Muséum national d'histoire naturelle.

C'EST UN "EXTRATERRESTRE" !

Dans ce merveilleux désordre, une poignée de familles de gènes apparaît cependant plus développée que chez les autres mollusques. Et l'une d'elles a particulièrement retenu l'attention des chercheurs: les protocadhérines. C'est la présence massive – 168 gènes de protocadhérines chez *Octopus*, contre 58 chez *Homo sapiens* (voir l'infographie) – de cette famille de gènes dans le génome de la pieuvre qui

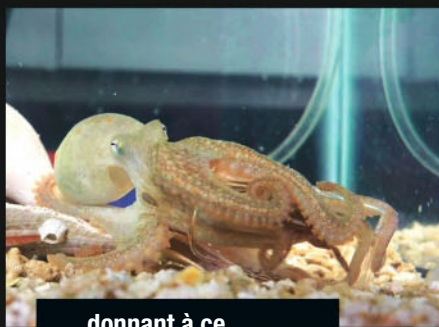
Avant d'arriver à cette conclusion, les biologistes ont d'abord éprouvé le caractère hors norme de son génome. Il est colossal: 2,7 milliards de paires de bases (3,4 pour l'homme). Il contient 33 000 gènes codant pour des protéines, contre 20 000 à 25 000 pour l'homme, une centaine de gènes exclusifs de l'espèce, apparemment désorganisés les uns par rapport aux autres... "*Octopus bimaculatus présente un modèle évolutif qui n'est pas conventionnel, des réponses comportementales qui ne sont pas conventionnelles, un génome énorme, des gènes qui sont disposés n'importe où, n'importe*

“

LAURE BONNAUD-PONTICELLI

Spécialiste des céphalopodes au Muséum national d'histoire naturelle

Son modèle évolutif et ses réponses comportementales ne sont pas conventionnels, son génome est énorme, ses gènes disposés n'importe où, n'importe comment... et pourtant ça fonctionne !



... donnant à ce mollusque des capacités cognitives uniques

Dans les aquariums des laboratoires, la pieuvre a montré qu'elle savait utiliser des outils, mémoriser des informations, apprendre de nouveaux comportements. Elle ouvre ici un bocal pour attraper le crabe qui se trouve à l'intérieur.

problèmes complexes", estime Trevor Wardill, généticien spécialiste des céphalopodes. En effet, ces gènes, jusqu'ici attribués aux capacités cognitives élevées des vertébrés, jouent un rôle essentiel au niveau des liaisons cellulaires et régulent les connexions neuronales. Or, *Octopus bimaculatus* contient dix fois plus de protocadherine que les invertébrés, et presque trois fois plus que les mammifères ! De quoi faire fonctionner un système nerveux complexe basé sur des communications de courte portée.

De quoi, surtout, révéler un cas tout à fait étonnant de convergence évolutive – c'est-à-dire l'apparition de caractères communs, ici un système nerveux complexe, entre deux groupes ne partageant pas les mêmes ancêtres – avec les vertébrés. Au point que cette découverte déstabilise la classique conception "vertébré-centrée" de l'intelligence...

"Lorsque nous expérimentons les comportements de la pieuvre, nous avons vraiment l'impression d'étudier un extraterrestre ! Grâce aux résultats obtenus sur *Octopus bimaculatus*, on va peut-être nous croire plus facilement !", espère Ludovic Dickel, responsable du groupe Mémoire et plasticité à

l'université de Caen. "On commence juste à traduire le grand dictionnaire du céphalopode. Il va falloir élaborer de nouvelles hypothèses", s'émerveille Laure Bonnaud-Ponticelli. D'autres génomes, comme celui de la seiche, devraient d'ailleurs permettre d'enrichir ce dictionnaire.

Car il reste à comprendre comment le génome de la pieuvre s'est singularisé aussi nettement. Et si les autres céphalopodes se distinguent par d'autres particularités.

En attendant, la foisonnante complexité du génome de la petite pieuvre californienne n'en finit pas de dérouter les généticiens. "Le génome d'*Octopus bimaculatus* semble avoir été passé au mixeur, illustre Caroline Albertin, du département de biologie et d'anatomie de l'université de Chicago, première auteure de l'étude. Il présente une organisation qu'on ne connaît ni chez les vertébrés, ni chez les invertébrés."

Et Oleg Simakov, de l'Institut pour la science et la technologie d'Okinawa (Japon), coauteur de l'étude, d'ajouter que "l'évolution semble avoir doté la pieuvre de spécificités par rapport à ses ancêtres qui contribuent sans doute à l'évolution de nouvelles règles

Jargon

Dans la famille des mollusques, **le poulpe** (du grec *polypous* "plusieurs pieds") ou **la pieuvre** (nom introduit par Victor Hugo dans son roman *Les Travailleurs de la mer*) est un **céphalopode** de la sous-classe des coléoides, caractérisés par 8 bras et une coquille interne très réduite ou inexistante. Cousin de la seiche et du calmar, l'**octopode** n'a, lui, ni coquille ni tentacules.

en matière d'organisation et d'utilisation des gènes".

Des règles d'organisation nouvelles du génome, un génome remanié et, à la clé, un mollusque bel et bien hors norme. Auquel le naturaliste Théodore Monod déjà, en 2000, prêtait grand destin : "Pourquoi ne verrait-on pas un jour l'évolution obstinée, lancer à la pointe des avant-gardes un autre groupe pour relayer celui qui pourrait avoir disparu ? [...] Au cas où les hommes ou les primates viendraient à disparaître, [...] je crois avoir un candidat [pour les remplacer] : les céphalopodes. [...] Ils sont doués d'un psychisme hautement développé." Une prédiction à laquelle les récentes découvertes sur la pieuvre à deux points apportent un singulier écho.

A consulter : l'étude sur l'ADN de la pieuvre.

A voir : une vidéo de la pieuvre à deux points en action.

science-et-vie.com



DE L'EAU SUR MARS !

- Pourquoi le doute n'est plus permis
- Ce que cela change

Cette fois, c'est sûr. Fin septembre, la Nasa annonçait la présence d'écoulements d'eau le long de quatre cratères de Mars. Une eau qui, pour être hyper-salée, met fin à une très longue quête. Surtout, elle pose plein de nouvelles questions. **Serge Brunier** et **Mathieu Grousson** remettent l'événement en perspective.

DES PREMIERS INDICES PHOTOGRAPHIQUES

Dans de nombreux cratères près de l'équateur martien (ici près de Sirenum Fossae), la caméra de la sonde *Mars Reconnaissance Orbiter* a photographié des traînées évoquant des écoulements.

Contexte

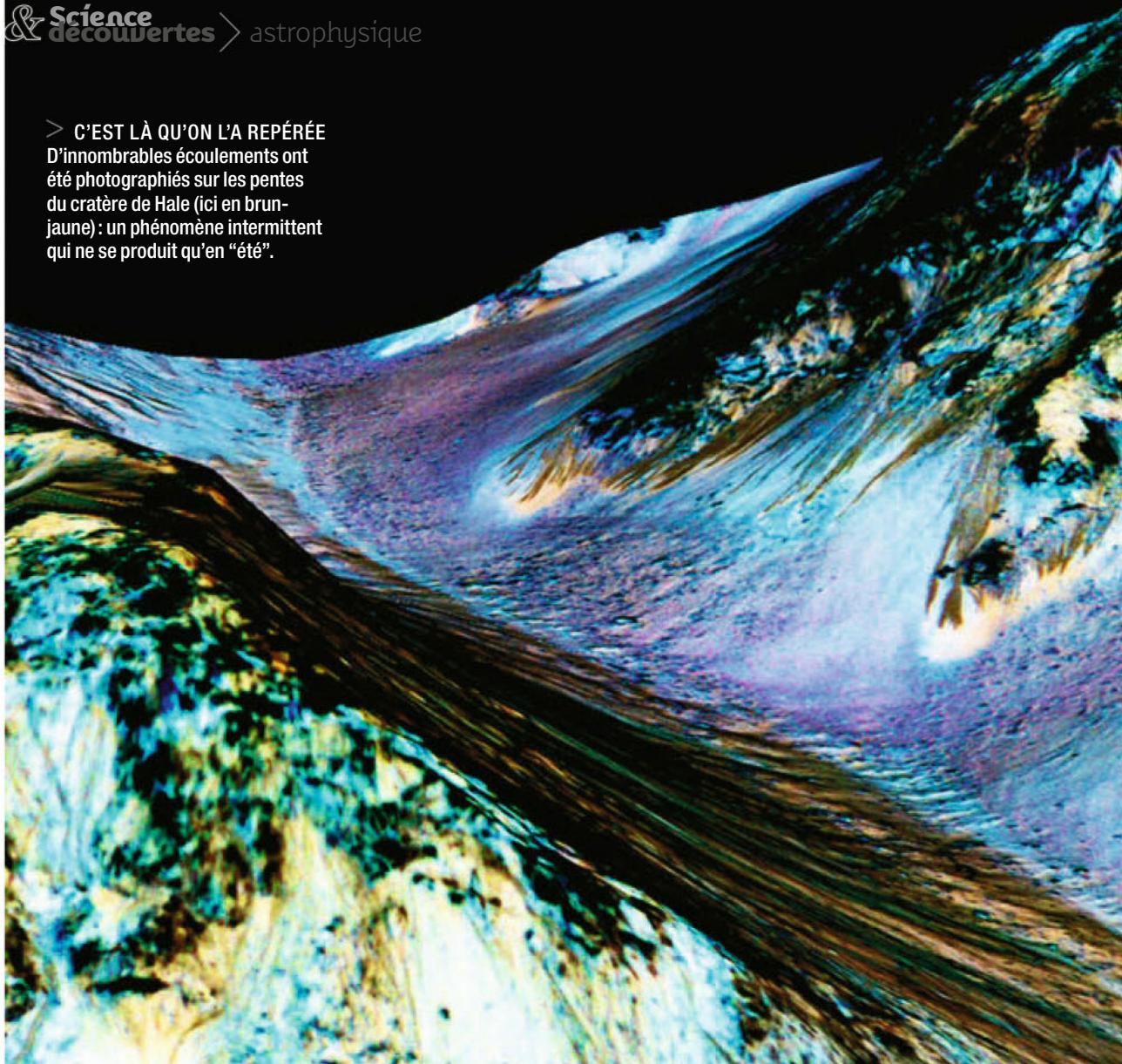
Depuis les sondes *Mariner*, dans les années 1960, chaque mission de recherche de l'eau sur Mars a été l'occasion de rebondissements. Avec *Mars Reconnaissance Orbiter*, lancée en 2005, la traque s'est concentrée autour de quatre cratères : Palikir, Horowitz, Hale et Coprates Chasma... avec succès.



NASA/JPL-CALTECH/UNIV. OF ARIZONA

> C'EST LÀ QU'ON L'A REPÉRÉE

D'innombrables écoulements ont été photographiés sur les pentes du cratère de Hale (ici en brun-jaune) : un phénomène intermittent qui ne se produit qu'en "été".



Quatre siècles ou presque. Quatre siècles que les astronomes observent la planète rouge et y découvrent, ou croient y découvrir, de l'eau, de la vie, de l'eau, de la vie... et ce, à chaque décennie.

Il est vrai que la recherche de l'eau liquide sur Mars, aussi vieille que la lunette de Galilée, est consubstantielle à celle de la vie, les biologistes s'entendant tous pour dire que sans ce solvant miracle, point d'ex-traterrestre dans le ciel, qu'il

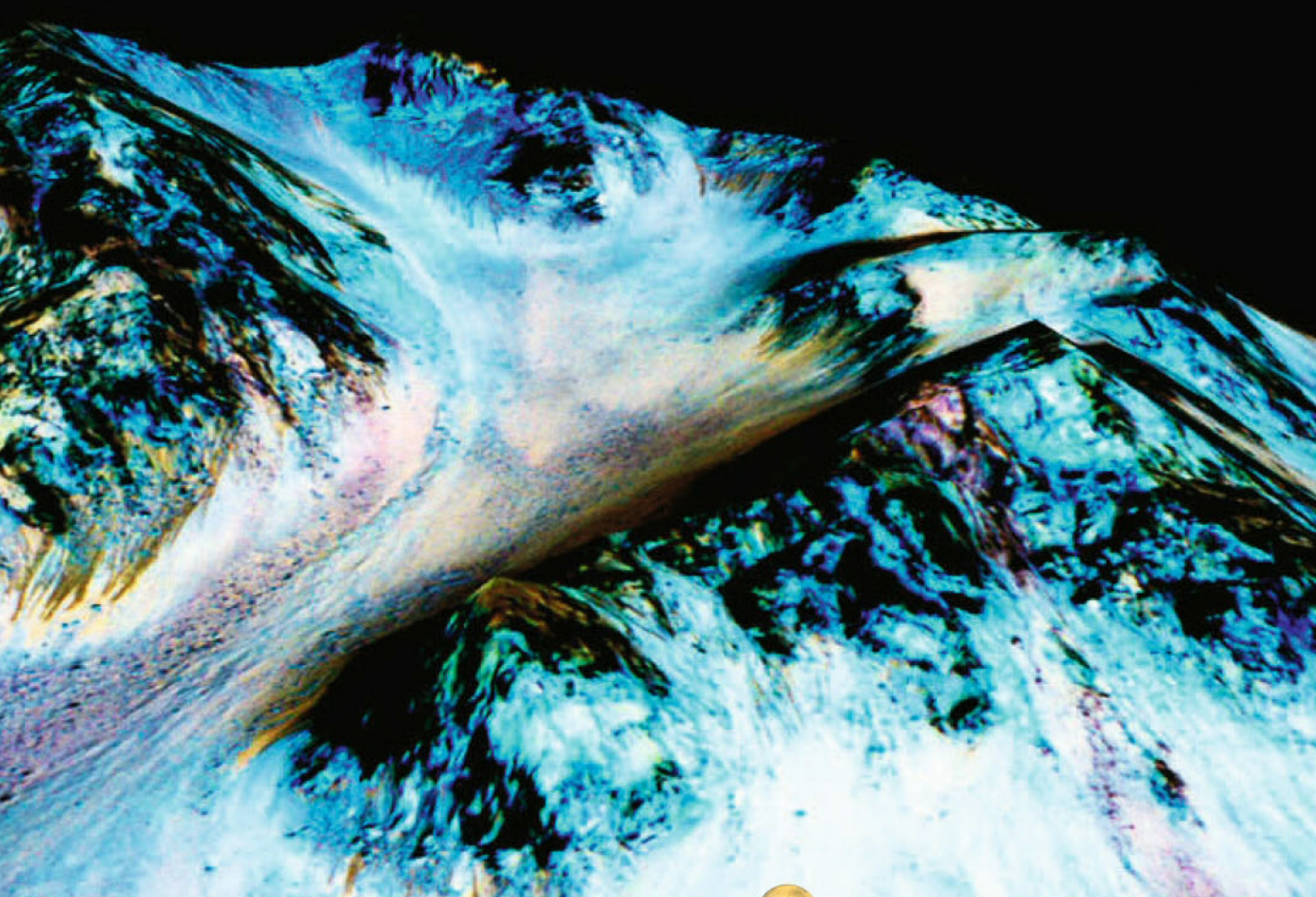
soit bactérien, lichen ou petit homme vert.

Et de l'eau, c'est peu dire qu'il en a coulé sur Mars...

Au XIX^e siècle, les savants l'imaginaient drainée de flots furieux, des calottes polaires aux déserts équatoriaux. Au début du XX^e siècle, on se persuada qu'il en fallait, et même beaucoup, pour expliquer les extraordinaires changements saisonniers à la surface martienne, changements que les astronomes suivaient, fascinés,

depuis leurs télescopes du mont Wilson, de Junipero Serra Peak, de Catalina ou du Pic du Midi. L'astronome Eugene Antoniadi, grand spécialiste de Mars, écrivait ainsi en 1924, après ses observations à la Grande Lunette de Meudon : *"Non seulement les plages vertes, mais aussi des surfaces grisâtres ou bleues, tournaient sous mes yeux au brun, au brun lilas ou même au carmin. C'étaient là, presque exactement, les couleurs des feuilles*

NASA/JPL-CALTECH/UNIV. OF ARIZONA



tombant des arbres en été et en automne dans nos latitudes.”

Et puis, patatras ! Dans les années 1970, les sondes spatiales américaines brisèrent le rêve, violemment. Certes, elles ont montré que la surface de Mars conservait les traces du passage de l'eau : vallées profondes, canyons encaissés, traces d'érosion... Le précieux liquide avait dû dévaler les pentes de la planète rouge. Mais c'était il y a 3 ou 4 milliards d'années, quand elle était plus chaude et plus humide.

AUCUN DOUTE CETTE FOIS !

Aujourd'hui, Mars ressemble à un désert absolu, sec, au froid sidéral.

Ses canaux ? Une illusion collective due au fantasme impérieux que la petite sœur de la Terre soit elle aussi habitée. Les changements de couleurs et de

formes ? D'immenses nuées de poussières soulevées par les tempêtes du désert...

Un demi-siècle plus tard, on sait enfin... Cette immense saga de quatre siècles vient de trouver son épilogue – et il est heureux ! De fait, une équipe franco-américaine l'a annoncé par la voix discrète d'une publication dans la revue *Nature Geoscience*, puis celle, tonitrueuse, d'une conférence de presse événement à la Nasa, le 28 septembre dernier : de l'eau liquide s'écoule bel et bien sur Mars. Oui : de l'eau liquide ! Et qui coule encore aujourd'hui !

Aucun doute cette fois ? La science en est-elle vraiment sûre ? Ne s'agit-il pas d'un énième effet d'annonce voué à se dégonfler ?

Il semble que non. Cette fois, plus personne n'en doute... En fait, les spécialistes ne sont



D'OÙ VIENT CETTE EAU ?

C'est le nouveau casse-tête ! Les auteurs de la découverte penchent pour une origine atmosphérique : comme un déshumidificateur d'intérieur, les sels du sol capteraient l'eau de l'atmosphère avant de se liquéfier au plus chaud de la journée. *“Je ne dis pas que c'est impossible, réagit François Forget (laboratoire de météorologie dynamique, Paris), mais vu la très faible humidité relative de l'atmosphère martienne, ce serait très surprenant.”* Autre hypothèse : un dépôt de givre pendant l'hiver... Mais il devrait se transformer en gaz, sans passer par l'état liquide, avec la chaleur. Reste l'hypothèse du sous-sol. Sauf que, selon Marion Massé (Laboratoire de planétologie et de géodynamique, Nantes), *“non seulement on s'attend plutôt à trouver de la glace en sous-sol à des latitudes plus élevées, mais le permafrost martien a une origine très ancienne. Or, pour expliquer ces écoulements saisonniers, il faudrait pouvoir le recharger périodiquement, sans que l'on sache comment à ce jour”.* M.G.



→ pas surpris. Ils le soup-
 çonnaient depuis 2011
 (voir *S&V* n° 1121, p. 70). De-
 puis que la sonde américaine
Mars Reconnaissance Orbiter
 (MRO), véritable “satellite es-
 pion” qui scrute Mars en per-
 manence avec une résolution
 de 25 cm, a littéralement pho-
 tographié en direct des écoule-
 ments à sa surface !

UNE SAUMURE SALE ET GLACÉE

Sur les clichés, ils apparaissent
 foncés, sortes de marbrures
 noires, larges de quelques
 mètres et long de plusieurs
 centaines, s’écoulant lente-
 ment sur les parois inclinées
 des dunes ou sur les bords des
 cratères. Et ils sont intermit-
 tents : le phénomène ne se pro-
 duit qu’en été. Les scientifiques
 l’appellent “RSL” : *Recurring
 Slope Linea*, soit, en français,
 “lignes de pentes récurrentes”.
 Mais jusque-là, impossible de
 prouver qu’il s’agissait bien
 d’eau liquide...

Des expériences en labora-
 toires avaient bien montré que
 malgré la pression et la tempé-
 rature glaciaire, de l’eau saturée
 de sel pourrait très bien rester

à l’état liquide assez longtemps
 pour couler par des tempéra-
 tures négatives, avant de se su-
 blimer dans l’atmosphère.

Plusieurs éléments plaidaient
 bien en faveur d’eau liquide :
*“D’abord la couleur, 40 % plus
 sombre que le terrain environ-
 nant, de même que le sable
 mouillé est plus sombre que du
 sable sec ; ensuite, le fait que ces
 écoulements se répètent d’au-
 tant plus que la température est
 élevée ; enfin, leur lenteur, alors
 qu’un écoulement sec est plu-
 tôt brutal”*, liste Marion Massé,
 du laboratoire de Planétologie
 et de géodynamique de Nantes,
 cosignataire de la publication.

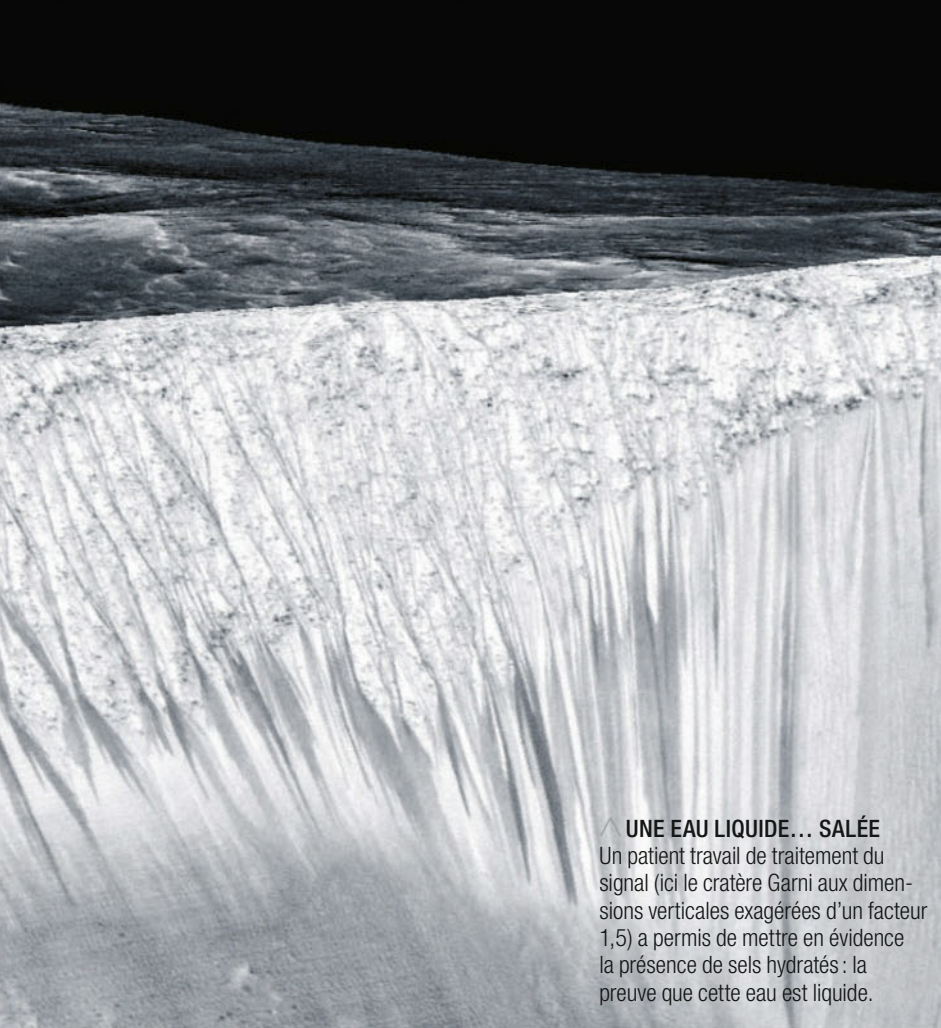
Mais il pouvait aussi s’agir
 d’écoulements secs, c’est-à-dire
 d’une banale glace carbonique
 mêlée de roches et de pous-
 sières. L’affaire rappelant la der-
 nière controverse en date, au dé-
 but des années 2000, lorsque la
 Nasa avait – déjà ! – annoncé la
 présence d’eau liquide, images
 de ravines à l’appui, avant que
 les planétologues ne montrent
 qu’il pouvait s’agir d’écoule-
 ments secs (voir *S&V* n° 1021,
 p. 106). Alors ? Banal dioxyde
 de carbone ou miraculeuse eau

NASA/JPL-CALTECH/UNIV. OF ARIZONA



LA VIE PEUT-ELLE ALORS EXISTER

Oui... et non. Oui, une vie extrémophile de
 type terrestre pourrait survivre dans les
 conditions drastiques des filets d’eau
 boueux et salés de Mars. *“Dans le désert
 d’Atacama, au Chili, on observe la forma-
 tion d’eau par un mécanisme similaire à
 celui mis en évidence sur Mars. Les sels
 impliqués ne sont pas aussi agressifs que
 les perchlorates, mais des bactéries tirent
 parti des saumures ainsi engendrées”*,
 remarque ainsi Marion Massé (laboratoire
 de Planétologie et de géodynamique,
 Nantes). Ce à quoi Michel Cabane, au Lat-
 mos (Paris), ajoute : *“Sur Terre, certaines
 bactéries extrémophiles parviennent
 même à extraire de l’énergie de perchlo-
 rates.”* Mais envisager l’épanouissement
 d’une vie martienne dans pareil environ-
 nement est une autre affaire. De fait,



▲ UNE EAU LIQUIDE... SALÉE

Un patient travail de traitement du signal (ici le cratère Garni aux dimensions verticales exagérées d'un facteur 1,5) a permis de mettre en évidence la présence de sels hydratés : la preuve que cette eau est liquide.

liquide? Scott Murchie, responsable du spectromètre sur *MRO*, à l'université Johns-Hopkins, a vite trouvé comment trancher: *"Si les RSL sont causés par des écoulements d'eau, on devrait observer la signature de sels hydratés. S'ils résultent d'un mécanisme sec, il ne devrait pas y en avoir."*

Problème: l'imageur de *MRO* fournit des images en haute résolution... mais ne dit rien de la composition chimique des terrains photographiés. Quant à son spectromètre, s'il est capable d'analyser la composition chimique des terrains, sa résolution n'est que de 18 m. *A priori* trop grossier pour étudier un phénomène de quelques mètres de large.

A priori seulement... Car les scientifiques ont contourné l'obstacle en se concentrant sur quatre sites où les traces étaient les plus larges et les plus visibles: les cratères Palikir,



SUR MARS AUJOURD'HUI?

impossible de mettre de côté le fait que la surface de Mars est soumise à un intense bombardement cosmique de particules et d'ultraviolets incompatibles avec le maintien de la vie en surface. Sans oublier que les écoulements mis en évidence ne sont qu'intermittents... Raison pour laquelle, selon Michel Cabane, c'est plutôt la manière dont le contexte général est éclairé par la découverte des saumures qui est à prendre en considération: *"Je ne m'attends pas à trouver de la vie dans les RSL. Mais cette eau peut laisser envisager qu'existent ailleurs des poches souterraines d'eau saumâtre dans lesquelles des micro-organismes auraient pu survivre après que Mars ait été privée de son eau de surface et, qui sait? Peut-être jusqu'à aujourd'hui."*

M.G.



CELA BOULEVERSE-T-IL LES FUTURES MISSIONS D'EXPLORATION DE MARS?

Pour les spécialistes, il convient d'abord de poursuivre l'analyse des écoulements depuis l'espace, *"avec une meilleure résolution et à différents moments de la journée pour préciser lesquels sont potentiellement les plus habitables"*, juge Scott Murchie (mission *MRO*). Prélude à une analyse d'échantillons *in situ*? A ce jour, aucune agence n'est en mesure de poser un atterrisseur sur les pentes inclinées à 30° d'un cratère, et il n'est pas garanti qu'un rover s'y sent très à l'aise. *"La question se posera sans doute pour le choix du terrain d'atterrissage du Mars 2020, successeur de Curiosity actuellement sur Mars"*, note Olivier Gasnault (Irap, Toulouse). Mais il faut garder à l'esprit que ces écoulements sont particulièrement peu accessibles. De plus, si on s'attend à détecter des traces de vie présente, la stérilisation du matériel devra être drastique pour éviter que les robots analysent de la vie... terrestre. Comme le précise François Raulin (laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques): *"On sait le faire, mais à des coûts absolument exorbitants..."*

M.G.



LA NOTION DE "ZONE HABITABLE" DOIT-ELLE ÊTRE REPENSÉE ?

"Il faut surtout admettre que la frontière séparant un environnement habitable d'un environnement non habitable est une zone floue", tranche Michel Cabane (Latmos). Pour les spécialistes, une exoplanète se trouve dans la zone habitable de son étoile si elle permet la présence massive d'eau liquide à sa surface. "C'est une définition opératoire, explique François Forget (laboratoire de Météorologie dynamique, Paris): si on veut avoir la moindre chance de détecter de la vie à distance, il faut que sa présence soit massive." De ce point de vue, Mars n'est donc pas habitable, même maintenant que l'on a découvert qu'un peu d'eau coule parfois à sa surface... Mais dans notre système solaire, l'habitabilité peut revêtir des formes très variées. "Je suis très ouvert, confie Franck Selsis (observatoire de Bordeaux). L'océan sous-glaciaire d'Europe, les brumes de Titan pourraient constituer des environnements habitables." Et donc pourquoi pas, désormais, les eaux saumâtres de Mars! L'astrophysicien poursuit: "Ces environnements situés sur une planète par ailleurs probablement inhabitable à 99 % pourraient aider à concentrer des processus chimiques complexes. Qui sait si de tels environnements n'ont pas contribué à l'apparition de la vie sur la Terre?" Et Michel Cabane d'ajouter: "Sur Terre, nous avons découvert de la vie dans les endroits les plus inhospitaliers. Il faut avoir l'esprit le plus large possible quant à ce qu'on appelle un environnement habitable."

M.G.

→ Horowitz, Hale et Coprates Chasma. Puis ils ont isolé sur chaque photo les quelques pixels dans lesquels ils imaginaient que le signal serait le plus fort, et ont épluché quatre ans d'images prises à des moments différents. Un patient travail de traitement du signal qui a permis de sortir enfin la précieuse analyse: des sels hydratés, des perchlorates, sont bel et bien présents dans les RSL.

La preuve qu'il y a bel et bien de l'eau liquide sur Mars.

Précisément, les sels du sol martien captent de l'eau jusqu'à ce qu'à la faveur des températures clémentes de la mi-journée, en été (-20°, 0°, voire exceptionnellement

+20 °C), la concentration en eau augmentant, une transition liquide se produise et qu'il se forme un écoulement... *"Il n'y a pas d'autre mécanisme évident qui permette d'expliquer les écoulements et la présence de perchlorates", conclut Scott Murchie.*

"C'EST UNE TRÈS BELLE HISTOIRE"

"On peut toujours essayer d'imaginer autre chose, mais rien d'évident ne vient à l'esprit", convient Nicolas Mangold, au laboratoire de Planétologie et de géodynamique de Nantes, résumant ainsi l'avis de la grande majorité des spécialistes. Certes, il s'agit d'une interprétation et non d'une

preuve directe... mais personne ne doute de sa validité.

"C'est une très belle histoire, salue François Forget, spécialiste de Mars au laboratoire de Météorologie dynamique, à Paris. Ils ont proposé un scénario, en ont tiré une prédiction et l'ont vérifiée par l'observation!"

Bien sûr, il ne s'agit ni de rivières ni de fleuves... Rien, par exemple, ne ressemblant au cataclysme de Ravi Vallis qui, voici plus de 3 milliards d'années, a littéralement transporté des montagnes martiennes sous l'effet d'une force inouïe – mille Amazone en crue! Non... Il faut plutôt imaginer une boue glacée, salée et mêlée de poussières, qui fond au soleil d'été, dévale les pentes et se fige une fois l'eau contenue dans la saumure évaporée ou à nouveau gelée.

Mais il s'agit d'eau liquide. Ce solvant miraculeux sans lequel les molécules refusent de s'assembler en édifices complexes. Ce catalyseur de réactions chimiques au cœur de toutes les formes de biologies. Des bactéries pourraient-elles survivre dans cette boue? Faut-il dérouter rovers et sondes pour aller l'analyser? Cela fait-il de la planète rouge une terre habitable? Les questions s'accumulent. Les réponses sont encore provisoires (voir encadrés). Il faudra du temps pour que se répercute l'onde de choc provoquée par la découverte. Mais déjà, on peut réécrire les livres.

Il y a, dans l'Univers, deux planètes sur lesquelles l'eau coule: la Terre, et Mars.

A lire ou à relire : la saga de l'eau sur Mars dans *Science & Vie*.
A voir : les ravines martiennes en vidéo.



**EN
SAVOIR
PLUS**

science-et-vie.com

spéciale !

35,90 € seulement
au lieu
de 51,60 €

1 an - 12 numéros

Soit
30%
de réduction

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

- ☒ **Oui, je profite de l'offre spéciale rentrée et je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 n°)**
pour **35,90 €** au lieu de ~~51,60 €~~
soit 30% de réduction
- 847 632
- ☐ **Je préfère m'abonner à Science & Vie pour 1 an (12 n°)**
+ 6 hors-séries pour 55,90 € au lieu de ~~83,20 €~~*
soit 33% de réduction
- 847 640

A silver laptop is shown from a slightly elevated angle. The screen displays the Science Vie website, which features a dark background with a large, glowing, abstract shape resembling a skull or a celestial body. The text "SCIENCE VIE" is prominently displayed at the top in a bold, orange font. Below the main image, there are several smaller images and text blocks, including a section titled "MÉTÉORITE" and another titled "LES ÉTOILES". The laptop is open, and the keyboard is visible.

NOUVEAU ! Recevez
la version numérique
OFFERTE avec votre
abonnement papier !

 Disponible sur
KiosqueMag.com

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment...) : _____

Code Postal : [][][][][] Ville : _____

Tél : [][][][][][][][] Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail : _____

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐

☐ CB

Expire à fin Code Crypto

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

****Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/01/2015 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,30€, chacun des 4 hors-séries au prix de 4,95€ et chacune des deux éditions spéciales au prix de 5,95€. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées. Science & Vie - TSA 10005 8 rue François Ruy 92543 Montrouche cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €**

©Designed by Freepik

LES HEURES SUP' AUGMENTENT LE RISQUE D'AVC

Travailler entre 49 et 54 h, ou plus de 55 h/semaine (au lieu de 35 à 40 h) augmente respectivement de 27 et 33 % le risque d'être victime d'un accident vasculaire cérébral. C'est ce qu'a montré une analyse de la littérature scientifique regroupant les données sur plus de 600 000 personnes. "The Lancet", août 2015

UN SAVON ANTIBACTÉRIEN N'EST PAS PLUS EFFICACE POUR TUER LES MICROBES

Au quotidien, un savon antibactérien n'a pas plus d'effet contre les microbes qu'un savon ordinaire. C'est la conclusion d'une étude menée par des chercheurs coréens sur le triclosan – principal antiseptique utilisé dans les produits hygiéniques et cosmétiques. Seize volontaires se sont nettoyés les mains durant trente secondes avec du triclosan sans qu'aucune différence d'activité bactéricide n'ait été observée: il faudrait l'appliquer pendant plus de neuf heures pour constater un effet! Diverses études ont en revanche montré ses effets indésirables: résistance aux antibiotiques, bioaccumulation, perturbation endocrinienne, allergies et toxicité. "JAC", sept. 2015



ÊTRE GOTHIQUE RÉVÉLERAIT UN RÉEL MAL-ÊTRE

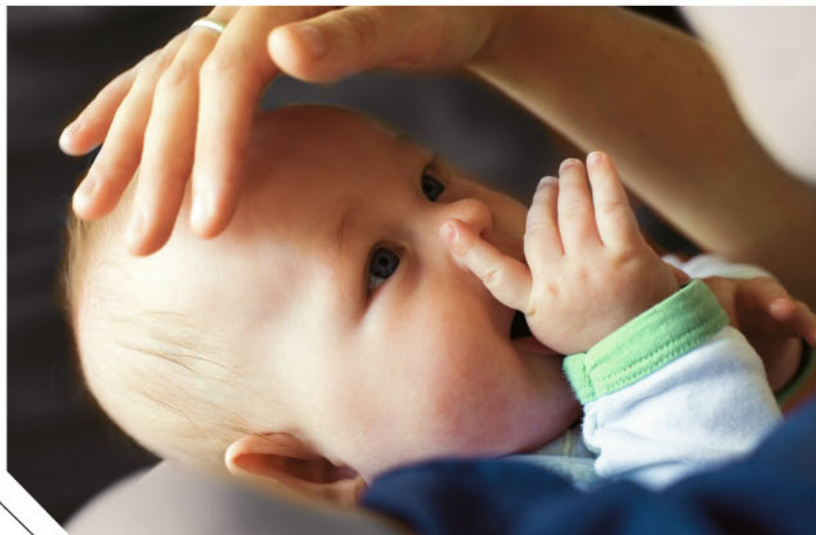
Maquillage noir, références morbides... Le style des adolescents gothiques inquiète avec raison leurs parents: une étude britannique a montré que les jeunes gothiques de 15 ans sont 3 fois plus sujets à la dépression à 18 ans. "The Lancet Psy.", août 2015

BOIRE DE L'EAU AVANT LE REPAS AIDE À MAIGRIR

Des chercheurs britanniques ont conseillé à 41 obèses de boire 500 ml d'eau une demi-heure avant chaque repas. Résultat: ils ont perdu 1,2 kg de plus en trois mois que les 43 obèses n'ayant pas reçu ce conseil. Et même 3,5 kg de plus en s'y tenant parfaitement! "Obesity", sept. 2015

LA PEAU DES GENS QU'ON AIME PARAÎT PLUS DOUCE

Vous trouvez que vos enfants et votre partenaire ont la peau douce? Simple illusion, affirment des chercheurs londoniens qui ont démontré, par diverses expériences réalisées grâce à 133 volontaires, une tendance générale à surestimer la douceur de la peau des gens que l'on caresse. Un biais qui pourrait s'être imposé par sélection naturelle afin de favoriser les liens sociaux. En effet, plus les volontaires ont l'impression de faire plaisir à la personne qu'ils caressent, plus ils trouvent sa peau douce... et donc plus ils en tirent probablement, eux aussi, du plaisir. Bonne nouvelle, donc: si vous pensez avoir la peau plus rêche que la moyenne, ce pourrait bien n'être qu'une impression. "Curr. Biol.", sept. 2015



HANSCHKE/REUTERS - S.EROME/SIGNATURES-ARTPARTNER/ANDIA-PLANPICTURE



CONNAÎTRE SA CONSOMMATION PERMET DE MOINS DÉPENSER

Plus l'information est précise, plus la réduction de consommation d'électricité est importante. C'est ce que viennent de démontrer des chercheurs du CNRS et de l'université de Nice en suivant pendant plus d'un an une soixantaine de ménages. Trois groupes ont été formés : un groupe ayant accès à volonté à sa consommation générale ; un deuxième ayant en plus accès au détail, appareil par appareil ; et un groupe témoin, sans apport de technologie informative. Chez les deux premiers groupes, la réduction de la consommation a été d'autant plus importante que l'information était détaillée – 23 % de réduction pour les plus informés. Et, fait intéressant, les témoins, par autosensibilisation, ont également réduit leur consommation de 13 %. La technologie est donc utile, mais pas indispensable, pour faire des économies d'énergie. "Journal of Strategy and Management", août 2015

GRANDIR EN COLLECTIVITÉ NE REND PAS PLUS VIOLENT

L'âge auquel les enfants commencent à être gardés en collectivité n'influence pas leur niveau d'agressivité à 4 ans. C'est ce qu'ont montré des chercheurs norvégiens ayant suivi près de mille enfants entrés en crèche entre 12 et 18 mois. "Psychol. Sci.", août 2015

CERTAINS DESSINS ANIMÉS POUSSENT PLUS À GRIGNOTER

Après avoir suivi des personnages de dessins animés ou de BD aux formes enrobées (humains ou non), les enfants mangent davantage : 4 cookies au lieu de 3, selon une étude américaine portant sur 60 enfants de 6 à 14 ans. "J. Consum. Psychol.", juin 2015

S'ACCORDER UNE PAUSE LE MATIN REND PLUS EFFICACE

Deux chercheuses de l'université Baylor (Texas) ont suivi 95 employés de bureau pendant une semaine : ceux qui retardaient trop dans la journée le moment de leur pause en tiraient moins de bénéfices en termes de concentration, d'énergie et de motivation. "J. Appl. Psychol.", août 2015

ON S'ENRHUME DAVANTAGE QUAND ON MANQUE DE SOMMEIL

De précédentes études le suggéraient, mais cette fois, c'est définitivement démontré : dormir trop peu augmente le risque d'attraper un rhume. Des chercheurs américains ont en effet mesuré le sommeil de 164 adultes en bonne santé pendant une semaine, avant de leur inoculer le rhinovirus responsable du rhume. Résultat : dans les cinq jours qui ont suivi, ceux qui ont dormi moins de cinq heures par nuit, et ceux qui ont dormi entre cinq et six heures, étaient respectivement 4,5 et 4,2 fois plus nombreux à développer un rhume que ceux ayant dormi plus de sept heures. "Sleep", sept. 2015





^ Chez les tout-petits, la mémoire s'imprègne de sensations et d'émotions, mais ne se structure pas autour de souvenirs précis.



Les ongles des morts continuent-ils de pousser ?

Question de Pauline Darvey, Paris 20^e

Oui, mais très peu de temps ! Pour pousser, ongles et cheveux ont besoin de l'oxygène apporté par les vaisseaux sanguins, qui alimentent les cellules produisant la kératine. Après le décès, le sang ne circule plus, l'apport en oxygène devient nul, la formation de kératine s'arrête. Ongles et cheveux continuent de pousser *"pendant trois ou quatre jours"*, selon le dermatologue Robert Baran, le temps que les cycles cellulaires entamés s'achèvent. L'impression que les ongles poussent encore est aussi due au fait que la peau se rétracte sous l'effet de la déshydratation : le corps peut perdre un litre d'eau par jour. **F.C.**

Peut-on se souvenir de sa naissance ?

Question d'Emilie Zimmer, Bruxelles (Belgique)

"Non, c'est impossible, répond sans hésiter le neuropsychologue Francis Eustache, car les structures cérébrales qui servent à fabriquer les souvenirs ne sont pas encore matures." La mémoire épisodique, qui forge notre autobiographie, se structure vers l'âge de 6 ans et progresse jusqu'à l'adolescence. Petit, l'enfant développe d'abord ses mémoires sémantique et perceptive, qui lui permettent d'acquérir des savoirs et d'enregistrer des informations sensorielles: "Il est imprégné de sensations, d'émotions... Ce contexte spécifique de la petite enfance renforce, une fois adulte, la difficulté à retrouver ses souvenirs", précise Francis Eustache.

Dès lors, comment expliquer cette impression, ressentie par certains, de se rappeler des événements très précoces ?

LE ROMAN FAMILIAL

Ces soi-disant souvenirs de la plus tendre enfance sont trompeurs. *"C'est ce que l'on appelle le roman familial: la vie d'une famille est jalonnée d'événements fédérateurs, maintes fois racontés. On a l'impression de s'en souvenir, mais en réalité, c'est le récit qui permet de reconstituer ces informations et de se les approprier",* explique le chercheur.

Ce qui ne veut pas dire non plus que nous ne gardons aucune trace de notre naissance et de nos premières

années. *"Le bébé baigne dans un univers sensitif. Dans l'utérus, par exemple, le fœtus perçoit des sons qui ne vont pas constituer des souvenirs mais des imprégnations",* nuance-t-il. Des imprégnations qui expliqueraient que des événements traumatiques survenus pendant la grossesse ou la petite enfance puissent avoir un impact sur le développement de l'enfant. Régine Prat, psychanalyste pour enfants, membre de la Société psychanalytique de Paris, en est persuadée: *"Une forme de mémoire, qui échappe à l'évocation classique du souvenir, garde les impressions et les impacts de la période pré- et post-natale."*

N.P.

Est-il plus efficace de se laver les dents avec une brosse électrique ?

Question d'Anne et David Sire, Le Loroux-Botttereau (44)

"Il est prouvé que la brosse à dents électrique permet d'éliminer plus de plaque dentaire pour une même durée de brossage, répond Christophe Lequart, chirurgien-dentiste à Sorigny (37). Ce qui ne signifie pas qu'avec une brosse à dents manuelle, moins chère, on ne puisse pas avoir une bonne hygiène bucco-dentaire." Le problème, c'est que "le brossage dure 45 secondes en

moyenne en Europe, alors qu'il faudrait au moins y consacrer deux minutes!", souligne Christian Verner, à la faculté dentaire de Nantes. Plus que la brosse, c'est se brosser les dents 2 fois par jour pendant deux minutes qui importe, ainsi qu'adopter le bon geste: *"Un mouvement de rouleau qui va de la gencive vers la dent, indique Christophe Lequart, et ce, uniquement dans un sens."* A.LeT.

Que deviennent les vers de terre en cas d'inondation ?

Question de Jean-Luc Esnault, Loufragan (22)

“Ces animaux à ancêtres aquatiques, qui ne peuvent pas se passer d'eau car ils y prélèvent leur oxygène, supportent plusieurs heures d'inondation sans trop de soucis”, répond le biologiste Eric Blanchart, spécialiste des animaux du sol de moyenne taille, à l'Institut de recherche pour le développement de Montpellier. Cela dit, développe le chercheur, *“il arrive que dans certains cas, les vers de terre sortent du*

sol inondé et se dispersent à sa surface à la recherche d'un environnement plus sec”. En mai dernier, les médias américains ont ainsi rapporté qu'à la suite de fortes inondations survenues au Texas, des vers de terre se sont rassemblés sur les routes encore sèches, en étranges tas grouillants alignés le long des voies. Et cela, sans que personne ne comprenne précisément pourquoi... *“Mais il faut*

également tenir compte, reprend l'expert, de la fréquence et de l'intensité des inondations : s'il s'agit d'un milieu fréquemment inondé, une sélection des espèces tolérantes ou adaptées à ce genre de situations se fera naturellement.”

Ainsi, une étude réalisée dans une plaine inondable sur la rive du Rhin, aux Pays-Bas, a montré que si

l'espèce *Lumbricus rubellus* voyait sa population chuter de plus de 40 % lors des inondations, *Allolobophora chlorotica*, lui, n'était quasiment pas affecté.

Quant aux animaux plus gros vivant dans le sol, comme les taupes, ils n'apprécient évidemment pas d'être noyés. Excellentes nageuses, ces dernières peuvent cependant fuir vers des sols plus secs.**K.B.**



Sait-on calculer la puissance du big bang à l'origine ?

Question de Philippe Devaux, Lartigue (32)

Non. Deux fois non, en fait. D'abord, parce qu'aucune énergie n'a été libérée lors du big bang : cet instant originel est simplement défini comme un moment où tout l'Univers était contenu dans un point sans dimension. Il n'a donc pas de puissance. Ensuite, parce qu'il est impossible d'évaluer son

énergie, faute d'équations pour mener le calcul... Car aucune théorie ne décrit le big bang ! Ce n'est que 10^{-43} seconde après le début de l'Univers que le modèle cosmologique commence à donner des chiffres : la densité d'énergie de l'Univers (l'énergie par unité de volume), constante depuis

lors jusqu'à aujourd'hui, est égale à zéro. *“D'après l'équation fondamentale de la cosmologie quantique, l'énergie totale contenue dans l'Univers est nulle, car l'énergie matérielle, positive, est compensée par l'énergie négative, contenue sous la forme gravitationnelle”,* explique Patrick Peter, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Seule une théorie alliant la physique quantique et la relativité générale pourra nous dire s'il est possible de remonter au temps zéro... s'il existe.
B.R.

**GAGNEZ UN
ABONNEMENT
D'UN AN À**

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à la version numérique de Science & Vie (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à : sev.qr@mondadori.fr ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE
QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Orly
92543 MONTROUGE CEDEX



LUNDI-JEUDI 20H-22H
LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT
SIDONIE BONNEC & THOMAS HUGUES

LUNDI 9 NOVEMBRE

LA FRANCE À L'ÉPREUVE DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Avec Vincent Nouyrigat, journaliste.

Manuel de survie
sur la planète rouge

Un vrai film de science et de fiction

Mars, 2035. A cause d'une violente tempête de sable, l'équipage d'*Ares 3* est obligé de renoncer à sa mission et d'évacuer en urgence. Mais l'un des astronautes, Marc Watney (Matt Damon), est touché par un débris. Tenu pour mort, il est condamné à rester sur la planète rouge...

Le thème haletant de la survie dans l'espace n'avait pas été aussi bien rendu au cinéma depuis *Apollo 13* (Ron Howard, 1995). Ceux qui ont vu ce film gardent sans doute en mémoire la fameuse scène où les ingénieurs de la Nasa, sur Terre, s'enferment dans une pièce avec tout le matériel dont disposent les astronautes à bord. Objectif : les aider

à trouver le moyen de faire entrer un embout carré dans un trou rond. Cette scène, la voici, d'une certaine manière, étendue à 2 h 14, pour le plus grand plaisir des amateurs d'énigmes scientifiques.

PLUTÔT DRÔLE

Comment prolonger une mission conçue pour durer seulement 31 jours sur une planète hostile ? Avec quelle source d'énergie allonger l'autonomie du rover ? Peut-on cultiver cette terre sèche et glacée ? Comment fabriquer de l'eau (même si l'on sait aujourd'hui qu'il y a de l'eau liquide sur Mars, voir p. 138) ? Quel matériel détourner pour rétablir le contact avec la Terre ? Une à



- ▶ *Seul sur Mars*
- ▶ Sortie le 21 octobre 2015
- ▶ Durée : 2 h 14
- ▶ De Ridley Scott, avec Matt Damon, Jessica Chastain, Kristen Wiig, Jeff Daniels...
- ▶ *Seul sur Mars* (le roman), par Andy Weir, éd. Bragelonne, 2014

une, ces questions viennent assaillir l'astronaute, tantôt accablé, tantôt euphorique, mais toujours drôle – c'est l'une des bonnes surprises du film. Et laborieusement, il s'attelle à les résoudre à grand renfort de calculs, de formules chimiques et de bricolage à la MacGyver. C'est une autre bonne surprise : la complexité scientifique n'est en rien éludée. Au contraire. Toute la trame de l'histoire, les rebondissements sont basés sur les défis techniques.

Il faut dire que le film est l'adaptation fidèle du roman d'un "geek passionné par tout ce qui concerne l'espace depuis toujours", selon ses propres mots.

Ce qui se prépare vraiment sur Mars

Une mission internationale emmènera des hommes sur Mars dans les années 2030 ! Le message est scandé depuis le début du siècle des deux côtés de l'Atlantique par les agences spatiales américaine et européenne... Mais il manque l'essentiel : le financement. Pour l'instant, seules les sondes automatiques d'*ExoMars* (ESA) et *Mars 2020* (Nasa) sont officiellement lancées, et les investissements colossaux nécessaires à une mission habitée ne cessent d'être reportés. "*Nous n'avons jamais été aussi avancés sur le chemin d'une mission humaine vers Mars dans toute l'histoire de la Nasa*", annonçait en septembre dernier Charles Bolden, son administrateur. Rien n'a avancé, donc... Mais la découverte d'eau liquide sur Mars (voir p. 138) pourrait tout changer.



TM & TWENTIETH CENTURY FOX © 2015 - D.R.

Pour construire son histoire, Andy Weir, ancien programmeur informatique, n'a pas adopté la méthode des scénaristes hollywoodiens qui s'entourent généralement de spécialistes... Non. Il a demandé à... Google ! Il a lu et visionné tout ce qu'il pouvait trouver sur les concepts de missions habitées vers Mars : les rovers,

<V Matt Damon joue les Robinson Cruséo sur Mars, ou comment résoudre une succession d'énigmes scientifiques tout à fait sérieuses.

A voir, à lire

EXPOSITION

► **"Culture Interface - Numérique et science-fiction"**

► Du 3/11/15 au 19/7/16

► Cité du design, Saint-Etienne



Des téléphones aux smartphones, des smartphones aux montres connectées, des montres aux lunettes à réalité augmentée... et bientôt dans nos mains, le Tricorder de *Star Trek*, cette merveille technologique qui mesure et analyse à peu près tout ? Pas si sûr. Les gadgets de cinéma ne font pas toujours d'heureuses innovations dans le monde réel. Les designers vont parfois plus loin que les auteurs de SF ! Pour s'en convaincre, rien de tel que d'aller faire un tour à la Cité du design de Saint-Etienne, pour y essayer les visiocasques et autres interfaces gestuelles de cette exposition conçue sous l'œil affûté de Nicolas Nova, enseignant à la Haute Ecole d'art et de design de Genève. **F.L.**

LIVRE

► **"Et si... ?"**

► Randall Munroe

► éd. Flammarion, 2015, 315 p., 19,90 €



"Les réponses les plus scientifiques aux questions que vous ne vous êtes jamais posées..." Mais que Randall Munroe, auteur d'xkcd, le blog BD culte outre-Manche, s'est posées, lui. Combien de temps survivrait-on si on perdait d'un coup notre ADN ? Peut-on nager dans un bassin de combustibles irradiés ?... Cet ancien ingénieur de la Nasa nous dit tout sur 53 sujets aussi improbables que pointus dans son style pince-sans-rire. Didactique et technique, *Et si... ?* se savoure, et on se surprend à dévorer des explications qu'on aurait, ailleurs, trouvées rebutantes. **E.R.**

M.F.



la propulsion, le matériel utilisé par la Nasa depuis les complexes combinaisons spatiales jusqu'au plus vulgaire bout de scotch, se donnant pour objectif d'être le plus crédible possible. "Je fais partie de ces gens qui pinaillent quand il y a des incohérences scientifiques dans les fictions, précise-t-il. La moindre erreur me fait décrocher !"

Et ses choix apparaissent si convaincants que l'on se demande ce qui retient la Nasa d'envoyer sur-le-champ une mission vers Mars basée sur le concept d'Andy Weir ! Parmi les nombreux projets élaborés par l'agence depuis trente ans, l'auteur a, par exemple, choisi Mars Direct, datant des années 1990. Une mission ingénieuse en deux étapes (acheminement du matériel, puis envoi des hommes) qu'il a pris la liberté d'améliorer : "Mars Direct nécessite que le vaisseau de retour entier soit lancé depuis la surface de Mars. C'est une solution très inefficace, détaille-t-il. J'ai préféré un vaisseau principal qui reste dans l'espace [dans le film, le somptueux *Hermes* dessiné sur le modèle de la Station spatiale internationale] et charge

et décharge sa cargaison en orbite de la Terre ou de Mars." Mais pour qu'il ait la puissance suffisante, l'auteur a dû l'équiper d'un moteur ionique alimenté par un générateur nucléaire, à accélération constante, dont il a fallu calculer la trajectoire... "Ma plus grosse difficulté ! J'ai dû écrire des programmes dédiés, se rappelle-t-il. Cela m'a pris des semaines !"

Et à force de plonger dans les archives de la Nasa, il semble qu'Andy Weir soit parvenu à en capturer l'ambiance. Cela a été noté avec étonnement par plusieurs membres de l'agence spatiale qui ont cru reconnaître leurs collègues. C'est d'ailleurs la dernière bonne surprise de *Seul sur Mars* : les personnages. Un brin caricaturaux, certes, mais ils sonnent juste !

En plus de tout faire, ce robot projette des films sur vos murs

Avec Keecker, c'est l'écran qui vient à vous ! Sur une idée originale de son concepteur français Pierre Lebeau, bien décidé à réduire le nombre de câbles dans la maison, ce vidéo-projecteur sur roues transforme murs et plafonds en écrans. Robot intelligent aux mensurations modestes (40 cm de haut, 28 cm de large, 10 kg), il dispose d'un projecteur orientable à 90° du bas d'un mur au plafond, d'une caméra 360° et d'un haut-parleur. Après avoir dressé la carte

3D de son environnement en explorant les pièces de la maison, il obéit aux demandes envoyées par son propriétaire *via* l'application dédiée sur smartphone (Android ou Apple) ou par commande vocale. Doté d'une autonomie de sept heures en utilisation maximale, Keecker gère toute application Android pour répondre aux divers besoins multimédias de la famille : vidéos, jeux, communication...

Pour un usage à distance, il peut aussi être programmé pour "faire

sa ronde" d'inspection dans les moindres recoins de la maison avec sa caméra. Il peut également obtenir, grâce à ses capteurs de bruit, CO₂, température, luminosité et humidité, des informations en temps réel. La précommande de ce robot est déjà possible. Les premières livraisons devraient démarrer au début de l'année prochaine. **A.P.**

Prix : env. 3 000 €.
Rens. : www.keecker.com

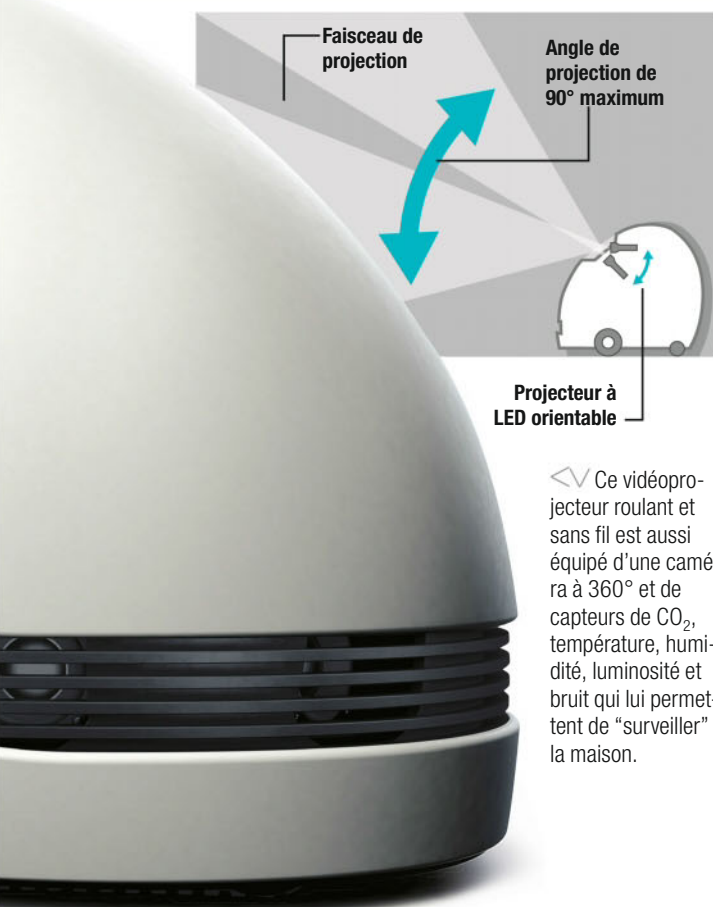


^ Cet antivol comprend un éthylomètre qui détecte la présence d'alcool quand on souffle dedans.

A la fois alcootest et antivol de vélo

Boire ou pédaler, il faut choisir. Cet antivol de bicyclette fonctionne en Bluetooth avec votre smartphone, qui en est la clef ; il est en plus équipé d'un éthylomètre. Au moment de repartir, le cycliste doit souffler dedans. Si de l'alcool est détecté, le smartphone avertit un contact, précisé préalablement dans l'appli associée. L'antivol ne se verrouille pas, c'est simplement à la personne prévenue de convaincre le cycliste de rentrer par un autre moyen ! **O.L.**

Prix : env. 300 € (disponible uniquement au Japon pour le moment).
Rens. : <http://alcoholock.com/EN/>



◁ Ce vidéoprojecteur roulant et sans fil est aussi équipé d'une caméra à 360° et de capteurs de CO₂, température, humidité, luminosité et bruit qui lui permettent de "surveiller" la maison.

LE COIN DES PROTOTYPES

Une roue spéciale météo

Imaginée par la société sud-coréenne Kumho, la roue Maxplo permet de conduire par tous les temps et sur tout type de terrain. Pour cela, elle change automatiquement de forme !



Quand la route devient glissante, les blocs en trapèzes constituant sa surface s'écartent les uns des autres pour élargir la bande de roulement. Dans le même temps, des pics qui recouvraient ces blocs apparaissent et entrent en contact avec le sol, ce qui améliore traction et adhérence. La forme et la disposition des rainures sur la surface et la circonférence de Maxplo ont été repensées pour chasser l'eau sous la roue et éviter l'aquaplaning. Enfin, un moteur électrique fonctionnant à l'hydrogène équipera cette roue du futur.

S.F.

Rens. : <http://kumhotyre.co.uk/kumho-news/maxplo-concept-tyre-wins-a-design-award/>

DR - M.KONTENTE

Le bracelet qui peut sauver de la noyade

En cas de difficulté lors d'une baignade, il suffit de tirer la poignée de ce bracelet pour libérer un gaz, du dioxyde de carbone, présent dans une cartouche intégrée. En moins d'une seconde, ce gaz gonfle un ballon, plié à l'intérieur du bracelet, qui, sous la poussée d'Archimède, remonte à la surface, tirant avec lui la main et le corps du propriétaire, jusqu'à 124 kg.

Mis au point par la société américaine Kingii,

ce bracelet contient aussi une boussole, ainsi qu'un sifflet pour signaler sa présence. Pour pouvoir le réutiliser, il suffit de changer la cartouche, de dégonfler et de replier le ballon.

Pour ses inventeurs, ce dispositif de flottaison à l'encombrement très réduit est une alternative au gilet de sauvetage, trop souvent oublié.

O.L.

Prix : env. 90 € (avec deux cartouches)
Rens. : <http://kingii.us>



Les premiers skis tout-terrain en bambou

Au cœur du massif de la Chartreuse, La Fabrique du ski développe des modèles inédits. Leurs points forts ? D'abord, l'emploi du bambou comme noyau central. Flexible et résistant, il absorbe mieux les chocs que le frêne habituellement utilisé, et procure amorti et stabilité. Ensuite, la possibilité du sur-mesure, grâce à des machines de découpe précises et un assemblage du ski sous vide qui garantit une pression uniforme.

Le tout dernier modèle, "Où tu veux quand tu veux", affiche

un rayon de courbure très marqué avec une largeur de 90 mm sous le patin et 145 mm en spatule : *"Très tournant, il offre une bonne flottabilité en hors-piste. C'est un ski tout-terrain poussé au maximum"*, explique Christian Alary, l'ingénieur à l'origine du concept. **A.P.**

Prix : env. 670 €. Rens. : www.fabriqueduski.com



➤ "Où tu veux quand tu veux", un ski ultra-souple et solide pour se faufiler partout sur la neige.

La moto qui démarre sans clé

Plus la peine de chercher ses clés... Cette moto 100 % électrique se démarre grâce à un smartphone connecté en Bluetooth ou en tapant directement un code secret sur le tableau de bord. Conçue

par l'entreprise californienne Bolt Motorbikes, la M1 peut aussi être localisée à tout moment par le biais d'une appli dédiée. Avec une vitesse de pointe de 65 km/h en mode sport (55 km d'autonomie) et 33 km/h en économique (80 km), ce n'est pas un foudre de guerre. Pratique, sa batterie Li-on se détache pour se recharger sur secteur (en 1h30 environ).

A noter qu'aux Etats-Unis, la M1 se conduit sans permis. **E.T.-A.**



Prix : env. 4.900 €. Rens. : www.boltmotorbikes.com





SALON de la PHOTO

lesalondelaphoto.com

05 - 09
novembre

2015

PARIS

Paris Expo
Porte de Versailles

Le Salon de la Photo
vu par Théo Gosselin

SCIENCES ET VIE vous offre une Entrée gratuite (d'une valeur de 11€)
Obtenez votre invitation en vous enregistrant sur www.lesalondelaphoto.com
et entrez le code : **SEV15**

Un mini-parachute pour drone

Un parachute capable de se déclencher tout seul en cas de crash imminent de votre drone... voici ce que propose la start-up californienne North-UAV. Mayday est un dispositif d'un peu moins de 15 g qui comprend un processeur, une batterie Li-Po, un altimètre, un gyroscope, un accéléromètre et un magnétomètre, le tout piloté grâce à un algorithme capable d'apprendre comment vole n'importe quel drone. L'ensemble se couple à un ou plusieurs parachutes réutilisables, repliés dans un cylindre. Pour faire fonctionner Mayday, il suffit d'un premier vol de calibrage et, ensuite, le parachute s'ouvre automatiquement si le drone commence à tomber. E.T.-A.

Prix : à partir de 210 €.
 Rens. : www.northuav.com



Cet humidificateur entre en action dès que l'air est trop sec

Avec l'hiver et le chauffage, l'air des habitations s'assèche. Rien de tel alors qu'un humidificateur. Le Gota Nouveau du fabricant français Air Naturel diffuse une brume de vapeur d'eau tout en mesurant en permanence l'humidité de la pièce. Aussitôt que le taux atteint 50 % (le niveau recommandé est entre 40 et 60 %), il s'arrête ; puis se rallume au besoin pour maintenir l'hygrométrie constante. Bref, il s'occupe de tout ! L.B.

Prix : env. 70 €.
 Rens. : www.airnaturel.com



Le premier airbag-genoux à se cacher dans la boîte à gants

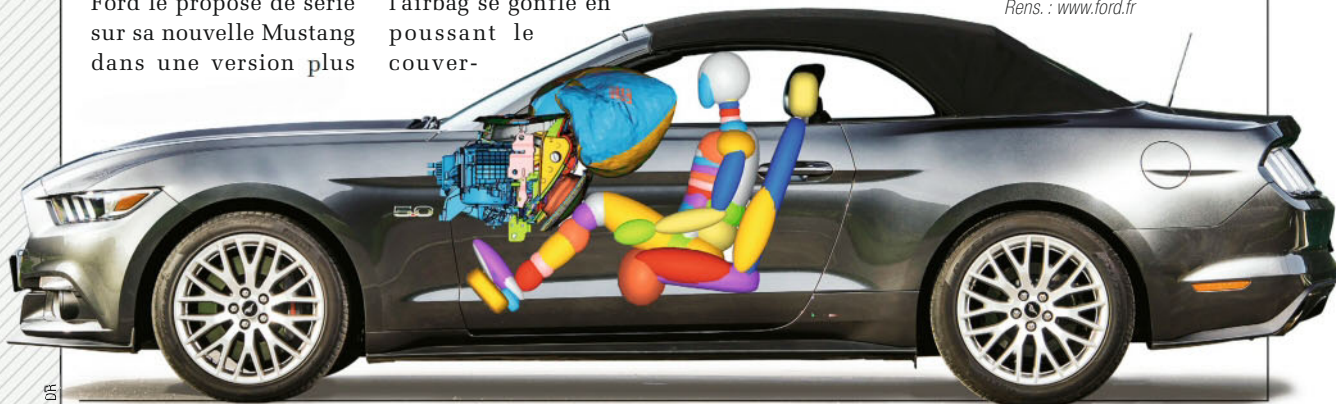
Alors que l'airbag-genoux existe déjà sur certains véhicules sous la planche de bord, le constructeur américain Ford le propose de série sur sa nouvelle Mustang dans une version plus

maligne car directement intégré à la boîte à gants. Le côté 2-en-1 permet en effet de gagner de la place. En cas de collision, l'airbag se gonfle en poussant le couver-

cle de la boîte à gants vers les jambes du passager. Puis il se dégonfle immédiatement, ce qui amortit le choc, sans

blessur. Une première mondiale qui vient compléter les 6 autres airbags de cette voiture. L.B.

Prix : voiture à partir de 37 000 €.
 Rens. : www.ford.fr



La Fondation
Nature & Découvertes présente



En partenariat avec
l'UNESCO

Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

l'université de la terre

4 & 5 DÉCEMBRE 2015

INSCRIVEZ
VOUS

Maison de l'UNESCO / Paris 7^e

35 débats ouverts à tous

120 personnalités réunies autour du thème

FAISONS CHANGER TOUS LES CLIMATS !

Programme et inscriptions
universitedelaterre.com



25 novembre 1915

Albert Einstein publie “La relativité générale”

“J’ai vécu ce mois-ci, griffonne Albert Einstein à son ami et physicien Arnold Sommerfeld, l’un des moments les plus excitants, les plus acharnés de ma vie.”

Les plus gratifiants aussi, reconnaît-il le 28 novembre 1915. En trois semaines, il vient de publier quatre articles majeurs, qui donnent la touche finale au grand œuvre de sa vie : une théorie révolutionnaire de la gravitation. Les équations ultimes ont été livrées il y a trois jours, le 25 novembre. Personne ne s’était attaqué aussi frontalement aux principes édictés il y a deux siècles par Newton. Mais l’ancien employé du Bureau des brevets de Berne n’en est plus à une révolution près...

Dix ans plus tôt, il bouleversait la conception de l’espace et du temps en partant de deux postulats. Premièrement : les lois de la physique sont les mêmes dans tous les systèmes de mesures en mouvement rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres (principe d’invariance appelé “de relativité”). Deuxièmement : il existe une vitesse limite – celle de la lumière –, qui reste inchangée quel que soit le référentiel de mesure utilisé.

Les conséquences sont ébouriffantes : les longueurs sont mesurées plus courtes quand la règle se déplace ; une horloge bat les secondes plus lentement quand sa vitesse augmente... L’espace

et le temps perdent leur caractère absolu pour devenir un espace-temps propre à chaque objet. De quoi choquer le sens commun, même si peu d’objets, à l’époque, approchent des vitesses suffisantes pour que ces effets soient observés.

SON IDÉE “LA PLUS HEUREUSE”

Peu importe... Einstein profite de ses moments libres pour avancer. Et, en novembre 1907, lui apparaît l’idée “la plus heureuse de sa vie” : une personne en chute libre ne sent plus son poids. Pourquoi ? Parce que, dans la théorie de Newton, la masse d’un corps, qui définit l’intensité de son poids, est aussi égale à son

inertie, c’est-à-dire à sa résistance au mouvement. Un objet deux fois plus massif est donc deux fois plus attiré vers le sol, mais résiste deux fois plus au mouvement. Dans le vide, tous les corps chutent donc à la même vitesse. Ainsi, une personne en chute libre dans l’espace aura l’impression que la gravité n’existe plus puisque tout objet, autour d’elle, tombera à la même vitesse et lui paraîtra immobile.

Inversement, Einstein imagine cette personne enfermée dans une cabine, dans une région de l’espace où n’existe aucun champ gravitationnel. Si une fusée accélère la cabine vers le “haut”, à l’intérieur, tous

SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1913 AU COMMENCEMENT ÉTAIT NEWTON

“En 1686, Newton publiait son immortel ouvrage des Principes, par lequel il devenait, avec Kepler, le fondateur de la mécanique céleste et de toute l’astronomie moderne.” Dans son septième numéro, *Science & Vie* plante le décor de la physique à l’orée du xx^e siècle : posées il y a 250 ans, les lois de la nature sont restées intactes. “La gravitation universelle régit tous les corps célestes et s’énonce ainsi : la matière attire la matière en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances.” *S&V* n° 7



L'UNITÉ DU MONDE ET LA GRAVITATION

Par Isaac NEWTON

Il faut admettre de causes que nous ne pouvons expliquer, mais nous admettons cette qualité non seule dans les corps dans lesquels nous nous la font éprouver, mais nous inférons, avec raison, que les parties les plus petites de tous les corps de

1933 ET L'UNIVERS DEVINT RELATIVISTE

“Une bulle de savon dont la surface serait toute ridée d’une manière irrégulière est peut-être la meilleure représentation, en termes simples et familiers, de l’Univers nouveau.” *S&V* trace ses contours : “Au lieu de concevoir le monde comme un espace à 3 dimensions, dans lequel les phénomènes se déroulent [...] suivant le cours immuable du temps, nous devons le considérer, d’après cette théorie récente, comme un Univers à 4 dimensions dans lequel le temps joue le même rôle qu’un des éléments de l’espace.” *S&V* n° 194



> Personne ne s'était encore attaqué aussi radicalement à la théorie de Newton : les quatre articles de "La relativité générale" publiés par Albert Einstein la supplantent définitivement.

les objets seront uniformément plaqués vers le "bas", comme s'ils étaient soumis à une force gravitationnelle. Il y a donc équivalence entre gravitation et accélération du corps de référence (ici la cabine). Et Einstein d'en déduire qu'un rayon

lumineux, dans un champ gravitationnel, se comporte comme s'il était vu d'une cabine en chute libre : sa trajectoire se courbe.

Ses conditions de travail s'améliorent : il enseigne alors à l'université de Zurich et, en 1912, au Poly-

technicum, où il fut lui-même étudiant. C'est là qu'en août, il a une nouvelle intuition. La présence d'une masse crée un mouvement accéléré, qu'on peut interpréter comme un mouvement rectiligne uniforme dans un espace-

temps déformé (dans lequel la mesure des longueurs raccourcit). Un champ gravitationnel équivaut donc à une déformation de la géométrie de l'espace-temps. Il postule alors que les lois de la physique sont les mêmes quel que soit le système de



1985 L'IMPOSSIBLE CHASSE AUX ONDES GRAVITATIONNELLES

C'est l'une des plus étonnantes prédictions d'Einstein. "Une idée inattendue par laquelle, une fois de plus, il ébranlait les fondements de la physique": toute masse accélérée émettrait un rayonnement, "un phénomène ondulatoire d'une espèce entièrement nouvelle". En 1985, les télescopes spatiaux donnent l'espoir de capter enfin la trace des ondes gravitationnelles prédites par la relativité générale. "On approche de la preuve", écrit *Science & Vie*. Elle se fait toujours attendre... *S&V n° 817*

→ coordonnées. Un postulat qu'il appelle "principe de relativité générale", car il généralise celui posé en 1905. Reste à formuler tout cela de façon mathématique...

L'ULTIME MISE EN ÉQUATIONS

C'est un cauchemar pour Einstein, qui n'aime pas les maths. Il doit définir les distances élémentaires dans un espace-temps déformé, qui ne sont plus données par la formule de Pythagore mais, en chaque point, par un objet mathématique nouveau appelé "tenseur métrique" contenant dix coefficients. Ce tenseur métrique sera donc égal, selon son intuition de 1907, au champ gravitationnel. Et sa variation en chaque point accélère l'objet. Mais quelle forme mathématique précise prend-il ?

Idem pour le champ gravitationnel. S'il est créé par la masse chez Newton, Einstein a montré, avec son fameux $E=MC^2$, que masse et énergie sont liées. La source de la gravita-



△ Dès le 29 mai 1919, une éclipse permet de mesurer la déviation des rayons lumineux près du Soleil et de confirmer les équations d'Einstein.

tion est donc un objet mathématique plus complexe: le tenseur T d'énergie, d'impulsion et des tensions, qui comprend, lui aussi, dix coefficients. L'équation fondamentale de la gravitation relativiste s'écrit alors en postulant que D , tenseur métrique des déformations de l'espace-temps, est proportionnel au tenseur T des énergies.

Malgré l'aide de son ami le mathématicien Grossmann, Einstein se perd de longs mois dans ces mathématiques complexes. Mais en novembre 1915,

après une série d'échanges frénétiques avec Hilbert, le plus grand mathématicien de l'époque, il soumet enfin à l'Académie des sciences de Prusse une théorie aboutie. Qui donne d'emblée des résultats: Einstein montre que la déformation induite dans l'espace-temps par la masse du Soleil explique l'anomalie observée dans l'orbite de Mercure. Le 25 novembre, il soumet son dernier article qui contient les équations du champ de la relativité générale.

Sa théorie décrit-elle mieux le réel que celle de

Newton? La déviation des rayons lumineux près du Soleil, mesurée lors de l'éclipse du 29 mai 1919, le confirmera. Mais pour Einstein ce n'est pas encore la théorie ultime. Après avoir unifié espace et temps, puis lié cet espace-temps à la gravitation, il rêve de regrouper gravitation et électromagnétisme, ce que réalisera la théorie des cordes. Mais l'identité toujours plus profonde entre le contenant, l'espace-temps, et le contenu, la matière-énergie, défie les physiciens. Faut-il aller plus loin et postuler qu'espace et temps, au fond, n'existent pas? Un an avant sa mort, Einstein en émet l'hypothèse. "Mais personne ne sait construire une telle théorie", relève-t-il. Si ce n'est, un jour, un nouvel Einstein encore plus radical.

Emmanuel Monnier

A l'occasion de ce centenaire, **Science & Vie** publiera un **HORS-SÉRIE** consacré à la théorie d'Einstein, en kiosque le 4 décembre.

ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY/SPL/COSMOS

SCIENCE & VIE en parlait encore

2005 LA THÉORIE UNIFICATRICE SE FAIT ATTENDRE

"C'est le paradoxe de la physique du XX^e siècle: jamais les physiciens n'ont eu entre les mains des théories aussi puissantes, jamais ils n'ont pu faire autant de prédictions avérées sur la marche du monde... et jamais ils n'ont autant peiné à en donner une image cohérente." S&V pointe le problème: la relativité est inconciliable avec les lois de la matière à l'échelle de l'atome. Théorie des cordes, gravitation quantique à boucles... Les physiciens sont à pied d'œuvre. **S&V n° 1051**



2007 UNE PREMIÈRE ANOMALIE ?

"Trois petites heures de retard ont suffi à chambouler la science." Voyant que les sondes Pioneer sont ralenties, les physiciens soupçonnent une faille dans la relativité générale. Il faudra attendre 2012 pour sauver la théorie d'Einstein: l'anomalie était due au rayonnement des instruments des sondes. **S&V n° 1072**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

RUE DU
COMMERCE
.COM

POUR CE DROÏDE CRAQUER TU VAS



SPHERO BB-8™
Droïde Star Wars intelligent

169€₉₀

Dont 0,10€ d'éco-part.

Grâce à l'application Sphero : pilotez en toute simplicité votre BB-8, interagissez avec lui (reconnait et réagit à votre voix), enregistrez et visionnez des vidéos holographiques virtuelles via votre smartphone.

RUE DU COMMERCE.COM |    **#BonPlan #Concours #VenteFlash**

RCS Bobigny B 422 797 720 - 44-50, avenue du Capitaine Glarner, 93 585 St Ouen Cedex – Offre valable du 20 octobre au 18 novembre 2015 dans la limite des stocks disponibles.
Prix indiqués hors frais de livraison. Photos non contractuelles. Voir conditions sur site.

+ LES GOÛTS +
D'UNE LÉGENDE*



— 1128 —
+ GRIMBERGEN +
BIÈRE D'ABBAYE - ABDIJBIER