

Océan Martien **PIC DE POLLUTION** PHARRELL WILLIAMS FESSÉE **CHOCOLAT**  
REQUIN-BOULEDOQUE ALLERGIES **PAQUET NEUTRE** DRONE SOLAIRE GOLF

SCIENCE & VIE

# SCIENCE & VIE

MAI 2015 N° 1172  MONDADORI FRANCE

POLLUTION, TRANSPORTS, ÉNERGIE...

## REINVENTER LA VILLE

LES SOLUTIONS DE LA SCIENCE  
POUR MIEUX Y VIVRE

**TERRE**

ELLE A EU DEUX SOLEILS

**ALCOOLISME**

IL EST LE FRUIT DE NOTRE ÉVOLUTION

**HYDROGÈNE**

L'ÉNERGIE DU FUTUR ?

France métro : 4,30 € - D : 6,90 € - BEL : 4,70 € - ESP : 4,90 €  
GR : 4,90 € - DOM surf : 4,90 € - DOM avion : 6,90 € - ITA :  
4,90 € - LUX : 4,70 € - PORT CONT : 4,90 € - CAN :  
6,50 \$ CAN - MAR : 48 DH - TOM : 5 / 750 CFP - TOM A :  
1400 CFP - CH : 8,5 FS - TUN : 7,5 DTU

M 02578 - 1172 - F: 4,30 € - RD



# ON PEUT VIVRE SANS CERVEAU !

P.90



# Nouveau Renault ESPACE

Le temps vous appartient.

Découvrez le Nouveau Renault Espace  
sur **espace.renault.fr**

Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 4,5/6,2. Émissions CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 119/140.  
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.

Renault recommande **elf**





**RENAULT**  
La vie, avec passion







[www.samsung.com/fr/galaxys6](http://www.samsung.com/fr/galaxys6)

Next is now = Le futur, maintenant.

\*10 minutes de charge = données avec le chargeur dédié. Ces données peuvent varier en fonction de différents paramètres. Photo ultra rapide en moins d'une seconde = cette durée peut varier en fonction des conditions d'utilisation. Charge sans fil à induction = chargeur à induction vendu séparément. DAS : 0,334 W/kg. Le DAS (débit d'absorption spécifique des téléphones mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques, pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2W/kg. © 2015 - Samsung Electronics France. Ovalie. CS 2003. 1 rue Fructidor. 93484 Saint-Ouen Cedex. RCS Bobigny 334 367 497 SAS au capital de 27 000 000 €. Visuels non contractuels. Ecrans simulés. © Crédit photo : Cédric Porchez. **Cheil**



# NEXT IS NOW

## SAMSUNG Galaxy S6 edge



### LA PERFECTION DU DESIGN, LA PERFORMANCE TECHNOLOGIQUE.

Fruit d'une recherche continue et du savoir-faire de nos créateurs passionnés, le Galaxy S6 edge se distingue par son écran incurvé unique. Serti de métal, habillé de verre et galbé à la perfection, il sait se rendre indispensable : 4h d'autonomie après seulement 10 minutes de charge, photo ultra rapide en moins d'une seconde, charge sans fil à induction\*. L'exigence dans les moindres détails.

#NextIsNow



## VALENTIN (*SOUCIEUX*) :

– Allo Valentine? Je suis à l'étranger.  
J'ai perdu ma carte et en ton absence,  
difficile de vivre uniquement d'amour  
et d'eau fraîche.

## VALENTINE (*RASSURANTE*) :

– Ne t'inquiète pas, c'est une



---

**Visa Premier : une carte de dépannage sous 48 h  
et/ou une mise à disposition d'espèces en cas de perte  
ou de vol à l'étranger.**

Découvrez aussi sur [visa.fr](http://visa.fr) les 30 autres services Visa Premier.

Conditions et informations dans les notices d'informations sur le site.

---

Être Premier aura toujours ses avantages.

**VISA**





> L'une des deux boîtes noires de l'A320 qui s'est écrasé dans les Alpes le 24 mars dernier.

BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES

## La sécurité aérienne en question

Comment est-il possible qu'un jeune copilote manifestement traité pour des troubles psychiatriques et en arrêt maladie puisse se retrouver seul aux manettes d'un avion de ligne avec 149 autres personnes à son bord ? Et qui plus est enfermé à double tour dans le cockpit dont il est le seul à détenir la clé ! Sous réserve de l'enquête en cours, c'est donc à la volonté d'un seul individu que l'A320 a dû de s'écraser contre une montagne de la région de Seyne-les-Alpes à 700 km/h après une descente régulière de 8 minutes...

Ce crash insensé est le plus meurtrier sur le sol français depuis plus de quarante ans. Pour les autorités en charge de la sécurité aérienne, il est aussi particulièrement embarrassant. Car ce sont bien elles qui


ont exigé le blindage des portes des cockpits à la suite des attentats terroristes du 11 septembre 2001. Faut-il conclure que le remède aura finalement été pire que le mal ? La question est délicate ; une question de plus, sur un agenda déjà bien chargé. Car la disparition du Boeing 777 de la Malaysia Airlines le 8 mars 2014 continue par ailleurs d'obséder les spécialistes de la sécurité aérienne. L'avion a bien décollé de Kuala Lumpur avec 239 personnes à son bord, mais n'a jamais atteint Pékin. Depuis, rien. Des moyens de recherches considérables ont été déployés par la communauté internationale sur des dizaines de milliers de kilomètres carrés, sans le moindre résultat. Un an plus tard, on n'en sait guère plus et cette disparition pourrait bientôt être clas-

sée "sans cause connue". Manière de reconnaître que oui, il est bel et bien possible de perdre la trace d'un avion et de ceux qu'il transportait... Du jamais vu depuis cinquante ans. Ni très glorieux, ni très sécurisant pour l'avenir. A l'évidence, la sécurité aérienne va devoir prendre toute la mesure de la situation. Et c'est bien aux questions auxquelles elle va devoir faire face que nous consacrerons dans notre prochaine édition un dossier complet.

En dépit d'une année 2014 particulièrement meurtrière (1 400 morts) l'avion demeure le moyen de transport le plus sûr d'entre tous. Il est d'ailleurs reconnu comme tel par les passagers qu'il transporte. Mais il ne le restera qu'à la condition qu'il sache tirer les leçons de ses erreurs. Encore faut-il savoir lesquelles...



## actus 18



### MARS AURAIT ABRITÉ UN Océan PLUS VASTE QUE L'ATLANTIQUE

Il y a 4,5 milliards d'années, la planète rouge était une boule d'eau bouillante. Profondément chauffée par la chaleur des collisions, elle était si chaude que l'atmosphère se vaporisait. Mais, au fil du temps, elle a refroidi. Et c'est à ce moment-là que l'eau s'est condensée, formant des océans. Selon de nouvelles estimations, ces océans auraient été plus vastes que l'océan Atlantique actuel.

**Le rappel des faits**

Plusieurs études ont montré que Mars a eu une atmosphère plus épaisse qu'on ne le pensait. Cette atmosphère aurait permis l'existence d'un océan global. Les scientifiques estiment que l'océan aurait pu couvrir jusqu'à 80 % de la surface de la planète.

## Science & société 42

### Paris désignée "ville la plus polluée du monde"

#### Eclaircissements sur un record qui pose des questions

Paris a été désignée "ville la plus polluée du monde" par l'association Greenpeace. Cette désignation est basée sur des données de pollution recueillies par des capteurs citoyens. Cependant, cette désignation pose de nombreuses questions sur la fiabilité des données et la méthodologie utilisée.

**Le rappel des faits**

Greenpeace a installé des capteurs de pollution dans plusieurs villes, dont Paris. Les données recueillies ont montré que Paris était la ville la plus polluée. Cependant, Greenpeace a été critiqué pour sa méthodologie et pour ne pas avoir tenu compte de tous les facteurs de pollution.

## RÉINVENTER LA VILLE



Surpopulation, pollution, sécurité, énergie : dans tous les domaines, les villes battent des records. Pourtant, les mégapoles attirent toujours plus de monde. Nous serons 66 % à vivre dans des villes en 2050 ! D'où le problème : comment gérer le développement des cités ? Jusqu'ici, les urbanistes étaient aux commandes... Or, aujourd'hui, les physiciens se mettent de la partie. Parce qu'ils ont des outils qui leur permettent de comprendre la dynamique des cités, jusqu'à établir des lois universelles ; mais aussi de simuler les solutions pour voir si elles fonctionnent sur le terrain. Un impératif désormais...

PAR VINCENT NOUYRIGAT

## 90

### CERVEAU EN MIETTES

Ils défient la science avec leur cerveau en miettes. Des chercheurs ont découvert que certaines personnes ont des trous dans leur cerveau, ce qui leur permet de résoudre des problèmes complexes plus facilement que les autres.

## 98

### HYDROGÈNE

La ressource que personne n'attendait. L'hydrogène est une source d'énergie propre et renouvelable. Cependant, sa production et son stockage restent des défis technologiques.

SCIENCE\_VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex  
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67  
E-mail : svmens@mondadori.fr Recevez Science & Vie chez vous.  
Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 129.  
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96,  
ou par Internet sur [www.kiosquemag.com](http://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 Croisière Science & Vie Voyages est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.



12 **Forum**

## Actus

18 **Labos**

Mars aurait abrité un océan plus vaste que l'Atlantique; la vie peut rester figée pendant des milliards d'années; le plus vieux bijou est néandertalien...

28 **Environnement**

Le trafic maritime mondial a quadruplé en 20 ans; une graminée africaine ferait un meilleur biocarburant que le maïs...

32 **Médecine**

Une greffe de neurones répare un cerveau; une bactérie tueuse a été identifiée...

36 **Technos**

Les panneaux solaires prennent des couleurs; la télé 3D qui se passe de lunettes...

## Science & société

42 **Paris désigné "ville la plus polluée du monde"**

Eclaircissements sur un record qui pose des questions

46 **Réforme du collège**

Quel est le meilleur âge pour apprendre une langue?

48 **Condamnation pour un plagiat de Marvin Gaye**

Un logiciel ne peut remplacer l'oreille humaine

49 **Débat sur les châtiments corporels**

Rien ne prouve l'utilité, ou non, de la fessée

50 **Adoption du paquet de cigarettes neutre**

Les enseignements de l'exemple australien

## A la Une

54 **RÉINVENTER LA VILLE**

58 Les nouvelles lois de la dynamique urbaine

66 Urbanisme: pourquoi la science peut faire mieux

## Science & découvertes

72 **Astronomie**

**Il y a 70 000 ans, la Terre a eu deux soleils**

75 **Paléogénétique**

**On sait comment l'homme s'est mis à boire**

78 **Astrophysique**

**Trous noirs: voici à quoi ils ressemblent vraiment**

84 **Ethologie**

**Requin-bouledogue: portrait du nouveau tueur des mers**

90 **Cognition**

**Ils défient la science avec leur cerveau en miettes**

## Science & techniques

98 **Hydrogène**

**La ressource que personne n'attendait**

106 **Allergies alimentaires**

**Et si les médecins se trompaient?**

110 **Energie verte**

**Et les plantes devinrent des lampes**

## Science & futur

114 Des drones solaires vont amener Internet là où il manque encore; la première centrale houlomotrice entre en service en Australie; des reforestations mieux gérées grâce aux drones; les bouteilles d'eau en plastique en voie d'élimination à San Francisco; l'électricité à portée de tous grâce à des ballons captifs...

## Culture science

122 **Bon à savoir**124 **Questions/Réponses**130 **A voir / à lire**132 **Technofolies**

136 **Il y a...** 600 ans: Filippo Brunelleschi invente la perspective



DS préfère TOTAL

## OFFREZ-VOUS UN HARAS DE 180 CHEVAUX

### DS 4 *Nouvelle motorisation* BlueHDi 180

AVEC NOUVELLE BOÎTE DE VITESSES AUTOMATIQUE EAT6



### À PARTIR DE 299 €/MOIS GARANTIE 4 ANS\*

SOUS CONDITION DE REPRISE. LOCATION LONGUE DURÉE SUR 48 MOIS ET 40 000 KM APRÈS UN 1<sup>ER</sup> LOYER DE 5 900 €

Modèle présenté : DS 4 BlueHDi 120 S&S BVM6 Urban Show avec options projecteurs directionnels Xénon bi-fonction, jantes alliage 18" avec roue de secours galette, peinture Blanc Nacré, toit et becquet Orange Tourmaline (LLD sur 48 mois/40 000 km, extension de garantie comprise : 47 loyers de 319 € après un 1<sup>er</sup> loyer de 6 000 €, sous condition de reprise).

\*Exemple pour la LLD sur 48 mois et 40 000 km d'une DS 4 BlueHDi 180 S&S EAT6 So Chic neuve hors option ; soit 47 loyers de 299 €, après un 1<sup>er</sup> loyer de 5 900 €.

Offre sous condition de reprise d'un véhicule quel que soit son âge. Extension de garantie incluse au prix de 13 €/mois pour 48 mois et 40 000 km (au 1<sup>er</sup> des deux termes échu). Montants TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable, valable jusqu'au 30/04/15 réservée aux particuliers, dans le réseau Citroën participant, et sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR/Citroën Financement, locataire gérant de CLV, SA au capital de 107 300 016 €, RCS Nanterre n° 317 425 981, 12 avenue André-Malraux 92300 Levallois-Perret.

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

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE DS 4 : DE 3,7 À 6,4 L/100 KM ET DE 97 À 149 G/KM.

Automobiles Citroën : RCS Paris 642 050 199.





DS AUTOMOBILES

SPIRIT OF  
AVANT-GARDE



[www.driveDS.fr](http://www.driveDS.fr)



## Un vaccin aussi pour ceux déjà frappés par le cancer ?

Dans votre article sur le vaccin contre le cancer, vous ne parlez que des personnes qui n'ont pas encore eu de cancer : les personnes ayant déjà souffert ou souffrant encore d'un cancer pourraient-elles également se voir prescrire ce vaccin ?

J. Serve, St-Rambert-d'Albon (Drôme)

**S&V** Bien sûr, et c'est déjà le cas ! La vaccination contre le cancer a d'abord été développée, dans les années 1990, dans un but thérapeutique : en stimulant le système immunitaire de malades, ces vaccins visaient à éradiquer les tumeurs déjà présentes, tout en prévenant les récurrences une fois les patients guéris. Cette piste a jusqu'ici été largement



privilegiée, notamment car les risques d'effets secondaires de tels vaccins sont importants. Les médecins préfèrent donc les tester, en dernier recours, chez des

malades incurables. Malheureusement, face à une tumeur déjà développée, leur efficacité reste encore limitée. Et un seul vaccin est commercialisé en Europe et aux États-Unis, le sipuleucel-T, contre le cancer de la prostate.

Ces vaccins pourraient par contre prévenir efficacement les récurrences, une fois les patients guéris. Le principal vaccin cité dans notre dossier, celui qui vise à prévenir le cancer du côlon, a été injecté à des patients ayant déjà développé des tumeurs bénignes par le passé. Quant à celui censé prévenir l'apparition d'un cancer du sein chez des femmes à risque, il pourrait prévenir l'apparition d'un second chez celles qui en ont déjà guéri.

“ L'Univers est tel qu'il est. Il n'est ni normal ni anormal. Ces "anomalies de l'Univers" à la une de votre numéro d'avril ne sont que des inventions propres à l'homme pour excuser l'incompréhension de ses observations.

Yvon Le Goff, Le Haillan (Gironde)



## Fabriquer des machines est pire...

Je réagis à votre dossier sur l'écoconception logicielle (S&V n° 1171, p. 102). L'idée défendue est qu'il faut réduire la consommation électrique des sites Web. Mais l'impact majeur est ailleurs : dans les pollutions locales et l'épuisement des ressources lors des étapes de fabrication et de fin de vie des équipements. Quant à l'écoconception logicielle : sobriété fonctionnelle et graphique, choix d'architecture technique, maintenance évolutive... sont autant de pistes.

F. Bordage, pour le collectif Ecoconception numérique

**S&V** Assurément. Néanmoins, qu'il soit possible de faire des économies d'énergie en changeant des lignes de code nous semblait peu connu et méritait qu'on s'y attarde.



## Souvenir d'un incroyable orage sous... la neige

**Page 126 de votre numéro de mars, vous répondez à un lecteur que les orages peuvent aussi survenir quand il neige. Tout à fait exact, les habitants de Saint-Etienne peuvent en témoigner. Fin novembre 1982, un orage avec éclairs et tonnerre a été accompagné de la plus abondante chute de neige jamais vue dans la région: 80 cm en quelques heures! A cela s'est joint un autre phénomène, lui aussi jamais vu: à la lueur des éclairs, la neige n'apparaissait plus blanche, mais bleue... Mémorable!**

*Pierre Rivoirard, Sorbiers (Loire)*

## Un babyphone qui pose question

Dans votre rubrique Technofolie de mars, j'ai été étonné de trouver parmi votre sélection de produits un babyphone garanti sans ondes alors que le bilan des études scientifiques ne permet pour l'instant pas de mettre en évidence des effets sanitaires liés aux ondes électromagnétiques.

*Gilles Ganault, Internet*

**SV** Effectivement, dans l'état de nos connaissances, il n'a pas été montré significativement que l'exposition aux ondes électromagnétiques était nocive pour la santé. Cela dit, l'absence de résultat ne per-

met pas de conclure à l'innocuité. Des études comme Mobi-Kids sont en cours afin d'évaluer leur effet potentiel sur le cerveau des enfants. Des résultats sont prévus d'ici un an. En attendant, l'Agence nationale de sécurité sanitaire rappelle que l'exposition de la population doit être mieux documentée et invite notamment à un usage modéré du téléphone portable pour les enfants. *S&V* estime que chaque lecteur doit pouvoir, en fonction de ces données, décider à quel niveau d'ondes il souhaite s'exposer. Mais nous reviendrons bientôt plus longuement sur ce sujet.

## On en reparle



## LA NASA A LANCÉ LA PREMIÈRE SALVE VERS EUROPE

Ça y est! Nous vous décrivions à la une en novembre dernier les différentes options envisagées par la Nasa pour explorer Europe, cette lune de Jupiter si propice à la vie (*S&V* n° 1167, p. 54). Ce sera *Europa Clipper*: une sonde qui ne se posera pas sur le satellite glacé, mais le survolera 45 fois (au lieu des 32 prévues à l'origine). La mission vient de recevoir son premier financement: 30 millions de dollars (27,6 millions d'euros) seront consacrés à la conception des instruments en 2016. Reste à savoir lesquels... C'est tout l'objet des féroces discussions qui opposent désormais les spécialistes américains.

La mission doit-elle se cantonner à une étude de la structure et de l'histoire géologique de la lune avec des radars et des caméras? Ou doit-elle se focaliser sur la recherche de la vie, en intégrant des spectromètres capables d'analyser les molécules organiques qui pourraient être présentes dans les geysers semblant s'échapper de sa surface? Certains défendent même l'idée d'embarquer un module qui pourrait effectuer un survol à basse vitesse afin de gagner en temps et en qualité d'analyse... Le choix est cornélien. La prudence recommanderait de choisir la première option, mais comme le résume Chris McKay, au Ames Research Center de la Nasa: "*On n'a pas envie de dire: la recherche de la vie? Ce sera pour la prochaine fois...*"

**M.F.**



# Voter, c'est décider de l'avenir de ma banque.



À la CASDEN, chaque Sociétaire est invité à s'exprimer lors des Assemblées Générales, selon le principe coopératif 1 personne = 1 voix !

**Je vote en ligne**  
sur <https://jevote.casden.fr> <sup>(1)</sup>

ou

**Je vote par correspondance**  
Je retourne mon bulletin de vote  
dans l'enveloppe T <sup>(2)</sup>

(mes identifiants sont sur le matériel de vote  
adressé par la CASDEN Banque Populaire)

**Une question, bulletin de vote égaré ? Je contacte le 0164 80 13 43**

(Appel non surtaxé, coût selon votre opérateur, du lundi au vendredi de 8h30 à 18h30, heures métropole).

(1) Assemblée Générale Ordinaire (AGO) : clôture du vote le 12 mai 2015 ou à défaut de quorum le 26 mai 2015, à 15 heures, heure de Paris. Assemblée Générale Extraordinaire (AGE) : clôture du vote le 28 avril 2015, ou à défaut de quorum le 12 mai 2015 ou à défaut de quorum le 26 mai 2015, à 15 heures, heure de Paris.

(2) AGO : tout bulletin papier reçu après le 10 mai 2015 ou, à défaut de quorum, le 24 mai 2015 ne pourra être pris en compte. AGE : tout bulletin papier reçu après le 26 avril 2015 ou, à défaut de quorum, le 10 mai 2015 ou, à défaut de quorum, le 24 mai 2015 ne pourra être pris en compte.

**casden**

BANQUE POPULAIRE

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



## Ozone: scientifiques, politiques et industriels unissez-vous !

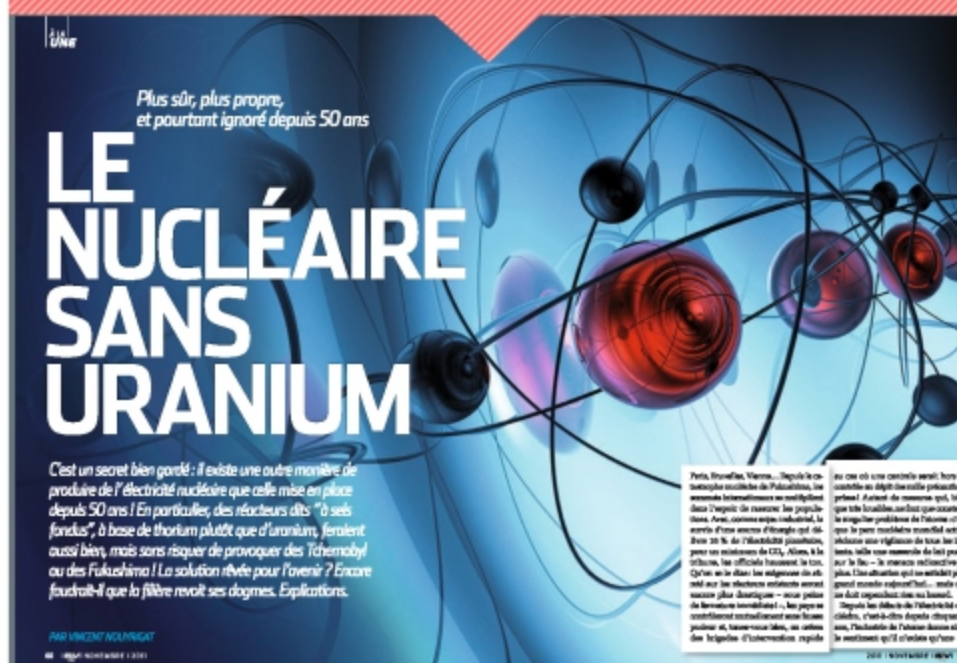


Je vous écris à propos de votre article célébrant le 30<sup>e</sup> anniversaire de la Convention de Vienne, visant à lutter contre le trou dans la couche d'ozone. Ayant été, avec le ministère de l'Environnement de l'époque et les équipes de recherche officielles, au centre du problème, je peux confirmer que la façon dont a été gérée cette question est un exemple à retenir. L'importance du danger possible a provoqué en France, dès les premières publications de Rowland et Molina, en 1974, un rapprochement entre l'industrie, le ministère et divers organismes de recherche. Au niveau international, les producteurs ont immédiatement créé un groupe d'étude associant des scientifiques. L'alerte lancée n'était qu'une hypothèse basée sur des connaissances limitées. Les intérêts économiques étaient importants, les CFC étant dans la phase d'accélération de leurs usages. On est arrivé assez vite à la conclusion que si on évitait d'augmenter la quantité de fluorocarbones relâchés, on ne risquait pas

grand-chose. Les analyses d'ozone semblaient confirmer qu'aucune réduction importante n'était apparue. Tout cela a été brusquement remis en cause en 1985 lorsque des mesures de la Nasa, considérées jusque-là comme erronées, se sont finalement avérées exactes. Un trou d'ozone apparaissait au pôle Sud en fin d'hiver. L'arrêt complet des productions a alors été décidé très rapidement. Ni l'ONU ni les ONG ne sont donc à l'origine de ce succès. Plutôt une coopération parfaite entre scientifiques, politiques et industriels: les décisions industrielles ont pu être prises en fonction des résultats de la recherche et non sous les pressions des lobbies. Et l'acceptation commune de ne prendre de décision grave qu'en cas d'apparition d'un risque défini scientifiquement, et non idéologiquement. Au final, croire à la possibilité d'imposer via l'ONU des décisions très contraignantes qui n'ont pas fait l'objet d'accords préalables entre les acteurs impactés est une illusion.

F. Nouyrigat, Asnières-sur-Seine (92)

## On en reparle



## UN AUTRE NUCLÉAIRE EST BIEN EN MARCHÉ

*"Plus sûr, plus propre et pourtant ignoré depuis cinquante ans!"* A la suite de la catastrophe de Fukushima, notre magazine consacrait sa une (S&V n° 1130, novembre 2011) à un aspect méconnu de l'industrie nucléaire: c'est qu'il est possible de produire de l'électricité nucléaire autrement qu'avec les réacteurs habituels (dits à eau sous pression), susceptibles d'entrer en fusion à la moindre coupure de courant. Ce réacteur alternatif est une machine à sels fondus beaucoup plus vertueuse; un premier exemplaire avait été testé dans les années 1960 aux Etats-Unis, mais n'avait jamais été déployé pour des raisons... discutables.

Eh bien, TransAtomic, une start-up créée par plusieurs scientifiques du MIT, vient de lever les premiers millions de dollars nécessaires à la conception d'un nouveau prototype d'ici cinq ans. Et les ingénieurs sont en cours de recrutement pour régler les problèmes de résistance des matériaux identifiés il y a cinquante ans – de nouvelles options d'architecture ont déjà été prises. L'initiative a des allures de revanche pour cette technologie longtemps méprisée. Ce programme est aussi un pari sacrément courageux, quand on sait à quel point il est délicat d'innover dans cette industrie à haut risque... Toute certification demande souvent plusieurs années de démarches administratives. Le chemin sera donc très long. S&V tâchera de faire part de ses avancées.

V.N.

## La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

**400**

- ▶ Livres
- ▶ Objets scientifiques
- ▶ Idées cadeaux

[www.laboutiquescienceetvie.com](http://www.laboutiquescienceetvie.com)





## Les plantes ressentent aussi les marées des nappes phréatiques



Votre réponse à la question de l'influence de la Lune sur les plantes (S&V n° 1170, p. 125) ignore le phénomène de battement des nappes phréatiques, sous l'effet des forces de marée. Forces qui s'exercent sur la croûte terrestre et entraînent sa dilatation. Les "pores" de la roche mère qui abritent la nappe phréatique se dilatent alors, faisant baisser son niveau. En bord de mer, à l'inverse, la pression de la marée a plutôt tendance à empêcher son écoulement, voire à provoquer sa remontée. Or, ce "battement" des nappes phréatiques peut

avoir une influence sur les plantes. Il peut modifier l'hygrométrie des sols et influencer, par "effet piston", sur leur aération.

Florent Grosfilley, Internet

**S&V** Vous avez raison de rappeler que les marées terrestres existent aussi. Et peuvent influencer les masses d'eau douce. "Sur les littoraux, les botanistes connaissent particulièrement bien les remontées d'eau douce dues aux marées, en arrière des dunes. Il est tout à fait plausible que le niveau d'eau dans les sols varie aussi à

### Questions Réponses

#### Pourquoi le nez se bouche-t-il quand on est enrhumé ?

Question de l'éditeur journal hebdomadaire *Vieillesse des Magazines* (24)

Enrhumé, devinez, pourquoi le nez se bouche-t-il ? La réponse est simple : les muqueuses nasales, qui tapissent le nez, sont gonflées par le sang. Ce gonflement provoque le bouchement du nez. Les muqueuses nasales sont riches en vaisseaux sanguins. Lorsque l'on est enrhumé, ces vaisseaux se dilatent, ce qui provoque le gonflement des muqueuses et le bouchement du nez.

### Questions Réponses

#### La Lune exerce-t-elle une influence sur les plantes ?

Question de l'éditeur journal hebdomadaire *Vieillesse des Magazines* (24)

Non, l'influence de la Lune sur les plantes est négligeable. Les plantes sont sensibles à la lumière, à l'eau et aux nutriments du sol, mais pas à la gravitation lunaire. Les marées terrestres, causées par la Lune, ont une influence sur les océans, mais pas sur les plantes.

## SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

**MONDADORI FRANCE**

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

### RÉDACTION

8, rue François-Ory  
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<sup>re</sup> maquettiste),  
Elisabeth de Garrigues

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),  
Isabelle Henneron ; Boris Bellanger  
(infographie)

### DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Aubin, K. Bettayeb,  
L. Blancard, F. Cadu, B. Cessieux,  
G. Cirade, A. Dagan, A. Debroise, S. Devos,  
S. Fay, H. Gélot, F. Gracci, M. Grousseau,  
C. Hancock, E. Haentjens, M. Kontente,  
O. Lapirot, E. Ledolley, E. Leroy-Terquem,  
M.-C. Mérat, E. Monnier, A. Pihen, B. Rey,  
Y. Sciama, 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 Chesse (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-madrid.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

Editeur social : 8, rue François-Ory  
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 mai 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 manus-  
crits envoyés ne sont pas rendus.

### À NOS LECTEURS

#### RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue  
François-Ory,  
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





# NOUVELLE PEUGEOT RCZ GT Line SPORTIVE SUR TOUTE LA LIGNE



Jantes 19"  
Double canule d'échappement  
Finitions sport avec intérieur cuir

Surpiqûres rouges  
Projecteurs Xénon directionnels  
Motorisation 1,6 THP 200 BVM6

BETC Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris.

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL Consommation mixte (en l/100 km) : de 5 à 6,7. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 130 à 155.

NOUVELLE GAMME PEUGEOT 

MOTION & EMOTION



PEUGEOT



# actus



➤ Les astronomes ont établi la première carte complète de l'eau perdue dans l'atmosphère de Mars : la moitié de son hémisphère Nord aurait pu être sous l'eau !





PLANÉTOLOGIE

# MARS AURAIT ABRITÉ UN OCEAN PLUS VASTE QUE L'ATLANTIQUE

Il y a 4,5 milliards d'années, la Planète rouge était en partie bleue. Profitant de la résolution des meilleurs spectromètres du monde installés sur le Very Large Telescope, au Chili, et sur le télescope Keck, à Hawaï, Geronimo Villabuena et son équipe de la Nasa ont dressé la première carte complète de l'eau dans l'atmosphère de Mars. *"Nous avons observé la planète durant cinq ans, précise le chercheur. Nous avons pu*

*mesurer des variations saisonnières, des différences entre latitudes, détecter des microclimats..."* Surtout, en comparant la quantité d'eau et d'eau semi-lourde – c'est-à-dire dotée d'un atome de deutérium à la place d'un atome d'hydrogène –, les chercheurs ont réévalué combien d'eau la Planète rouge avait laissé s'échapper dans l'espace depuis sa formation. Résultat: 87 %. Mars a perdu 87 % de son eau. Avant sa

transformation en désert aride, elle possédait assez d'eau pour recouvrir la totalité de sa surface d'une nappe profonde de 137 m. Les chercheurs se sont même imaginé cet océan extraterrestre: il pouvait recouvrir la moitié de l'hémisphère Nord, atteignant par endroits des profondeurs de plus de 1,6 km. Il se serait ainsi étendu sur presque 1/4 de la planète et aurait été plus vaste que l'Atlantique.**M.F.**



> Les dents de ce mollusque constituent le matériau naturel le plus résistant connu à ce jour.

PHYSIOLOGIE ANIMALE

## LES DENTS DE LA PATELLE SONT AUSSI DURES QUE LE CARBONE

Jusqu'à présent, la soie de l'araignée était considérée comme le matériau naturel le plus solide au monde. Mais selon l'équipe de chercheurs italo-britannique dirigée par Nicola Pugno (Queen Mary University of London), elle vient de se faire détrôner par les dents

de la patelle, mollusque plus connu sous le nom de chapeau chinois. Constituées d'une matrice organique et de nanofibres d'un minéral appelé goethite, les dents de la patelle se sont révélées aussi résistantes que la fibre de carbone la plus performante qui, elle,

est fabriquée par l'homme. Si l'extrême solidité de ses dents permet à la patelle de limiter l'abrasion engendrée par le contact avec les rochers, pour les chercheurs elle pourrait inspirer la réalisation de nouveaux matériaux composites. **C.H.**

# 145

C'est, parmi nos 20 000 gènes, le nombre de ceux qui nous viendraient, non de nos ancêtres humains, mais de bactéries, champignons, plantes et autres protistes *via* des transferts dits "horizontaux"! Arrivés dans notre ADN ces cinquante derniers millions d'années, ces gènes (dont le nombre est sans doute sous-estimé) interviennent dans le métabolisme des acides aminés et des lipides, notre système immunitaire... **E.R.**

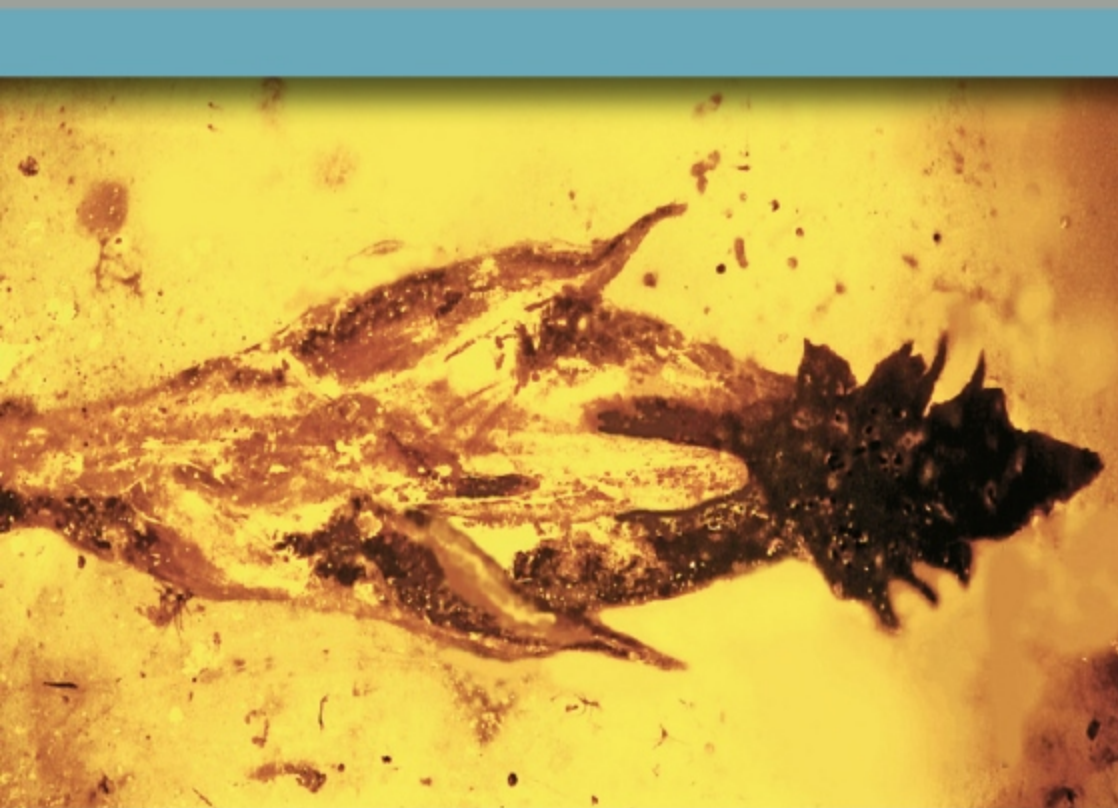
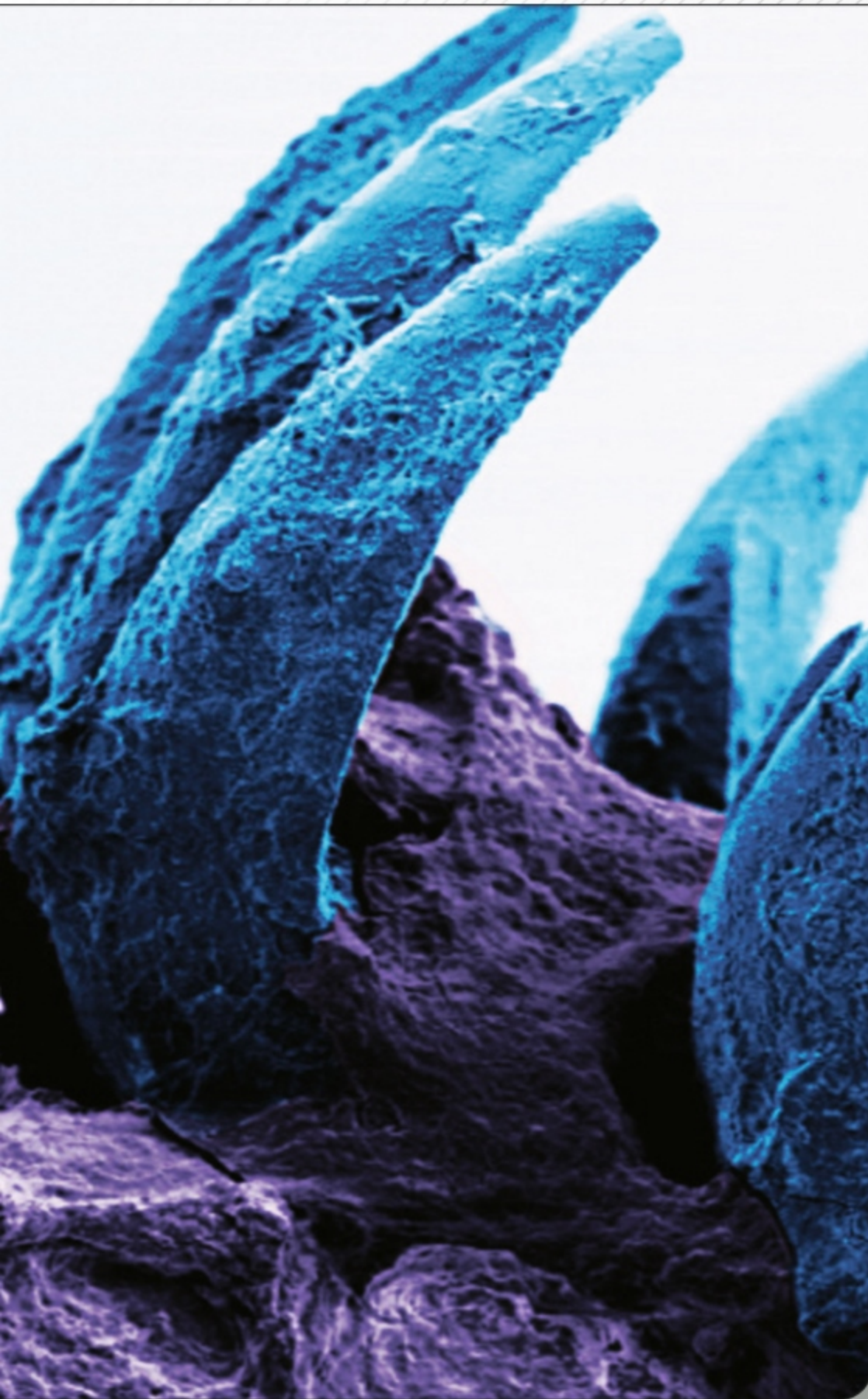
PALÉOBIOLOGIE

## Les dinosaures aussi auraient pu avaler du LSD

Le plus vieux fossile d'herbe a été découvert en Birmanie dans de l'ambre formé il y a 100 millions d'années. Le petit épi de la graminée (12 mm) apparaît surmonté d'un champignon (partie foncée) apparenté au genre *Claviceps*, auquel appartient aussi l'ergot de seigle, ce parasite hallucinogène à l'origine du LSD. Voilà confirmée l'hypothèse selon laquelle les graminées sont depuis très longtemps associées à ces champignons, qui les protègent de l'appétit des herbivores. Selon les auteurs de la découverte, les dinosaures eux-mêmes auraient pu en être victimes... **A.D.**



## Ça reste à prouver



## Et si la matière noire était très banale...

Glenn Starkman a fait les comptes. Ce physicien de l'université de Cleveland a recensé le pouvoir de détection de toutes les expériences de physique des particules, ainsi que la sensibilité de tous les télescopes, jusqu'à arriver à une conclusion étonnante : pour peu qu'elle pèse au minimum 55 g, au maximum 1 000 milliards de milliards de kg et évite l'intervalle entre 100 000 milliards et 100 millions de milliards de kg, la matière noire, cette mystérieuse substance qui représente plus de 80 % de la masse de l'Univers, pourrait être faite du même bois... qu'une banale molécule d'eau. Plus besoin d'invoquer l'existence de particules d'un nouveau genre, la matière noire serait simplement un assemblage de quarks et d'électrons qui n'entrerait en collision avec aucun détecteur, et dont le rayonnement ne pourrait être capté par les télescopes. *"Juste après le big bang, des quarks auraient pu se lier dans un état particulier pour donner naissance à des objets très denses, indétectables avec les moyens actuels",* propose Glenn Starkman. Selon lui, ces objets pourraient ressembler à de petites étoiles à neutrons ou à de gigantesques noyaux atomiques riches en un type de quark particulièrement instable : les quarks étranges. Reste à trouver, avec les lois de la physique des particules, un mécanisme pour leur donner naissance. **M.F.**





^ Ces grumeaux de gaz sont des soleils de moins de 100 000 ans.

## ASTRONOMIE

# LES ASTRONOMES ONT DÉCOUVERT TROIS EMBRYONS D'ÉTOILES

C'est la première fois qu'on les voit aussi jeunes. Ces trois embryons d'étoiles sont en effet encore enveloppés dans leur cocon de gaz. Jamie Pineda et son équipe, de l'Institut d'astronomie de Zurich, les ont découverts en pointant les puissants objectifs des télescopes Very Large Array, au Nouveau-Mexique, et James Clerk Maxwell Telescope, à Hawaï, vers le nuage de Barnard 5, dans la constellation de Persée. Dans cette zone connue pour être une pouponnière stellaire, ils cherchaient à observer les premiers stades de l'évolution d'une étoile. Et ils n'ont pas été

décus ! Ils sont tombés sur un nid de trois bébés soleils de moins de 100 000 ans, aux côtés d'une très jeune étoile. *"C'est un cas d'école qui va nous permettre de faire un grand tri entre tous les modèles de formation stellaire !"*, s'enthousiasme le chercheur.

Les astronomes ont déjà déduit, d'après leur densité et leur température, que les trois grumeaux de gaz devraient s'effondrer et s'allumer en étoiles d'ici "seulement" 40 000 ans. Et après ? Mystère. Celles-ci pourraient rester groupées, formant un système triple... ou s'égrainer dans l'espace.

M.F.

## PALÉONTOLOGIE

# Chez Neandertal, déjà, les tâches domestiques étaient sexuées

Les néandertaliens utilisaient leurs mâchoires comme une troisième main. Leurs dents, striées et écaillées, témoignent de leur utilisation à des activités comme la découpe de la viande ou des peaux. Or, l'analyse des marques de 99 canines et incisives de 19 néandertaliens a révélé des stries plus longues et plus nombreuses chez les femmes, signe qu'elles participaient plus que les hommes à ces tâches. Cette inégale répartition des activités entre les sexes confirme la complexité de ces populations.

A.D.

✓ Le cône géographe provoque chez ses proies un choc hypoglycémique intense qui les neutralise.



## ZOOLOGIE

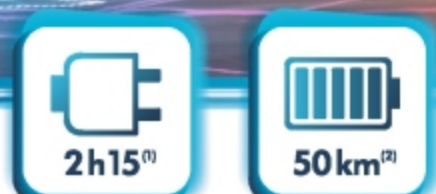
# Ce mollusque venimeux pique ses proies à l'insuline

Le cône géographe, un mollusque marin présent dans l'océan Indien et l'ouest de l'océan Pacifique, est connu pour être extrêmement venimeux. Or, une équipe de chercheurs américains et australiens dirigée par Baldomero Olivera (université de l'Utah) vient de montrer que son venin ne contient pas seulement des substances neurotoxiques, mais également une forme particulière d'insuline. Ejectée dans l'eau, celle-ci produit chez les poissons qu'il chasse un choc hypoglycémique intense, qui réduit leurs mouvements au strict minimum. De quoi faciliter leur capture dans l'immense bouche que le redoutable mollusque déploie alors comme un filet de pêche.

C.H.



# L'ENVIRONNEMENT VA SE FAIRE RESPECTER SUR LA ROUTE.



## Nouvelle Golf GTE. 204 ch pour seulement 1,5 l/100 km. Il n'y a pas de progrès sans plaisir.

Une sobriété exemplaire et des sensations de conduite exceptionnelles : la première hybride rechargeable de Volkswagen a tout pour elle. Ses performances sportives se montrent à la hauteur de son design. Grâce à l'action conjuguée des moteurs essence et électrique, la Nouvelle Golf GTE affiche un couple impressionnant qui lui permet d'atteindre les 100 km/h en 7,6 secondes. Le tout avec une consommation maîtrisée.

**Think Blue.**  
L'INNOVATION RESPONSABLE



**Das Auto.**

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

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

(1) Avec Wallbox. (2) Source NEDC. **Modèle présenté** : Nouvelle Golf GTE avec option jantes 18" 'Serron'. **Think Blue : Pensez en bleu.**  
**Das Auto. : La Voiture.**

Cycle mixte (l/100 km) : 1,7. Consommation électrique (kWh/100 km) : 12,4. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) : 39.

Professionnels, découvrez ce véhicule pour votre entreprise sur [volkswagen-professionnels.fr](http://volkswagen-professionnels.fr)



Aujourd'hui

-1,8 milliard  
d'années

-2,3 milliards  
d'années

^ Cette bactérie  
n'a absolument  
pas évolué en  
plus de deux mil-  
liards d'années.

## PALÉOBIOLOGIE

# LA VIE PEUT RESTER "FIGÉE" DURANT DES MILLIARDS D'ANNÉES

Des bactéries qui n'ont pas évolué depuis plus de deux milliards d'années: c'est ce qu'a découvert James William Schopf, paléobiologiste à l'université de Californie. Il a comparé des fossiles de communautés bactériennes âgés de 1,8 et 2,3 milliards d'années, découverts en Australie, à leurs homologues modernes, prélevés en 2007 dans des sédiments au large du Chili. Résultat: les analyses par spectroscopie et microscopie des bactéries des trois communautés ont révélé que leur forme, leur fonction et leur métabolisme étaient strictement identiques. En

l'absence d'oxygène, de lumière, et même de tout mouvement de l'eau, elles vivent grâce au soufre (elles métabolisent les sulfates dissous dans l'eau de mer) dans les boues des grands fonds marins. *"Cette observation est surprenante mais compatible avec la loi de la biologie selon laquelle les espèces n'évoluent qu'en réponse à un changement biologique ou physique de leur environnement, indique le chercheur. Une explication est que l'environnement dans lequel vivent ces micro-organismes est resté stable depuis plus de deux milliards d'années."* E.L.-T.

## LA CHAUVESOURIS HIBERNE MÊME QUAND IL FAIT CHAUD...

Deux espèces de chauves-souris *Rhinopoma* ont été observées hibernant, six mois durant, dans une grotte en Israël, à 20 °C. Elles réduisent leur consommation d'énergie et leur évaporation pour éviter de se déshydrater. A.D.

## ... ET UNE PIEUVRE SURVIT EN EAU FROIDE

Dans l'Antarctique, la pieuvre *Pareledone charcoti* respire même à -1,9 °C: ses tissus sont alimentés en oxygène par de l'hémocyanine, en très grande concentration, qui teinte son sang en bleu. A.D.

## C'EST LA VOIX GRAVE QUI FAIT L'ÉTALON!

Des chercheurs rennais ont constaté que les étalons aux fréquences vocales basses allient sperme de meilleure qualité et plus grand succès reproducteur. Et les juments leur manifestent davantage d'intérêt. A.D.

## PLANÉTOLOGIE

# Encelade paraît plus que jamais un eldorado

Comme la Terre, Encelade, une lune de Saturne, serait animée d'une activité géothermale: roches et eau s'y allient pour participer à des réactions chimiques. L'équipe de Hsiang-Wen Hsu (université du Colorado) a reconstitué les conditions de formation de particules analysées par la sonde *Cassini* dans ses geysers de glace. Verdict: les grains ont cristallisé dans une eau salée, faiblement basique, près de roches et à 90 °C: des conditions similaires à celles qui règnent autour de certaines sources hydrothermales, au fond des océans terrestres. Des conditions idéales pour voir émerger des molécules complexes et... la vie. M.F.





Mètres laser PLR connectés

# Mesurez. Sauvegardez.

Gérez tous vos projets  
sur smartphone et tablette.



Téléchargez gratuitement l'application Bosch *PLR measure&go*\*



Télécharger dans  
l'App Store

DISPONIBLE SUR  
Google play



## BOSCH

Des technologies pour la vie

[www.bosch-do-it.com](http://www.bosch-do-it.com)





^ Ces 8 serres d'aigle étaient portées en collier par Neandertal bien avant *Sapiens*.

PALÉOANTHROPOLOGIE

## LE PLUS VIEUX BIJOU EST NÉANDERTALIEN

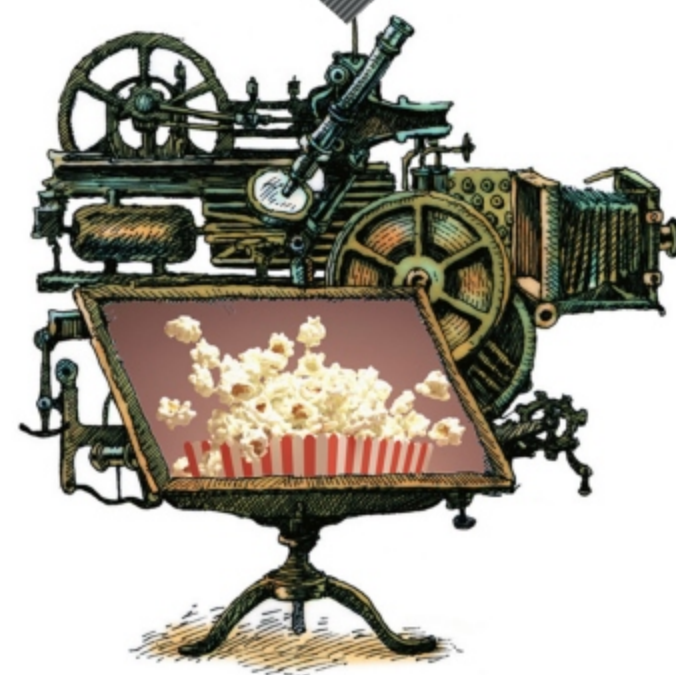
L'homme moderne n'est décidément plus la seule espèce humaine à avoir fait preuve d'un goût pour le symbole et l'art. En témoignent les 8 serres d'aigle identifiées parmi les fossiles dégagés il y a plus d'un siècle du site de Krapina, en Croatie. Les paléontologues croates et américains qui les ont examinées récemment y ont décelé des traces indiquant non seulement que des outils ont

été utilisés pour couper les tendons les reliant au corps du rapace, mais qu'elles ont sans doute ensuite été montées en collier, et portées au point qu'elles soient polies par endroits. Or, le site n'a été occupé que par l'homme de Neandertal, il y a 130 000 ans. Bien avant l'arrivée de *Sapiens* en Europe, Neandertal aurait donc été l'auteur de ce qui apparaît comme le plus vieux bijou connu. **A.D.**

GÉNÉTIQUE

## L'humanité descendrait de quelques mâles privilégiés

En analysant les chromosomes Y de 456 hommes, des chercheurs ont montré que le nombre de mâles ayant donné naissance aux humains actuels a fortement chuté il y a entre 4 000 et 8 000 ans: le ratio n'aurait été que d'un homme pour 17 femmes ayant aujourd'hui des descendants. Le développement de sociétés complexes, et donc d'inégalités sociales, pourrait l'expliquer: seule une minorité d'hommes privilégiés aurait alors eu de nombreux enfants en bonne santé, au point que leurs descendants ont fini par constituer l'ensemble de la population humaine. **E. A.**



## On a compris pourquoi le pop-corn fait "pop"

Le phénomène fascinait Emmanuel Viot et Alexandre Ponomarenko, alors étudiants à l'Ecole polytechnique (Palaiseau). Certes, l'origine de l'éclatement du pop-corn était déjà connue: lorsque l'on chauffe le grain de maïs, une partie de l'eau qu'il contient se vaporise, faisant monter la pression à l'intérieur du grain comme dans une cocotte-minute... jusqu'à ce que la coque se fissure. Mais pourquoi saute-t-il en éclatant, et d'où vient ce son caractéristique qui lui donne son nom? C'est en observant et en écoutant au ralenti un grain de maïs éclater que les deux camarades ont eu le fin mot de l'histoire. Peu après la fracture de la coque, les images révèlent l'apparition d'une sorte de pâte constituée de mousse d'amidon qui propulse le pop-corn en l'air comme un ressort, à la manière d'un gymnaste prenant une impulsion. Le "pop", lui, n'est pas lié à la fissuration de la coque, mais à un échappement de vapeur d'eau qui fait résonner les cavités du grain, un peu comme à l'ouverture d'une bouteille de champagne. "Ce phénomène réunit de manière élégante plusieurs domaines de la physique: thermodynamique, biomécanique, acoustique, explique Emmanuel Viot. Ce qui fait du pop-corn un objet particulièrement adapté à l'enseignement de cette matière!" Avis aux professeurs. **E.H.**



ALLGRIP  
TECHNOLOGIE 4x4

PERSONNALISABLE

FREINAGE ACTIF  
D'URGENCE

SUZUKI VITARA

SUZUKI VITARA

SUZUKI VITARA

VITARA

## NOUVEAU VITARA. Réinventons la légende

Gamme à partir de 15 990 € <sup>(1)</sup>

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 <sup>(2)</sup> 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 13/03/2015 au 30/06/2015. **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€.** Consommation mixtes CEE gamme Vitara (l/100 km) : de 4,0 à 5,7. Emissions de CO<sub>2</sub> (g/km) : de 106 à 131. (2) SUV (Sport Utility Vehicle) : concept urbain et tout chemin. Tarifs TTC clés en main au 09/03/2015. \*Un style de vie !

**Garantie 3 ans ou 100 000 km au 1<sup>er</sup> terme échu.**

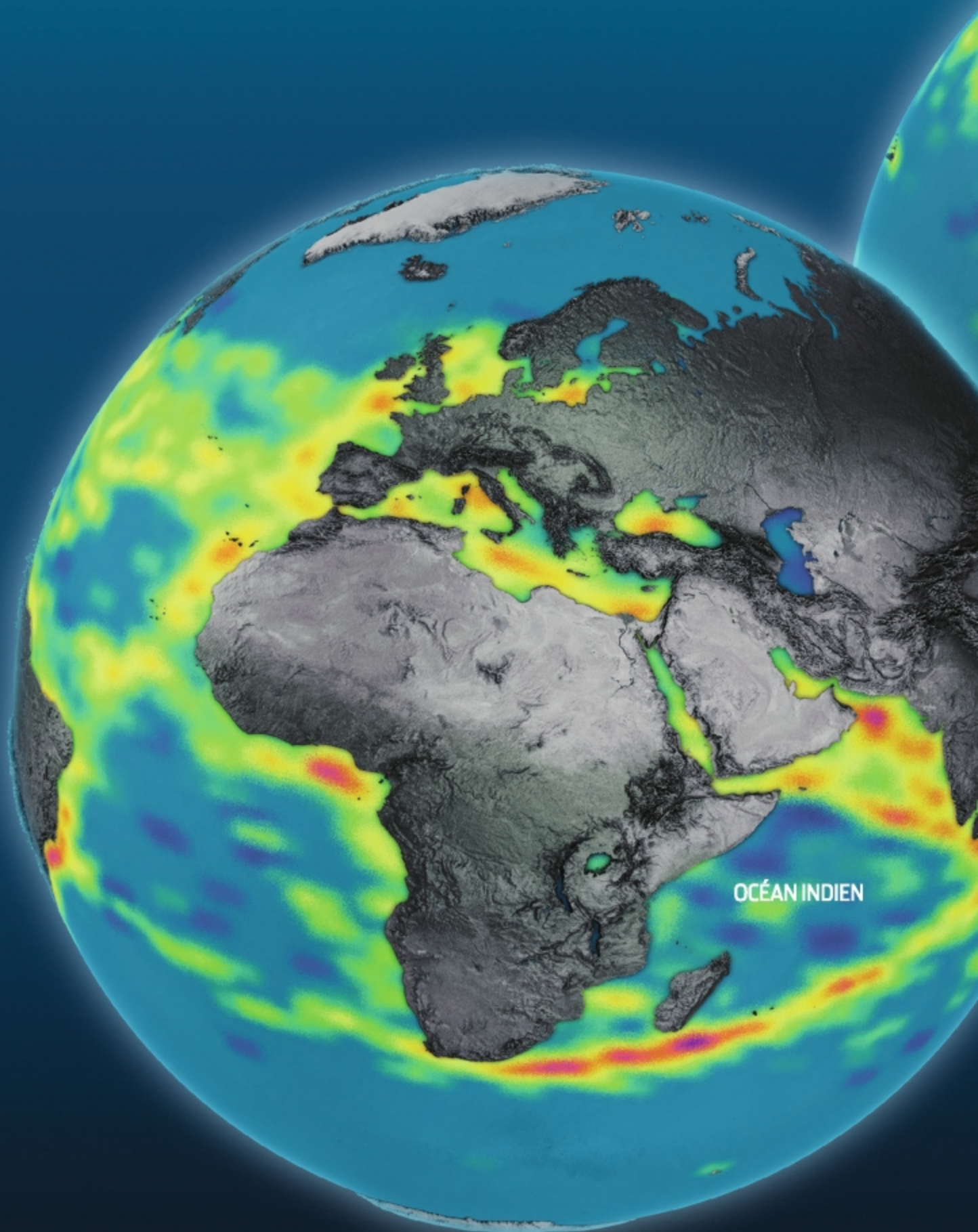


POLLUTION OCÉANIQUE

# LE TRAFIC MARITIME MONDIAL A QUADRUPLÉ EN 20 ANS

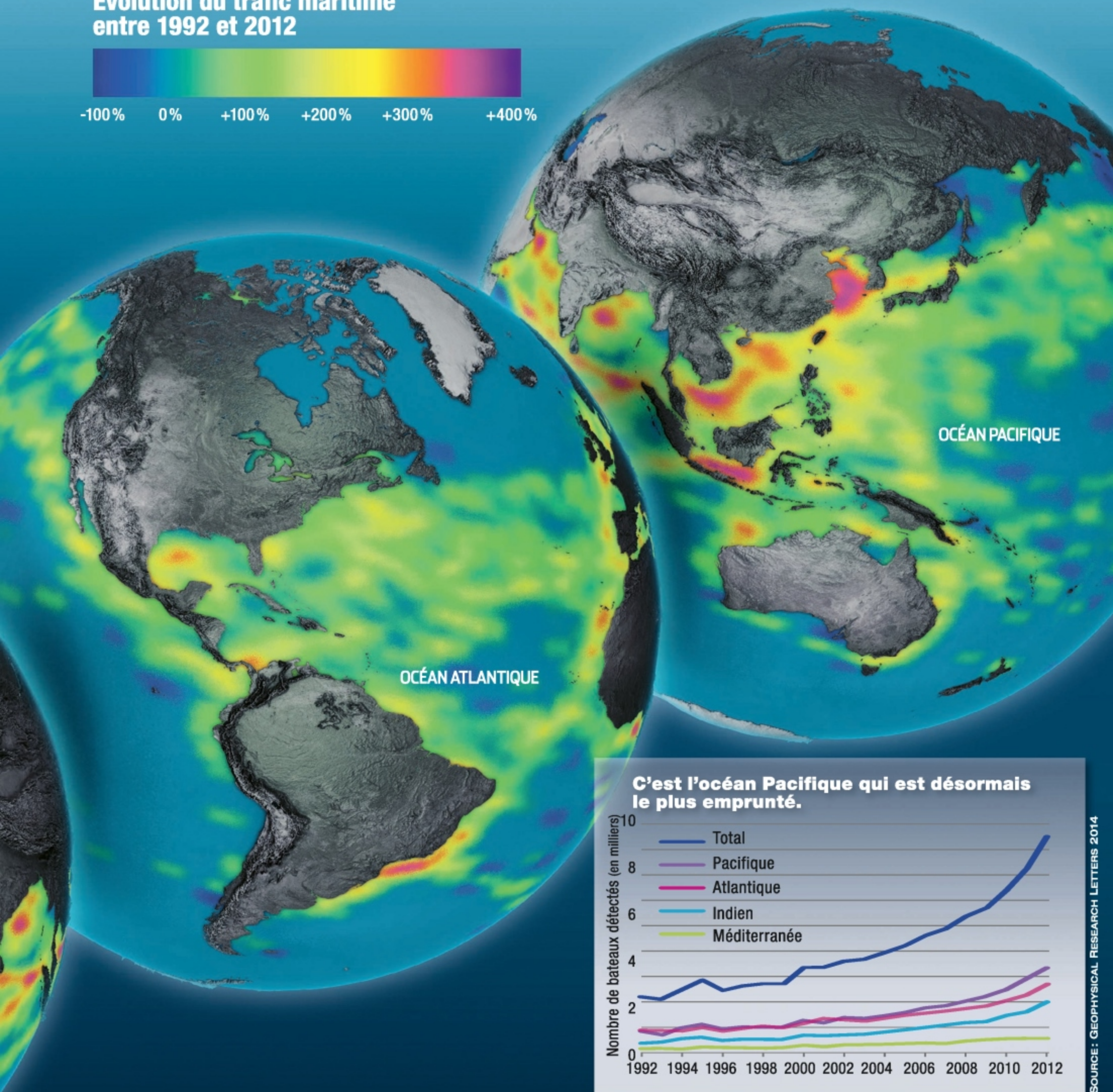
Près de 100 000 navires marchands, supertankers, bâtiments militaires et autres ferries croisent en permanence sur les eaux de la planète. Soit quatre fois plus qu'il y a vingt ans ! La circulation des bateaux sur l'océan mondial a augmenté de 6 % par an durant la décennie 1990, puis de 10 % par an dans les années 2000, pour au final quadrupler entre 1992 et 2012. C'est à peine si cet accroissement a marqué une légère pause en 2008, au plus fort de la crise économique. Pour obtenir ces chiffres, Jean Tournadre, chercheur à l'Ifremer, a eu l'idée d'utiliser l'altimétrie satellitaire, une technique d'observation de la Terre disponible depuis le lancement du satellite franco-américain Topex-Poséidon, en 1992. *"Les radars embarqués ont été conçus pour étudier la hausse du niveau marin ou encore les courants, commente le chercheur, mais nous avons mis au point des traitements de données qui nous ont permis de suivre d'abord les icebergs, puis la présence des bateaux."* C'est autour de l'Asie que l'accroissement du trafic maritime est le plus important, particulièrement dans l'océan Indien et la mer d'Arabie. Cette circulation, note Jean Tournadre, *"est la principale source de pollution en haute mer"*, notamment aux oxydes d'azote (NO), avec un impact relativement plus fort sur les mers fermées comme la Méditerranée ou la mer Noire.

Y. S.

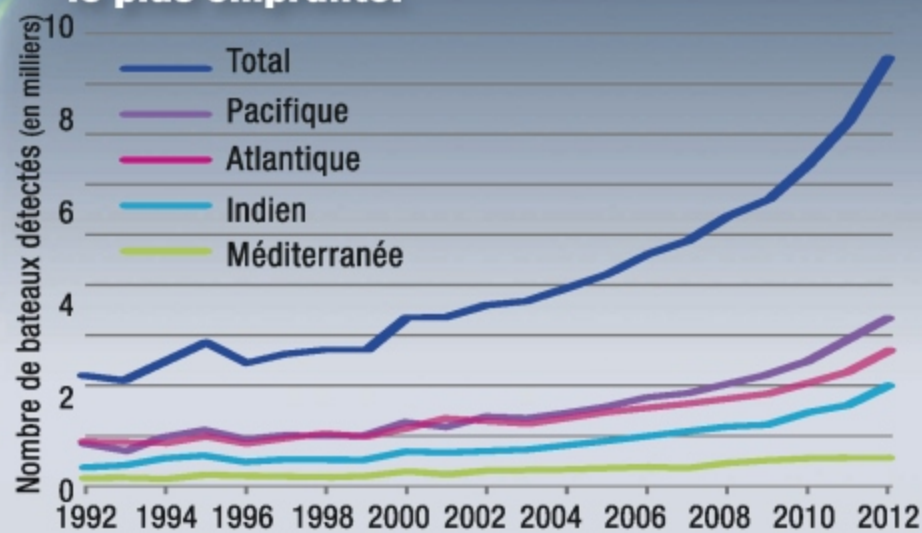




## Evolution du trafic maritime entre 1992 et 2012



**C'est l'océan Pacifique qui est désormais le plus emprunté.**



SOURCE : GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 2014

# +300%

C'est la hausse du trafic en seulement 10 ans dans la baie du Bengale et en mer d'Arabie, un record.

# +50%

C'est l'évolution (en 20 ans) de la pollution au NO<sub>2</sub> dans le couloir de navigation Chine-Sri Lanka.

# 60 m

C'est la taille à partir de laquelle un navire peut être repéré par le radar d'un satellite.



BIOLOGIE MARINE

# L'EXTINCTION DES CORAUX N'EST PAS POUR DEMAIN

Dans les années 1990 et 2000, plusieurs études envisageaient la fin des coraux sous l'effet de la pollution, du changement climatique et de l'acidification des océans. Mais voilà qu'une équipe de 23 spécialistes nuance ce pronostic. D'après eux, les communautés coralliennes subiraient plutôt une réorganisation qu'une destruction: *"Nous avons croisé des données paléontologiques issues des réchauffements passés, des observations remontant à plusieurs décennies sur sept récifs caribéens et indo-pacifiques,*

*et des modélisations, indique Mehdi Adjeroud, de l'Ifremer. Certes des coraux vont disparaître, mais d'autres viendront les remplacer, au moins en partie."* Ainsi les porites, tolérants à la chaleur, devraient devenir dominants.

Par ailleurs, certains phénomènes, comme le blanchissement ou les pullulations d'étoiles de mer prédatrices, n'auraient rien d'inédit et peuvent être réversibles. Les chercheurs n'en constatent pas moins une détérioration globale des récifs et soulignent l'importance de les protéger contre la surpêche et les pollutions. **Y.S.**



AGRONOMIE

## Une graminée africaine ferait un meilleur biocarburant que le maïs

Comparé à une graminée commune (le switchgrass) ou aux chutes de maïs (mélange de tiges et de feuilles restant après la récolte), le miscanthus – une graminée africaine géante – s'avère de

loin la source de biocarburant la plus efficace, selon une étude de l'université de l'Illinois (É.-U.). Il est d'autant plus intéressant qu'il pousse sur des sols trop pauvres pour cultiver



## EL NIÑO A COMMENCÉ

La NOAA américaine a annoncé en mars l'entrée du Pacifique dans une phase El Niño, soit le début d'un phénomène libérant une grande quantité de chaleur dans l'atmosphère. Record de température à prévoir pour 2015 ?

## PROTÉGÉES CONTRE LA RADIOACTIVITÉ

Le composé Cs Tolen A réduit de moitié la quantité de césium fixée par les plantes exposées à ce radionucléide, le principal contaminant résiduel à Fukushima. Une piste pour relancer l'agriculture en zone contaminée.

## LE BAROMÈTRE DES GLACES TIBÉTAINES

Des chercheurs ont découvert que les glaciers tibétains recueillent la pollution selon les vents dominants. Ainsi, les composés toxiques PFASs y ont crû jusqu'aux années 1980 côté européen, puis décru au gré de lois restrictives, alors qu'ils apparaissent côté asiatique.

## ÉCOLOGIE

# La boulimie des insectes sape le stockage du carbone

On sait que les arbres poussent mieux lorsque l'atmosphère est plus riche en  $\text{CO}_2$  (surnommé parfois "engrais atmosphérique"). En retour, davantage de dioxyde de carbone est immobilisé sous forme de bois, ce qui soulage l'atmosphère d'une partie de son excédent en  $\text{CO}_2$ . Les scientifiques comptent d'ailleurs sur ce mécanisme (la "rétroaction") pour atténuer le réchauffement généré par nos émissions. Hélas, la rétroaction pourrait être moins importante qu'escompté, selon une équipe de l'université du Wisconsin (É.-U.), qui a travaillé sur un dispositif rare et coûteux : des parcelles forestières dont l'atmosphère a été artificiellement enrichie en  $\text{CO}_2$  par une soufflerie durant vingt ans. Ils ont constaté que les dégâts des chenilles et autres insectes herbivores y étaient environ deux fois plus importants que sur les parcelles normales. Cette boulimie des arthropodes pourrait venir du fait que la croissance accélérée des arbres réduit leur valeur nutritive, obligeant les insectes à en consommer davantage. Selon John Couture, principal auteur de l'étude, "*le déficit de stockage du carbone dû à l'action des insectes oscille de 30 à 50 % selon les années, ce qui est considérable*". Une analyse cohérente avec diverses publications annonçant des ravageurs plus actifs dans un monde à  $\text{CO}_2$  élevé.

Y.S.

Les porites, qui supportent bien la chaleur, deviendraient majoritaires dans les récifs coralliens.

des céréales. Pour en juger, les chercheurs ont regardé toute la chaîne : quantité de bioéthanol produite, mais aussi consommation d'engrais (fabriqués avec du gaz naturel) et bilan carbone sur le sol. Le maïs, moins productif à l'hectare, dégage au final plus de  $\text{CO}_2$  qu'il ne permet d'en économiser...

Plus les arbres poussent vite, plus les insectes les grignotent.



S. ANDREFOUET/IRD - T. WADA/CORBIS - J. COUTURE/UW-MADISON UNIVERSITY



NEUROLOGIE

# UNE GREFFE DE NEURONES RÉPARE UN CERVEAU

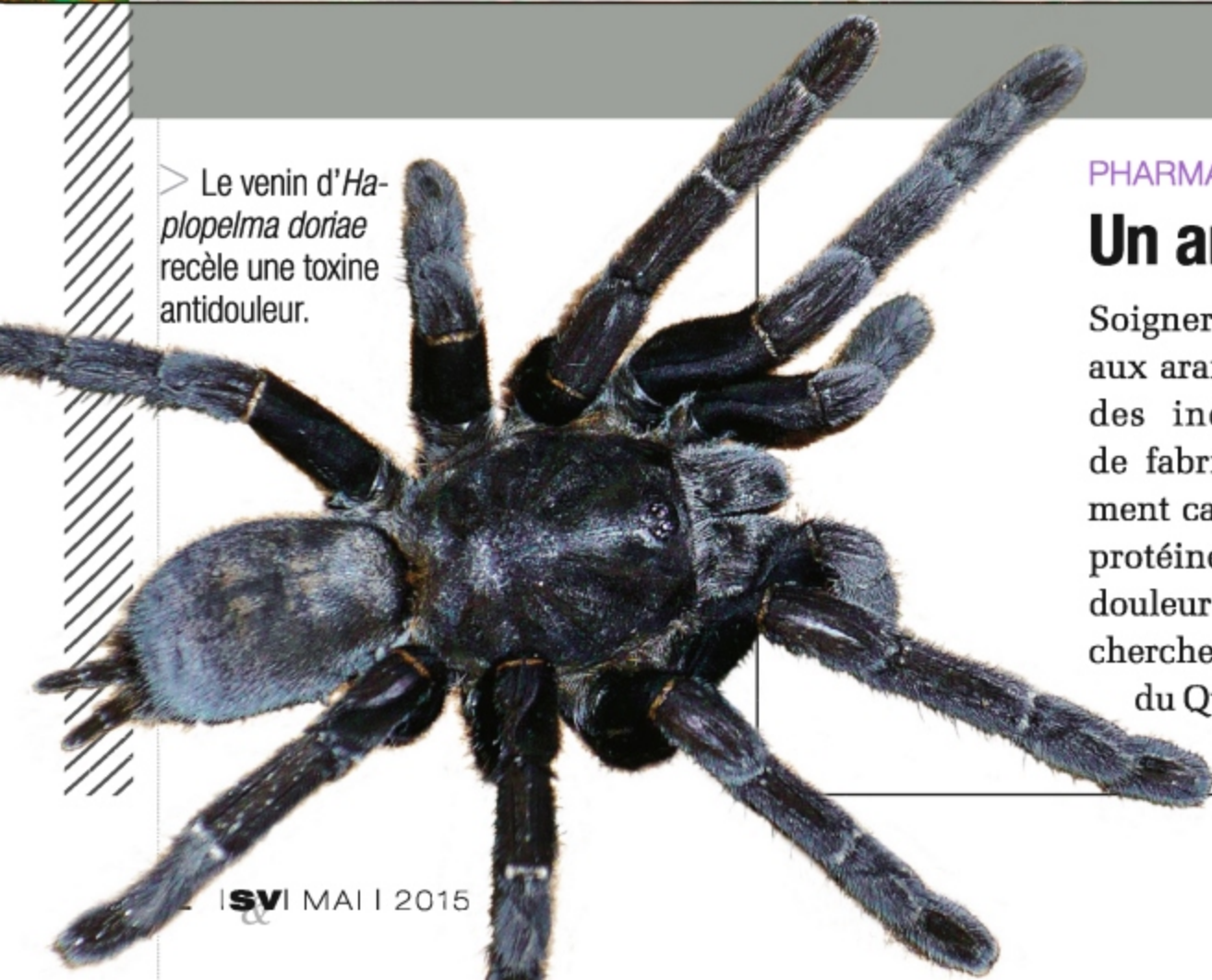
Pour la première fois, des chercheurs ont réparé une partie du cerveau grâce à une greffe. Cet exploit a été réalisé chez la souris, par le laboratoire de Neurosciences expérimentales et cliniques de l'université de Poitiers, en collaboration avec l'Institut de recherche interdisciplinaire en biologie humaine et moléculaire de Bruxelles. Des neurones visuels, obtenus à partir de cellules souches embryonnaires de souris,

ont été greffés dans le cortex visuel touché par une lésion. Trois à neuf mois plus tard, les neurones greffés se sont complètement intégrés dans la région hôte chez une partie des rongeurs. Des enregistrements de l'activité cérébrale ont mis en évidence le rétablissement de la fonction des circuits lésés. *"Nous avons aussi montré que la greffe de neurones visuels dans le cortex moteur abîmé ne marche pas, d'où la néces-*

*sité de greffer des neurones spécifiques de la région à réparer"*, explique Afsaneh Gaillard, responsable de l'équipe de Poitiers.

La technique sera ensuite testée avec des cellules humaines chez des souris, puis chez des singes. *"Elle a des chances de fonctionner un jour chez l'homme. Mais peut-être pas de mon vivant"*, commente Pierre-Marie Lledo, directeur de recherche à l'Institut Pasteur et au CNRS. **H.G.**

➤ Le venin d'*Haplopelma doriae* recèle une toxine antidouleur.



PHARMACOLOGIE

# Un antidouleur a été extrait du venin

Soigner la douleur grâce aux araignées? Alors que des industriels tentent de fabriquer un médicament capable d'inhiber la protéine Nav1.7, liée à la douleur chez l'homme, des chercheurs de l'université du Queensland (Australie) ont mis la

main sur la perle rare dans le venin d'arachnides, dont celui d'*Haplopelma doriae*, qui vit en Australie. Ils ont élaboré un système de criblage pour dénicher les toxines pouvant se fixer spécifiquement sur la Nav1.7 et non sur les autres protéines.



## UN POLYMÈRE CONTRE L'HÉMORRAGIE

Des chercheurs américains ont mis au point un polymère synthétique qui, injecté, migre jusqu'à une zone d'hémorragie pour la stopper. L'efficacité de ce produit a été démontrée chez le rat. Il pourrait rendre de grands services aux accidentés ou aux hémophiles. **O.C.**

## UNE MOLÉCULE PROMETTEUSE

Une nouvelle molécule, développée à Nantes, permet de stopper l'évolution de la sclérose en plaques chez le singe rhésus. Elle est aussi prometteuse dans le traitement antirejet de greffes. **O.C.**

## DE LA TENSION AUX CORTICOÏDES

Surprise dans une étude de l'Inserm. Des médicaments contre l'hypertension se sont révélés efficaces contre les effets secondaires des crèmes à base de corticoïdes utilisées pour traiter certaines maladies de peau ! **C.T.**

## d'une araignée

Après avoir passé 205 venins en revue, les chercheurs ont détecté sept toxines intéressantes dont l'une présente une structure chimique très stable. Un atout majeur pour un médicament potentiel. Ils vont maintenant la tester chez des animaux. **A.R.**

Un mois après la greffe sur le cerveau de souris, les neurones transplantés (en vert) sont devenus matures, s'intégrant parmi les autres (en rouge).

## CANCÉROLOGIE

## La nocivité des rayons X dépend des gènes de chacun

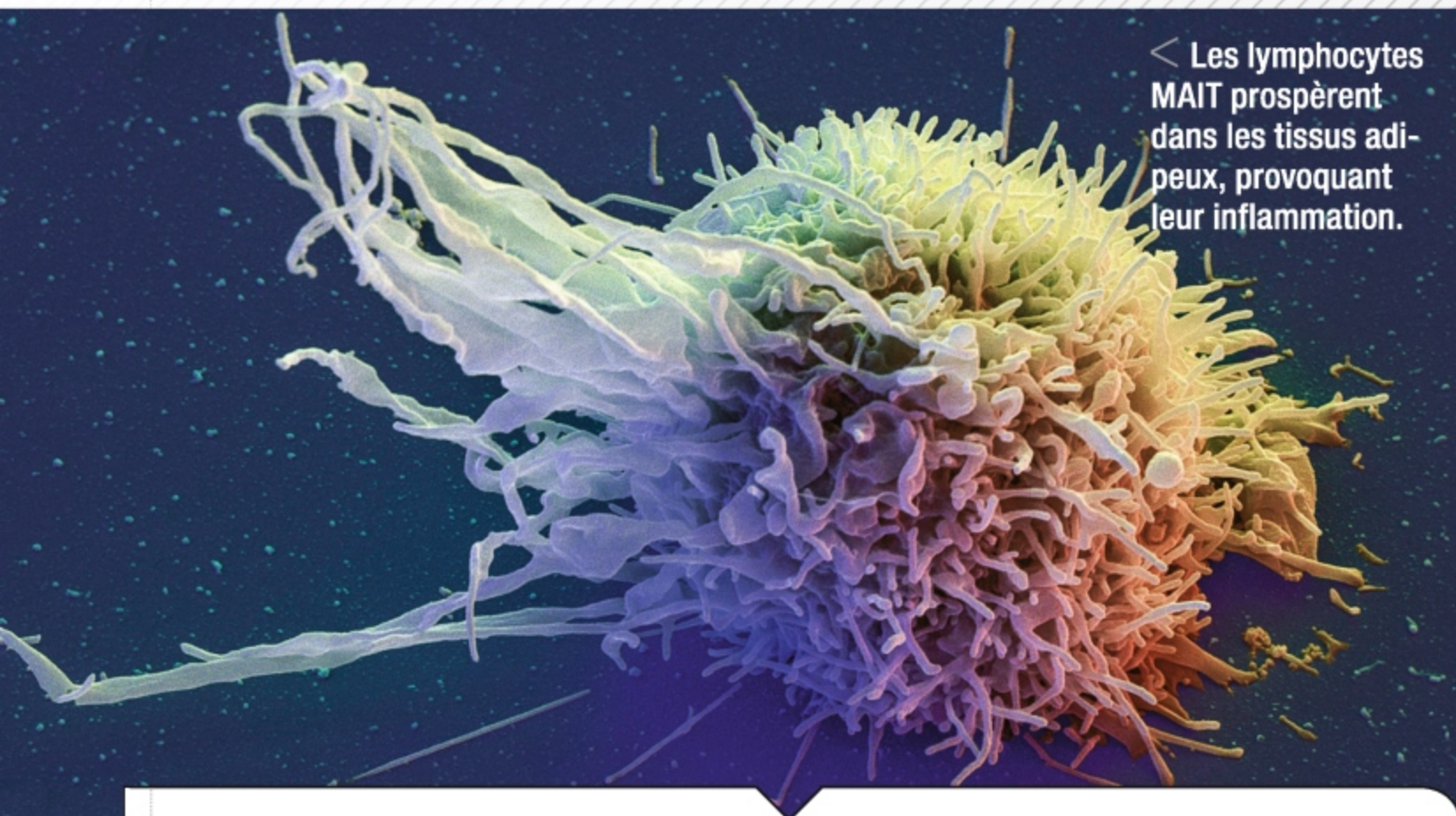
Des radiations à faible dose, comme celles émises par les appareils de mammographie, augmenteraient bien le risque de développer une tumeur... mais seulement lorsque le terrain génétique est favorable. La démonstration en a été faite chez des souris par des chercheurs de l'université de Berkeley (É.-U.), qui ont étudié des rongeurs largement prédisposés au cancer. La moitié d'entre eux ont été soumis à de faibles doses de radiations. Les chercheurs ont alors implanté des cellules précancéreuses sur une de leurs glandes mammaires et les ont surveillées pendant 18 mois. Dans la majorité des cas, le fait d'avoir reçu des radiations n'a pas influencé le développement tumoral. Chez quelques individus, l'évolution du cancer a même été freinée. Mais chez une minorité d'animaux, cette évolution a été accélérée. Les chercheurs ont identifié 13 gènes soupçonnés d'avoir créé un environnement favorable au cancer chez les souris exposées aux radiations. Ainsi, le risque de cancer ne serait pas proportionnel à la dose de radiations reçues mais lié au profil génétique. Ces recherches pourraient éviter aux personnes à risque d'avoir trop souvent recours aux examens par rayons X. **O.C.**



Selon son profil génétique, il faudrait recourir aux mammographies avec prudence.

K.MICHELSSEN/PVANDERHAEGHEN - C.MACKAY - M.THOMAS/SPL/PHANIE





< Les lymphocytes MAIT prospèrent dans les tissus adipeux, provoquant leur inflammation.

IMMUNOLOGIE

## UN LYMPHOCYTE PARTICULIER LIE DIABÈTE ET OBÉSITÉ

Les tissus graisseux des personnes obèses ou diabétiques présentent une inflammation importante qui favorise la résistance à l'insuline, l'hormone liée à la bonne utilisation des sucres. Mais encore? Une équipe française vient justement d'identifier une classe de cellules immunitaires qui semblent impliquées à la fois dans le diabète et

l'obésité: les lymphocytes MAIT (Mucosal Associated Invariant T-cells). Alors qu'ils sont quasiment indétectables dans le sang des patients, leur concentration explose dans les tissus adipeux, où ils sécrètent des molécules inflammatoires en excès. "Il reste encore beaucoup de points à vérifier, mais nous supposons que ces cellules immuni-

taires sont peut-être attirées dans les tissus malades par la présence de molécules bactériennes provenant de l'intestin. Elles favoriseraient l'inflammation et contribueraient au développement de ces maladies", confirme une des chercheuses. Cette découverte pourrait déjà permettre des traitements ciblés dans les tissus enflammés. **A.R.**

BACTÉRIOLOGIE

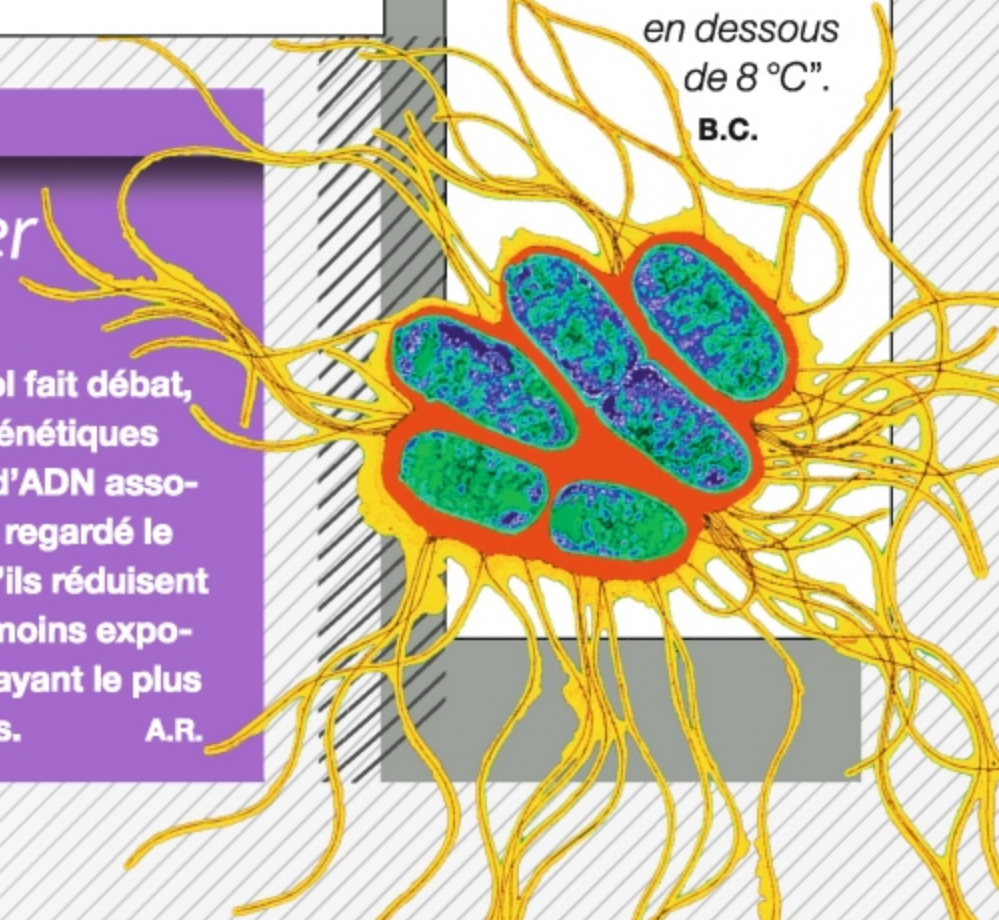
## Une bactérie tueuse a été identifiée

L'enquête des chercheurs sur le décès de trois nourrissons à l'hôpital de Chambéry en décembre 2013 semble toucher à sa fin. Et la présumée coupable est une bactérie totalement inconnue jusqu'alors. Identifiée dans les poches de nutrition qui ont contaminé les enfants, la *Rouxiiella chamberiensis* présente des caractéristiques jamais observées. Selon Anne Le Flèche-Mathéos, chercheuse à l'Institut Pasteur, "cette bactérie fait partie de la grande famille des entérobactéries mais elle survit à basse température, lorsque les autres entérobactéries meurent en dessous de 8 °C". **B.C.**

CARDIOLOGIE

## Un test génétique pourrait valider les traitements anticholestérol

Alors que l'utilisation excessive des statines contre le cholestérol fait débat, une équipe américaine de Harvard propose d'utiliser des tests génétiques pour mieux cibler les prescriptions. En analysant 27 séquences d'ADN associées aux maladies coronariennes visées par les statines, ils ont regardé le bénéfice de ces médicaments selon le profil génétique. Alors qu'ils réduisent le risque d'accident coronarien de 13% chez les personnes les moins exposées sur le plan génétique, la diminution atteint 48% chez ceux ayant le plus haut risque génétique. Ces résultats demandent à être confirmés. **A.R.**







*Cet épi  
m'épate*

## Nathan est relax !

Le maïs est l'un des ingrédients composant sa couche. Il lui permet de se sentir au sec, tout en douceur.

## AVEC LES HOMMES DU MAÏS

Découvrez une plante épatante, source d'ingrédients végétaux pour un quotidien plus agréable, pratique et naturel. Produits alimentaires, cosmétiques, médicaments, matériaux, emballages... Le maïs répond à une multitude de nos besoins de manière durable.

 Rendez-vous sur [www.cetepimepate.fr](http://www.cetepimepate.fr)

Les Hommes du Maïs : toute une filière\* au service de la vie quotidienne

\*AGPM, FNPSMS, Gnis



> Ce premier module photovoltaïque polychrome ne mesure que 1 mm d'épaisseur.



## ÉNERGIE

# LES PANNEAUX SOLAIRES PRENNENT DES COULEURS

Et si les panneaux solaires pouvaient se fondre dans le paysage en prenant la forme de panneaux d'affichage, par exemple ? L'entreprise française DisaSolar, en partenariat avec le CEA et le CNRS, vient de franchir une étape clé dans ce sens : elle a réussi à fabriquer un module photovoltaïque multicolore !

Cette première mondiale – seuls des modèles colorés monochromes existaient jusqu'ici – a été rendue possible grâce à une nouvelle génération de panneaux, "organiques", dans lesquels le silicium habituellement utilisé est remplacé par un polymère. Ici,

plusieurs types de polymères sont assemblés pour obtenir les différentes couleurs. L'avantage de ce type de panneaux est qu'ils sont souples et déclinables sous des formes variées.

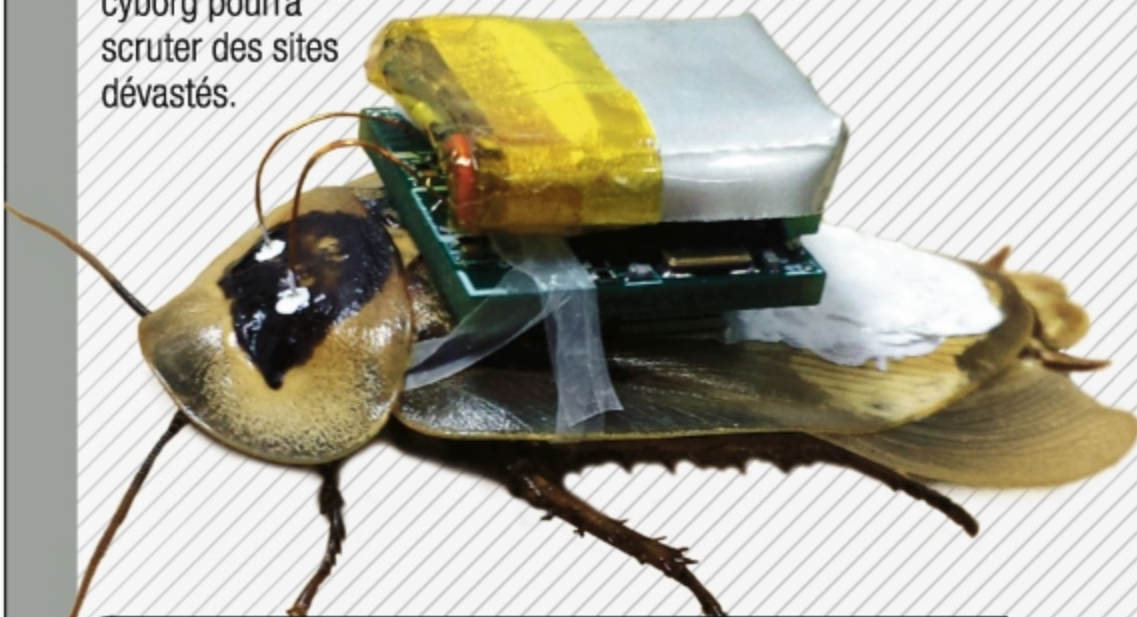
Pour l'heure, ce module de type "camouflage", destiné à des applications militaires, n'arbore que trois couleurs (vert, bleu et rouge). Mais "*il offre des perspectives fabuleuses en termes d'affichage et de signalétique pour l'environnement urbain de demain*", déclare Stéphane Poughon, directeur de DisaSolar. Selon lui, une commercialisation serait envisageable dans cinq ans. **L.B.**

## MÉCANIQUE

# La pompe à eau qui ressemble à une scie

La pompe inventée par Benjamin Thiria et Jun Zhang (université de New York) ne recourt pas à un rotor mais à deux sortes de scies qui se font face de manière asymétrique et entre lesquelles circule de l'eau. Lorsqu'elles s'écartent ou se rapprochent, l'eau est aspirée d'un côté et rejetée de l'autre. Ce type de pompe pourrait être installé sur des machines soumises à de fortes vibrations ; ces dernières actionneraient la pompe qui, en retour, réduirait le bruit en amortissant les vibrations. **S.F.**

✓ Cet insecte cyborg pourra scruter des sites dévastés.



## ROBOTIQUE

# Une blatte téléguidée pourrait devenir un futur explorateur

Des chercheurs de l'université Texas A&M (E.-U.) ont réussi à téléguider efficacement de grosses blattes en les soumettant à des stimuli électriques. Ils ont d'abord équipé les insectes de mini-sacs à dos embarquant un microcontrôleur, un émetteur-récepteur sans fil et une batterie rechargeable ; puis ils ont relié des électrodes à leurs systèmes nerveux, pour contrôler les pattes avant. A terme, ces insectes cyborgs pourront aller explorer des sites de catastrophes naturelles, avec un avantage de taille par rapport aux robots : ils seront autonomes en énergie pour leurs déplacements. **E.T.-A.**



*On ne veut pas savoir  
où vous rangez votre clé.*



## NOUVEAU FORD ECOSPORT

> Ouverture mains libres\*

**14 990 €<sup>(1)</sup>**

**Sans condition de reprise**  
Trend 1.0 EcoBoost 125 ch

**+ Crédit auto à 3,9 %<sup>(2)</sup>**

**TAEG fixe/an de 12 à 48 mois.**

Pour 10 000 € empruntés,  
48 mensualités de 225,04 €.

Montant total dû par l'emprunteur :  
10 801,92 €

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

\* Ouverture mains libres à partir de la finition Titanium.

(1) Prix maximum TTC au 26/01/15 du Nouveau Ford EcoSport Trend 1.0 EcoBoost 125 ch type 01-15, déduit d'une remise de 3 000 €. (2) Apport minimum 20 %. Exemple pour un montant emprunté de 10 000 € : **48 mensualités de 225,04 €.** **Taux Annuel Effectif Global Fixe : 3,9 %** (Taux débiteur : 3,83 % l'an). **Montant total dû par l'emprunteur : 10 801,92 €.** Hors assurances facultatives. Celles-ci comprennent : une protection Décès-Incapacité à partir de 7,46 €/mois en sus de la mensualité, TAEG de 1,72 %, coût total avec assurance : 11 160 €. Délai légal de rétractation. Sous réserve d'acceptation du dossier par Ford Credit. 78150 St-Germain-en-Laye. SIREN : 392 315 776 RCS Versailles. N° ORIAS : 07031709. Offres non cumulables (à d'autres offres que celles-ci) réservées aux particuliers pour toute commande de cet EcoSport neuf, du 02/05/2015 au 30/05/2015, dans le réseau Ford participant. Modèle présenté : Ford EcoSport Titanium 1.0 EcoBoost 125 ch avec Peinture métallisée Rouge Arizona et Jantes alliage 17", prix déduit de la remise : **18 740 €**. **Consommation mixte (l/100 km) : 5,4. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) : 125** (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.

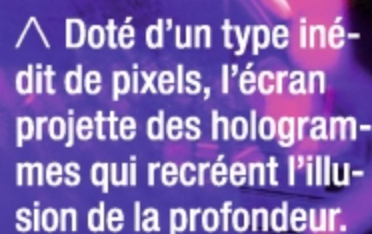
**ford.fr**

Retrouvez Ford France sur



**Go Further**





# LA TÉLÉ 3D QUI SE PASSE DE LUNETTES

La trouvaille des chercheurs: les remplacer par un cristal (du niobate de lithium) à la diffraction ajustable à volonté. L'angle et la couleur de la lumière qui le traversent changent en fonction du courant qui lui est appliqué. De quoi donner vie à des hologrammes animés!

**S.F.**

## Une mousse peut détecter la radioactivité

M.F.

A cartoon illustration of a man in a brown suit and tie, running quickly to the right. He has a determined expression, with his mouth open as if shouting or out of breath. He is running through a field of binary code (0s and 1s) that fills the background. The man is in the foreground, slightly to the left, and his shadow is cast on the ground beneath him. The binary code is arranged in horizontal rows, with some numbers appearing larger or more prominent than others, creating a sense of depth and movement. The overall style is a mix of digital and traditional cartoon art.

Même si on surfe anonyme, Internet sait qui on est !

FRANÇOIS LASSAGNE



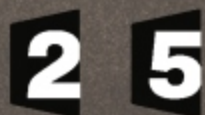
# PARIS REDEVIENT SAUVAGE.

Retrouvez plus de 1 000 animaux au Parc Zoologique de Paris.

 **PARC  
ZOOLOGIQUE  
DE PARIS**  
une nouvelle espèce de zoo



**Achetez vos billets sur [parczootologiqueparis.fr](http://parczootologiqueparis.fr)**



Le Parisien

TROIS

astrapi

MAIRIE DE PARIS



SCIENCE & VIE

LE FIGARO  
magazine

RTL

 Île de France

Vétoquinol  
*Signe de passion*

mappy

AIRFRANCE  
CARGO

 Séché  
environnement  
*Séché global solutions*



# Croisière SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE  
**JUNIOR**



## OBJECTIF sciences en famille

Croisière spéciale famille, pendant les vacances de la Toussaint du 25 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 2015

8 jours / 7 nuits  
à partir de

**890€**

EN PENSION COMPLÈTE  
boissons incluses aux repas  
Au départ de NICE

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

Voyagez avec vos enfants  
ou vos petits-enfants

Spécial vacances de la Toussaint  
Gratuité Croisière enfants  
pour les - de 18 ans<sup>(1)</sup>

+ ANIMATIONS SPECIALES JUNIOR

### VOILA CE QUE VOUS ALLEZ FAIRE PENDANT CETTE CROISIÈRE !



Jérôme Bonaldi



Hervé Poirier

#### Des conférences passionnantes

Vous participerez aux conférences de nos prestigieux invités. **Jérôme Bonaldi** vous parlera des objets connectés qui vont révolutionner le futur. Vous retrouverez l'anthropologue **Pascal Picq** et la conquête de la terre par l'Homo Sapiens. Et vous apprendrez à maîtriser le hasard grâce aux mathématiques avec **Robin Jamet** et les secrets d'Archimède par **Hervé Poirier**, rédacteur en chef de Science&Vie...

Enfin, venez vous amuser lors des ateliers de la rubrique MAGIC MATHS de S&V Junior !

Barcelone



#### Des escales pour les curieux

Vous visiterez le Colisée de Rome, la citadelle des chevaliers de Malte, la Sagrada Família à Barcelone, Palerme la Sicilienne ou la Chartreuse de Valldemosa à Palma qui depuis le 19<sup>ème</sup> siècle héberge de célèbres artistes comme Chopin ou Georges Sand.

Un programme riche qui vous réserve plein d'autres surprises.



#### Des moments de plaisirs

Vous profiterez de moment de détente et de plaisirs grâce aux animations et activités du Costa Fascinosa.

A votre disposition : cinéma 4D, piscine avec toit ouvrant et écran géant, toboggans, clubs et disco pour les adolescents, espace de jeux virtuels, salles de jeu... mais aussi spa, transat et parcours de jogging.



# Venez vivre une expérience en famille mêlant croisière, science et culture.



Cette croisière organisée par Science&Vie spécialement pour les familles vous permettra d'assouvir votre curiosité pour les sciences, de profiter d'escales culturelles à Rome, Malte ou Barcelone et de vous amuser ou vous détendre grâce aux infrastructures hors du commun du navire. **C'est cela le secret des croisières Science&Vie : allier culture, science, détente, et permettre à petits et grands de passer une formidable semaine en famille.**



A BORD DU COSTA FASCINOSA  
EN PARTENARIAT AVEC

**Costa**

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

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

**01 41 33 57 57**

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

EN PRÉCISANT LE NOM DE VOTRE MAGAZINE

OU SUR LE SITE :

**www.croisieres-lecteurs.com**

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 FAMILLE proposée par Science&Vie.**

☐ 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 - Alouit France 092100081. Science&Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Dri - 92 543 Montrouge Cedex. Création, réalisation : amplitude C.M.D. Crédits photos : © iStock. © Thinkstock. © Costa Croisières.

**Costa**

**SCIENCE&VIE**

C15SV2D



Mercredi, Paris est devenue la ville la plus polluée du monde, devant Pékin. Son taux de pollution a atteint un niveau alarmant. Hier matin, Paris était la ville la plus polluée du monde. AIR. Triste record, la capitale était hier pendant quelques heures sur la plus haute marche du podium des cités irrespirables, devant Shanghai ! Et pourtant la circulation alternée n'est toujours pas mise en place.

**L'accumulation des particules les plus fines est le phénomène le plus dangereux.**

**LA TEMPÉRATURE** : hier matin, la température à Paris était de 12°C. Le soleil n'a pas percé la couche de pollution. Dans l'après-midi, la température a augmenté à 15°C. La pollution a persisté.

**SOCIÉTÉ**

## Paris désigné "ville la plus polluée du monde" Eclaircissements sur un record qui pose des questions

Pendant quelques heures, le 18 mars dernier, Paris a été désigné "la ville la plus polluée du monde" par l'application Plume Air Report. L'information, *a priori* étonnante lorsqu'on connaît les taux de pollution des villes chinoises, soulève immédiatement un flot de questions. Paris est-il réellement la ville la plus polluée du monde ? Et même de France ? Les pics de pollution se succèdent-ils à un rythme plus soutenu qu'avant ? Quel est l'impact sur la santé de ces épisodes critiques ? Et dans quelle mesure peut-on les prévoir ? *Science & Vie* fait le point.

### ▶ QUE SIGNIFIE CE RECORD ?

Accrocheuse, la formule mérite deux mises au point. D'une part, le classement

Plume Air Report ne prend en compte qu'une soixantaine de villes, dont la majorité aux Etats-Unis. Or, le matin du 18 mars, quand Paris est arrivé en tête du classement, toute l'Amérique dormait encore... De plus, une seule des 20 villes les plus polluées au monde est représentée : New Delhi. Et en Europe, la France et le Royaume-Uni sont uniquement pris en compte : aucune donnée sur l'Allemagne, la Belgique ou les Pays-Bas, qui connaissent pourtant des dépassements du seuil d'alerte ce matin-là.

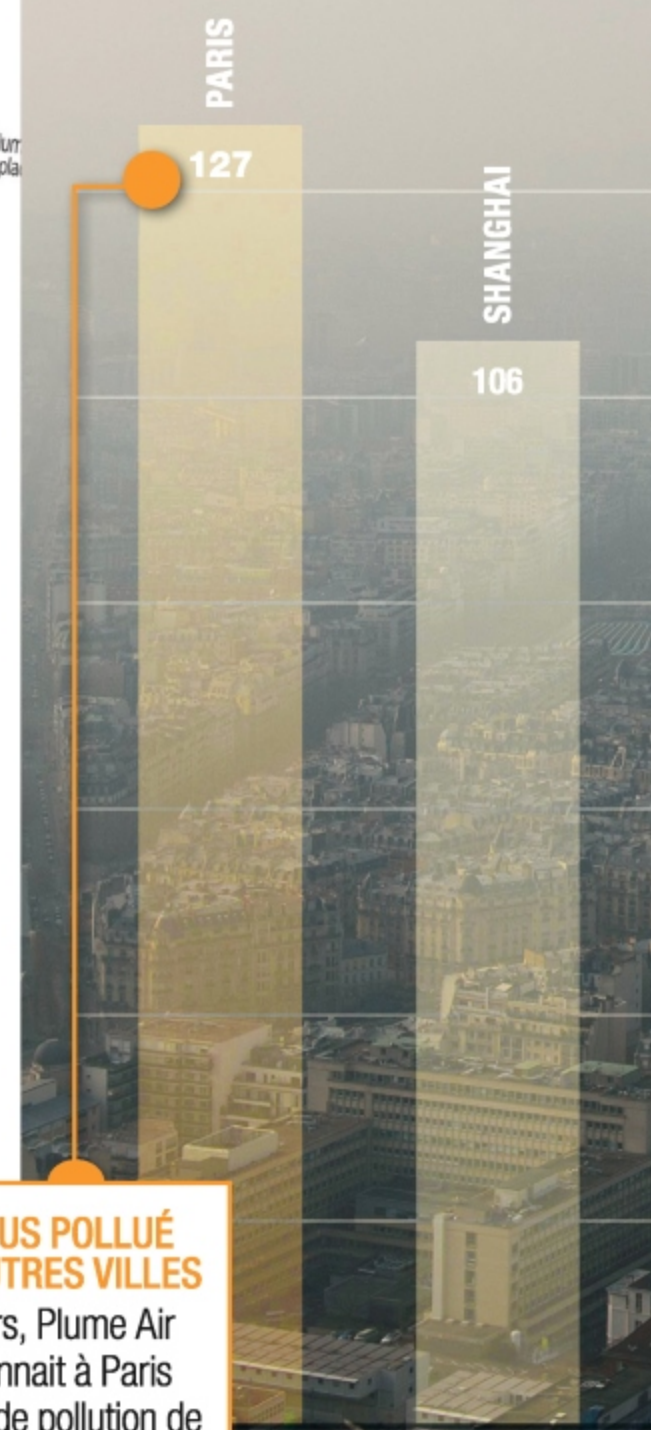
Autre problème : la concordance des mesures. En dehors de l'Union européenne, chaque organisme possède

### PARIS PLUS POLLUÉ QUE 9 AUTRES VILLES

Le 18 mars, Plume Air Report donnait à Paris un indice de pollution de 127 sur une échelle de 0 à 150, le plaçant en tête devant Shanghai.

sa propre méthode et son propre

indice. Difficile de mettre tout le monde sur le même plan malgré les conseils de l'OMS. De nombreuses villes, parmi les plus polluées du monde, ne font aucune mesure quotidienne. Classement tronqué, différence de méthodes : la comparaison entre les quatre coins du globe est difficile. Et ce matin-là, un autre classement, celui de l'application Allairgoo, réalisé sur 1 600 villes, montrait qu'une



### Le rappel des faits

**Plume Air Report**, l'application qui effectue des estimations à partir des mesures réalisées par les organismes agréés de suivi de la qualité de l'air, a classé pendant quelques heures, le 18 mars dernier, Paris, parmi 60 autres villes, comme étant la plus polluée, devant Shanghai et Pékin.



Indice  
de pollution  
140



SOURCE : PLUME LABS

vingtaine de villes chinoises étaient plus polluées. Notre capitale n'est donc assurément pas la ville la plus polluée du monde. Même ponctuellement.

### ► DES PICS DE POLLUTION DE PLUS EN PLUS NOMBREUX?

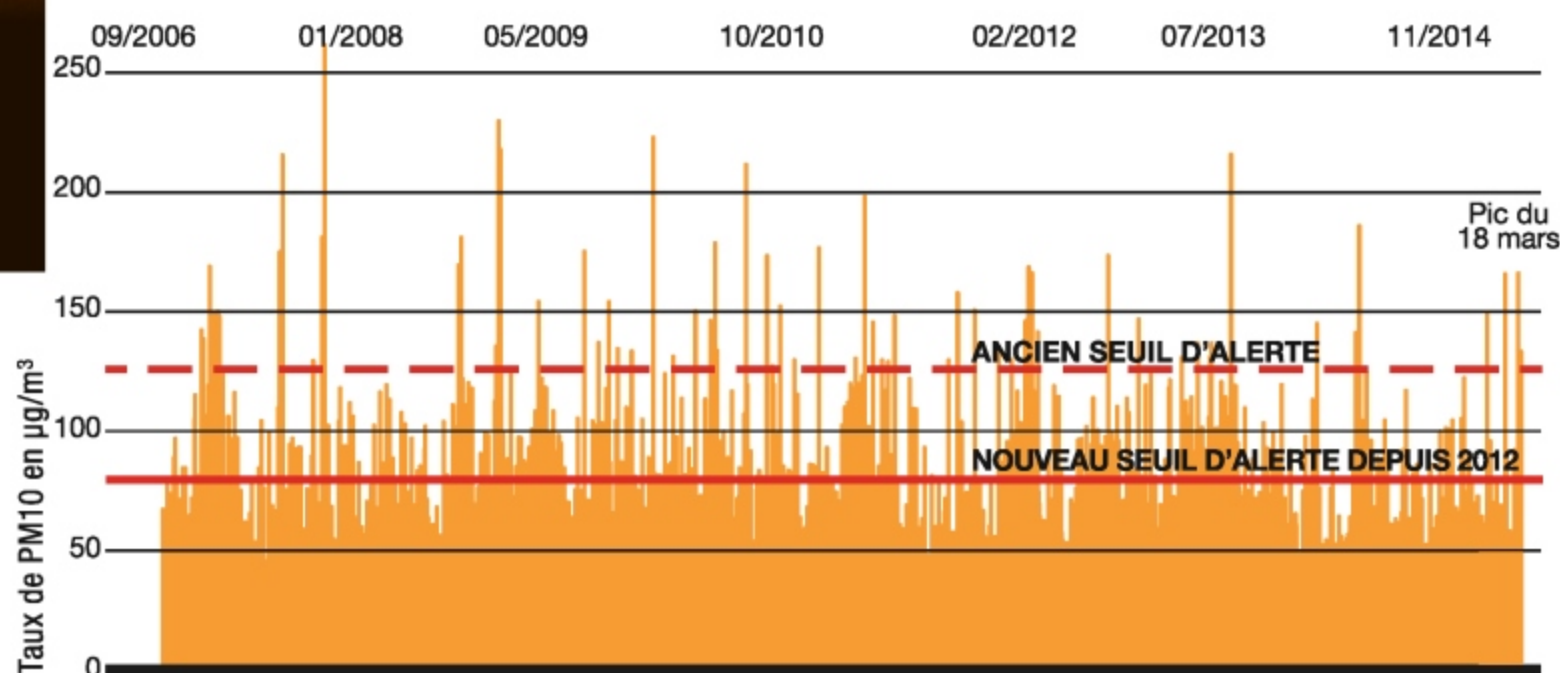
D'après les chiffres d'Atmo, la Fédération des associations de surveillance de la qualité de l'air (dont Airparif fait partie), les épisodes de dépassement des niveaux d'alerte sont plus réguliers

depuis trois ans. En fait, ces événements exceptionnels englobent quatre indices. Ozone, benzène et dioxyde d'azote sont les trois polluants chimiques pris en compte indépendamment. Le quatrième concerne les particules en suspension dans l'air : les fameuses PM10, pour "particules de moins de 10  $\mu\text{m}$ ". Ce sont elles qui ont franchi le seuil d'alerte pendant plusieurs jours à Paris. Dans le cas des PM10, l'augmentation des épisodes critiques mérite une nuance de poids :

*"Depuis janvier 2012, le seuil d'alerte a été abaissé de 125 à 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et le seuil d'information est passé de 80 à 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mécaniquement, le nombre de pics a augmenté",* explique Luc Lavrilleux, responsable des données pour Atmo. Pourquoi cette baisse des seuils ? Pour harmoniser les normes française et européenne, les seuils évoluant à mesure que la compréhension des polluants progresse. Mais ces seuils ne traduisent pas un danger spécifique pour autant, comme le ré-

vèle Laurence Rouil, responsable du pôle Modélisation environnementale pour l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) : *"Au contraire des polluants chimiques, l'effet des particules fines n'est pas lié à un effet de seuil. La première particule respirée est déjà nocive. D'où l'intérêt de fixer des valeurs limites pour sensibiliser l'opinion et éviter que les concentrations ne s'accumulent."* Depuis 2007, les chiffres montrent même une constance, voire





# À PARIS, LES PICS SONT PLUS NOMBREUX PARCE QUE LE SEUIL D'ALERTE A ÉTÉ ABAISSÉ

En janvier 2012, le seuil d'alerte aux particules a été abaissé de 125 à 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les alertes sont donc plus nombreuses alors que, depuis 2007, la concentration moyenne en PM10 à Paris a légèrement baissé.

une amélioration dans la concentration des PM 10 à Paris et en France.

## QU'EN EST-IL DES AUTRES VILLES FRANÇAISES ?

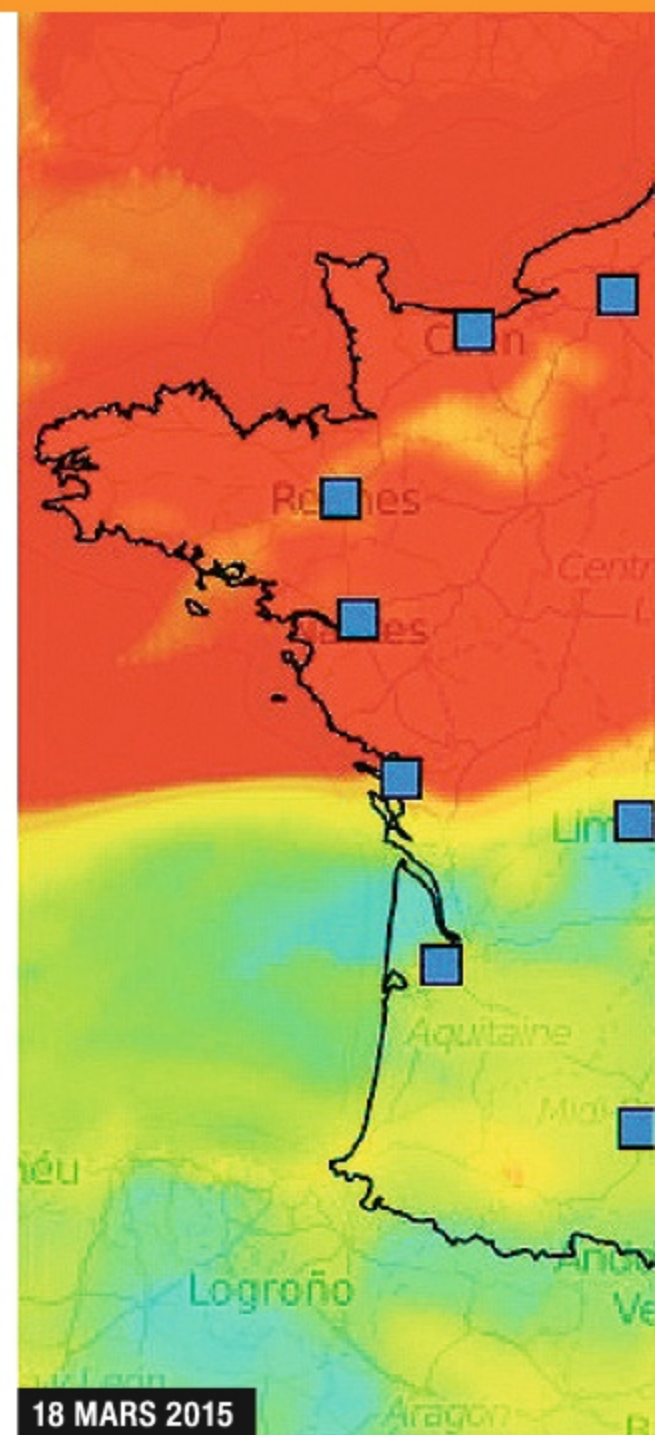
La pollution aux particules n'est pas centralisée sur Paris, ni même sur les villes. Elle y est simplement plus concentrée. Ainsi, lors de l'épisode de pollution de mars, les seuils d'alerte ont été dépassés dans une grande partie de la France (voir cartes). Le Nord-Pas-de-Calais, la Picardie, la Champagne-Ardenne, le Centre, la Bourgogne et Rhône-Alpes ont été touchés. Pour comprendre la répartition de cette pollution,

il faut s'intéresser aux particules qui la composent. Très volatiles et sept fois plus petites que le diamètre d'un cheveu, les PM 10 stagnent près du lieu de leur production avant d'être dispersées par les vents. Par temps calme, on peut observer des niveaux impressionnants près des axes routiers, avec un pic record en septembre 2013 sur le périphérique parisien : 660  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , soit 8 fois le seuil d'alerte. Des particularités géographiques peuvent renforcer cet effet. "Située dans une cuvette, Grenoble est révélatrice de l'impact de la topographie. La pollution s'y accumule et les seuils d'alerte sont régulièrement dépassés", explique Jean-Pierre Schmitt,

directeur d'Air Lorraine. Aujourd'hui, aucune politique locale n'est suffisamment différente des autres pour que l'on puisse observer des résultats importants sur des villes de tailles comparables. Seuls les événements climatiques, pluie et vent, éliminent durablement la pollution accumulée."

## DES PICS VRAIMENT DANGEREUX POUR LA SANTÉ ?

Si les pics de pollution ne rendent pas malades, ils exacerbent fortement les symptômes de pathologies déjà présentes. Ainsi, les épidémiologistes observent toujours dans les jours qui suivent les pics une aggra-

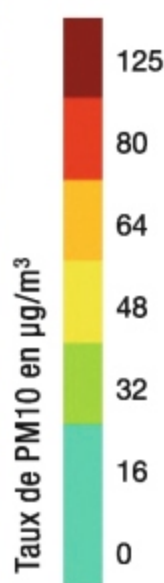
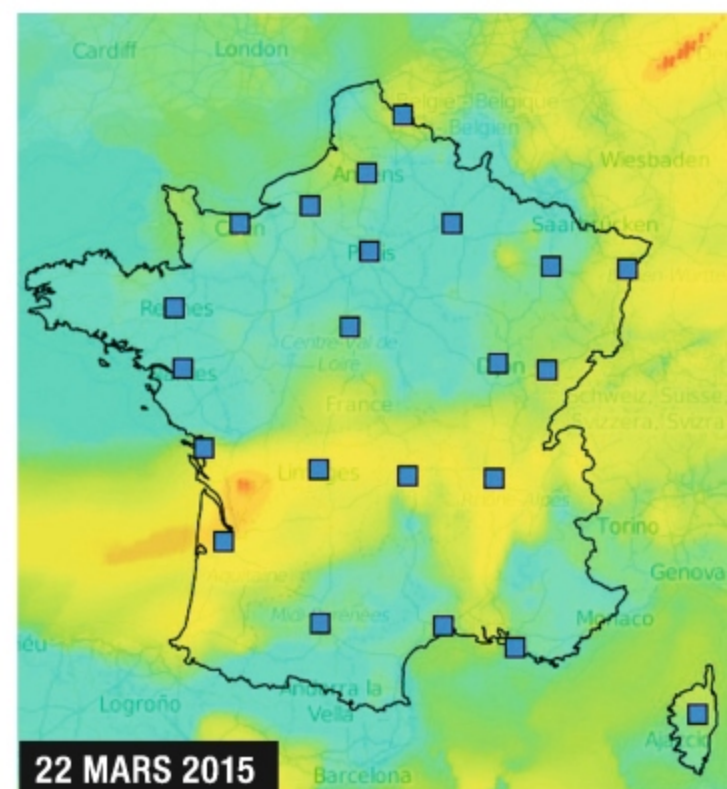
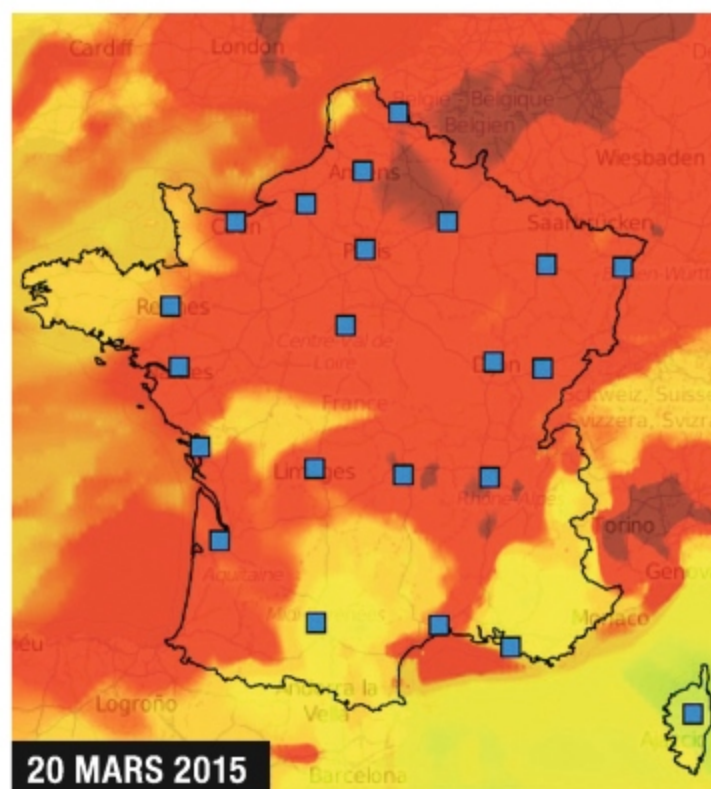
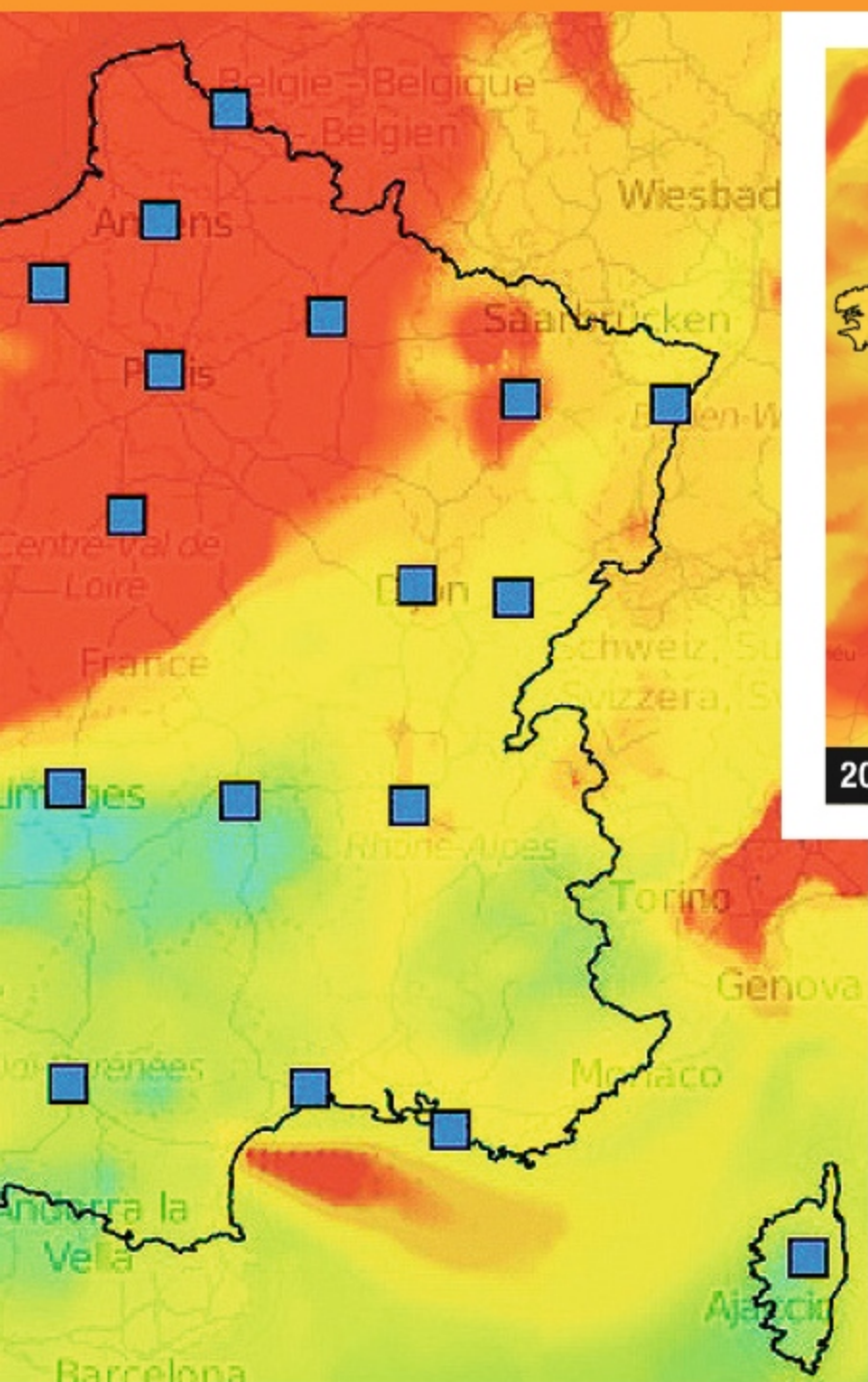


vation de l'état de santé des personnes déjà touchées par des maladies respiratoires ou cardio-vasculaires. Une exacerbation qui se mesure avec l'augmentation du nombre d'hospitalisations et de décès. En 2012, l'Institut de veille sanitaire a ainsi estimé que, dans 9 grandes agglomérations françaises (comptabilisant 12 millions de personnes), 245 décès annuels et plus de 1000 hospitalisations pourraient être évités si les PM 10 étaient ramenées sous la moyenne annuelle de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Néanmoins, indique Sabine Host, de l'Observatoire régional de la santé d'Ile-de-France, "la prise en compte des exacerbations causées par les pics de pollution sous-estime largement l'impact de

## Une appli gratuite pour savoir ce qu'on respire

Courant juin, Atmo, la Fédération des associations de contrôle de la qualité de l'air, va lancer une application mobile gratuite. Elle permettra de se géolocaliser pour observer en temps réel la pollution de l'air ambiant, du moins "dans les communes équipées de capteurs", précise Jean-Pierre Schmitt, directeur d'Air Lorraine, et responsable du développement de cette application. Un code couleur commun aux quatre principaux polluants (ozone, benzène, dioxyde d'azote et particules) renseignera rapidement sur la qualité de l'air. Avec quelques spécificités pour chaque région. "En fonction des partenariats locaux, l'application révélera même les concentrations de pollen ou de radioactivité."





### UN ÉPISODE DE POLLUTION QUI A TOUCHÉ TOUTE LA FRANCE

Le 18 mars, Paris était polluée... tout comme le nord de la France, qui a subi le même épisode de pollution. Si ce type d'événement est fréquent à cette époque de l'année, les vents faibles ont cette fois favorisé l'accumulation de particules fines, qui ne se sont dispersées qu'à partir du 22 mars.

jours, voire deux semaines d'avance", estime le météorologue. Qui précise que le détail des concentrations de polluants, en revanche, est beaucoup plus difficile à anticiper.

Au final, les pics s'anticipent bien : les modèles numériques de prévision de la pollution, tel Esmeralda (utilisé par Airparif), couvrent un vaste rectangle allant du Nord au Centre en passant par la région parisienne, et proposent des prévisions en ligne à 48 heures. De quoi donner aux pouvoirs publics le temps d'agir.

**Baptiste Cessieux,  
Coralie Hancock et Yves Sciama**

### Aller plus loin

- Le site d'Atmo, la Fédération française des associations de surveillance de la qualité de l'air : <http://www.atmo-france.org/fr/>
- Le site de Prev'air, la plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air : <http://www.prevoir.org/>

cette dernière". Non seulement la pollution provoque, à court terme, crises d'asthme, bronchites ou accidents cardiaques chez des individus déjà fragiles, mais, à plus long terme, l'air pollué est responsable de l'apparition de ces maladies. Autrement dit, c'est lorsqu'elle devient chronique que la pollution rend malade. Selon une étude menée dans 10 grandes villes européennes, la pollution engendrée par le trafic routier pourrait être responsable de 15 à 30 % des nouveaux cas d'asthme chez les enfants. Enfin, la pollution atmosphérique est aussi associée à une augmentation du risque de développer un cancer, en particulier des poumons. Mais pour ceux

qui se limitent à un court séjour dans une métropole au moment d'un pic de pollution, il n'y a pas de risque... si on est en bonne santé.

### PEUT-ON ANTICIPER UN PIC DE POLLUTION ?

Sans aucun doute ! Car il résulte de la conjonction particulière de deux phénomènes relativement prévisibles : l'émission de polluants et les conditions météorologiques.

Pour le premier facteur, les principales sources sont le transport, le chauffage et l'activité industrielle. Des sources assez stables et modulées par des événements relativement prévisibles (grands froids, départs en vacances...). Ce à quoi il

faut ajouter la pollution émise ailleurs et portée par les vents (flux d'Allemagne en Ile-de-France...). Un phénomène là aussi prévisible.

Mais il y a un facteur clé : les fluctuations météorologiques. Comme l'explique François Jobard, de Météo-France, "*les vents, qui dispersent les polluants, et les précipitations, qui les lessivent, préviennent efficacement la formation de pics de pollution. A contrario, les conditions anticycloniques peuvent devenir problématiques lorsqu'elles sont suffisamment durables pour que les polluants s'accumulent.*" Des conditions elles aussi faciles à prévoir. "*L'installation à grande échelle d'un anticyclone persistant est prévisible avec dix*



du quinquennat - étaient initialement des emplois destinés à « des temps d'accompagnement ».

## Deux heures de langue en plus

Frédérique Rolet s'interroge sur la possibilité de trouver un nombre suffisant de professeurs de langues en si peu de temps, pour que les cours soient effectifs dès septembre 2016. À l'heure d'évoquer un néo-

tre heures de  
mentaire heure  
plina qui passent  
huit

## « Cela répond à une attente des familles »

Paul Raoult, porte-parole de la fédération de parents d'élèves FCPE

(où deux langues sont

d'élèves FCPE, Paul Raoult, porte-parole de la fédération de parents d'élèves FCPE

présentera, côté élèves, heures chaque semaine.

## Une deuxième langue vivante dès la 5<sup>e</sup>

C'est un an plus tôt que les collégiens commenceront leur deuxième langue vivante. Cette évolution, promise à tous, rend obsolètes les classes bilangues et européennes, qui offraient jusqu'à ce privilège à quelques particuliers (pour les

sa p  
gue  
née d  
iens  
me-  
a ré-  
2016

# Réforme du collège

# Quel est le meilleur âge pour apprendre une langue étrangère ?

L'enseignement précoce des langues vivantes à l'école n'est pas nouveau en Europe : les pays nordiques (Danemark, Finlande...) s'y sont mis dès la fin des années 50... Mais apprend-on réellement mieux une nouvelle langue plus jeune ? Et quel est le meilleur âge pour commencer ?

“En théorie, le plus tôt est le mieux”, répond Daniel Gaonac’h, chercheur en psychologie cognitive à l’université de Poitiers et auteur de *L’Apprentissage précoce d’une langue étrangère*. D’ailleurs, plusieurs études attestent que dans le cas de l’apprentissage d’une seconde langue en situation naturelle, les plus jeunes s’en sortent le mieux. Notamment en prononciation. Ainsi, l’observation d’immigrés italiens entrés aux États-Unis entre 6 et 20 ans montre que seuls ceux arrivés avant 12 ans acquièrent un excellent accent américain. *Idem* en grammaire : parmi des Chinois et Coréens arrivés dans le pays de l’Oncle

Sam, ceux de moins de 7 ans à leur entrée font aussi bien que les natifs anglophones, contrairement à ceux arrivés plus âgés.

Par ailleurs, plusieurs travaux d’imagerie cérébrale ont révélé que lorsque l’âge d’acquisition est tardif, les zones cérébrales activées respectivement lors de l’utilisation de la langue maternelle et de la seconde langue sont distinctes ; alors qu’elles se recouvrent quand cette dernière est apprise plus tôt (ce qui suggère qu’elle est aussi bien maîtrisée que la première).

## PLASTICITÉ DU CERVEAU

La diminution de notre capacité à apprendre une langue avec les années serait notamment due à une réduction de la plasticité de notre cerveau avec l’âge. Pourrait aussi jouer une plus grande imprégnation de notre “système linguistique” par la langue maternelle, rendant plus compliquée sa restructuration.

D’où l’idée d’une “période critique” au-delà de

^ L’âge compte pour apprendre une langue, mais la motivation également.

laquelle acquérir une nouvelle langue est plus difficile. Seulement, “l’âge proposé pour la fin de cette période varie, selon les études, de 5 à 15 ans !”, remarque la psycholinguiste Michèle Kail, auteure de *L’Acquisition de plusieurs langues* (“Que-sais-je?”).

Difficile d’y voir clair. D’autant que, si effet de l’âge il y a, “celui observé en situation d’immersion ne justifie pas d’introduire les langues plus tôt à l’école, tempère Christophe Pallier, directeur de l’équipe Neuro-imagerie du langage au centre NeuroSpin, à Saclay. Dans l’apprentissage scolaire, il n’y a pas d’évi-

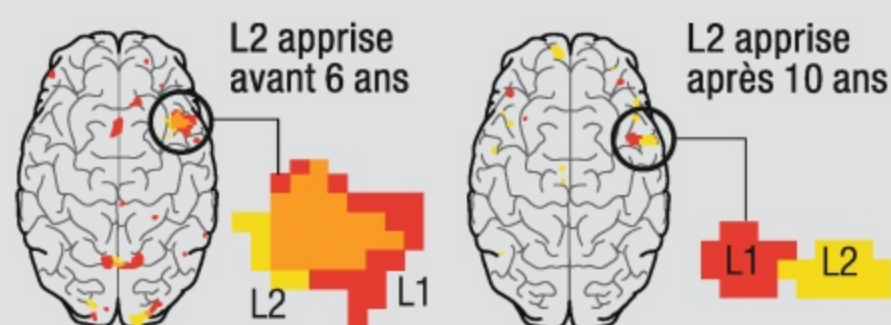
## Le rappel des faits

En mars dernier, dans le cadre de sa réforme du collège, la ministre de l’Education nationale Najat Vallaud-Belkacem a annoncé qu’à la rentrée 2016, l’apprentissage de la 2<sup>e</sup> langue vivante démarrerait en classe de 5<sup>e</sup> au lieu de la 4<sup>e</sup>. L’enseignement de la 1<sup>re</sup> langue vivante, lui, sera généralisé en CP.





dent effet de l'âge d'exposition." Car tout ne dépend pas que de l'âge. Comptent aussi le temps d'exposition à la langue (forcément limité à l'école), la manière dont elle est enseignée et la motivation. "Un adulte très motivé par l'apprentissage d'une langue qui le ferait évoluer dans son travail peut mieux réussir qu'un enfant 'forcé' de l'apprendre à l'école", illustre Jonathan Grainger, chercheur au laboratoire de Psychologie cognitive à l'université d'Aix-Marseille. Et ce chercheur d'origine anglaise au français impeccable sait de quoi il parle: il ne l'a vraiment appris



### Une langue apprise tôt est mieux maîtrisée

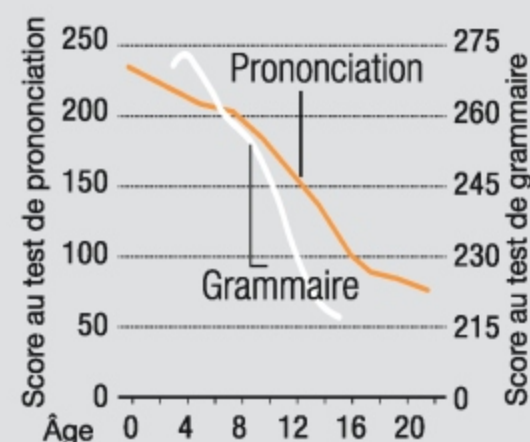
Quand la L2 est apprise *in situ* avant 6 ans, les zones cérébrales activées se recouvrent (L1 et L2 sont également maîtrisées), alors qu'elles sont distinctes après 10 ans. De même, plus on arrive jeune dans un pays, mieux on en apprend la langue.

SOURCES : KIM ET AL., NATURE 1997 - JOHNSON & NEWPORT 1989

qu'en venant travailler ici, à 22 ans! Pour ce qui est de l'enseignement, "mieux vaut intervenir soit avant l'école primaire, quand l'enseignement se fait surtout via l'oral; soit après la stabilisation de l'écrit, donc bien après le CP", précise

Daniel Gaonac'h. Bref, "à l'école, sont importantes la manière plus ludique que scolaire d'aborder la langue (pour la motivation), et l'exposition de l'enfant à un langage oral aussi naturel que possible", résume Jonathan Grainger.

### Les jeunes immigrés manient mieux l'américain



Alors quoi? Ces réformes concernant les langues ne serviront-elles à rien? "Tout dépendra si les professeurs sont bien formés pour orchestrer cette évolution", conclut Heather Hilton, chercheuse en acquisition des langues. **Kheira Bettayeb**



de dollars (environ 7 millions d'euros), c'est le montant de la condamnation pour plagiat des musiciens Pharrell Williams et Robin Thicke, pour laquelle ils ont aussitôt fait appel. Le juge a estimé que *Blurred lines* était un plagiat de la chanson *Got to give it up* de Marvin Gaye. Un tribunal du roi de la musique a jugé que leur tube planétaire *Blurred Lines* était beaucoup trop de similitude avec celui de Marvin Gaye.

## Condamnation pour un plagiat de Marvin Gaye

# Un logiciel ne peut remplacer l'oreille humaine

Condamnés pour avoir plagié une chanson de Marvin Gaye, Robin Thicke et Pharrell Williams ont décidé de faire appel, arguant que les experts à l'origine de la décision avaient surestimé la similarité entre leur titre et la chanson originale.

Etablir s'il y a plagiat musical ou non se fait en effet... à l'oreille. Des musicologues statuent sur les éventuelles similarités

dans la trame harmonique (l'enchaînement des notes et accords) de deux morceaux. Le timbre et le tempo n'entrent pas en considération. Dans le droit français, dès lors qu'au moins 8 mesures leur semblent similaires, les jurés peuvent estimer qu'il y a plagiat.

Oui mais voilà: le degré de ressemblance entre deux trames harmoniques est affaire d'appréciation personnelle. Un comble à l'heure des services de *streaming* musical ou des applications comme Shazam, qui savent reconnaître un morceau et proposer à l'écoute ceux qui lui ressemblent le plus.

### UN JUGEMENT DÉLICAT

C'est qu'en réalité, les algorithmes de reconnaissance musicale sont encore loin de pouvoir s'arroger le rôle de juge impartial.

Immédiatement exclus: les logiciels comme Shazam, justement, qui peuvent repérer, dans un morceau, un passage musical (*sample*) tiré tout droit



### L'OREILLE HUMAINE RECONNAÎT UN AIR...

Une chanson comme celle de Robin Thicke peut être considérée comme un plagiat par un juré humain.

Profil sonore de *Blurred lines*

Profil sonore de *Got to give it up*

d'un autre, mais sont incapables de juger qu'un morceau "s'inspire" d'un autre.

Or, c'est bien ce qui intéresse les juges. "Selon ce que l'on cherche, deux types de logiciels peuvent être utilisés, explique Geoffroy Peeters, à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique. Les sites de streaming s'intéressent à l'instrumentation, au timbre, pour proposer des chansons similaires à celles écoutées par l'utilisateur. En revanche, *Dailymotion* ou *YouTube*, qui doivent vérifier que les internautes ne publient pas de reprises illégales, emploient

des logiciels de cover detection, qui se focalisent sur la trame harmonique."

Ce sont ces logiciels qui pourraient aider la justice. Sauf qu'ils ne proposent que des degrés de ressemblance probable... "Ils fonctionnent comme un moteur de recherche. On ne demanderait pas aux résultats d'une recherche Google de décider de l'issue d'un procès", nuance le chercheur.

C'est aussi l'avis de Jean-Paul Holstein, musicologue et expert pour la justice depuis vingt ans, qui pointe une autre raison de ne pas s'en remettre aveuglément aux logiciels: "Une

## Le rappel des faits

**Le 10 mars**, Pharrell Williams et Robin Thicke ont été jugés coupables de plagiat. Huit jurés américains ont décidé, après deux semaines d'écoute, que la mélodie de leur tube *Blurred lines* copiait celle de *Got to give it up* de Marvin Gaye. Les deux artistes ont été condamnés à verser 7,4 millions de dollars aux héritiers de ce dernier.





machine ne capte pas les enchaînements comme nous les percevons. Chaque note entendue modifie la suivante, transformant la façon dont notre cerveau en perçoit la fréquence. Un logiciel, lui, enregistrera la véritable fréquence, sans l'aspect psychologique amené par la musique. C'est un peu comme la température exacte et la température ressentie : la science nous offre une donnée qui n'est pas forcément celle à laquelle nous nous attachons." Les musicologues ne sont donc pas près de quitter les prétoires.

Baptiste Cessieux

spécialistes affirment que la violence n'est pas éducative.

**Interdiction symbolique**

Laurence Rossignol exclut cependant toute réforme législative : « Il ne faut pas donner le sentiment de délégitimer les parents, mais au contraire renforcer leurs capacités. Cela passe par le soutien des parents... »

**Les châtiments corporels sont « non seulement inopérants d'un point de vue éducatif mais aussi susceptibles de laisser des traces psychiques ».**

sur ce magistrat révoqué l'an dernier au go...

part de l'ON

**France rappelée à l'ordre sur la fessée**  
France viole la Charte sociale européenne en interdisant pas de manière « suffisamment claire » les châtiments corporels infligés aux enfants, conclut une décision publiée hier (lire La Croix du 4 mai) du Conseil de l'Europe. Le droit français « ne prévoit pas d'interdiction suffisamment claire, contraignante et précise », ni par la loi ni par la jurisprudence, a estimé cette instance.

## Débat sur les châtiments corporels

# Rien ne prouve l'utilité, ou non, de la fessée

D'un côté, il y a ceux – 70 % des Français, selon un récent sondage – clairement opposés à une loi “antifessée”, estimant que cette punition peut être utile. De l'autre, il y a ceux pour qui tout châtiment corporel est inefficace et constitue une violence inacceptable à l'encontre d'êtres vulnérables. La science donne-t-elle raison à l'un des deux camps ?

Démontrer, de façon solide et preuves à l'appui, l'efficacité – ou l'inefficacité – de la fessée sur le comportement des enfants n'est pas aisé, les études brandies par chaque camp étant souvent entachées de biais méthodologiques.

Et pour cause ! D'un point de vue éthique, difficile d'imaginer une expérience dans laquelle des enfants seraient répartis de façon aléatoire dans des groupes recevant chacun des fessées à une fréquence différente.

De fait, les chercheurs se sont longtemps contentés d'études dites observationnelles, dans lesquelles cette fréquence est reportée par les parents eux-mêmes.

Au risque que ceux-ci la minimisent grandement : alors que, dans une étude publiée en 1999, les parents américains confessaient environ 18 fessées par an, les enregistrements sonores réalisés l'année dernière au domicile de 33 familles par le psychologue George Holden (université méthodiste du Sud, Texas) révèlent que la fréquence médiane des fessées est de 18... par semaine !

Avec, selon cette étude, une efficacité très limitée dans le temps : dans 73 % des cas, les enfants recommencent à adopter le comportement qui leur a valu une correction moins de dix minutes après l'avoir reçue.

### PAS ASSEZ D'ÉTUDES COMPARATIVES

Mais cela ne permet pas de conclure que la fessée est inefficace. Car les études menées dans ce domaine comparent rarement l'effet des châtiments corporels à celui des châtiments non corporels. “Quand on le fait, on s'aperçoit que toutes les formes de discipline sont corrélées à une

plus grande agressivité [l'un des effets délétères de la fessée, selon ses détracteurs, ndlr], explique le psychologue Robert Larzelere (université d'Etat de l'Oklahoma). C'est l'agressivité des enfants qui conduirait les parents à utiliser la fessée, plus que la fessée qui les rendrait agressifs.”

Coralie Hancock

### Le rappel des faits

**Le 4 mars**, le Conseil de l'Europe estimait que le droit français “ne prévoit pas d'interdiction suffisamment claire, contraignante et précise des châtiments corporels”, violant ainsi la Charte sociale européenne. Celle-ci indique en effet que les Etats signataires doivent “protéger les enfants et les adolescents contre la négligence, la violence ou l'exploitation”. Autorisé en France, fesser un enfant est interdit dans 44 pays, la Suède étant la première à avoir adopté, en 1979, une telle législation.



Un premier pas vers le paquet de cigarettes neutre

Dissuader les plus jeunes

en Gran  
adultes f.

Dans une ambiance parfois houleuse, des députés réunis en commission ont validé, hier, plusieurs mesures du plan antitabac. Parmi elles : l'interdiction des paquets neutres,

de transparence sur les actions de lobbying des industriels du tabac

Le paquet neutre porte ses fruits en Australie

DEPUIS L'INTRODUCTION

Paquet neutre : la riposte des cigarettiers s'organise

à banaliser les paquets de cigarettes.

## Projet de loi sur le paquet de cigarettes neutre

# Les enseignements de l'exemple australien

Des emballages de cigarettes tous identiques : même couleur, même forme, plus de logo ni de typographie ou de mention particulière, et une marque inscrite en petits caractères standard. De tels paquets devraient bientôt faire leur arrivée chez les buralistes français, si le projet du paquet neutre est accepté. Cette proposition vient en renfort de précédentes mesures qui ont déjà fait baisser les ventes de tabac en France : l'interdiction, en 1991, de faire de la publicité pour le tabac (loi Evin) et de fumer dans certains lieux publics (étendue en 2007), la mise en place des

messages sanitaires sur les paquets en 2004, des images chocs en 2011, ainsi que les augmentations successives de prix.

### SUPPORT PUBLICITAIRE

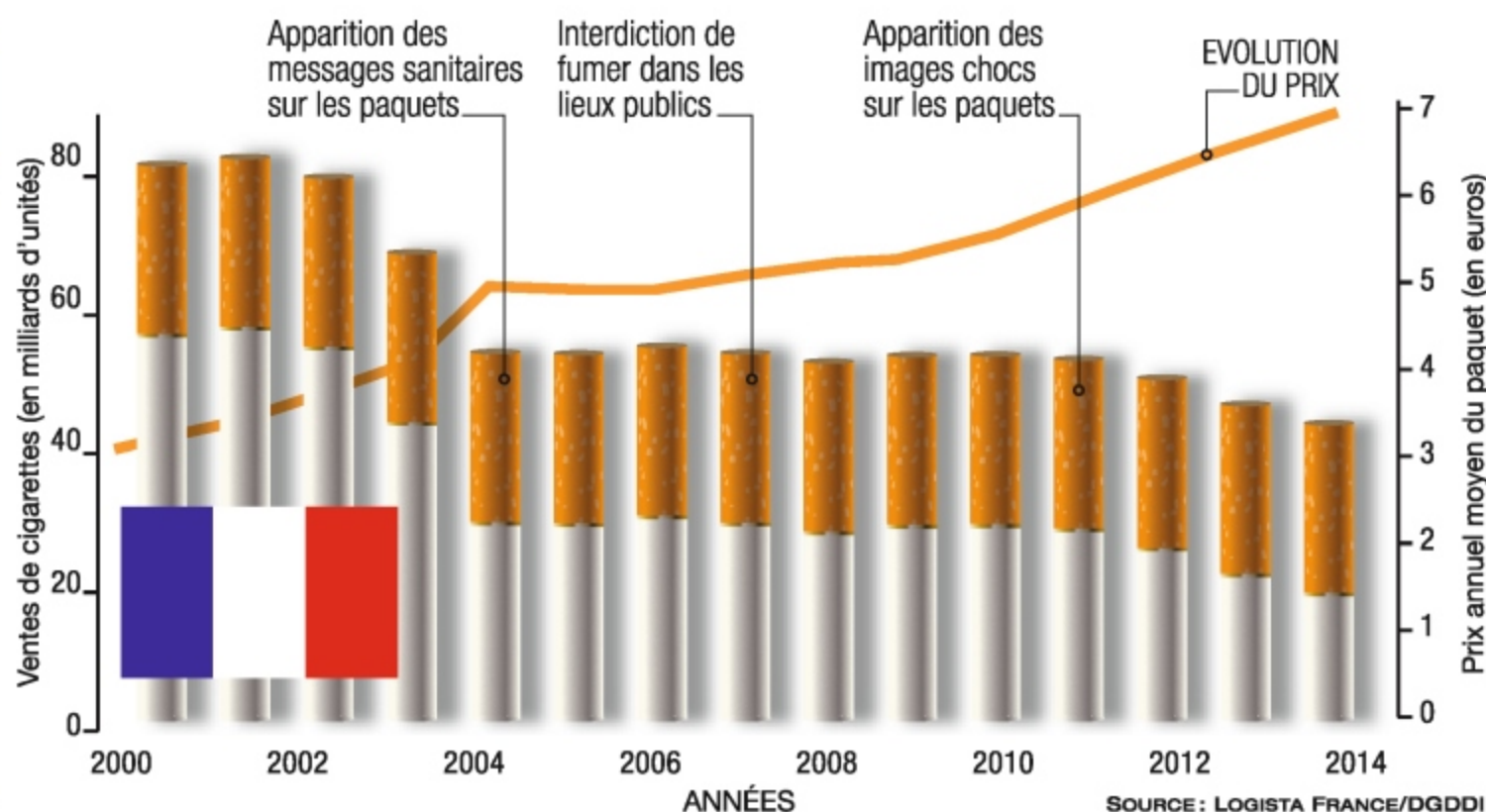
Le paquet de cigarettes reste le dernier support publicitaire des industries du tabac. "Ce sera sûrement sur les jeunes, plus sensibles à l'attractivité du paquet, que l'impact sera le plus fort", explique Karine Gallopel-Morvan, professeur à l'École des hautes études en santé publique et spécialiste de l'impact

du marketing des produits du tabac. *Et encore plus sur les fumeurs occasionnels ou ceux qui n'ont pas commencé. En outre, beaucoup de fumeurs pensent que la marque qu'ils fument est moins dangereuse que les autres, influencés par les couleurs et les messages sur l'emballage (sans additif, 100 % tabac, bio...).* Le nouveau dispositif gommara ces idées fausses." Des études ayant montré que les cigarettes "light" ne sont pas moins dangereuses, ces mentions ont été bannies des paquets

français en 2004, mais remplacées, par les industriels, par des codes couleur. Avec le paquet neutre, des sous-dénominations au sein d'une marque seront toutefois toujours possibles.

Le paquet neutre est débattu ailleurs en Europe. L'Irlande vient de voter le projet et devrait l'appliquer dès 2017, l'Angleterre est en passe de le faire. Le premier pays à l'avoir instauré, fin 2012, est l'Australie, qui a donc du recul sur le sujet. Voici ce que le passage au paquet neutre, là-bas, a eu comme effet. **Hélène Gélot**

### 15 ANS DE MESURES ANTITABAC EN FRANCE



### Le rappel des faits

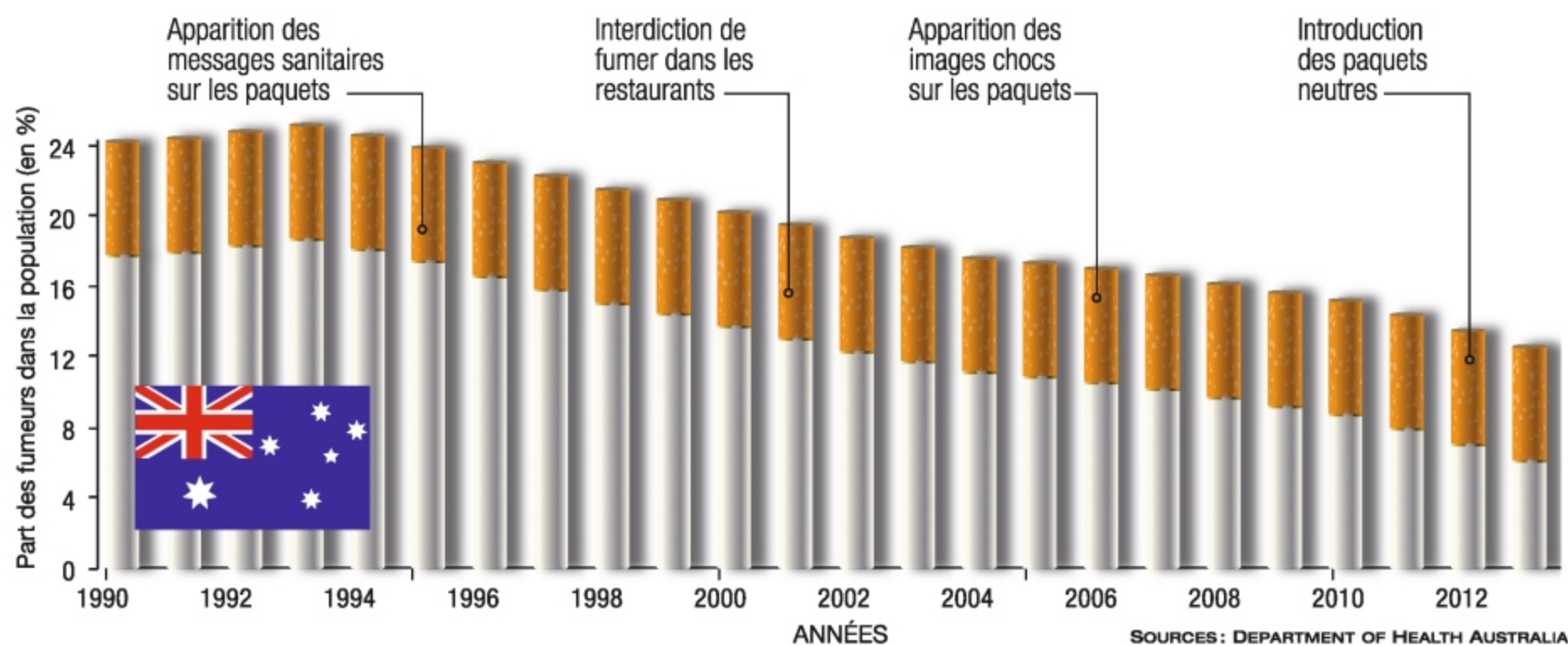
En mars dernier, la ministre Marisol Touraine a annoncé l'inscription, au sein de son projet de loi santé, du paquet de cigarettes neutre, qui devrait être mis en place avant fin 2016. Cette mesure s'insère dans un programme plus large de réduction du tabagisme.



## Avant/après : les 6 effets du paquet neutre en Australie



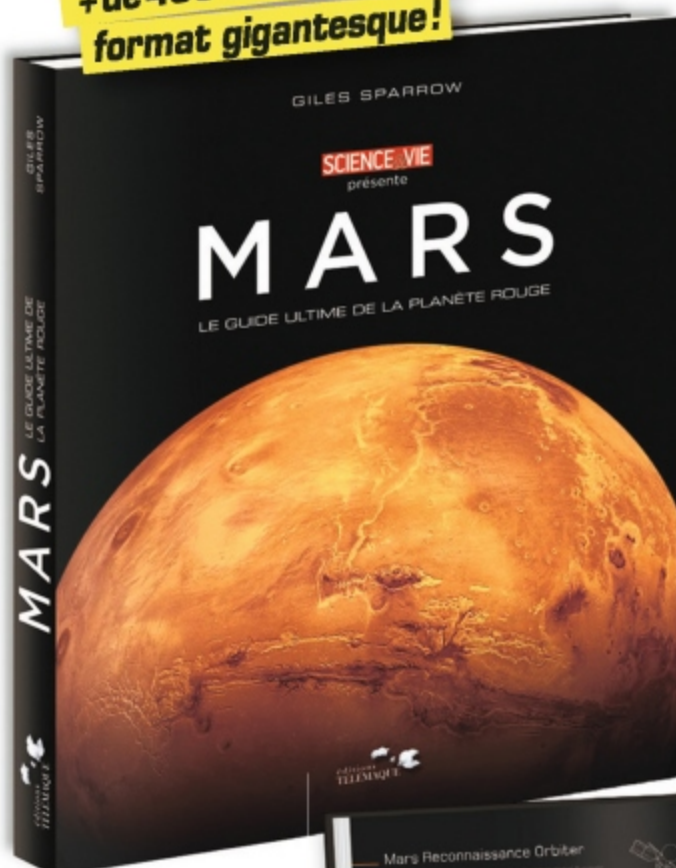
## 25 ANS DE MESURES ANTITABAC EN AUSTRALIE





4 kg

+ de 400 illustrations  
format gigantesque!



**PARTENARIAT  
SCIENCE & VIE**

### L'ouvrage événement sur Mars!

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.

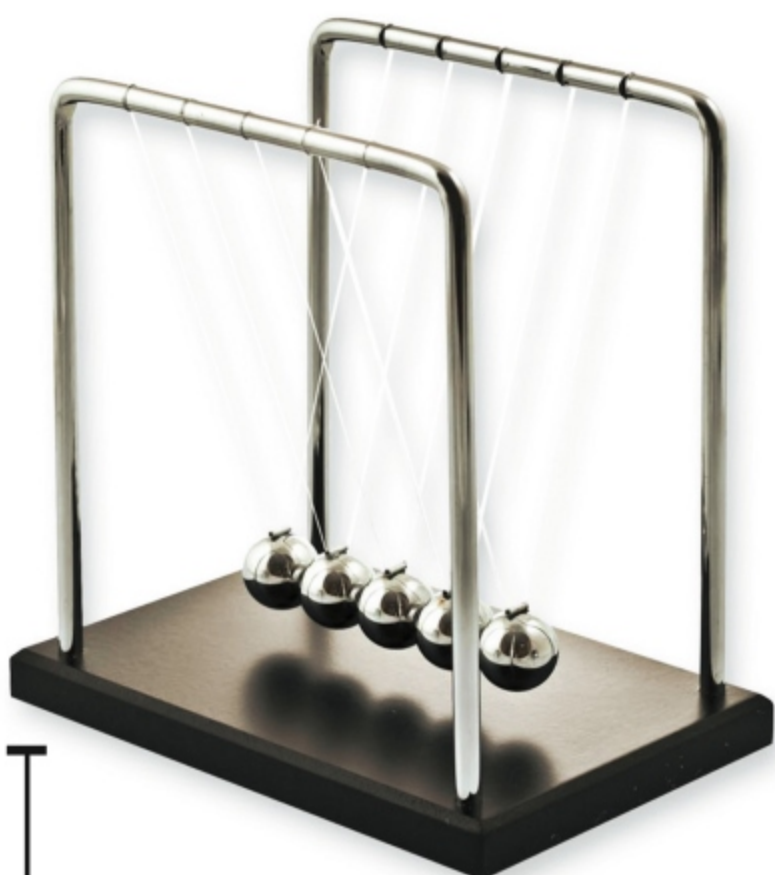


79€

seulement!

LIVRAISON RAPIDE  
COLISSIMO  
OFFERTE

Visuels non contractuels



### 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. De 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.

## PRÉCISION ET ÉLÉGANCE

Noblesse des matériaux, pureté des lignes et raffinement caractérisent la montre chronographe Tosca. Avec distinction et précision, elle répond aux critères esthétiques et technologiques de la maison LIP, qui depuis 1867, s'est imposée comme la digne représentante de la grande tradition horlogère française.



### Montre LIP chronographe Tosca

MOUVEMENT VD54 A QUARTZ 6 AIGUILLES. BRACELET  
EN CUIR DE VACHETTE NOIR GRAINÉ FAÇON CROCO.  
GARANTIE 1 AN. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

49€

seulement!

FRAIS D'ENVOI  
OFFERTS

### Un télescope spécial débutant d'excellente qualité!

Avec un miroir primaire de 130 mm, ce télescope permet de débuter sérieusement grâce à sa capacité à récolter 30 % de lumière en plus qu'un télescope de base (114 mm). Il permet de voir Jupiter, Saturne, la Lune et même des objets moins brillants (galaxies/nébuleuses)!

### Télescope Newton SkyWatcher 130 mm f/6.9

LONGUEUR FOCALE : 900 mm - POUVOIR DE  
RÉSOLUTION : 0,9" - MAGNITUDE LIMITE : 13,3 -  
TUBE EN ALUMINIUM - MONTURE MOTORISABLE EN  
OPTION - DIM. : 17 (DIAM.) x 83 cm.  
PORTE OCULAIRE 31,75 mm  
- TRÉPIED ALUMINIUM  
RÉGLABLE.



PAIEMENT  
3x SANS  
FRAIS

LE TÉLÉSCOPE  
NEWTON  
199€  
seulement

LIVRAISON RAPIDE  
COLISSIMO  
OFFERTE









JEROEN PEYS/GETTY





# RÉINVENTER LA VILLE

Surpopulation, pollution, sécurité, énergie : dans tous les domaines, les villes battent des records. Pourtant, les mégapoles attirent toujours plus de monde. Nous serons 66 % à vivre dans des villes en 2050 ! D'où le problème : comment gérer le développement des cités ? Jusqu'ici, les urbanistes étaient aux commandes... Or, aujourd'hui, les physiciens se mettent de la partie. Parce qu'ils ont des outils qui leur permettent de comprendre la dynamique des cités, jusqu'à établir des lois universelles ; mais aussi de simuler les solutions pour voir si elles fonctionnent sur le terrain. Un impératif désormais...

PAR VINCENT NOUYRIGAT

À LA UNE



**N**otre avenir se joue ici. Ici, là, maintenant, sur un tapis de bitume et de pavés plus ou moins nets, entre deux rangées d'immeubles plus ou moins hauts, le long de boulevards et de couloirs de métros plus ou moins bondés, au milieu d'une foule plus ou moins exubérante...

Car oui : tout se joue et se jouera dans les villes qui, sur à peine 2 % de la surface des continents, concentrent à la fois les plus grands problèmes de l'humanité et ses plus vibrants espoirs.

Depuis 2007, les urbains représentent en effet plus de la moitié de la population mondiale. Un tournant historique pour *Homo sapiens* : la ville est devenue son mode d'habitat dominant. Et ce phénomène d'agglomération semble inexorable : chaque jour, la planète compte environ 190 000 nouveaux citadins. Selon l'ONU, la proportion de personnes vivant en ville devrait atteindre près de 70 % en 2050. Ce qui laisse imaginer la place écrasante que prendront les mégapoles à la fin du siècle.

Six millénaires après l'émergence des premières cités en Mésopotamie, les lumières de la ville n'en finissent plus d'attirer. Avec toujours les

mêmes recettes : perspectives d'emploi, promesses d'une vie pratique et trépidante, volonté d'entrer au cœur de ces réacteurs sociaux, économiques, politiques et culturels... Les villes sont les rouages essentiels de toute civilisation.

Tout le monde veut en être ! Quitte à payer un loyer indécent pour une chambre sous les toits. Quitte à vivre dans le stress, la violence, la pollution, les bouchons, les épidémies. Quitte aussi à s'installer au pied d'un volcan, sur une grande faille sismique ou au bord d'une côte menacée par la montée du niveau de la mer. Quitte à s'approcher, au fil du temps, de sites industriels à risque, ou à accaparer les terres agricoles les plus fertiles...

### UN SYSTÈME EXTRÊMEMENT COMPLEXE

Le rythme est affolant et sans précédent. Pour héberger cet afflux d'habitants, les grandes villes historiques cherchent à se réinventer, à l'image de Paris en passe de devenir le "Grand Paris". Dans les pays en développement, des villes-champignons surgissent un peu partout, tandis que les cités existantes débordent littéralement – New Delhi (Inde) devra par exemple accueillir 11 millions d'habitants supplémentaires d'ici à 2030 !

Autant de mégapoles qui risquent de se transformer en agrégats cauchemardesques, capables de vampiriser les dernières ressources de la planète et d'accélérer encore plus le réchauffement climatique.

Car comment, au sein de ces monstres, garantir la fluidité des déplacements, minimiser les émissions de CO<sub>2</sub> et la consommation d'énergie, assurer la sécurité des citoyens tout en encourageant la production et l'innovation ? Bref : comment faire de ces mégapoles des villes où il fait bon vivre ?

Les recettes traditionnelles sont loin d'être à la hauteur des enjeux actuels : ni les urbanistes, ni les architectes, ni les ingénieurs, pas plus que les sociologues et les politiques, n'ont été capables de maîtriser l'évolution de nos villes – chacun en connaît le résultat aujourd'hui (voir p. 66)... Les quelques bonnes intuitions du baron Haussmann pour décongestionner Paris au XIX<sup>e</sup> siècle peinent à cacher les échecs incessants des politiques de la ville.

Depuis environ une décennie, plusieurs équipes de physiciens et mathématiciens se penchent sur le phénomène d'urbanisation. Et le constat de ces nouveaux acteurs est sans appel : *"L'urbanisme tel qu'il est pratiqué aujourd'hui se réduit essentiellement à des positions dogmatiques, des avis, des débats idéologiques développés sans preuves quantitatives, lâche Marc Barthelemy, physicien à l'Institut de physique théorique (CEA). Or, les villes forment des systèmes incroyablement complexes, parcourus d'innombrables interactions qui font intervenir un très grand nombre d'agents de natures très différentes, selon de larges échelles de temps et d'espace."* De cette incroyable complexité émergent des phénomènes souvent inattendus – la moindre intervention locale, même pétrie de bonnes intentions, peut avoir des effets dévastateurs.

*"Les villes ne sont pas statiques, ce sont des objets très dynamiques : le*

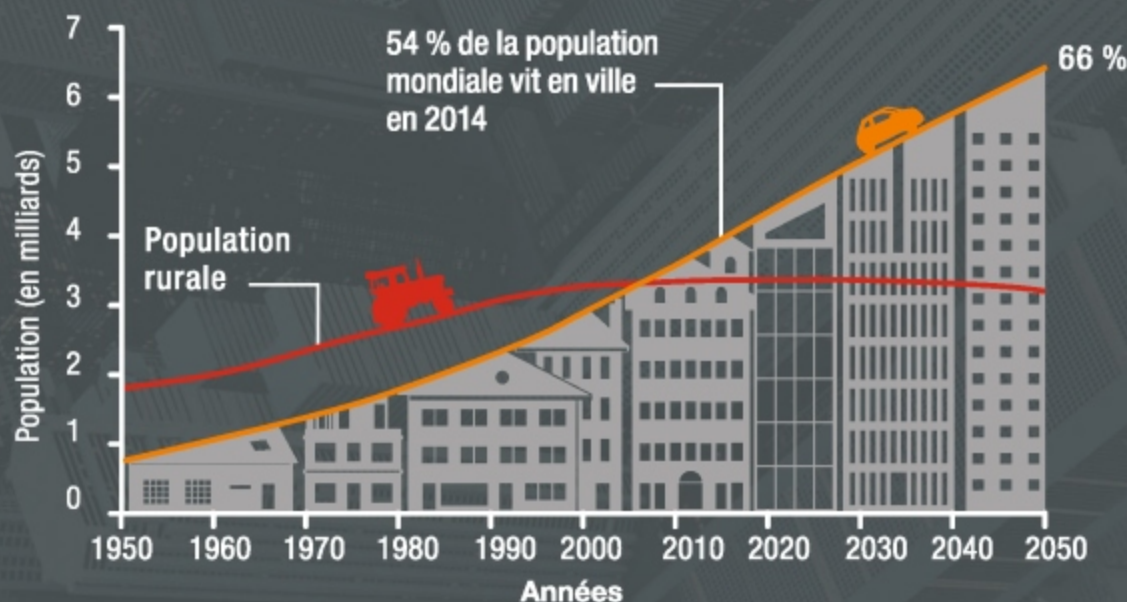
## La ville : un objet encore mal défini

Aussi ahurissant que cela puisse paraître, les universitaires peinent à s'accorder sur une définition universelle. Sur le principe, il ne fait pas mystère qu'une ville est un agrégat de population vivant d'activités non agricoles. Mais un grand flou règne sur les caractéristiques exactes de ce qui constitue une cité : ainsi, la taille minimale de la population d'une ville varie d'un pays à l'autre – en France, on parle de ville à partir de 10 000 habitants – et il n'existe aucun seuil minimal défini de densité humaine ou de continuité du bâti (une ville se définit-elle par une séparation entre deux bâtiments inférieure à 50, 200, 500 mètres ?)... sachant que les frontières administratives n'ont pas grand sens dans la délimitation d'une agglomération. Résultat ? *"L'Etat chinois dénombre seulement 647 aires urbaines sur son sol, alors que nous en comptons 11 000 en suivant nos critères"*, relève Denise Pumain, chercheuse au laboratoire Géographie-cités. Des thèses et programmes de recherche sont désormais lancés pour trouver une définition standard, gage d'études scientifiques rigoureuses.



# Les villes ont pris le pouvoir

Plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui en ville...



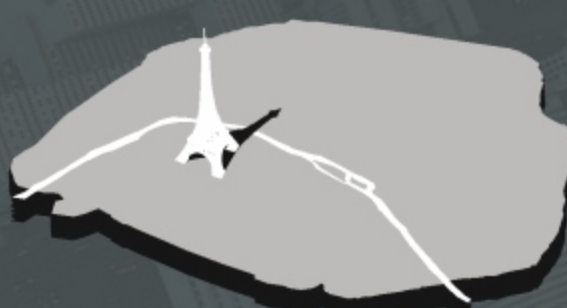
## 190 000

C'est le nombre de personnes qui, chaque jour, viennent grossir la population urbaine mondiale.

... et l'humanité continue à se concentrer dans de grandes mégapoles



Les villes occuperont, en 2050, l'équivalent de plus de 2 fois la France...

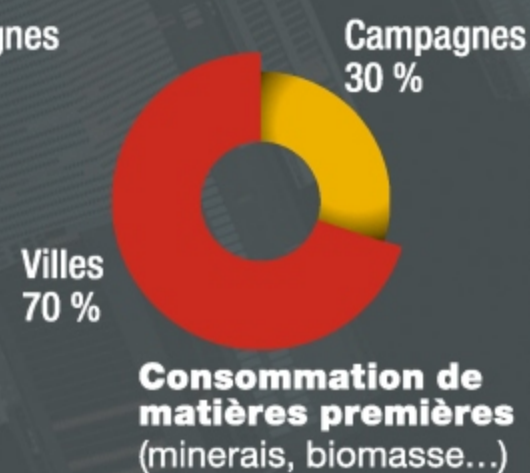
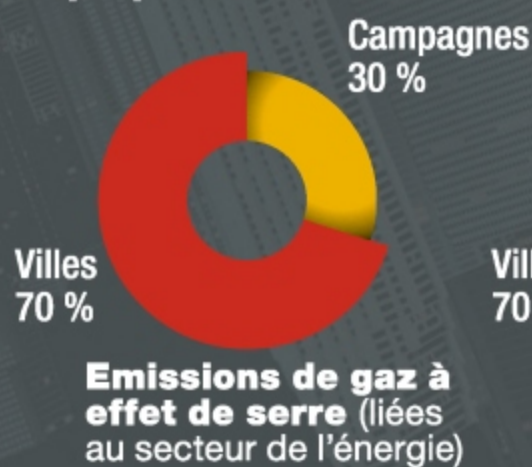
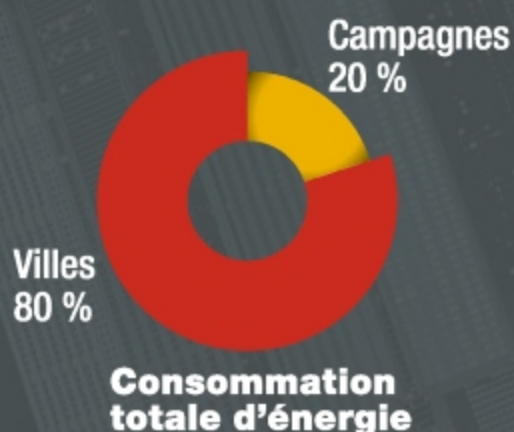


Surface gagnée tous les 2 jours par les villes à travers le monde

Chaque jour, les villes s'étendent un peu plus, empiétant sur les sites naturels et les terres agricoles les plus fertiles : elles grignotent tous les 2 jours une surface équivalente à celle de Paris.

...et leur empreinte sur l'environnement est disproportionnée

Si les villes concentrent 54 % de la population mondiale, elles ont pourtant sur leur environnement un impact bien supérieur.





→ *temps de mesurer certains de leurs paramètres, et les données ont déjà évolué*", complète Elsa Arcaute, physicienne au Centre pour l'analyse spatiale avancée (Casa) à l'University College London. *"Les villes sont des systèmes fondamentalement hors équilibre et évolutifs, loin de la vision statique véhiculée par les économistes"*, renchérit Marc Barthelemy.

## UN NOUVEAU CHAMP DE LA PHYSIQUE

Leur dynamique est parfois désarmante, entre des périodes de forte croissance et de décadence, voire d'effondrement. Songez à Detroit (Etats-Unis), dont plusieurs quartiers devenus fantômes sont actuellement rasés au bulldozer – les chercheurs parlent de "villes rétrécissantes".

## Les scientifiques cherchent à définir les grandes règles qui régissent ce chaos apparent

Véritablement, cet objet social et matériel ne ressemble à rien de connu, ni colonie de fourmis comme le pensait Aristote, ni feuille, ni arbre, ni machine. Aucune métaphore ne semble fonctionner.

Au final, la ville est un objet si complexe qu'elle échappe aux outils actuels des planificateurs. *"Il leur manque des moyens scientifiques pour comprendre et agir"*, estime Marc Barthelemy.

*"Les villes sont le fruit de millions de décisions humaines individuelles, rationnelles mais relativement non coordonnées, qui rendent le comportement de l'ensemble assez imprévisible"*, renchérit Mike Batty, directeur du Casa et éminent géographe. *C'est pourquoi nous avons besoin d'une bonne théorie scientifique sur les villes."*

Or, les physiciens sont les mieux placés pour embrasser cette singularité. Les systèmes complexes sont en effet devenus un champ de recherche à part entière de la physique ; l'objectif était

de comprendre la dynamique d'Internet, des écosystèmes, des réseaux de gènes, etc. Cette nouvelle discipline apparue au début des années 2000 s'est déjà dotée de puissants outils qui permettent de tirer des statistiques et des lois empiriques. Le moment est d'autant mieux choisi que les scientifiques bénéficient aujourd'hui d'un immense afflux de données ouvertes, comme la localisation massive, rapide et précise des usagers d'une ville grâce à leur téléphone portable.

Forts de ces nouvelles connaissances et de leur puissance de feu analytique, les physiciens entendent révéler les grandes règles qui régissent le chaos apparent des villes. Ils comptent dévoiler les régularités cachées derrière des agglomérats aussi dissemblables

que Shanghai, Genève ou Bogota. Et faire ressortir des lois universelles de cette extraordinaire diversité de tailles, de structures, de cultures, d'histoires.

Cette démarche scientifique s'inscrit donc bien au-delà d'un énième "plan banlieue" ou de toute autre initiative politique locale comme la mise en libre-service de vélos, la végétalisation d'une toiture, l'installation d'un tramway ou d'un téléphérique...

*"Nous sommes à la recherche des mécanismes fondamentaux de formation et d'évolution des villes"*, martèle Marc Barthelemy.

Les scientifiques n'en sont qu'au début de leurs observations. Mais les premiers résultats de cette nouvelle approche commencent à tomber, éclairant un peu mieux l'émergence des villes, leur étalement, les formes qui apparaissent naturellement, les flux qui les traversent. Parmi ces nouvelles lois urbaines fondamentales, certaines semblent logiques, d'autres plus surprenantes. Toutes révèlent des mécanismes puissants et organiques que les urbanistes de demain devront prendre en compte, s'ils veulent concevoir des cités efficaces et agréables à vivre.



## LA LOI DE LA CROIS

### Les villes s'éten

L'étalement d'une ville dépend de forces insoupçonnées.

Des forces indépendantes du volontarisme de son maire ou de ses fondateurs. Des forces qui ressemblent étrangement à la gravité newtonienne...

*"La croissance d'une ville se fait en lien avec celle de ses voisines, a mis en évidence Alberto Hernando de Castro, thermodynamicien à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). Et plus les centres de population sont proches les uns des autres, plus les forces d'interaction sont intenses."* Un peu à la manière de la gravitation classique, dont l'influence diminue suivant l'inverse du carré de la distance.

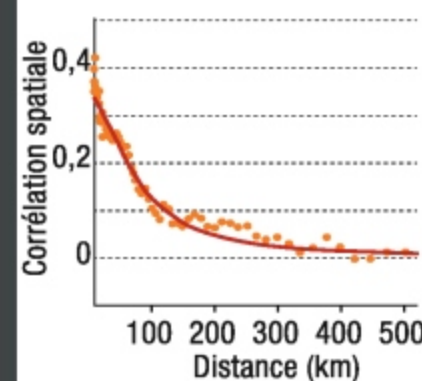




< Etude des échanges entre Londres et ses proches voisines.

### En Angleterre comme en Espagne

Les interactions entre villes voisines (ci-dessus, la région londonienne) sont déterminantes pour leur développement respectif. En se penchant sur 8 000 noyaux urbains espagnols, les scientifiques ont obtenu une courbe qui montre que l'influence entre deux villes dépend de l'inverse du carré de la distance... comme pour la gravité !



## SANCE URBAINE

# dent par effet de gravitation

Armé d'outils de physique statistique, le chercheur a passé au crible l'évolution de 8 000 noyaux urbains du territoire espagnol ainsi que deux cents ans d'étalement urbain aux Etats-Unis. Les corrélations entre villes voisines sont apparues évidentes, la zone d'influence s'étendant jusqu'à 70 km en Espagne et environ 200 km aux Etats-Unis.

Les mouvements de population, fruits de millions de décisions individuelles motivées par toutes sortes de raisons, affichent ainsi une troublante cohérence. "Si les humains sont les constituants de grandes

structures appelées villes, les villes sont elles-mêmes les constituants de structures encore plus grandes – à l'image des étoiles composant les galaxies, lesquelles forment des groupes de galaxies", s'enthousiasme Alberto Hernando de Castro.

### Des "systèmes" de villes

Assistés par l'Institut des systèmes complexes de Paris, les chercheurs du laboratoire Géographie-cités ont modélisé l'émergence de ces systèmes de villes. "On voit des processus d'auto-organisation se mettre en place à partir de villes interconnectées

s'échangeant des personnes, des biens, des informations...", décrit la géographe Denise Pumain, auteure d'une théorie de l'évolution des villes.

Plutôt que des galaxies, les cités formeraient des écosystèmes, des réseaux dans lesquels des villes spécialisées (dans l'extraction minière, la production d'acier...) côtoient de grandes villes généralistes et interagissent avec elles. Y compris sur de longues distances, comme entre Paris et les grandes villes d'Europe, d'Amérique, du Japon, du Maghreb...

Sur le long terme, cette dynamique interurbaine

domine tous les autres facteurs de croissance. "La complémentarité naturelle entre les villes montre la nécessité de préserver leur diversité économique et sociale, avertit Denise Pumain. Il ne faudrait surtout pas chercher à faire converger toutes les aires urbaines vers un même modèle."



## LA LOI DE L'ACTIVITÉ URBAINE

## L'activité évolue plus vite que la population

$Y = Y_0 \times N^{\text{bêta}}$ : cette formule mathématique est sans doute la raison d'être des villes! Le terme  $Y$  décrit une quantité socio-économique donnée définissant l'activité d'une ville (production, nombre de brevets déposés, nombre de crimes, pollution...);  $N$  est la taille de la population de la cité en question;  $Y_0$  et  $\text{bêta}$  sont deux constantes, avec  $\text{bêta} > 1$ .

Que dit cette équation brute? Elle signifie qu'en s'agglutinant pour vivre ensemble et interagir, les humains amplifient leurs capacités socio-économiques. Les statistiques recueillies par l'équipe de l'Institut de Santa Fe (Etats-Unis) sont formelles: *"Les quantités sociales ( $Y$ ) évoluent plus vite que la population ( $N$ ): ce n'est pas linéaire, mais superlinéaire"*, explique le physicien Luis Bettencourt, auteur de ces travaux.

Les habitants des grandes villes affichent ainsi des performances surdimensionnées. Plus précisément: un doublement de la population correspond à une augmentation de 15 à 20 % de la production de richesse par habitant et de la créativité (nombre de brevets).

Des avantages qui suffisent à justifier l'existence de ces concentrations de peuplement! D'autant que les infrastructures physiques (câbles électriques, routes, etc.) profitent

d'économies d'échelle quand la ville s'agrandit.

Cette formule touche à l'universel. Une étude archéologique parue en début d'année a montré que les plus grandes cités des civilisations préhispaniques (de 1150 av. J.-C. à la fin des Aztèques, au XVI<sup>e</sup> s.) affichaient un surcroît de productivité, mesuré d'après la surface des bâtisses et monuments.

#### Plus d'échanges...

Tous ces phénomènes d'amplification auraient une même origine: l'intensification des interactions sociales. Selon une analyse menée par le Massachusetts Institute of Technology (MIT), un habitant de Lisbonne (500 000 habitants) parle au téléphone avec deux fois plus d'interlocuteurs qu'un habitant d'une petite bourgade portugaise comme Lixa (4 000 âmes). En Angleterre, les 8 millions de Londoniens interagissent aussi deux fois plus que les 100 000 habitants de Cambridge.

Ce phénomène favorise la coopération, le partage des tâches et des idées. Résultat: plus de connaissances, d'innovation et de prospérité!

*"Cette étude permet de quantifier 'les délices de la ville, avec sa solidarité de pensée et d'intérêt', vantés par Elisée Reclus, géographe français*

*du XIX<sup>e</sup> s."*, souligne Carlo Ratti, directeur du laboratoire Senseable City (MIT), à l'origine de ces travaux.

Et d'éclairer une des grandes singularités de la ville: *"Alors qu'en biologie, le rythme de vie d'un organisme ralentit quand sa taille est plus élevée, les villes connaissent le phénomène opposé: le réacteur social accélère! Sur ce point, les villes ressemblent aux étoiles, dont les plus grosses émettent davantage de lumière par unité de masse."*

Le rythme même de l'existence humaine semble s'accélérer: certains sociologues affirment ainsi avoir mesuré que les habitants d'une ville marchent plus vite quand la taille de la population augmente.

#### ... mais plus de fléaux

Cette agglomération d'humains induit cependant des effets plus problématiques: en effet, la criminalité et la transmission de maladies augmentent avec la population dans des proportions comparables.

Les impacts de cette croissance urbaine sur la pollution inquiètent également. De nombreux économistes ont avancé que, grâce aux économies d'échelle, l'habitant d'une grande ville émettait moins de CO<sub>2</sub> que celui d'une agglomération moins peuplée. Or,

plusieurs études fouillées disent aujourd'hui le contraire: en s'appuyant sur les niveaux d'émissions de CO<sub>2</sub> compilés tous les 100 km<sup>2</sup> aux Etats-Unis, une équipe américaine n'a mesuré aucun avantage pour les grandes villes.

En février 2014, une équipe brésilienne relevait même un lourd handicap: *"Les émissions augmentent plus vite que la population"*, expose Hernán Makse, physicien à l'université fédérale du Ceará.

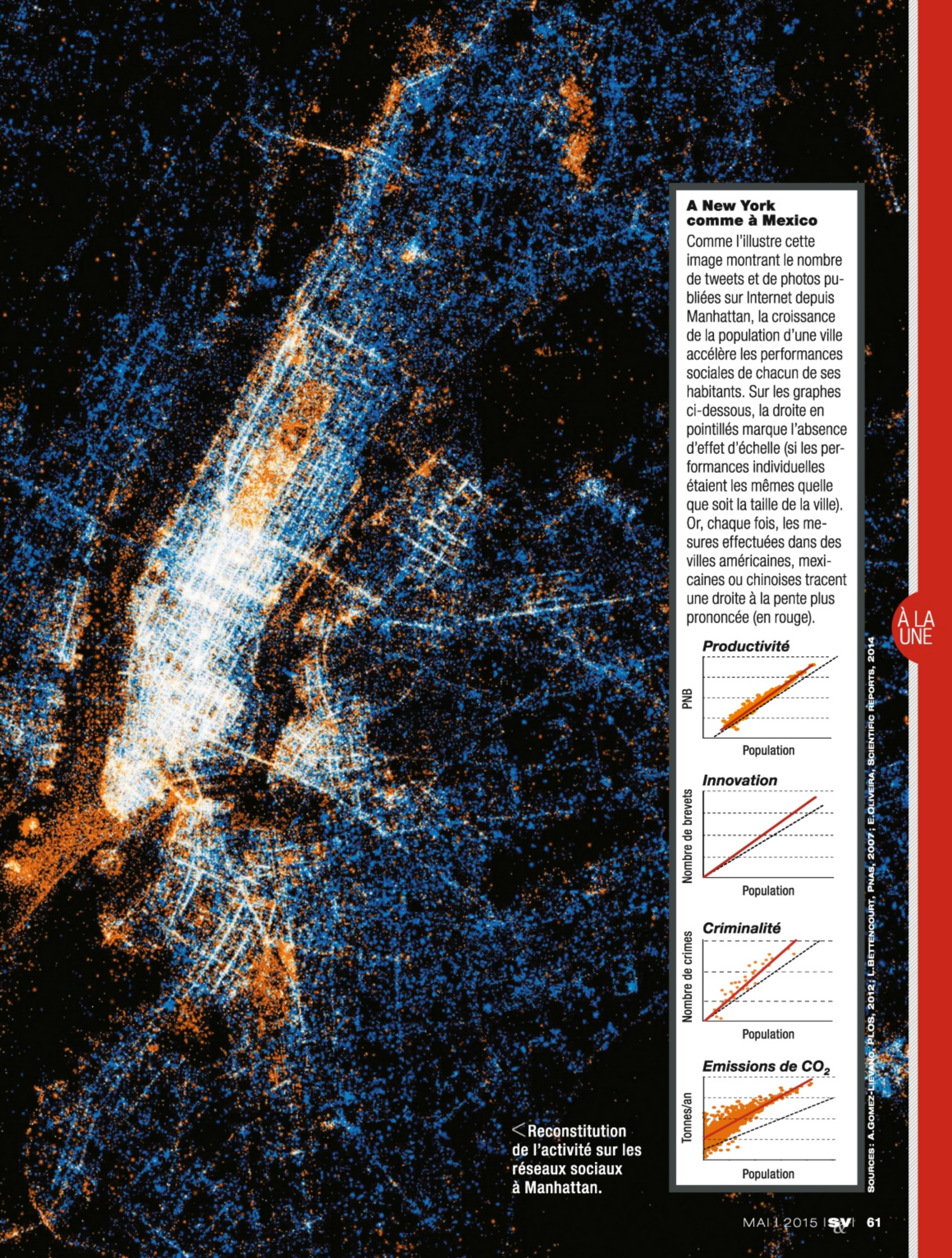
Et revoilà notre formule. Selon le chercheur, un doublement de la population aboutirait à une hausse de 46 % des émissions de CO<sub>2</sub> par habitant.

Les mégapoles en formation seraient donc loin d'être une aubaine dans la lutte contre le réchauffement climatique.

L'une des explications avancées tient à la plus forte productivité des grandes villes. Marc Barthélemy (Institut de physique théorique du CEA) invoque plutôt *"l'augmentation des phénomènes de congestion dans les villes plus peuplées"*.

Pour assurer le fonctionnement optimal d'une cité, cette formule ne doit donc pas s'interpréter comme une ode simpliste à l'accroissement permanent. *"Ces résultats devraient servir d'avertissement pour les planificateurs"*, conclut Hernán Makse.

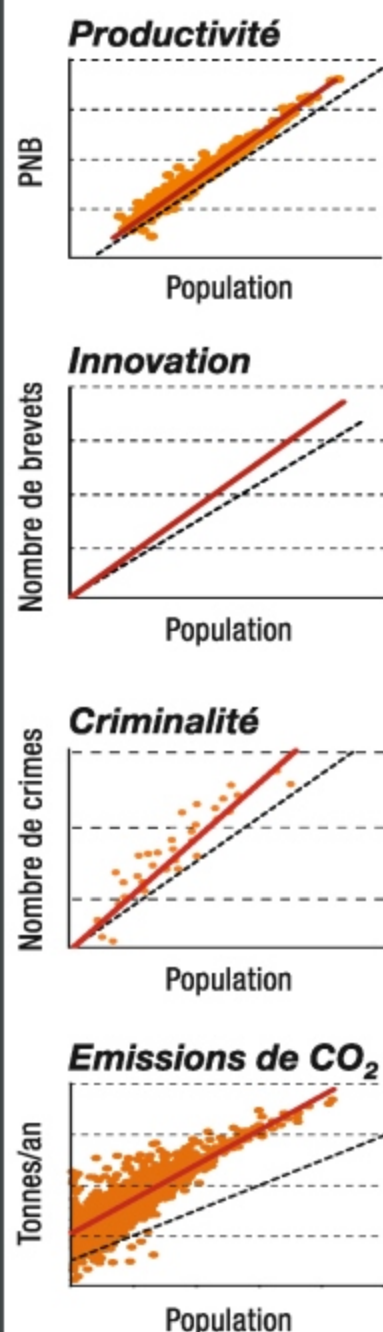




Reconstitution de l'activité sur les réseaux sociaux à Manhattan.

### A New York comme à Mexico

Comme l'illustre cette image montrant le nombre de tweets et de photos publiées sur Internet depuis Manhattan, la croissance de la population d'une ville accélère les performances sociales de chacun de ses habitants. Sur les graphes ci-dessous, la droite en pointillés marque l'absence d'effet d'échelle (si les performances individuelles étaient les mêmes quelle que soit la taille de la ville). Or, chaque fois, les mesures effectuées dans des villes américaines, mexicaines ou chinoises tracent une droite à la pente plus prononcée (en rouge).



SOURCES : A. GOMEZ-LIEVANO, PLOS, 2012 ; L. BETTENCOURT, PNAS, 2007 ; E. OLIVEIRA, SCIENTIFIC REPORTS, 2014

À LA UNE



> **Modélisation des flux de passagers dans les transports publics londoniens.**

SOURCES: A. NOULAS, PNAS, 2011

### A Houston comme à Singapour

Derrière cette image représentant les flux dans les transports londoniens (été 2012) se cache un étonnant invariant, mis en valeur à partir des données de trois villes très différentes : la probabilité de déplacement d'un point à l'autre dépend très peu de la distance entre ces points (dans un rayon de 10 km).



## LA LOI DE LA HIÉRARCHIE URBAINE

# La taille d'une ville est inversement proportionnelle à son rang

Le constat est saisissant. Quel que soit le pays, la période historique ou le régime politique, la taille des différentes villes d'une région du monde suit toujours la même hiérarchie: la population de

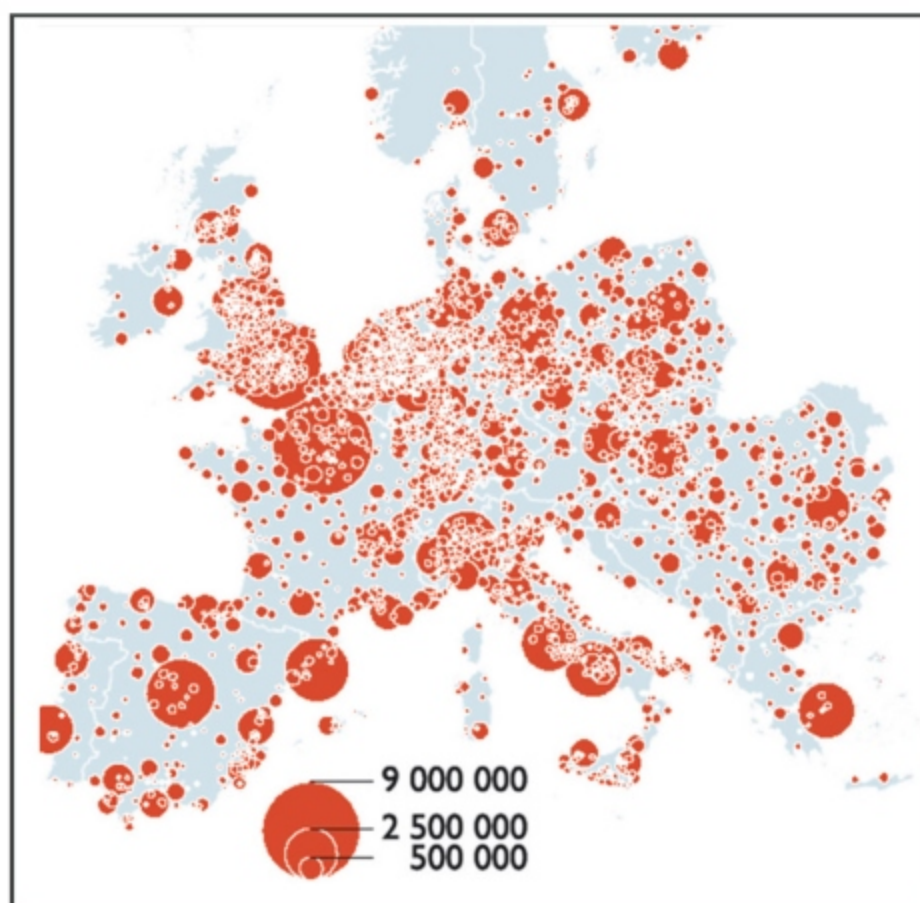
la ville la plus peuplée représente environ le double de celle de la deuxième ville la plus importante, le triple de la troisième, etc.

Relevée pour la première fois en 1913 par le

physicien allemand Felix Auerbach, cette règle statistique illustre l'ordre immuable caché derrière la diversité des villes. Baptisée loi de Zipf, ce constat empirique continue d'être analysé. Cette répartition de densité humaine a même été comparée, dans un article publié en janvier par des astrophysiciens de Harvard, à l'organisation de la matière au sein des galaxies.

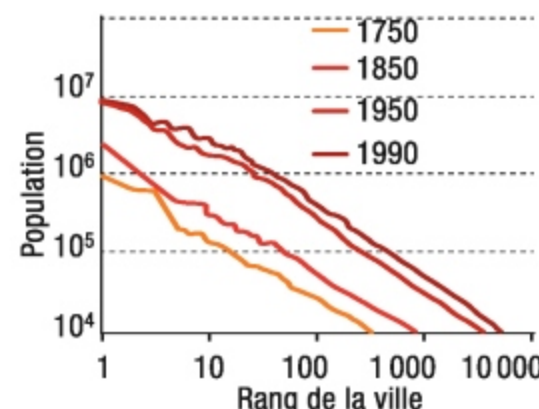
"Cette loi montre que les villes ne convergent

pas vers une taille optimale, comme nous l'ont fait croire les économistes", souligne le physicien Marc Barthelemy. "Au vu des écarts de plusieurs ordres de grandeur entre les agglomérations, on ne peut définir de taille typique pour une ville, confirme Alberto Hernando de Castro. En quelque sorte, il n'y a pas de limite à la taille d'une ville... si ce n'est la taille de la population mondiale."



### En Europe comme ailleurs

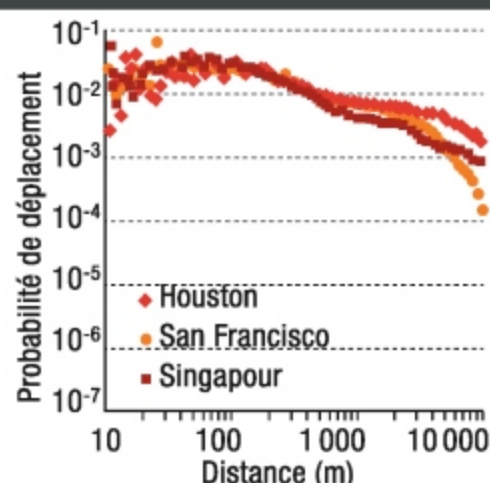
La répartition de la population urbaine suit depuis toujours une loi statistique très forte, incarnée par ces tracés incroyablement réguliers (ici en Europe).



SOURCES: A. BRETAGNOLLE, D. PUMAIN, HAL, 2007

## LA LOI DE LA MOBILITÉ URBAINE

# Le déplacement des citadins est indépendant de la distance



En ville, la distance géographique perd tout son sens: les plus récentes analyses, menées aux Etats-Unis, au Portugal ou en Côte d'Ivoire, révèlent que la durée du trajet domicile-travail (en transports en commun) est indépendante de la longueur parcourue.

Autre constat: "Le suivi de 900 000 utilisateurs du réseau social Foursquare dans 34 villes du monde très différentes montre que la probabilité de se déplacer d'un endroit à un autre ne dépend pas directement de la distance, expose le mathématicien Renaud

Lambiotte (université de Namur). La mobilité dépend plutôt des opportunités intermédiaires (un bistro, par exemple) sur le trajet. Ce déplacement opportuniste semble être un trait universel des citadins." Un résultat essentiel pour comprendre et maîtriser la répartition des zones d'activité d'une ville.



## LA LOI DE L'ORGANISATION URBAINE

# Le nombre de centres-ville augmente de 50 % quand la population double

De récentes analyses statistiques menées à Londres, Madrid ou Singapour le confirment : les villes voient apparaître régulièrement et spontanément de nouveaux centres-ville ! Selon les calculs des physiciens, un doublement de la population entraîne ainsi une augmentation d'environ 50 % du nombre de bassins d'attraction dans une cité – même si leur rôle central ne dure parfois que quelques heures par jour.

Le principal facteur expliquant ce polycentrisme serait... l'intensité des embouteillages. En effet,

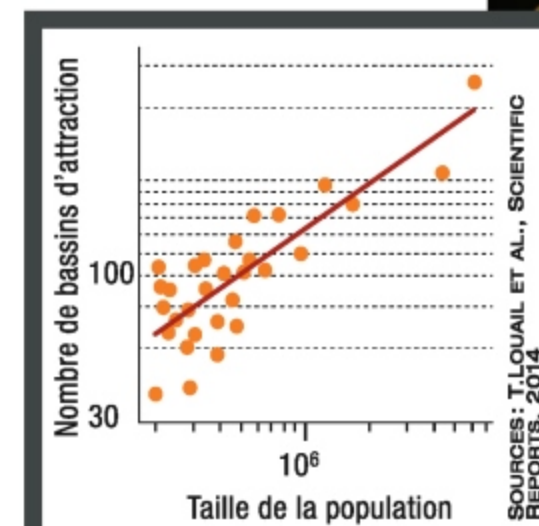
détaille Marc Barthelemy, qui a mis le phénomène en équations, *"à partir d'un certain seuil de congestion, lié aux trajets domicile-travail, l'encombrement atteint de tels niveaux en centre-ville que l'activité en vient à se développer autour d'un autre point de l'agglomération"*.

### Forcer le polycentrisme

Bref, les villes seraient structurées par les déplacements individuels de leurs habitants, avec leur cortège d'exaspération et de coûts perdus dans les encombrements.

Seulement voilà : *"Si le polycentrisme émerge naturellement, nos calculs montrent que ce phénomène ne suffit pas à résoudre tous les problèmes de congestion, soulève Marc Barthelemy. A moins de supprimer la voiture individuelle ou de généraliser le télétravail, il faudrait pouvoir forcer ce polycentrisme et privilégier les constellations de villages urbains."*

Forcer le polycentrisme ? C'est en quelque sorte ce qu'avait réussi le baron Haussmann en éclatant un Paris médiéval surpeuplé. *"Même si ses grands travaux ont*



*été très mal vécus à l'époque, ils ont permis de mieux répartir les différents points de passage centraux de la capitale, jusque-là très concentrés autour de leur barycentre, explique le physicien. Cela a fluidifié le trafic jusqu'à aujourd'hui."*

## LA LOI DE LA MORPHOLOGIE URBAINE

# Il n'existe que quatre formes de rue

Les touristes sillonnent le monde, émerveillés par la formidable diversité de ses villes... Et pourtant : l'analyse réalisée à l'Institut de physique théorique du CEA-Saclay sur 131 agglomérations américaines, européennes, asiatiques et africaines n'a identifié que quatre formes de rue ! Leur morphologie étant calculée en fonction de la forme et de la surface des différents blocs d'immeubles ou pâtés de maisons.

*"Nous avons cherché à établir une première classification des grandes familles de villes, à la manière de ce qui se fait en botanique",* explicite Marc Barthelemy.

Ces nouvelles données font apparaître des rapprochements surprenants : le quartier de Staten Island (New York) montre une physionomie similaire à celle de la ville syrienne d'As-Suwayda !

Autre résultat : *"Paris affiche des formes atypiques en triangle allongé, résultats des interventions du baron Haussmann au XIX<sup>e</sup> s. pour former de larges avenues et de grandes places, relève le physicien. Le développement d'une ville se réalise par auto-organisation locale et, ponctuellement, par des actions de planification à grande échelle sans égard pour la géométrie préexistante."*

Deux forces distinctes dont il reste encore à établir les mérites comparés.

### Au Nord comme au Sud

Les villes du monde entier présentent quatre formes de réseaux de rues : des blocs carrés et rectangulaires très réguliers, comme à Buenos Aires ; des blocs fragmentés, petits et de formes très variées (Athènes) ; des blocs plus grands que dans le modèle précédent (majorité des villes européennes et américaines, comme La Nouvelle-Orléans) ; enfin, des blocs carrés de petite taille (Mogadiscio).

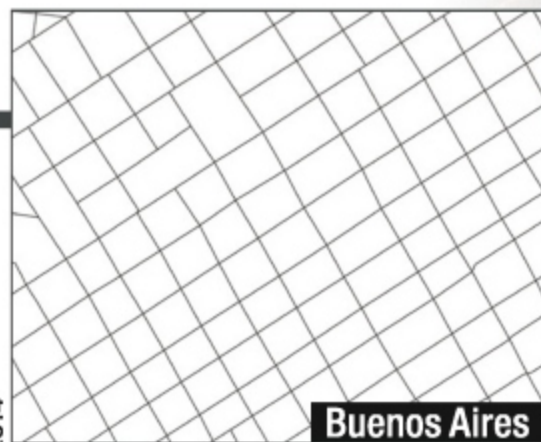


### A Graz comme à Madrid

Sur cette image de l'activité téléphonique à Graz (Autriche), différents centres d'attraction émergent. L'analyse de 31 grandes villes espagnoles (graphe) révèle que le nombre de ces centres-ville dépend de la taille de la ville.

À LA UNE

SOURCES : M. BARTHELEMY, INTERFACE, 2014



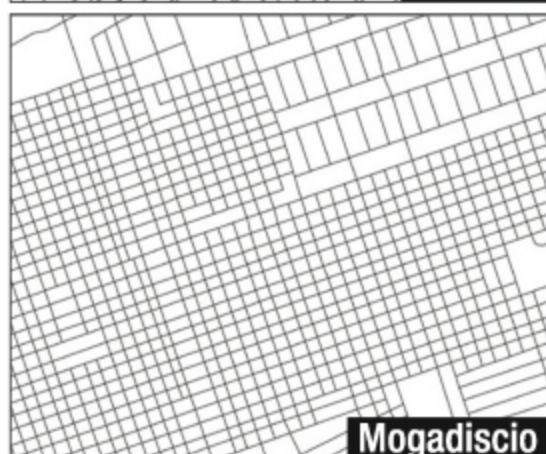
Buenos Aires



Athènes




La Nouvelle-Orléans



Mogadiscio

^ Visualisation de l'activité téléphonique à Graz (Autriche).





>Analyse des formes de constructions à Chicago.

# URBANISME : POURQUOI LA SCIENCE PEUT FAIRE MIEUX

*Parce que les urbanistes travaillent sans données fiables ni garanties de résultats, répondent les physiciens. Or, eux ont des outils pour modéliser le développement des villes. De quoi éviter de faire des erreurs.*

Construire la cité idéale... La promesse n'est vraiment pas nouvelle! Les plus brillants penseurs se sont penchés sur le sujet depuis l'Antiquité, des montagnes de publications lui ont été consacrées. Et aujourd'hui, sur le terrain, de très nombreux

experts se font fort d'organiser nos métropoles: ils sont urbanistes, architectes, économistes, ingénieurs des Ponts et Chaussées, sociologues, philosophes, politiques.

*"Oui, mais presque aucune de leurs idées n'a été validée scientifiquement,*

*tranche le physicien Marc Barthelemy, de l'Institut de physique théorique (Saclay). Certes, les économistes et les ingénieurs développent aujourd'hui des modèles, mais ceux-ci sont très opaques et les mécanismes à l'œuvre ne sont pas bien compris ou bien identifiés... Alors que dans nos sciences fondamentales, toute simulation exige de comprendre les phénomènes en jeu, y compris les phénomènes de second ordre."*

*"Clairement, les praticiens, comme les maires, les ingénieurs des transports et autres planificateurs, font de leur mieux pour régler certains*

C. MOLLET/J.-P. VELEZ/OPEN CITY - DR





*problèmes particuliers d'une ville, analyse de son côté Luis Bettencourt, physicien à l'Institut de Santa Fe (Etats-Unis). Seulement voilà, ces acteurs ont été incapables de créer de 'bonnes' villes; en réalité, ils ont produit des villes terribles!"*

#### LA LISTE DES DÉSASTRES EST LONGUE

C'est peu de le dire: la plupart des grands projets urbains du XX<sup>e</sup> siècle se sont soldés par de flagrants ratés (voir pages suivantes). Concepts vaporeux, visions trop statiques, géométries forcées... La liste est longue: citons Brasilia (Brésil), Chandigarh (Inde), Canberra (Australie), Pruitt Igoe et Levittown (Etats-Unis), de nombreuses créations *ex nihilo* en Chine, "sans oublier les villes nouvelles autour de Paris, devenues au final des cités-dortoirs avec tous les problèmes que cela génère, notamment de déplacement", complète Marc Barthelemy. En attendant les prochaines utopies urbaines, ces di-

vers projets de "villes intelligentes" soutenus par l'industrie informatique (Songdo en Corée du Sud, Abdullah Economic City en Arabie saoudite, Tianjin Eco-city en Chine...); des villes dont le seul intérêt semble être le nombre faramineux de capteurs qu'elles intègrent ou leur recours massif aux énergies renouvelables.

Ce constat accablant réunit désormais plusieurs équipes de physiciens et de mathématiciens à travers le

monde. Rompus à la rigueur scientifique, ces chercheurs proposent une approche radicalement différente: un urbanisme fondé sur des preuves, des données statistiques, des lois fondamentales (voir pages précédentes). En somme, l'avènement d'un "urbanisme quantitatif".

*"Nous construirons des modèles en fonction des phénomènes observés, et nous édifierons alors, progressivement, un corpus théorique sur* →

“

**ALBERTO HERNANDO DE CASTRO**

Thermodynamicien à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse)

*Une théorie des villes fondée sur des principes mathématiques permettra de faire des prédictions*





la ville", expose Marc Barthelemy. Certains espèrent même faire tenir toute cette complexité en une seule et même équation, une sorte de "théorie du tout" appliquée à l'urbain...

Cette équation n'a pas vocation à dessiner les plans d'une seule et unique ville valable partout dans le monde: elle doit donner au planificateur le moyen de simuler l'effet de ses décisions. Crucial pour savoir si le percement d'une avenue aura l'effet escompté ou, au contraire, des conséquences déplorables; une fois l'avenue percée, il est trop tard...

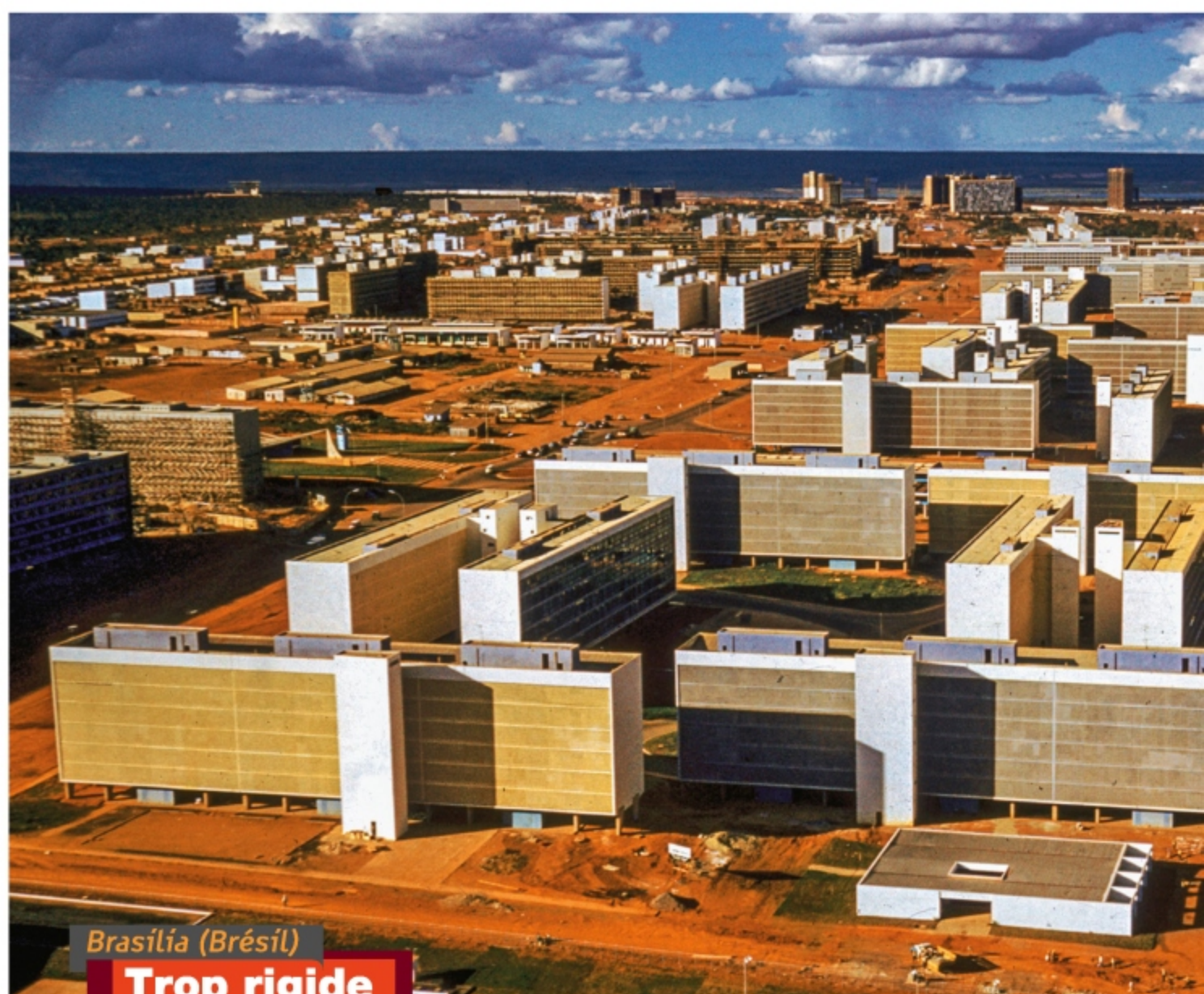
### DES MODÈLES DE SIMULATION

"Une théorie des villes fondée sur de solides principes mathématiques devrait permettre de faire des prédictions, explique Alberto Hernando de Castro, thermodynamicien à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). Nos modèles simuleront les effets de plusieurs options d'aménagement, ce qui permettra de choisir objectivement la meilleure." Opter pour tel axe de transport plutôt qu'un autre, tel principe d'étalement urbain, tel moyen de limiter les nuisances ou la consommation de ressources...

En prenant soin, souligne Marc Barthelemy "de réserver une place à l'auto-organisation, car le tout-planifié se révèle peu résistant aux évolutions de la société. Par exemple, l'avènement du télétravail pourrait modifier la logique des flux de déplacement et ainsi changer toute la structure des villes".

L'objectif est limpide: bâtir une ville fluide, prospère et où il fait bon

## L'urbanisme contemporain à l'épreuve de



Brasília (Brésil)

### Trop rigide

Fondée *ex nihilo* en 1960, Brasilia a été pensée comme un produit fini dont la croissance n'avait pas du tout été anticipée: conçue pour seulement 500 000 habitants, elle en compte aujourd'hui 2,5 millions. Résultats, des problèmes majeurs de transport et de logement.



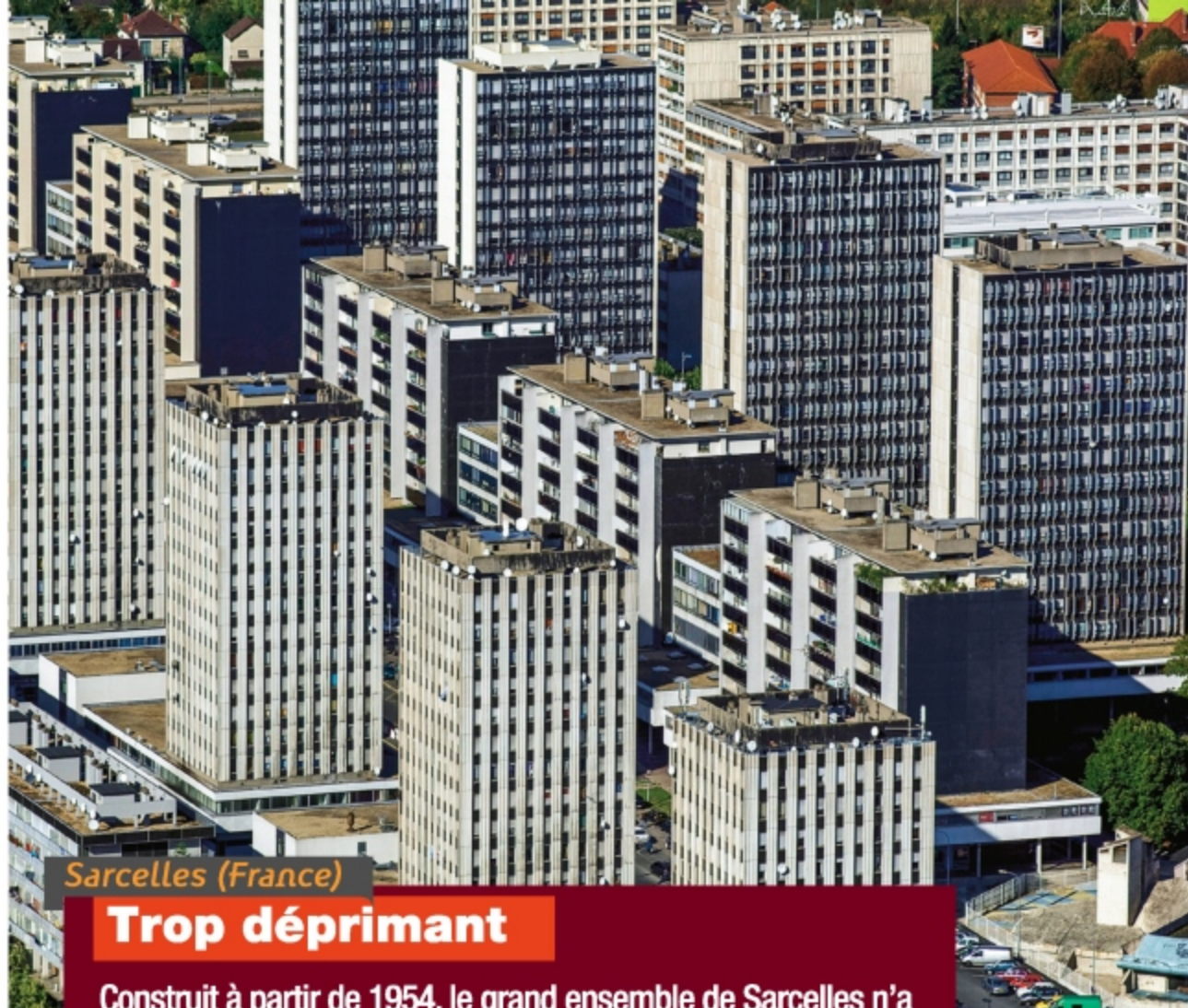
“

MARC BARTHELEMY  
Physicien à l'Institut  
de physique théorique,  
CEA de Saclay

Contrairement aux économistes,  
nous attendons d'avoir des  
données chiffrées avant de trancher



# la réalité



*Sarcelles (France)*

## Trop déprimant

Construit à partir de 1954, le grand ensemble de Sarcelles n'a été pensé qu'en termes de "stockage d'humains" sans zones d'activités ou de loisirs. Très vite, la "sarcellite" se développe : une sorte de déprime préfigurant le malaise des banlieues.



*Levittown (Etats-Unis)*

## Trop coûteux

Dans l'Amérique de l'après-guerre, les banlieues pavillonnaires se sont étalées à un rythme industriel : un modèle coûteux en infrastructures, gourmand en carburant, destructeur de terres agricoles et d'espaces naturels, sans cohésion sociale...



*Tianjin Eco-City (Chine)*

## Trop modulaire

En cours de construction, cette ville nouvelle reproduit une erreur classique en imposant un découpage très artificiel de l'utilisation du sol : quartier résidentiel, d'affaires, zone d'éducation, de loisirs... L'organisation spatiale d'une ville répond à des critères beaucoup plus fins.

À LA UNE



→ vivre ensemble. *“Ce domaine d'étude pourrait avoir un impact sur nos vies bien supérieur à celui de beaucoup d'autres champs scientifiques”*, pense Anastasios Noulas, de l'université de Cambridge (Grande-Bretagne).

Sauf qu'il faudra du temps pour bousculer les mentalités. Imposer cette démarche scientifique ne va pas de soi, à l'image du projet du Grand Paris (voir encadré), enfermé dans de vieux réflexes. Ce programme urbain, sans équivalent en Europe, est pourtant majeur et structurant. Oui, mais une fois de plus, en négligeant la dynamique propre aux villes, Paris pourrait déjouer ces plans officiels bâtis autour du super-métro Grand Paris Express. En l'espèce, tout miser sur un axe de transport est un pari risqué : la Circle Line, l'immense métro inauguré récemment à Singapour, n'a guère eu d'effets sur les problèmes de congestion de la mégapole asiatique.

## ON SAIT DÉJÀ CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE

Comme l'explique Dany Nguyen-Luong, de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France, *“les modèles habituels de prévision du trafic sont bien rodés, mais ces outils ne s'aventurent pas au-delà de la première année de fonctionnement d'une ligne...”* La réussite d'un tel projet repose sur la synergie entre le nouvel axe de transport et le dynamisme des différents pôles desservis. *“Une étude montrait dernièrement qu'une ligne construite dans la grande couronne de Tokyo n'avait eu aucune influence sur le dynamisme local*, poursuit le chercheur. *De même, l'installation d'une infrastructure de transport ne produit pas d'effet spontané sur l'occupation du sol autour des gares, les impacts à vingt ou trente ans étant très variables selon les secteurs.”*

C'est exactement le genre de ratage que les scientifiques promettent d'éviter. Face à l'urbanisation galopante, témoigne Marc Barthelemy, *“nous commençons à être sollicités par l'Administration européenne, et*

## Grand Paris : les scientifiques n'ont pas été consultés

*“Efficace”, “confortable”, “durable”, “égalitaire”, “fantastique”... Le projet de transformation de la capitale française à l'horizon 2030 soulève un immense enthousiasme. Lancé en 2007 par Nicolas Sarkozy, ce projet s'organise autour du Grand Paris Express : ce super-métro en proche couronne représentera 205 km de voies et 72 nouvelles stations disposées le long de quatre nouvelles lignes et deux extensions. Une infrastructure estimée à 30 milliards d'euros, qui sera chargée d'alimenter d'actuels ou futurs grands pôles d'activités. Car il s'agit de tenir la dragée haute à Londres, New York ou Tokyo ! Pour autant, la réussite du Grand Paris est loin d'être assurée. “Ce projet relève avant tout de l'affichage politique et industriel”, confie un membre du Conseil scientifique de l'Atelier international du Grand Paris. “Il semblerait que le rôle des scientifiques soit très limité dans la prise de décision, déplore Marc Barthelemy, de l'Institut de physique théorique. Les modèles classiques utilisés ici par les planificateurs sont loin d'être convaincants.” Or, s'appuyer sur ces vieilles recettes urbanistiques n'offre aucune garantie : “Le plateau de Saclay, par exemple, pourrait très bien rester à son état actuel de rase campagne malgré le nouveau métro... à moins d'une grande volonté politique”, précise l'ingénieur Dany Nguyen-Luong.*

*la Chine est également très demandeuse de conseils scientifiques. Même si nous n'en sommes pas encore au stade de formuler des conseils très précis, on commence tout de même à percevoir ce qu'il ne faut pas faire”.*

*“Le travail empirique mené actuellement nous permet déjà de tester des concepts sociologiques proposés il y a très longtemps”*, s'enthousiasme Renaud Lambiotte, spécialiste des réseaux complexes au département de mathématiques de l'université de Namur (Belgique).

Marc Barthelemy résume : *“Nous, scientifiques, attendons d'acquiescer des données chiffrées avant de trancher et de nous exprimer... Les économistes, eux, continuent d'avoir l'oreille des décideurs, alors que la plupart de leurs modèles n'ont pas été validés.”*

Inutile de le cacher, le chemin des physiciens s'annonce semé d'embûches et de chausse-trappes. *“Même si leur arsenal scientifique est impressionnant, je me demande comment leurs résultats pourront être mis en œuvre dans des politiques publiques”*, soulève Florent le Néchet, maître

de conférences en aménagement de l'espace à l'université Paris-Est Marne-la-Vallée. *“Au-delà des applications pratiques attendues, ce domaine de recherche est très excitant sur le plan intellectuel*, confie Alberto Hernando de Castro. *Etudier les villes revient à dévoiler ce qui structure les grands mouvements collectifs humains... Chacun d'entre nous contribue à ces comportements d'ensemble, mais quelle logique se cache derrière tout cela ? Serions-nous l'équivalent de la cellule d'un organisme qui nous dépasse ?”*

Partis à la recherche des lois de la ville, les scientifiques sont en train de découvrir des phénomènes révélateurs de notre humanité. Autant de “propres de l'Homme” qui, jusqu'ici, nous avaient échappé.

A lire : les publications révélant les lois de la cité, et un choix de livres sur la ville.

A voir : d'édifiantes vidéos et des documents “big data” analysant la jungle urbaine.

EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



# & Science découvertes

DEUXIÈME SOLEIL

72



ALCOOL

75



TROUS NOIRS

78



REQUIN-BOULEDOGUE

84



CERVEAU

90



M. GANN/P.FLEET, NIYAZ, O. NIKONOVA/SHUTTERSTOCK - J. LEWIS/GETTY - J. TROMEUR/SHUTTERSTOCK

VALÉRIE CHARRIER, D'APRÈS J. SWANEPOEL, TRIFF, ARENA CREATIVE, GETTY - E. ISSELLE/SHUTTERSTOCK - INSTITUTE OF PHYSICS JOURNAL







*Il y a 70 000 ans...*

# La Terre a eu deux soleils

Dans le ciel de nos ancêtres, un deuxième astre a brillé à côté du Soleil : une naine rouge qui traversait alors le système solaire... et ne fut sans doute pas la seule !

Par **Mathilde Fontez**

**E**lle était passée inaperçue. Pourtant, cela faisait soixante ans qu'elle figurait dans les relevés des télescopes, sous la forme d'un petit point rouge. Mais personne ne s'y était intéressé.

Il faut dire qu'elle se dissimulait, étoile anonyme parmi des milliers et des milliers d'autres, au pire endroit qui soit pour

qui aurait voulu la distinguer dans le ciel : près du plan de la Voie lactée, là où se concentre une forêt d'astres tous plus brillants les uns que les autres.

C'est en compilant toutes les données recueillies par les campagnes de recensement d'étoiles et en les explorant avec une méthode nouvelle, basée notamment sur l'étude des couleurs des astres, que Ralf Scholz, à l'Institut d'astrophysique de Potsdam (Allemagne), la repère fin 2013. Une toute petite étoile, pesant 15 % de la masse de notre Soleil et n'émettant qu'une faible lumière. Une étoile naine rouge gravitant tout près de nous, à 19 années-lumière, soit seulement 4 fois et demie plus loin que l'étoile la plus proche du système solaire, Proxima du Centaure.

Plusieurs équipes d'astronomes s'emploient aussitôt à l'étudier. Henri Boffin, à l'Observatoire européen austral (ESO), l'ajoute à la liste des cibles des télescopes Salt, en Afrique du Sud, et Magellan, au Chili. Michaël Gillon, à l'université de Liège, l'observe avec le télescope Trappist, installé au Chili. Adam Burgasser, à l'université de Californie, utilise les puissants observatoires Lick (Californie) et Keck (Hawaï) pour étudier sa lumière, tout en se plongeant dans les archives... jusqu'à retrouver la trace de l'étoile sur une plaque photographique datant de 1955, archivée à l'observatoire du mont Palomar.

## UNE CURIEUSE TRAJECTOIRE

Combinant toutes ces données, les astronomes dressent le portrait de l'étoile de Scholz – ils préfèrent vite ce surnom à sa vraie appellation : WISE J072003.20-084651.2. Ou plutôt des deux étoiles de Scholz. Car la naine rouge, qui pèse en réalité 8 % de la masse du Soleil, n'est pas seule. Elle gravite avec une naine

## Repères

Les planètes du système solaire sont toutes ramassées à moins de 30 unités astronomiques du Soleil (une "UA" étant la distance entre le Soleil et la Terre). Mais notre étoile étend son influence gravitationnelle sur un peu plus de 100 000 UA. Cette frontière externe du système solaire se matérialise par un gigantesque nuage de comètes, le nuage d'Oort... dans lequel est passée une étoile il y a 70 000 ans, à 52 000 UA du Soleil.

V. CHARRIER, D'APRÈS J. SWANEPOEL, TRIFF, ARENA CREATIVE, M. GANN, O. NIKONOVA, NIYAZ, P. FLEET, SKYLINES/SHUTTERSTOCK



→ brune, un petit astre sombre, mi-étoile mi-planète, pesant 6 % de la masse du Soleil.

Surtout – et c'est là que l'histoire commence à devenir vraiment intrigante –, elle se déplace à seulement 11 000 km/h perpendiculairement à nous... mais file à 300 millions de km/h dans la direction de la ligne de visée des télescopes. *“L'étoile s'éloigne de nous de façon quasi parfaite”*, constate Adam Burgasser.

l'étoile, tenant compte du champ gravitationnel de la Voie lactée et des incertitudes des mesures. Résultat: l'étoile de Scholz et sa sombre compagne se sont approchées jusqu'à 52 000 unités astronomiques du Soleil. Elles sont donc entrées dans le nuage d'Oort, cette zone reculée de notre monde où orbitent des milliers de milliards de comètes.

L'étoile de Scholz a donc visité le système solaire... il y a

*magnitude 50 fois plus faible que les étoiles visibles à l'œil nu*, explique Eric Mamajek. *Mais nos ancêtres ont pu la voir lors de ses éruptions... Durant quelques minutes ou quelques heures, elle devait être assez brillante !”*

## PAS DE PLUIE DE COMÈTES

L'étoile a ainsi passé deux mille ans dans notre monde, bousculant au passage quelques milliers de comètes, mais sans faire trop de dégâts. *“Elle est passée dans la partie externe du nuage d'Oort, très dilué à cet endroit*, précise Henri Boffin. *Elle n'a provoqué aucune pluie de comètes qui aurait pu toucher le système solaire interne.”*

Domage... Car c'est le rêve des astronomes: trouver une corrélation entre le passage d'une étoile étrangère à proximité du Soleil et la présence de cratères sur le sol terrestre, voire des extinctions d'espèces.

Mais ce n'est que le début. La recherche d'autres étoiles visiteuses est lancée. *“Dans un rayon de 20 années-lumière autour du Soleil, trois ou quatre étoiles et plusieurs dizaines de naines brunes pourraient nous avoir échappé*, précise Adam Burgasser. *Le satellite Gaia, qui cartographie la Voie lactée depuis décembre 2013, devrait pouvoir les détecter.”*

Car les statistiques sont là: les modèles de la galaxie prédisent que 12 étoiles pénètrent le système solaire chaque million d'années. L'étoile de Scholz n'était sans doute pas la première, ni la dernière, à venir faire un tour dans notre monde.

## D'autres étoiles nous foncent dessus

**Le système solaire doit s'attendre à d'autres visites du même genre: l'étoile HIP 63721 dans 145 000 ans, HIP 91012 dans 300 000 ans et Gliese 710 dans 1,4 million d'années. D'après les premières mesures, ces visiteuses passeront dans la partie externe du nuage d'Oort. Elles ne devraient donc pas chambouler notre monde... Mais ces prévisions, encore très imprécises, pourraient être corrigées dans un sens ou dans l'autre. Ainsi, la trajectoire de l'étoile HIP 85605, qui était censée venir dans 330 000 ans à 3 000 milliards de km du Soleil (dans la partie interne du nuage d'Oort), vient d'être réévaluée, et sa visite repoussée dans le temps et l'espace: elle passera 100 fois plus loin et dans 8 fois plus longtemps, sans entrer dans notre monde.**

Au printemps 2014, Eric Mamajek, spécialiste de la dynamique des astres à l'université de Rochester (Etats-Unis), est de passage au Chili pour discuter avec ses collègues de l'ESO. Le mouvement de l'étoile pique sa curiosité. Il intègre sa position et sa vitesse dans son modèle d'orbites galactiques... *“Et vingt minutes après le début de notre conversation, la réponse tombe, se souvient-il. La trajectoire de l'étoile montre qu'elle est entrée dans le système solaire !”*

Les astronomes simulent 10 000 orbites possibles pour

70 000 ans. 70 000: le nombre paraît presque erroné tant les astronomes sont habitués à manier les millions d'années. *“Seulement 70 000 ans ! s'ex-tasie Ralf-Dieter Scholz. C'est renversant !”*

Au moment où les premiers *Homo sapiens* commençaient à peupler notre planète, le système solaire a donc eu deux soleils. Les Terriens d'alors pourraient avoir brièvement aperçu la naine rouge traverser la constellation de la Grande Ourse. *“Elle est très peu lumineuse: au plus près du Soleil, elle devait avoir une*

A lire : les publications.  
A voir : la trajectoire de l'étoile de Scholz.

★  
**EN  
SAVOIR  
PLUS**

science-et-vie.com





# Et voilà comment l'homme s'est mis à boire...

Descendu de l'arbre il y a 10 millions d'années, notre ancêtre aurait pris goût aux fruits fermentés trouvés au sol... et adopté une mutation lui permettant de digérer leur alcool ! Une piste biologique étonnante.

Par **Elsa Abdoun**

**P**osons-nous la question : pourquoi boit-on tant ? Ou plutôt, comment l'être humain engloutit-il, contrairement à la plupart des autres animaux, des quantités absolument colossales de tord-

boyaux, toxique pour les tissus biologiques ? Car, qu'il soit sifflé ou siroté, proscrit ou célébré, force est de constater que l'alcool est l'objet d'une passion typiquement humaine, dont l'archéologie situe l'origine 7 000 ans avant notre ère, quand les premiers agriculteurs ont commencé à laisser fermenter une partie des céréales qu'ils récoltaient.

Mais l'histoire n'épuise pas la question : si l'homme a fabriqué du schnaps, du saké, du raki ou du sherry, c'est qu'il était capable de les boire. Une faculté à laquelle des biologistes apportent aujourd'hui une étonnante explication, après avoir mis au jour des témoignages

bien plus anciens de notre histoire éthylique, enfouis... au cœur de notre génome !

Une découverte qui les amène à proposer un nouveau récit de notre rencontre avec l'alcool, et qui explique en partie comment notre espèce en est venue à supporter d'aussi importantes quantités de ce psychotrope.

Tout aurait commencé il y a environ 10 millions d'années, dans les forêts d'Afrique de l'Est ponctuées de prairies depuis un récent changement climatique. Pour certains de leurs déplacements, nos ancêtres arboricoles devaient pour la première fois descendre de leurs arbres... Et découvrirent sur le sol des fruits tombés et gâtés. →

## Repères

Les alcools sont une classe de molécules parmi lesquelles figure l'éthanol. C'est ce dernier qui provoque l'ivresse. L'éthanol est fabriqué naturellement par fermentation, c'est-à-dire par transformation du glucose par des micro-organismes. L'humain maîtrise depuis 10 000 ans la fermentation, qui est naturellement à l'œuvre dans les produits végétaux sucrés (fruits, sèves, nectars...).



→ A une époque où les bouleversements climatiques et environnementaux provoquent l'extinction de nombreuses espèces, nos ancêtres auraient choisi de compléter leur alimentation avec cette nouvelle source de nutriments, aussi peu ragoûtante soit-elle.

### UNE QUESTION DE SURVIE

Mais ces fruits ont fermenté: une partie de leurs sucres a été transformée en éthanol – les rares analyses de fruits sauvages indiquent des taux entre 0,04 % et 4,5 %, sachant qu'une bière peut contenir 5 à 6 % d'alcool.

Or, l'éthanol a des effets psychotropes bien connus (altération de l'attention, des réflexes et de la motricité, somnolence...), particulièrement dangereux pour les individus soumis à la dure loi de la jungle. D'autant plus que nos ancêtres ne disposaient pas à l'époque d'aussi bonnes capacités de dégradation de l'alcool que nous.

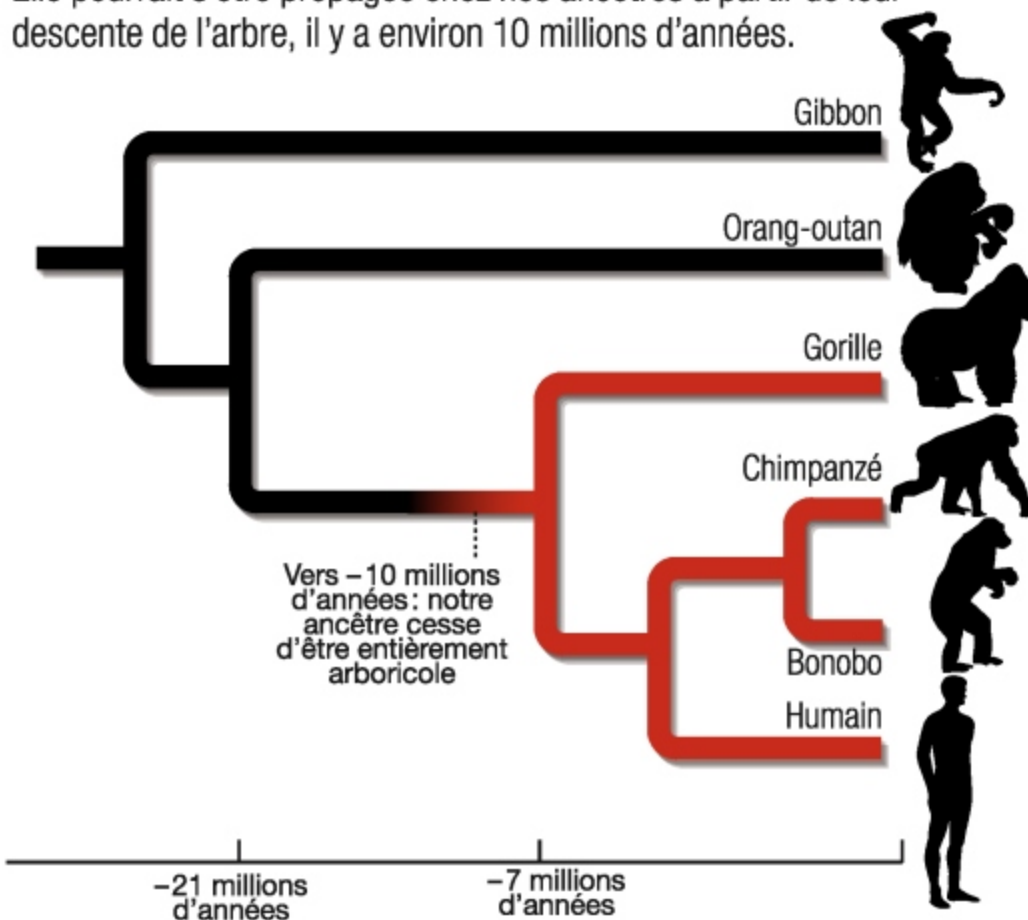
Poussés par la faim, ils auraient cependant croqué dans ces fruits défendus. Et auraient, par sélection naturelle, développé une capacité à dégrader ce poison plus rapidement, afin de limiter ses effets psychotropes tout en en tirant plus d'énergie (1 g d'éthanol contient près de deux fois plus de calories que 1 g de glucides). Ils auraient ainsi préparé la naissance de l'"Homo ethylus", aujourd'hui capable d'ingurgiter une infinie diversité de spiritueux.

## Ces animaux qui tiennent très bien l'alcool...

Plusieurs espèces se sont adaptées à l'alcool. La plus célèbre est la drosophile (mouche du vinaigre), dont les œufs se développent dans des fruits pourris contenant jusqu'à 6 % d'alcool. En 2008, des chercheurs ont découvert que le ptilocerque de Low, un petit mammifère vivant en Asie du Sud-Est qui se nourrit d'une sève de palmier contenant 3,8 % d'alcool, pouvait atteindre, sans signe d'ébriété, des taux d'alcoolémie équivalents à ceux d'un humain ayant bu 9 verres de vin. Enfin, en 2010, un laboratoire canadien a démontré que des espèces de chauve-souris se nourrissant de fruits fermentés volaient droit malgré plus de 0,3 g/dl d'alcoolémie.

## Une mutation clé qui apparaît chez les espèces vivant au sol

Les primates qui passent le plus de temps au sol portent une mutation leur permettant de mieux digérer l'alcool (en rouge). Elle pourrait s'être propagée chez nos ancêtres à partir de leur descente de l'arbre, il y a environ 10 millions d'années.



△ Le gibbon, totalement arboricole, ne porte pas la mutation permettant de mieux digérer l'alcool...

Cette histoire de la première rencontre de notre lignée avec l'alcool, ce sont nos gènes qui la racontent. Plus exactement un gène codant pour une enzyme qui, chez presque toutes les formes de vie, participe à la dégradation de l'éthanol: l'alcool déshydrogénase 4 (ADH4).

Des chercheurs de la Fondation pour l'évolution moléculaire appliquée, en Floride, ont comparé sa séquence chez l'humain et 27 espèces de mammifères, puis ont synthétisé, ou extrait directement de tissus biologiques, les enzymes codées par ces séquences. Enfin, ils ont comparé leur efficacité de digestion de l'éthanol *in vitro*.

Résultat: l'enzyme présente chez l'humain et ses plus proches cousins (gorilles et chimpanzés) métabolise l'éthanol 40 fois mieux que celle présente chez presque toutes les





autres espèces étudiées. Et cela grâce à une mutation apparue chez notre plus récent ancêtre commun il y a entre 7 et 21 millions d'années, et dont ont bénéficié tous ses descendants.

*"Quand j'ai vu ça, je me suis dit : fantastique ! Puis j'ai répété l'expérience, encore et encore, pour m'assurer que ce n'était pas une erreur",* raconte Matthew Carrigan, principal auteur de l'étude. Qui a ensuite fait le lien avec le fait que les hominidés ont commencé à descendre de leurs arbres il y a environ 10 millions d'années.

Si nous ne tombons pas de notre chaise dès la première gorgée de bière, ce serait parce que nos aïeux ont mangé des fruits pourris pour survivre... *"Nous leur en sommes rede-*



< ... contrairement au chimpanzé qui, lui, passe un quart de son temps au sol.

*vables ! s'amuse Nathaniel Dominy, anthropologue à l'université de Dartmouth (Etats-Unis). C'est une des hypothèses les plus originales et les plus intelligentes que j'ai lues depuis longtemps."*

D'autres études seront nécessaires pour la démontrer solidement, car *"cette mutation pourrait s'être propagée par hasard"*, prévient l'écologue Douglas Levey. Matthew Carrigan reconnaît qu'une *"mutation ne suffit pas à écrire l'histoire humaine"* et étudie d'autres enzymes impliquées dans la digestion de l'alcool, en espérant qu'elles racontent la même histoire.

### PAS TOUS ÉGAUX FACE À L'ALCOOL

Une piste complémentaire serait de vérifier que chimpanzés et gorilles actuels consomment plus de fruits fermentés et en supportent mieux l'éthanol que leurs cousins restés perchés.

Si l'histoire de notre rencontre avec l'ivresse est donc encore en train de s'écrire, certains soupçonnent déjà

qu'un second chapitre s'est ouvert, quand l'humain s'est mis à produire lui-même de l'alcool, il y a environ 10 000 ans : des mutations se seraient depuis propagées par sélection naturelle, notamment pour protéger des méfaits d'une consommation excessive d'alcool.

Ainsi, 70 % des individus d'origine est-asiatique portent des mutations qui diminuent l'efficacité de leurs enzymes de digestion de l'éthanol, et en subissent par conséquent des effets secondaires (rougeur, tachycardie...) dès le premier verre. Ce qui expliquerait en partie pourquoi seuls 2,3 % de la population du Pacifique Ouest sont dépendants à l'alcool, contre 4 % en Europe et 3,4 % en Amérique.

Etant donné le rôle actuel très faible de la sélection naturelle dans l'évolution humaine, il est très peu probable qu'une telle désadaptation se propage à d'autres populations. Après dix millions d'années, notre passion pour ce nectar a donc peu de chances de s'étioier.

A consulter : les références de l'étude publiée par Matthew Carrigan et ses collègues.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



## Repère

Un trou noir est une étoile massive en fin de vie qui, au lieu d'exploser, s'effondre sur elle-même. Toute sa matière se ramasse alors en un point infiniment dense qui exerce un champ gravitationnel auquel rien n'échappe, même la lumière. Le concept découle des équations de la relativité générale, mais ce n'est que dans les années 1970 que des preuves observationnelles indirectes ont convaincu de l'existence des trous noirs.



# TROUS NOIRS

Voici à quoi ils ressemblent vraiment

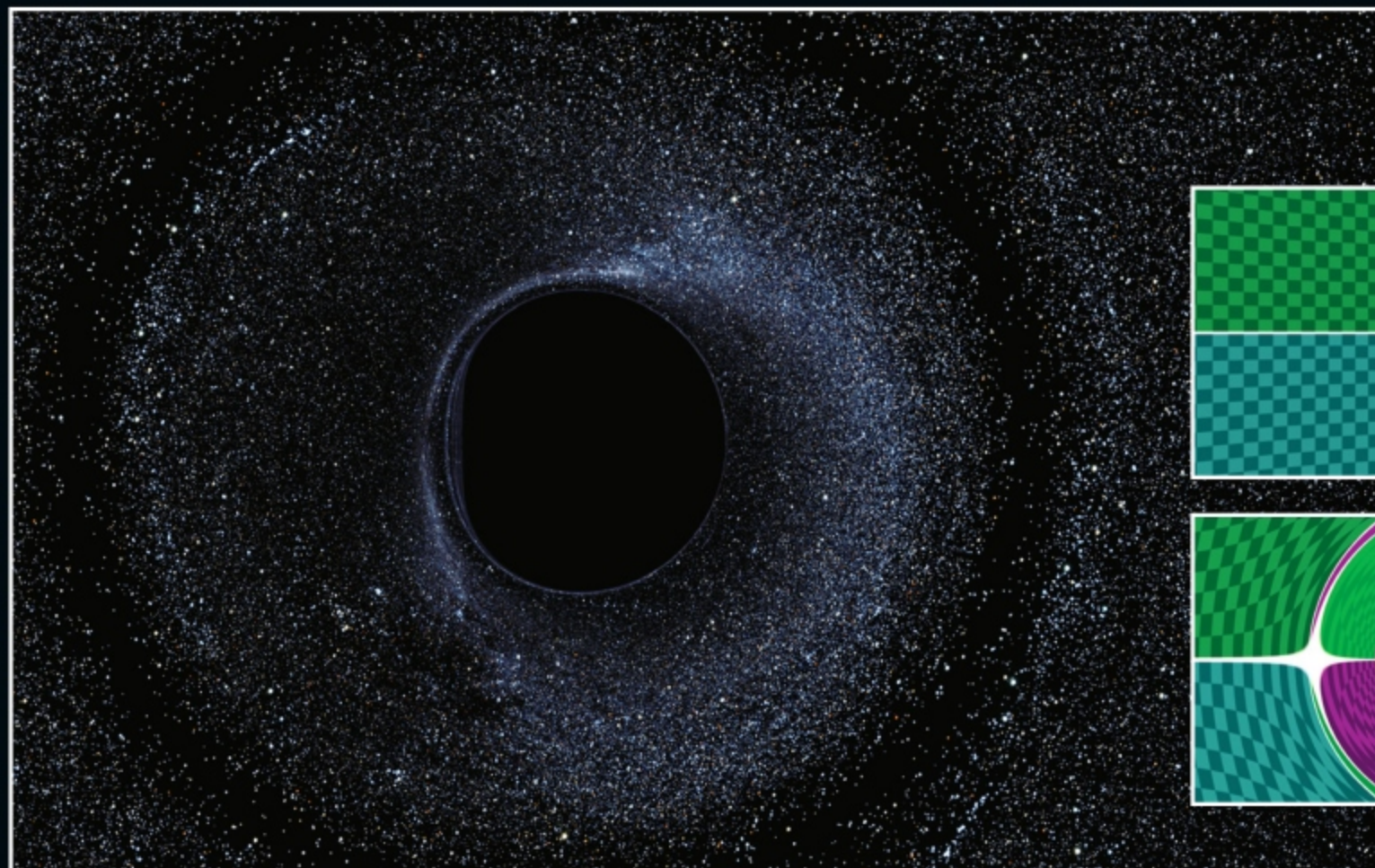
Il s'appelle Gargantua et ce trou noir est au cœur du film *Interstellar*. Mais il n'est pas un pur produit de l'imagination : il a été reconstitué d'après les plus rigoureuses données astrophysiques. Et en profitant des moyens d'Hollywood, sa modélisation a été poussée jusqu'au bout. Résultat : une simulation incroyable, qui donne pour la première fois à voir un trou noir.

Par **Mathilde Fontez**



# Quatre étapes pour plonger dans un trou noir

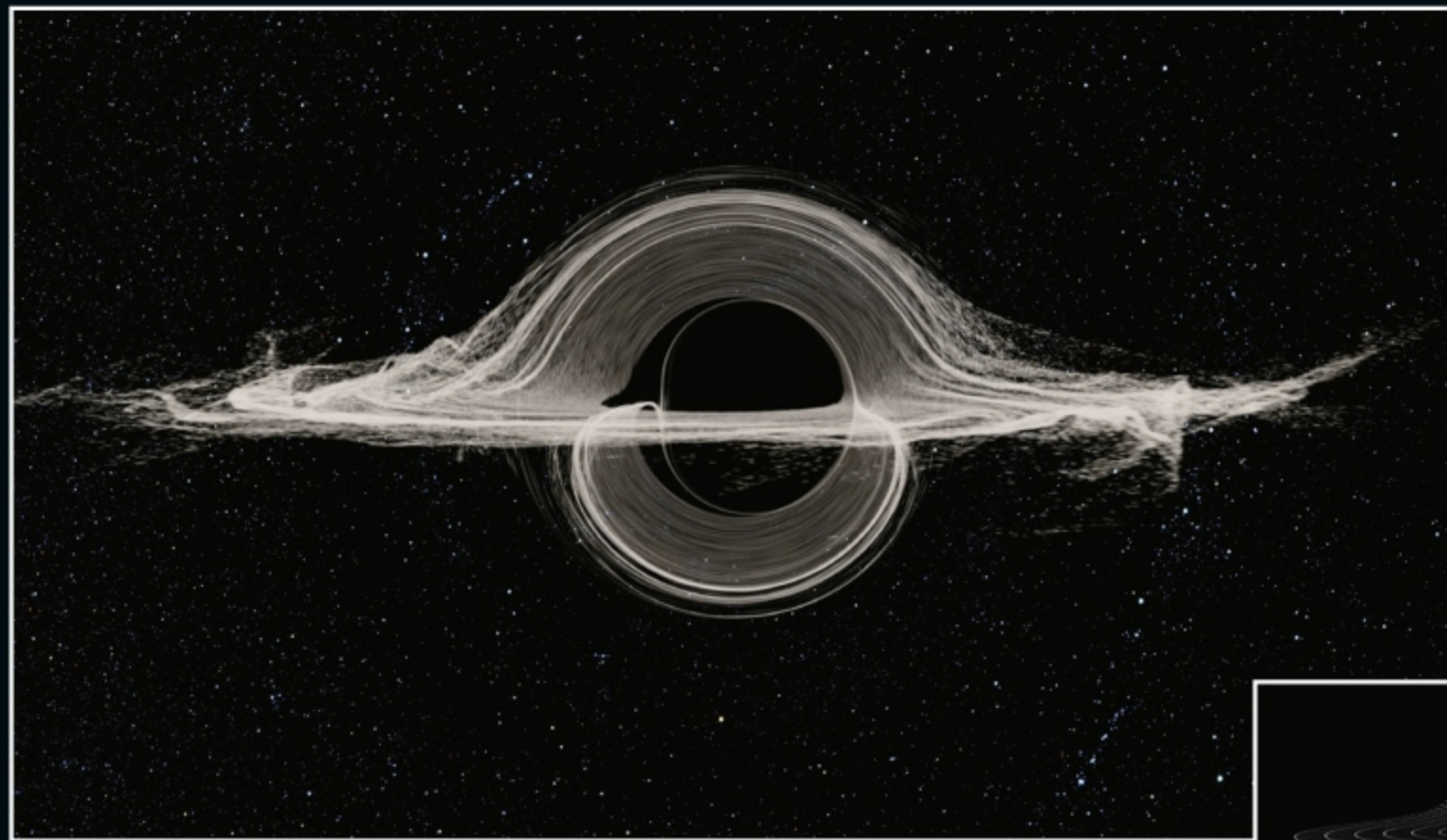
REPRODUCED AND ADAPTED WITH KIND PERMISSION OF THE INSTITUTE OF PHYSICS JOURNAL 'CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY', 'GRAVITATIONAL LENSING BY SPINNING BLACK HOLES IN ASTROPHYSICS', AND IN THE MOVIE 'INTERSTELLAR', IOP SCIENCE - DOUBLE NEGATIVE LTD



1

## L'équipe du film *Interstellar* a d'abord déformé le ciel étoilé...

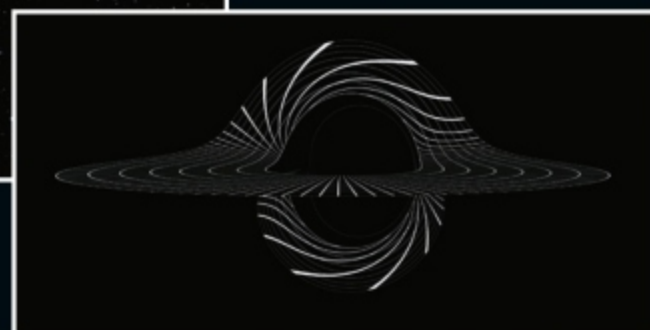
C'est en vrillant le ciel étoilé que le trou noir se manifeste. Son champ gravitationnel creuse l'espace-temps et dévie les rayons de lumière. Par cet effet dit "de lentille gravitationnelle", certaines étoiles voient même leur image dupliquée.



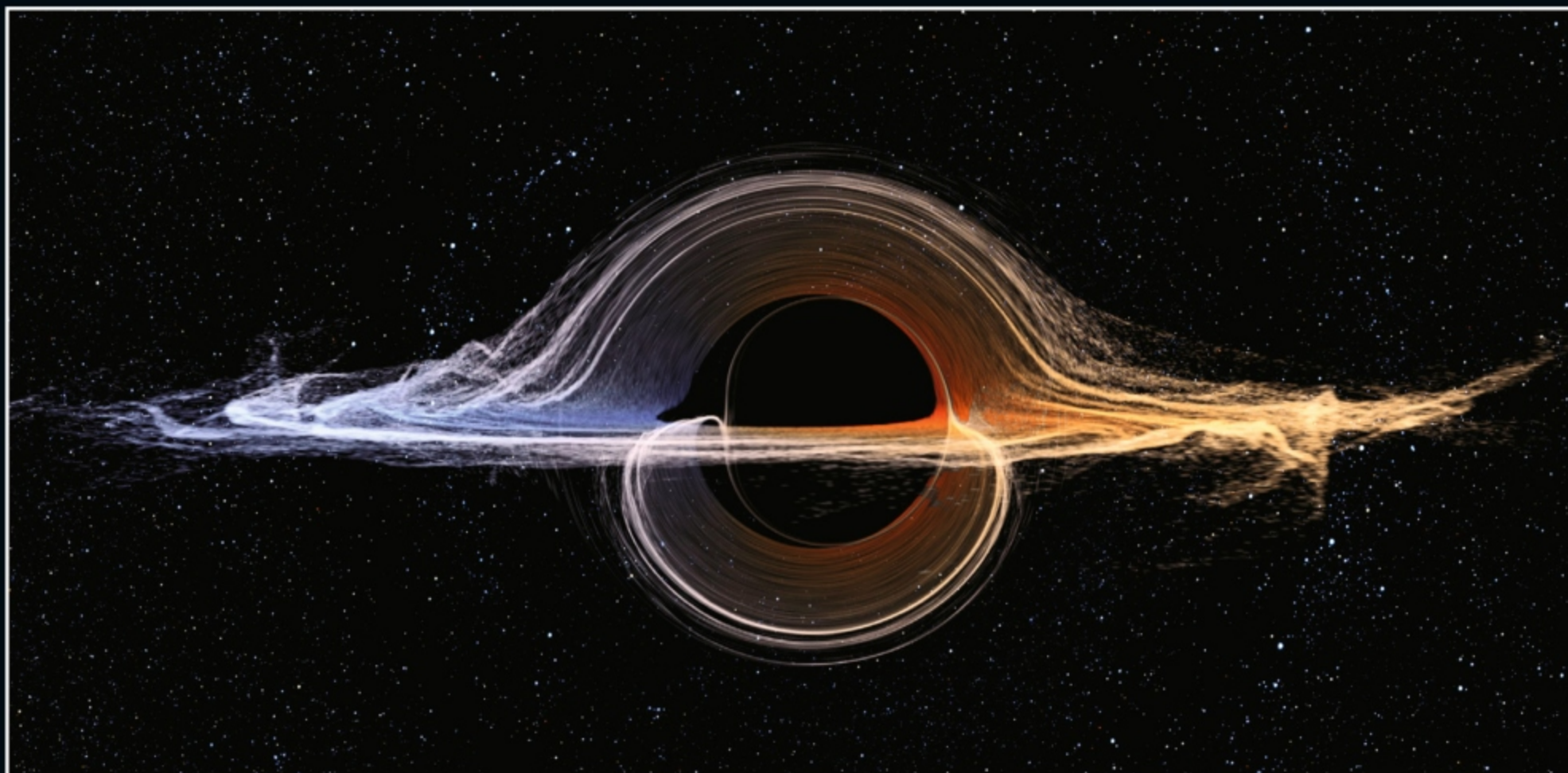
2

## ... puis elle a démultiplié l'anneau de poussières...

Ces trois anneaux (au-dessus du trou noir, en dessous et au centre de l'image) ne sont qu'un seul disque de gaz, gravitant autour du gouffre et dont l'image est décuplée jusqu'à former un anneau étiré à l'extrême, au plus près du trou noir.







3

**... changé les couleurs du disque...**

Le trou noir tourne sur lui-même à une vitesse proche de celle de la lumière, emmenant le disque de gaz qui l'entoure. Par effet Doppler, la lumière du disque se décale vers le rouge là où il s'éloigne, et vers le bleu là où il se rapproche.



4

**... et, enfin, "allumé" la lumière, révélant le trou noir**

Deuxième action de l'effet Doppler : le disque s'embrase. Sa brillance augmente là où il se rapproche et diminue là où il s'éloigne. C'est le trou noir tel qu'on le voit à l'œil nu (voir pages précédentes). Vu à travers l'objectif d'une caméra emportée par le mouvement de rotation, le halo se diffuse et devient flou.



**O**n peut s'attarder sur l'image déformée des plus infimes étoiles, s'extasier sur les blancs laiteux, les orange ou les bleus. On peut même, en creux, deviner les courbures de l'espace-temps qui provoquent ces mirages. Dans tous les cas, le choc est là : on voit enfin à quoi ressemble de près un trou noir, dans les moindres détails.

Car – on aurait presque tendance à l'oublier tant ce phénomène cosmique stimule l'imaginaire – personne n'a jamais vu de trou noir. De son existence, les astrophysiciens n'ont que des preuves indirectes. Et aujourd'hui, pour la première fois, des images réalistes, en haute définition.

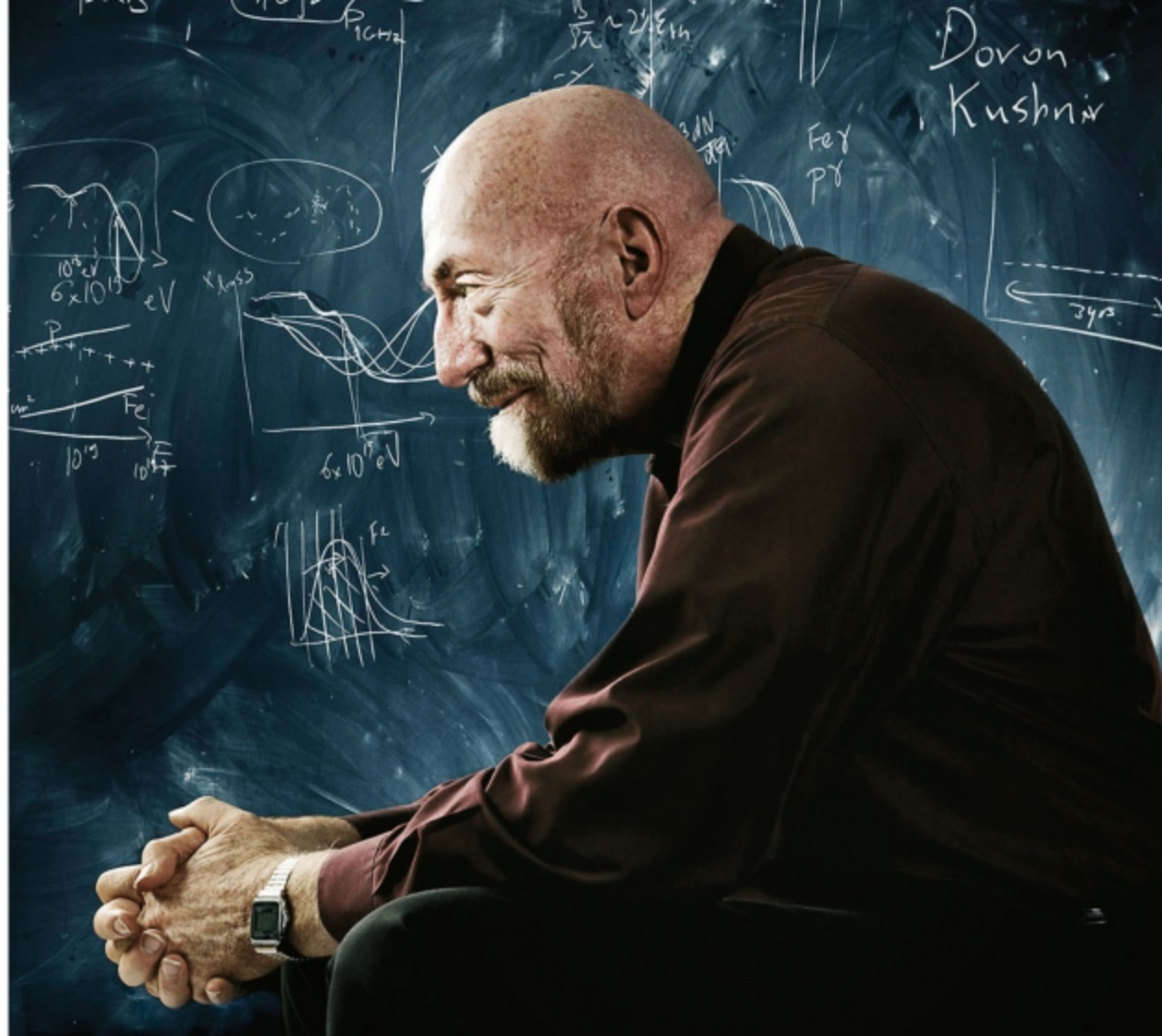
Le célèbre physicien Kip Thorne l'avait promis il y a quelques mois (voir *S&V* n° 1166, p. 130) : puisqu'il avait la chance de participer à l'assaut d'un trou noir pour le film *Interstellar*, il allait en profiter pour donner à voir ce à quoi ressemblent réellement ces monstres fantasmagiques.

L'odyssée spatiale des frères Nolan (sortie en novembre dernier) n'était qu'un avant-goût. Ces images viennent d'être publiées dans toute leur richesse. Au final : la parfaite représentation d'un trou noir (en l'occurrence Gargantua, le monstre d'*Interstellar*), simulée à partir des données les plus fiables.

Pour la première fois, on peut détailler le monstre. On peut lui tourner autour, sentir sa masse, évaluer sa force.

#### L'ILLUSION EST PARFAITE

Il a fallu un an, 800 téraoctets de données et des milliers d'heures de calcul pour donner corps à la bête. Kip Thorne et Oliver James, qui dirigeait la conception des effets spéciaux



*Nous avons doté notre trou noir d'un disque un peu particulier pour qu'il soit visible et ne bombarde pas la navette de rayons X !*

**KIP THORNE**

Astrophysicien, expert scientifique du film *Interstellar*

## Faits & chiffres

Avec une masse **100 millions** de fois supérieure à celle de notre Soleil et un diamètre de **300 millions de km**, le trou noir simulé pour *Interstellar* est un monstre, même parmi ses congénères. D'après les évaluations des astrophysiciens, Sagittarius A\*, le trou noir au centre de la Voie lactée, pèse, lui, **4 millions** de masses solaires, avec un diamètre de **25 millions de km**.

du film, ont commencé par façonner un trou noir virtuel dont ils pouvaient contrôler tous les paramètres.

Trois paramètres, en fait. Car le trou noir est l'un des objets les plus simples de l'astrophysique. Il peut être décrit entièrement par sa vitesse de rotation, sa masse et son diamètre. Ainsi, Gargantua concentre 100 millions de fois la masse de notre Soleil dans une sphère de 150 millions de kilomètres de rayon, soit la distance de la Terre au Soleil. Et sa frontière tourne sur elle-même à 99,9 % de la vitesse de la lumière.

La première étape a été de modéliser la déviation de la lumière d'étoiles lointaines à proximité du monstre : ce fameux effet de lentille gravitationnelle prédit par Einstein, et dû à la courbure de l'espace-temps causée par la masse du

trou noir. Le physicien et le spécialiste des effets spéciaux ne sont pas partis de rien. Plusieurs théoriciens avaient déjà joué avec les équations de la relativité générale pour essayer de visualiser l'apparence du plus emblématique des monstres astrophysiques (voir chronologie ci-contre).

*"Mais ces simulations ont été réalisées en modélisant la trajectoire de rayons de lumière à partir des étoiles visibles, explique Oliver James. Or, vu la qualité d'image dont nous avons besoin, il nous fallait aussi tenir compte de nombreuses étoiles plus petites qu'un pixel mais qui, une fois étirées par l'effet de lentille, devaient apparaître sur l'image."*

Le physicien et l'informaticien ont donc dû reconstituer la trajectoire d'une infinité de rayons lumineux

J. PUHY - J. FUKUE ET AL. - D.R. - A. RIAZUELO



partant du plan de la caméra. Puis ils ont croisé ces données avec l'image des galaxies et des étoiles environnant le trou noir afin de déterminer exactement la contribution de chaque étoile à chaque pixel de l'image finale.

Avant de passer à la deuxième étape: ajouter un disque d'accrétion. Car Gargantua n'est pas nu. Comme la plupart de ses équivalents réels, il s'enroule dans un disque de gaz.

Pour l'intégrer à la simulation, l'équipe du film a commencé par dessiner un disque à la fois esthétique et scientifiquement crédible. *"Nous avons dû opter pour un disque un peu particulier, très peu massif par rapport à celui qui graviterait normalement autour d'un trou noir de cette taille. C'était le seul moyen pour qu'il émette de la lumière visible et non des flots de rayons X, qui, en plus d'être invisibles, auraient été fatals pour les passagers de la navette",* précise Kip Thorne.

### 23 MILLIONS DE PIXELS

Ce disque, d'après les spécialistes des trous noirs, constitue le point faible de la simulation. *"Il est peu probable qu'un disque soit aussi anémié",* commente ainsi Alain Riazuelo, à l'Institut d'astrophysique de Paris.

Mais aussi son point fort. Car sur l'image qu'ils ont créée, Kip Thorne et Oliver James ont vu se former un effet inédit: le disque d'accrétion apparaît au-dessus du trou noir, en dessous, mais aussi de manière très ténue au centre de l'image. Au bord interne, le disque semble même prêt à se rompre tellement il est étiré. *"Ces formes n'avaient jamais été vues avant,* confirme

Alain Riazuelo. *Jamais on n'avait étudié cet effet avec une telle profondeur."*

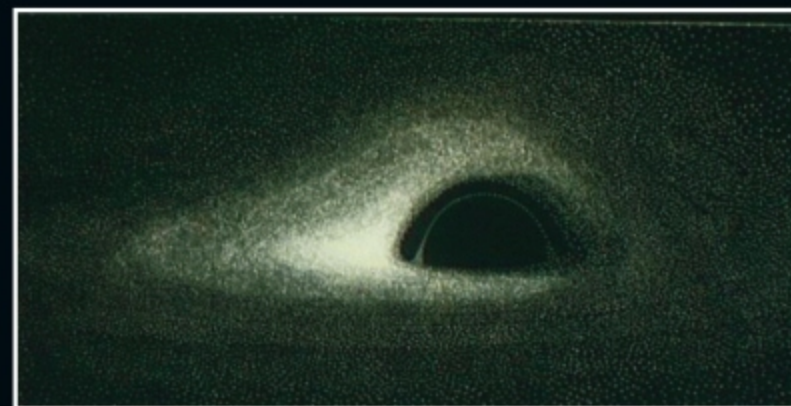
Et pour cause. Hollywood oblige, les images créées par la société Double Negative sont dotées d'une très grande résolution: 23 millions de pixels, quand celles des astronomes tournent autour de 10 000 pixels... Ironie de l'histoire, cet effet, jugé trop complexe, n'apparaît pas dans le film. Tout comme les variations de couleur du disque, cette apparition de bleus et d'orange due à l'effet Doppler. *"On ne s'attendait pas à ce que le décalage des fréquences soit si marqué,* se rappelle Oliver James. *Dans certains plans, le disque se mettait carrément à rayonner dans l'infrarouge... et devenait donc totalement invisible!"*

Il ne restait plus à Kip Thorne et Oliver James qu'à ajouter les effets de caméra pour que l'illusion soit parfaite: un trou noir comme si on y était, gravitant en orbite, la caméra à la main... avant de le voir, en vrai.

Car ces images ultraréalistes arrivent à un moment clé: deux télescopes s'apprêtent à cibler Sagittarius A\*, le trou noir supermassif qui trône au centre de notre galaxie. D'abord Gravity, qui verra sa première lumière à la fin de cette année, puis l'Event Horizon Telescope, qui fournira ses premières images en 2017.

Le spectacle ne fait donc que commencer. Pour la première fois, on a vu à quoi ressemble le monstre. Mais ce n'est encore qu'une bande-annonce.

## Trente ans de représentation des trous noirs



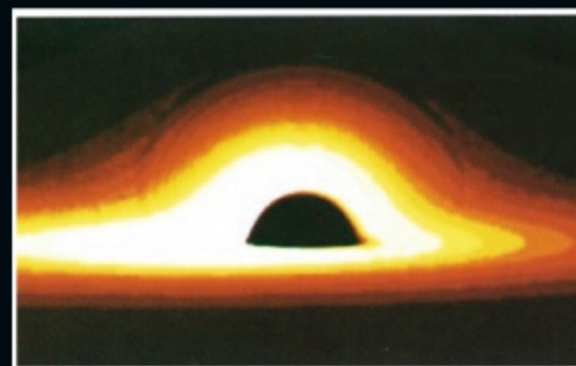
### 1978 Première silhouette

Le théoricien Jean-Pierre Luminet, à l'Observatoire de Paris, calcule pour la première fois la déviation de la lumière autour d'un trou noir enroulé dans un disque de gaz.

### 1987

#### Premières couleurs

A Osaka, Jun Fukue ajoute la couleur et dévoile la structure et la température du disque d'accrétion.



### 1995

#### Premiers détails

Changeant de système de coordonnées, Jean-Alain Marck, à l'Observatoire de Paris, gagne en précision.



### 2008 Premiers mouvements

Alain Riazuelo (Institut d'astrophysique de Paris) modélise le ballet des étoiles déformées par l'effet de lentille près du trou noir.







## Requin-bouledogue

# Portrait du nouveau tueur des mers

Sa mâchoire asymétrique marque ses victimes d'une signature caractéristique. Pas de doute, cette espèce monte en puissance. Mais pourquoi ?

Par **Fiorenza Gracci**

**L**es *Dents de la mer* ont fait du requin blanc le tueur aquatique par excellence. Mais aujourd'hui, quarante ans après la sortie du film, un nouveau squalo a repris le rôle titre.

Restée jusqu'ici loin des projecteurs, une autre espèce s'est fait tristement connaître par une série noire survenue depuis 2011 à l'île de La Réunion : le requin-bouledogue. Sur les 15 attaques recensées (dont 6 mortelles), 12 lui ont été attribuées, à l'aide des marques caractéristiques assénées par sa terrible mâchoire asymétrique, capable de briser la carapace des tortues, plus puissante – à masse égale – que celle du requin blanc.

Auparavant, ce requin musclé et trapu restait discret, derrière le requin-tigre, le deuxième squalo le plus dangereux pour l'homme et croqueur de baigneurs habitué des côtes réunionnaises, responsable des attaques restantes.

Depuis le début de cette série noire (dont les causes laissent encore les chercheurs perplexes – lire l'encadré), le requin-bouledogue concentre l'attention des médias... et face aux autorités en état d'alerte, les scientifiques ont dû l'admettre : malgré sa troisième position sur le podium des espèces tueuses dans le monde, ils ne connaissent que très peu de choses de cet imposant poisson.

### Repères

Sur plus de 500 espèces de requins, une trentaine sont dangereuses pour l'homme, avec environ 75 attaques et 5 ou 6 morts par an dans le monde. Depuis que sont recensées les attaques, 314 ont été attribuées au requin blanc, 111 au requin-tigre, 100 au requin-bouledogue ; un tiers ont été mortelles. De son côté, l'homme pêche au moins 100 millions de requins par an, menaçant leur survie ainsi que l'écosystème marin.



## Les qualités d'un chasseur hors pair

Forgées par l'évolution, un ensemble d'adaptations morphologiques et sensorielles font du requin-bouledogue un chasseur plus que parfait. Et comme il nage dans les mêmes eaux que l'homme, il peut lui être fatal s'il le prend pour une proie.

### Plus petit mais tout aussi mortel pour l'homme que le requin blanc

Depuis trois siècles, on recense trois fois moins d'attaques par le requin-bouledogue que par le requin blanc. Dans ces deux cas, plus d'un quart des attaques se soldent par le décès de la victime.



#### Requin blanc

460 cm  
940 kg



#### Requin-tigre

400 cm  
515 kg



#### Requin-bouledogue

225 cm  
95 kg

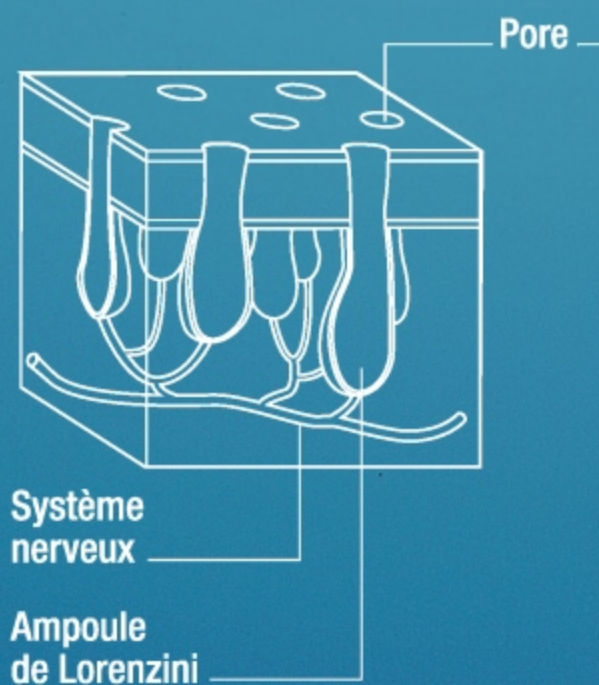


#### Homme

175 cm  
77 kg

## Il est capable de chasser en eau trouble

Même sans les voir, il sent ses proies. Un sixième sens dû aux ampoules de Lorenzini, des organes sensoriels de la peau très performants chez lui : elles perçoivent les plus faibles champs électriques (5 nanovolts/cm), comme ceux du cœur d'un poisson.



## Il a la plus puissante mâchoire de tous les requins

Rapportée à sa masse, sa mâchoire a la plus grande force de tous les squalés (2 128 newton). De forme asymétrique et sertie de dents affûtées, elle est redoutablement efficace : la partie inférieure accroche la proie, la partie supérieure tranche. Il peut briser les carapaces des tortues jusqu'à 1 m de diamètre !





## Il partage le même habitat que l'homme

Comme nous, il aime les eaux côtières, tropicales ou tempérées et peu profondes (de préférence 30 m). A la différence des autres requins, il se plaît dans les eaux saumâtres et chargées en matières organiques (estuaires, lagons), et remonte même les fleuves : il a été aperçu dans le Gange, le lac Nicaragua et jusque dans l'Amazone à 3 700 km de l'embouchure !



## Il se déplace très vite

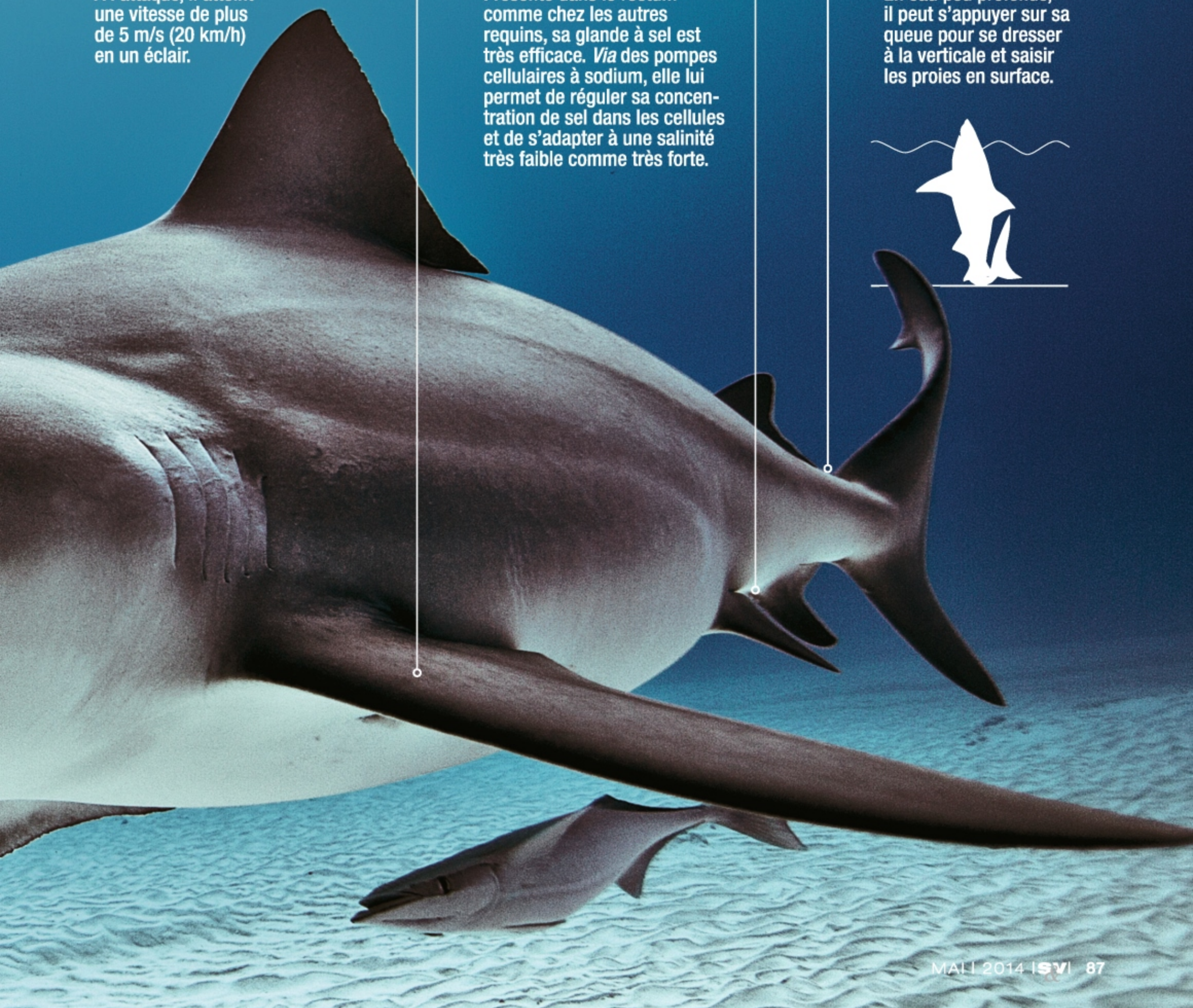
A l'attaque, il atteint une vitesse de plus de 5 m/s (20 km/h) en un éclair.

## Il peut nager en eau douce

Présente dans le rectum comme chez les autres requins, sa glande à sel est très efficace. Via des pompes cellulaires à sodium, elle lui permet de réguler sa concentration de sel dans les cellules et de s'adapter à une salinité très faible comme très forte.

## Il peut se tenir sur sa queue

En eau peu profonde, il peut s'appuyer sur sa queue pour se dresser à la verticale et saisir les proies en surface.





→ Si ce n'est une incroyable particularité: il est le seul requin à pouvoir s'adapter aux eaux saumâtres, voire douces, si bien qu'il a été aperçu dans le Mississippi, le Gange et l'Amazone, qu'il a remontée sur 3700 kilomètres jusque dans les Andes péruviennes! Autant d'occasions de rencontres avec l'homme...

Notre espèce ne figure pas à son menu, pourtant très varié. Mais les requins-bouledogues sont des chasseurs opportunistes, qui s'attaquent littéra-

*l'on s'approche des 10 mètres, les bouledogues ont un avantage net sur leurs proies, celui de les voir sans être vu. Car il n'ont pas besoin de bien voir pour les localiser: il se reposent sur des organes captant très finement les champs électromagnétiques (émis par les battements de cœur, par exemple), les odeurs et les vibrations. Alors il se sentent en confiance et attaquent",* explique Ryan Daly (université Rhodes, Afrique du Sud), qui les étudie au Mozambique.

## Pourquoi des attaques en série à La Réunion?

**Pas de réponse certaine, mais les biologistes ont des hypothèses:** *"L'intense urbanisation des trente dernières années a dégradé le récif corallien; ce qui, en faisant disparaître les requins de récif, a pu attirer les bouledogues à leur place",* avance Pascale Chabanet, qui assure le suivi de la réserve marine de l'île. *"Ces requins pourraient aussi être affamés, soit parce que la pêche a décimé les poissons du fond marin, ou parce qu'ils viennent se reproduire et mettre bas sur l'île, deux moments où ils sont plus agressifs",* argumente Marc Soria. Mais comme le rappelle George Burgess, du Muséum d'histoire naturelle de Floride, *"avec l'explosion du tourisme balnéaire, la probabilité de rencontres entre hommes et requins augmente".*

lement à tout ce qui bouge. Et à force de croiser surfeurs, véliplanchistes et autres baigneurs, ils finissent par y goûter... pour recracher immédiatement la victime. Une morsure fatale dans 27 % des cas.

Alors, comment les éviter? Les chercheurs qui se penchent aujourd'hui sur leur comportement ont quelques recommandations, qui ne sont pas seulement de bon sens.

Prudence dès lors que la visibilité dans l'eau descend en dessous de 15 mètres: *"Dès que*

Ce qui explique qu'ils attendent le crépuscule pour chasser, comme l'ont constaté les chercheurs du programme CHARC, en reconstituant le mode opératoire de 39 individus, marqués avec des sondes acoustiques, à l'aide de 52 stations d'écoute placées tout le long de la côte réunionnaise.

L'après-midi, les squalos s'approchent des côtes en repérage, et dès que le soleil descend, ils partent à l'affût, poursuivant leurs proies (calamars, petits requins, gros poissons...).

Leur musculature leur permet de puissantes accélérations, parfois depuis le fond, où le squalo appuie sa nageoire caudale pour fuser à la verticale. L'assaut se conclut par l'implacable fermeture de sa mâchoire asymétrique. La partie inférieure crochète la proie, la partie supérieure s'abat tel un couperet.

### MODE DE VIE MYSTÉRIEUX

Si les techniques d'attaque du bouledogue commencent à être connues, son mode de vie reste mystérieux. Notamment ses migrations et ses habitudes de reproduction. *"Il semble qu'une seule et même population se distribue entre l'Afrique du Sud l'été et La Réunion l'hiver, où ils se sont reproduits sur deux sites deux années de suite",* indique Antonin Blaison, du programme CHARC. Les bouledogues seraient fidèles à certains sites où ils s'accouplent et mettent bas, et en périodes de reproduction s'avèreraient plus agressifs car ils s'alimentent moins...

*"Mais tout cela reste à confirmer par des recherches supplémentaires, notamment à l'aide de marquages satellites et de prélèvements génétiques",* synthétise le biologiste. Pendant ce temps, sur les plages réunionnaises, un système de surveillance sous-marine par des apnéistes est testé pour repérer les requins à l'affût: se voyant observés, en effet, les tueurs vont tenter leur chance ailleurs.

A lire: le rapport du programme CHARC; le fichier mondial des attaques de requins; l'étude sur la puissance de la mâchoire du requin-bouledogue.



**EN  
SAVOIR  
PLUS**

science-et-vie.com



# Dans l'**inter**êt de la science

mathieu  
vidard

la tête au carré  
14:05-15:00

**inter**venez  
franceinter.fr









# Ils défient la science avec leur **CERVEAU EN MIETTES**

L'un est plein d'eau, l'autre sans cervelet et le dernier est coupé en deux... Pourtant, les trois personnes dotées de tels cerveaux vivent normalement. Un vrai mystère.

Par **Marie-Catherine Mérat**, avec **François Lassagne**

**L**eur histoire est étrangement similaire.

Ils sont trois, qui mènent une vie normale. Travaillent. Font du sport. Sont mariés. Ont des enfants. Tous trois parfaitement adaptés socialement.

Un jour, des nausées, de légers troubles de mémoire, une faiblesse dans un membre les ont conduits chez leur médecin. Qui, pour comprendre l'origine de leurs maux, leur ont fait passer une IRM, afin de déceler d'éventuelles anomalies dans leur cerveau. Et chaque fois, le résultat de l'examen a suscité la stupéfaction.

Le premier s'est révélé doté d'un cerveau creux, rempli de liquide. La deuxième n'a pas de cervelet. Et le troisième a un cerveau coupé en deux, privé des faisceaux de fibres qui font normalement communiquer les deux hémisphères (lire pages suivantes).

Trois histoires incroyables qui déclenchent toujours les mêmes interrogations : comment ces personnes font-elles pour penser ? Comment un individu en apparence si normal peut-il abriter sous son crâne un organe si incomplet ? Quel est le "minimum cérébral" nécessaire à la vie mentale ?

Notons que chez ces trois patients, la partie du cerveau qui régule les fonctions vitales comme le rythme cardiaque et la respiration est épargnée. Pour le reste...

Chez le patient au cerveau creux, *"il semble rester un peu de cortex visuel, probablement un peu de cortex moteur également. Le cortex frontal semble épargné dans sa partie la plus antérieure. Le cervelet a l'air intact. Ces différentes structures ont sans doute été investies de capacités fonctionnelles supranormales"*, avance prudemment Christian Xerri, →

## Repères

Combien sont-ils, menant une vie ordinaire, sans se douter qu'il leur manque une partie du cerveau ? Nul ne le sait. Il faut ainsi remonter aux années 1980 pour trouver trace d'un homme "au cerveau creux"...

J.TROMEUR/SHUTTERSTOCK



→ directeur du laboratoire de Neurosciences intégratives et adaptatives de Marseille.

Avant d'avouer son incrédulité: *"Quand vous et moi réalisons une action impliquant la vision, l'audition et en même temps l'attention, la mémoire de travail... c'est le cerveau entier qui est engagé. Cet homme fonctionne avec beaucoup moins de neurones. On peut donc rester perplexe devant ses capacités à compenser des déficits aussi énormes."*

Le cas de la patiente sans cervelet (d'origine chinoise) n'est pas moins troublant. Comment a-t-elle pu compenser l'absence de cette structure essentielle à la coordination des mouvements? *"D'autres structures, comme le cortex et les noyaux de la base, ont dû remplacer les fonctions manquantes"*, propose Mario Manto, neurologue, chercheur au laboratoire de Neurologie expérimentale à Bruxelles. Mais alors... *"Comment ces structures cérébrales, qui ont déjà une fonction, sont capables d'en intégrer d'autres?"*

### "ITINÉRAIRES BIS"

Le troisième patient ne pose pas moins une véritable énigme avec son cerveau divisé en deux. Normalement, la circulation des informations d'un hémisphère à l'autre est indispensable. Les neurochirurgiens le savent: quand ce "pont" nerveux doit être coupé, par exemple chez des patients souffrant d'épilepsie sévère, langage, mouvement, interprétation des objets vus... peuvent être affectés, au moins temporairement. Là, tout semble normal. Signe que le cerveau de ce patient doit avoir trouvé des "itinéraires

bis" pour faire circuler l'information ... Ou que chaque hémisphère se débrouille pour faire le travail de l'autre.

Que le cerveau fonctionne normalement malgré des remaniements aussi drastiques défie ce que l'on sait de ses capacités à se "reconfigurer". L'un des exemples les plus poussés, pour les neuroscientifiques, est celui des aveugles. Chez eux, la part du cortex dédiée à la vision se met au service du toucher – c'est la clé de la lecture du braille. Sauf que le cortex visuel ainsi "recruté" pour épauler les doigts était, dès la naissance, bien présent à sa place, à l'arrière du crâne. Simplement, aucune information visuelle ne lui étant transmise, il était disponible. Rien de tel sous la boîte crânienne de nos trois patients: chez eux, aucune friche à cultiver, il manque au contraire des pans entiers du cerveau!

Pour expliquer comment ces cerveaux incomplets s'acquittent de leurs tâches, il faut donc imaginer des formes de compensation plus radicales.

Et quand les chercheurs se sont penchés sur ces cas étranges, la redondance est la première à avoir émergé. *"Cela consiste à avoir des systèmes qui se recoupent les uns les autres. Si l'un tombe en panne, les autres peuvent prendre le relais"*, explique Alexandre Pouget, directeur du laboratoire de Neurosciences cognitives computationnelles à l'université de Genève.

Exemple de redondance cérébrale: deux aires du cortex impliquées dans le contrôle du mouvement des yeux. L'une est située dans le cortex pariétal supérieur, l'autre dans le cortex frontal. *"Quand on*

## L'homme au cerv

A le regarder, à converser avec lui, rien ne le distingue de vous et moi. La cinquantaine, il est fonctionnaire, marié, père de deux enfants, fait un peu de sport.

Un jour de juin 2006, l'homme arrive en consultation pour des douleurs dorsales. *"Il avait une sciatique, tout bêtement"* rapporte Jean Pelletier, neurologue à l'hôpital de la Timone à Marseille, qui suit ce patient depuis.

Au cours de l'examen, le médecin apprend que son patient prend du Gardénal depuis l'enfance, un barbiturique qui traite l'épilepsie. Il explique qu'à sa naissance, il souffrait d'hydrocéphalie: du liquide céphalorachidien, un fluide composé à 99% d'eau qui baigne et protège le cerveau, s'accumulait anormalement dans ses ventricules cérébraux. Face au risque de compression des tissus, un système de dérivation, un shunt, lui a

*regarde comment s'activent les différents types de neurones contenus dans ces deux zones, on a des réponses très semblables"*, rapporte le chercheur genevois. Conséquence: en cas de lésion dans l'une des deux aires, l'autre peut compenser en partie.

Corollaire: sous le crâne de l'homme au cerveau creux, les



# eau plein d'eau

donc été posé à l'âge de 6 mois, chargé d'évacuer le surplus de liquide dans la circulation sanguine. A la suite de l'opération, du Gardénal lui a été prescrit, une préconisation classique dans ce type de cas. A 7 ans, le shunt, devenu trop petit, a été remplacé. Puis l'homme a poursuivi son chemin sans plus consulter de neurologue, et ce pendant de longues années. "Je lui ai quand même demandé de faire une IRM pour vérifier cette histoire de dérivation", se souvient Jean Pelletier. Et là, c'est la stupéfaction. Le neurologue constate que son patient n'a quasiment que de l'eau dans la tête. "Il avait beaucoup grandi depuis l'âge de

7 ans, et le shunt ne suffisait plus à évacuer le liquide." La pression augmentant, le cerveau avait été progressivement repoussé et compressé, jusqu'à ne laisser qu'une mince couche de tissu collée à la boîte crânienne. Soit un volume cérébral réduit de 50 à 75%! "La substance grise [corps cellulaire des neurones, ndlr] comme la substance blanche [prolongements neuronaux] ont été écrasés. Quant aux noyaux gris centraux [impliqués dans le contrôle moteur, situés au cœur du cerveau], quand on regarde l'IRM de ce patient, on se demande où ils sont!" L'équipe décide alors de procéder à une batterie de tests

neuropsychologiques, afin d'évaluer les capacités cognitives de ce patient hors du commun. Or, contre toute attente, les tests se révèlent parfaitement normaux. Avec un score de 75, il n'a certes pas un QI très élevé, mais pour tout le reste, "c'est quelqu'un qui, pour son âge et son niveau socioculturel, est dans les limites de la normale", rapporte Jean Pelletier. "Comment expliquer qu'avec une masse cérébrale aussi faible on puisse continuer à vivre normalement, intellectuellement, physiquement?", s'interroge encore le neurologue.

Pour répondre à cette question, l'anatomie du cerveau ne suffit pas, il faut étudier son fonctionnement. L'équipe médicale projette donc d'effectuer, dans les mois qui viennent, une série d'analyses en IRM fonctionnelle, une technique qui permettra d'observer les régions du cerveau mises en jeu pour une tâche donnée. "Le cerveau de cet homme est probablement très particulier du point de vue de son organisation. Pour réaliser la moindre tâche, qu'elle soit cognitive ou motrice, il doit activer de multiples zones", anticipe le neurologue.

*Comment expliquer qu'avec une masse cérébrale aussi faible on puisse continuer à vivre normalement?*

**JEAN PELLETIER**

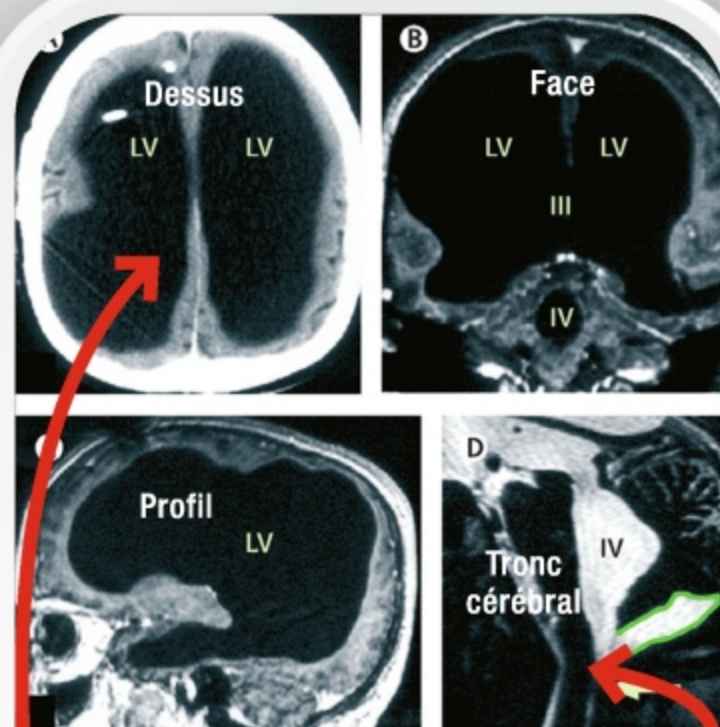
Neurologue à l'hôpital de la Timone, à Marseille

neurones sont peut-être trop peu nombreux pour assurer une quelconque redondance, mais en quantité suffisante pour assurer l'essentiel des activités normales.

Sachant que la redondance se joue à l'échelle de grandes régions cérébrales mais aussi à celle des neurones: une même information est encodée dans

des centaines de neurones différents. Une parade de l'évolution à la perte naturelle et quotidienne de neurones; ils disparaissent, mais pensées et mémoire demeurent.

Jusqu'à quel point? Les réseaux de neurones artificiels, directement inspirés du fonctionnement des neurones biologiques, en donnant une



**Cette masse noire, c'est le liquide céphalorachidien (99 % d'eau), qui a tassé les tissus cérébraux contre la boîte crânienne.**

**Cause probable de l'hydrocéphalie: le canal par lequel s'écoule normalement le liquide céphalorachidien est resserré.**



→ idée. *“Lorsque vous entraînez un tel réseau à faire de la reconnaissance d’objets, vous pouvez enlever 20, 30, 40 % des neurones... Les performances se dégradent mais de manière très douce, explique Alexandre Pouget. Il faut enlever 80 % des neurones pour observer une chute de performance vraiment énorme.”*

### UN CODE NEURONAL ROBUSTE

Une estimation confirmée par l’observation des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Les troubles moteurs typiques de cette maladie sont liés à la perte progressive des neurones dits “dopaminergiques”. Or les symptômes ne sont pas visibles avant que 90 % des neurones aient disparu. Signe de la robustesse du code neuronal. Qui pourrait expliquer que l’homme au cerveau creux, réduit de 50 %, vive normalement.

Mais la redondance n’est pas la seule botte secrète du cerveau pour pallier ses manques.

Sa constitution lui permet de “recruter” plusieurs de ses régions pour prendre en charge des fonctions très différentes.

*“Si je vous montre sous un microscope un morceau de l’aire visuelle secondaire ou de l’aire de Broca [impliquée dans le langage, ndlr], vous serez incapable de me dire laquelle est laquelle”, illustre Alexandre Pouget. Si bien qu’au sein du cortex, les capacités de calcul sont partout identiques, ou quasiment.*

*“Ce qui distingue une aire visuelle d’une aire de langage, ce sont les entrées qu’elles reçoivent. Mais au niveau de leurs capacités de calcul, elles sont probablement très similaires. Si jamais une aire corticale perd ses entrées habituelles, elle peut très vite se mettre à faire des calculs avec d’autres entrées.”* Et le peu de cortex demeurant sous le crâne de l’homme au cerveau creux prend en charge les calculs normalement effectués par les régions manquantes...

## La femme sans

Janvier 2013. Une jeune Chinoise de 24 ans, mère d’un enfant, se rend dans un hôpital de la province du Shandong. Elle est en proie à des nausées et vomissements depuis un mois. Les médecins décident de réaliser des clichés (rayons X et IRM) de son cerveau.

Ce que l’examen révèle est hors du commun. Cette femme qui marche, parle, semble mener une vie tout à fait normale – elle a eu un deuxième enfant quelques mois après sa prise en charge – vit sans cervelet depuis sa naissance!

Nichée à l’arrière de la boîte crânienne, cette structure cérébrale n’occupe que 10 % du cer-

## L’homme au cerveau divisé



Le corps calleux, lien entre les deux hémisphères, est absent.

A l’heure où les cas de maladie d’Alzheimer et de démence sénile ne cessent de croître, atteindre 88 ans sans souffrir d’aucun problème neurologique est

une performance. Voire une exception dans le cas du patient HW. Car l’homme n’a pas un cerveau comme les autres. Le sien est divisé! L’histoire commence en

2013, quand HW consulte la psychologue américaine Natalie Brescian. Depuis quelque temps, il est gêné par des troubles de mémoire et éprouve parfois des difficultés à

*Chez lui, l’information doit passer par d’autres endroits. Il existe des passages et des interconnexions entre les deux hémisphères à d’autres niveaux*

“**MARIE-LAURE MOUTARD**  
Neuro-pédiatre à l’hôpital Trousseau, à Paris



# cervelet

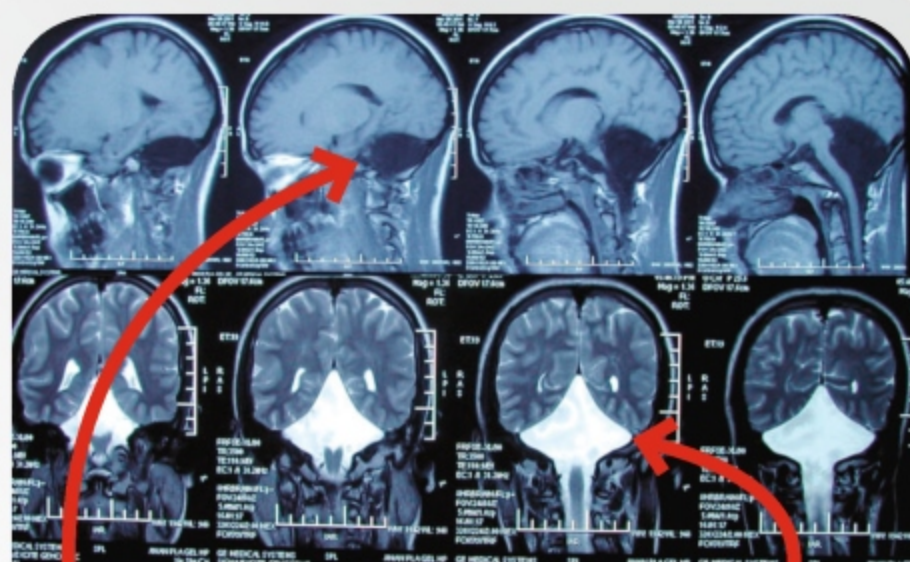
veau mais contient 50 % des neurones. Elle joue un rôle crucial dans l'apprentissage et l'exécution de mouvements coordonnés. Les neuroscientifiques la soupçonnent d'être utile aussi à l'attention, au langage, au repérage dans l'espace... A y regarder de plus près, la jeune Chinoise n'est pas exempte de troubles. Elle souffre de problèmes d'équilibre depuis sa petite enfance, elle n'a pas marché avant l'âge

*Dans la plupart des autres cas connus, on trouve un tout petit morceau de tissu. Or, ici, il n'y en a pas du tout*

de 7 ans ni parlé intelligiblement avant 6 ans. Reste que le cas est exceptionnel. Comme le rapporte l'équipe médicale dans la revue *Brain*, "la dysarthrie [trouble de l'articulation, ndlr] et l'ataxie [manque de coordination fine des mouvements], quoique présentes, sont bien moindres que ce à quoi on aurait pu s'attendre en l'absence de cervelet". D'autres individus naissent sans cette structure cérébrale. Mais leurs pathologies sont en général bien plus sévères. Bien souvent, même, la

malformation n'est pas viable. "Dans la plupart des autres cas connus d'absence de formation du cervelet, on trouve un tout petit morceau de tissu, observe Mario

Manto, neurologue et chercheur au laboratoire de Neurologie expérimentale à Bruxelles. Or, ici, il n'y en a pas du tout. C'est ce qui rend ce cas si fascinant."



**Cette série de profils légèrement décalés révèle invariablement la même absence, en foncé, celle du cervelet.**

**Mise à part cette absence criante (10% de l'organe, 50% des neurones), les chercheurs n'ont décelé aucune anomalie dans ce cerveau.**

**MARIO MANTO**

Neurologue au laboratoire de Neurologie expérimentale à Bruxelles

contrôler sa main gauche. Rien de très étonnant, vu son âge. En dehors de ça, rien à signaler. Son QI de 109 est parfaitement normal, tout comme le sont sa compréhension verbale, son attention, ses capacités de planification, sa perception auditive... Il est autonome, communique avec aisance et conduit encore, lui qui a passé la majeure partie de sa vie à livrer des fleurs. "Cet homme n'avait jamais eu de problème neurocomportemental notable",

précise le psychologue Carlton Gass, qui a également suivi ce patient. Rien ne laisse donc présager les étonnants résultats de l'IRM que lui fait passer sa neurologue. Car l'examen révèle qu'il possède en fait un cerveau coupé en deux ! Le corps calleux, ce pont qui réunit les deux hémisphères, est chez lui inexistant. Composé d'environ 200 millions de fibres nerveuses, cette structure assure en temps normal le transfert des informations d'un

côté à l'autre du cerveau et permet à nos hémisphères de travailler de concert. Comment une si profonde anormalité cérébrale peut-elle avoir si peu de conséquences fonctionnelles ? Chez certains épileptiques, les neurochirurgiens décident parfois de couper le corps calleux, pour éviter la propagation des crises de la moitié du cerveau atteinte à l'autre, saine. Mais le fonctionnement cérébral en est profondément perturbé. Par

exemple, lorsqu'on place un objet dans leur main gauche, sans qu'ils puissent le voir, les patients deviennent incapables de le nommer. Rien de tel, pourtant, chez l'homme au cerveau divisé. "Chez lui, l'information doit passer par d'autres endroits, suppose Marie-Laure Moutard, neuropédiatre à l'hôpital Trousseau, à Paris. Il existe des passages et des interconnexions entre les deux hémisphères à d'autres niveaux."



→ Le cas de la jeune Chinoise sans cervelet est d'autant plus troublant, car l'architecture du cortex et celle du cervelet sont très différentes. *"Ça veut dire que le cervelet est compensé par le cortex ou d'autres aires qui n'ont a priori pas du tout les mêmes fonctions"*, imagine Alexandre Pouget.

De fait, l'idée selon laquelle une aire cérébrale ne serait pas figée dans sa fonction fait aujourd'hui florès. Au point

La preuve que de nombreux circuits neuronaux, initialement établis pour une fonction, seraient recyclés pour d'autres usages, sans perdre pour autant leur fonction originelle. Un phénomène que le chercheur appelle le *"réemploi neural"*.

Et sans doute cela explique-t-il aussi le maintien des fonctions cognitives chez l'homme au cerveau creux. *"Peut-être que dans son cerveau, ou ce qu'il en reste, tout le tissu*

croyables capacités d'adaptation semblent expliquer qu'on puisse mener une vie normale avec un cerveau très diminué.

## GRANDE FRAGILITÉ

Mais ne nous y trompons pas. Pour les chercheurs qui suivent nos trois patients hors norme, ces capacités sont là poussées à leur extrême limite. Et il y a un prix à payer : une très grande fragilité. L'homme au cerveau creux *"utilise probablement 100 % de son cerveau à chaque instant ; chaque zone doit être exploitée au maximum de ses capacités"*, suppose Marie Montant, du laboratoire de Psychologie cognitive de l'université Aix-Marseille. *La moindre lésion aurait sans doute des conséquences catastrophiques"*.

Une chose est sûre : pour que le cerveau fonctionne malgré d'importantes perturbations, celles-ci ne doivent pas survenir brutalement. Qu'une maladie ou un accident prive soudainement un cerveau adulte de régions étendues, et les effets sont désastreux (handicap, amnésie, pertes du langage...).

Dans les trois incroyables cas présentés ici, *"il s'agit d'atteintes extensives d'évolution lente"*, souligne Christian Xerri. Qui ont touché trois individus sans histoire, jusqu'à ce qu'au détour d'une consultation ordinaire ils offrent aux scientifiques les plus fantastiques preuves de l'adaptabilité du cerveau humain.

## L'homme qui se croyait mort

**Qu'un cerveau incomplet n'empêche pas de mener une vie normale est renversant. Mais qu'un cerveau normal empêche de vivre l'est tout autant ! Tel est le cas de Graham, qui, en 2008, se présente au département de psychologie de l'université d'Exeter. Il bouge, parle, pense, mais n'a plus goût à rien, ne ressent plus le besoin de manger ni de dormir. Le scanner montre pourtant un cerveau parfaitement formé, sans lésion. L'anomalie est ailleurs : son activité cérébrale est celle d'un patient plongé dans un état végétatif. *"Je n'avais jamais vu quelqu'un capable de tenir sur ses deux jambes et de parler, avec une activité cérébrale aussi anormale !"*, rapporte Steven Laureys, qui a étudié le cas au Centre de recherches du Cyclotron à Liège.**

que Michael Anderson, neuroscientifique à l'université de Cambridge, l'a récemment érigée en *"principe fondamental d'organisation du cerveau"*.

A l'appui de cette idée, le chercheur a passé en revue, en 2010, 1469 études analysant l'activité cérébrale de sujets dans des tâches se rapportant à 11 domaines cognitifs : vision, audition, attention, émotion, langage, mémoire, etc. Le scientifique a arbitrairement divisé le cortex en 66 régions et s'est alors aperçu que chacune était activée en moyenne par 9 domaines cognitifs distincts sur 11 !

*intact est impliqué dans des tâches complexes, très diversifiées"*, pense Christian Xerri.

Redondance, ré-emploi des neurones, mais aussi pousse de nouvelles connexions entre neurones, une forme de *"plasticité"* cérébrale connue des neuroscientifiques : le cerveau semble bel et bien doté de mécanismes de compensation extraordinairement puissants.

Des régions du cerveau sont sacrificiables parce qu'elles jouent un rôle de doublon. Les neurones peuvent passer d'une fonction à l'autre et encoder des centaines de fois la même information. Ces in-

A consulter, les publications décrivant en détail les examens de ces 3 cas exceptionnels ; l'article présentant la théorie du *"réemploi neural"*.

★  
**EN  
SAVOIR  
PLUS**

science-et-vie.com



# & Science techniques

HYDROGÈNE

98



ALLERGIES  
ALIMENTAIRES

106



PLANTES  
ÉLECTRIQUES

110







## Des filons repérés sur terre comme sous les mers

A force d'explorations, les géologues ont découvert, ces dernières années, que les sources d'hydrogène (en rouge) ne se limitaient pas aux dorsales océaniques mais se trouvaient aussi sur les continents.



# HYDROGÈNE

## *La ressource que personne n'attendait*

On pensait qu'il n'y avait pas d'hydrogène exploitable sur terre. Erreur ! De vastes gisements de ce gaz ultrapropre ont été détectés. La course est lancée.

Par **Vincent Nouyrigat**

**E**lle ne gicle pas en puissants geysers comme le pétrole. Elle ne produit pas, au contact de l'air, de grandes flammes orangées à l'image du gaz naturel. Elle ne marque pas non plus le paysage à la manière d'un gisement de charbon noir ébène.

Incolore, inodore, silencieuse, ultra-volatile : cette ressource souterraine était jusqu'ici passée inaperçue. A peine les géologues envisageaient-ils son existence... *"Ce composé est d'une telle discrétion que si on ne le cherche pas délibérément, on ne le trouve pas"*, relève Eric Deville, géologue à l'Institut français du pétrole et des éner-

gies nouvelles (Ifpen). Or, tout indique désormais que le sous-sol terrestre recèle et diffuse en continu de... l'hydrogène. Plus exactement du dihydrogène  $H_2$ .

Qui n'a pas entendu parler des vertus de l'hydrogène, dont la combustion n'émet que de l'eau pure ( $H_2O$ ) ? Quel écologiste dans l'âme n'a jamais fantasmé sur des transports, une industrie, voire une civilisation entière alimentés par cet élément chimique ?

### Repères

Tourbe, charbon, pétrole, gaz naturel, uranium, thorium, eau chaude des profondeurs : toutes les ressources énergétiques souterraines semblent avoir été identifiées et exploitées. Toutes ? Peut-être pas...

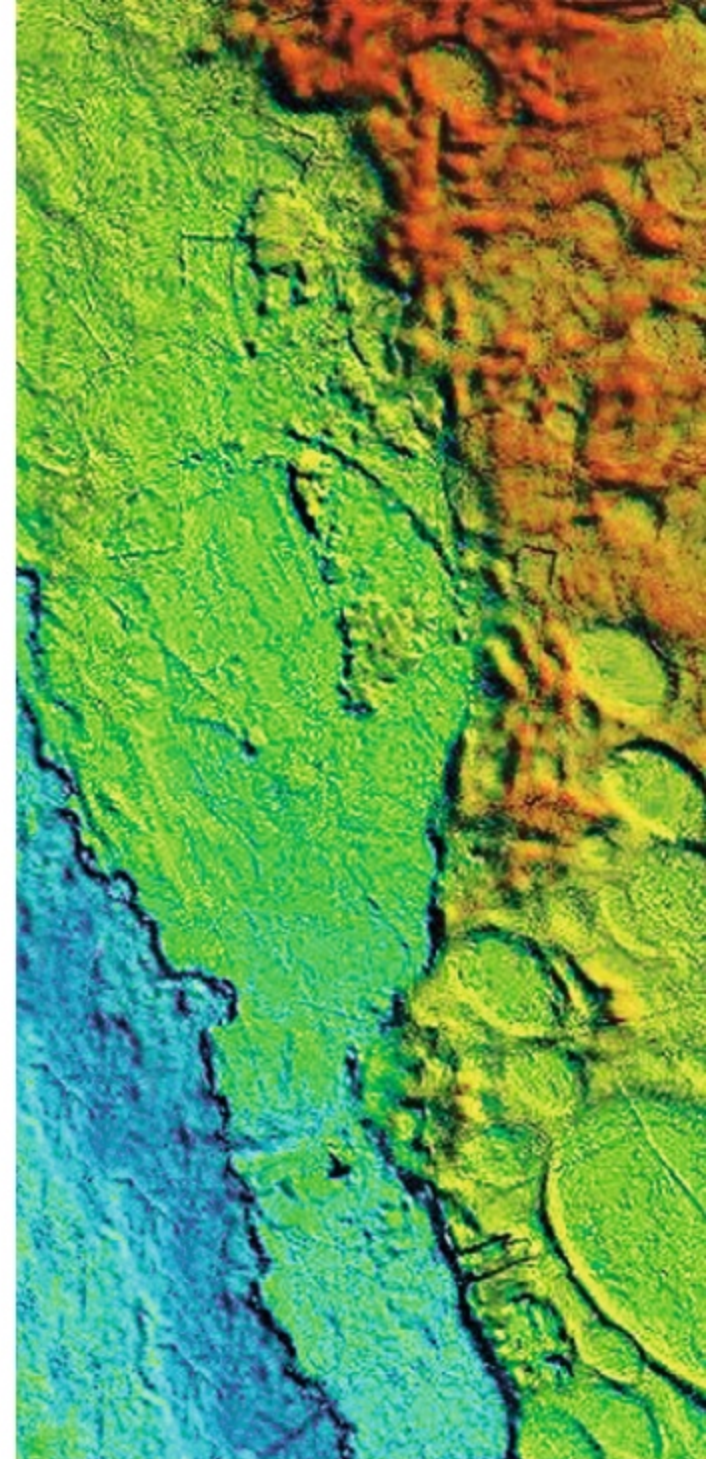




ÉRIC DEVILLE

Géologue à l'Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (Ifpen)

*C'est probablement le dernier fluide énergétique que l'on pourra tirer du sous-sol de notre planète*



→ Sauf que ces rêves de Graal énergétique se sont toujours fracassés sur un argument imparable: l'hydrogène a beau être présent partout, il n'est disponible nulle part sur Terre sous forme exploitable! Il ne s'y trouverait jamais à l'état pur, mais combiné à d'autres atomes pour former de l'eau ou des hydrocarbures dont on ne peut l'arracher qu'après de coûteux et polluants efforts.

Les quelque 700 milliards de mètres cubes d'hydrogène utilisés chaque année par l'industrie proviennent à 96 % de traitements lourds du charbon, du gaz et du pétrole. Le reste est issu de la difficile électrolyse de l'eau. Cette situation lui vaut aujourd'hui d'être qualifié avec un certain mépris de "vecteur d'énergie", au même titre que l'électricité.

Or, voilà que l'hydrogène s'avère être un produit naturel! Autrement dit: Une source d'énergie... dont il reste à évaluer tout le potentiel.

#### ÉLÉMENT ULTRA-ÉNERGÉTIQUE

Ainsi, depuis une décennie, une poignée de géologues, géochimistes et ingénieurs pétroliers parcourent le Globe dans les conditions les plus rustiques pour traquer ces émissions souvent incompréhensibles. Détecteurs et cartes géologiques en bandoulière, ils tentent de mettre la main sur l'élément le plus petit de l'Univers, le plus léger, le plus insaisissable, mais aussi le plus énergétique par unité de poids – sa densité d'énergie est deux fois et demie supérieure à celle du gaz naturel.

Ce ne sont là que les balbu-

tiements d'une possible ressource future. Un moment particulier, partagé entre excitation et fébrilité, espoir pour l'humanité et crainte d'une quête qui ferait "pschitt", le tout sur fond de querelles opposant les prospecteurs.

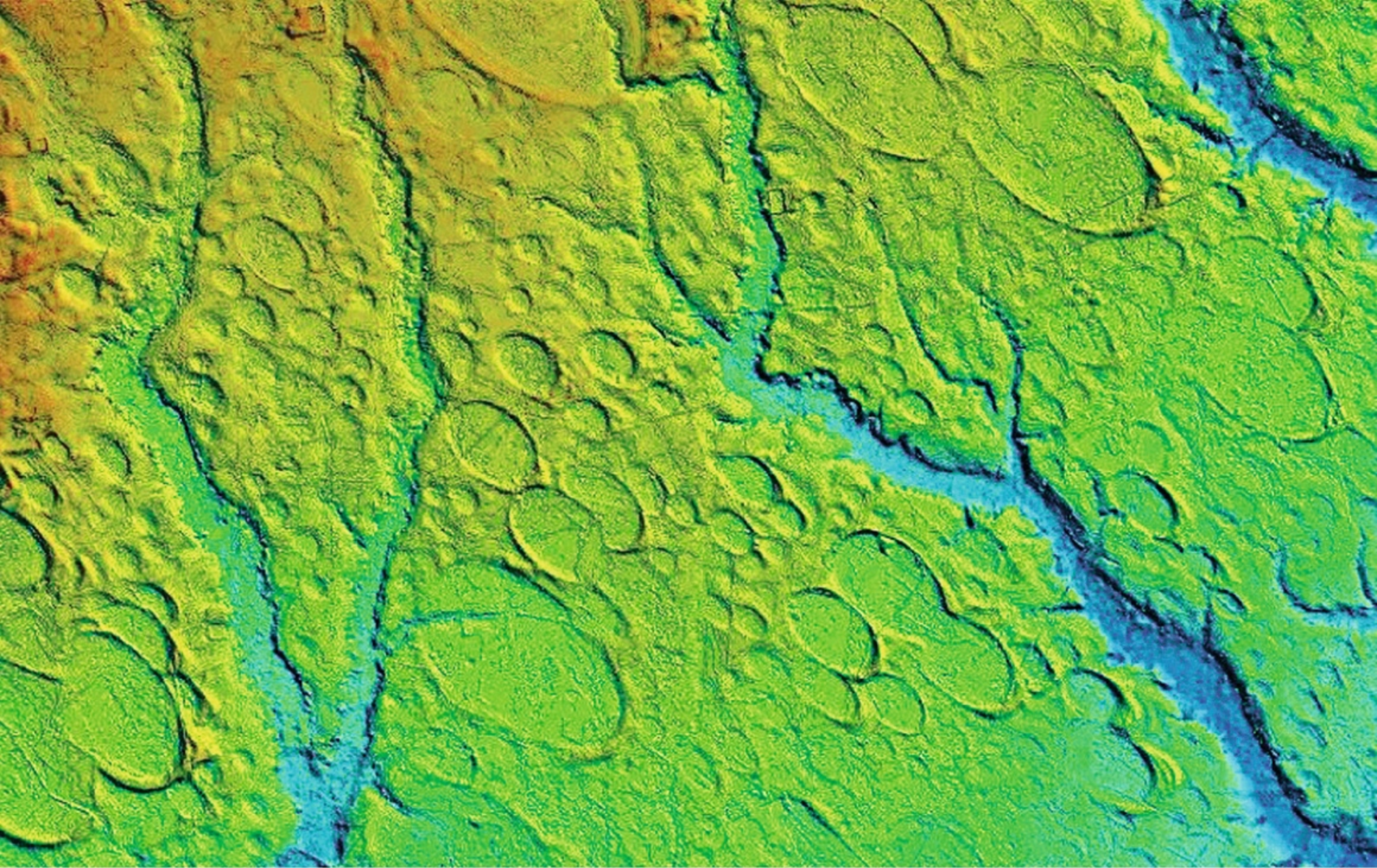
Du reste, le profil du chercheur d'hydrogène varie du pur franc-tireur à l'universitaire hyperrigoureux. "Il est encore impossible de miser sur cet hydrogène naturel, lâche Paul Lucchese, chargé des nouvelles technologies de l'énergie au CEA. Nous disposons de trop peu d'informations, tant sur les réserves disponibles que sur les techniques et coûts d'extraction."

Mais l'on ne peut s'empêcher d'imaginer que ce travail de pionnier sera célébré un jour, peut-être dans un siècle. Car "cet hydrogène natif est, selon toute vraisemblance, le dernier fluide énergétique que

## Une fabrication très polluante

La production actuelle d'hydrogène est une plaie pour la planète: la fabrication de 1 t de ce gaz, tiré massivement du raffinage des énergies fossiles, libère environ 10 t de CO<sub>2</sub>! Mais des alternatives sont explorées, comme l'électrolyse de l'eau alimentée par des énergies renouvelables, ou le recours à des algues vertes génétiquement modifiées. Autre option: reproduire en usine les processus géologiques émetteurs de cet hydrogène naturel. La dernière possibilité serait de récupérer l'hydrogène "fatal", celui produit par l'industrie chimique pendant ses process mais jamais exploité, ou celui qui est émis spontanément par les dizaines de millions de tonnes de résidus issus de la fabrication de l'acier.





## Des “cercles magiques”

Ces images satellites de Carolina Bay (côte sud-est des Etats-Unis) montrent bien les dépressions de forme circulaire caractéristiques des sources d'hydrogène.

*l'on pourra tirer du sous-sol de notre planète”,* remarque Eric Deville; le dernier carburant à pouvoir irriguer notre monde moderne... cette fois-ci durablement et proprement.

Comment a débuté cette histoire? Les premiers signes tangibles d'hydrogène naturel avaient été relevés dans les années 1970 au fond des océans. Ces mesures se sont précisées en 1997, notamment grâce à l'Ifremer: les robots exploraient alors la dorsale Atlantique et ses fumeurs noirs, au sud des Açores, par -2 300 mètres. Jean-Luc Charlou, ancien chercheur à l'Ifremer, se souvient: “*Nous étions en train de repérer les sources hydrothermales en traçant le*

*méthane qui s'en dégage, et sommes tombés sur des fluides très enrichis en hydrogène...*”

Au fil des ans, l'équipe française identifie, le long de la dorsale Atlantique, sept sites à hydrogène; Américains, Russes et Japonais en décèleront ailleurs. “*Preuve que le phénomène est général*”, se félicite le chercheur.

Lequel n'a pas tardé à éclairer le mécanisme en jeu dans ces zones très actives, où le manteau terrestre entre en

contact avec l'océan. Simple: le fer contenu dans cette couche du manteau s'oxyde au contact de l'eau de mer et dégage ainsi du dihydrogène. Une réaction éphémère? “*Nous sommes retournés, à dix ans d'intervalle, sur le même site, et les émissions continuaient au même rythme*”, poursuit-il. De récents calculs indiquent que ces sites peuvent produire durant au moins 25 000 ans à flux continu. ➔



“

**NIKOLAI LARIN**

Géologue à l'Institut de physique du globe de Moscou

*Nos mesures réparent l'injustice historique faite à l'hydrogène, victime des préjugés des géologues*



→ A ce stade des connaissances, l'hydrogène pouvait être élevé au rang de produit naturel et pérenne, intimement lié à la dynamique terrestre. Sauf que son statut auprès des géologues restait celui d'une curiosité des abysses très difficile à exploiter.

Quelques esprits aventureux se sont néanmoins lancés sur la terre ferme, à la recherche de sites analogues à ces milieux sous-marins extrêmes en température et pression. Une équipe exploratoire de l'Institut français du pétrole est sur les rangs et a entamé, en 2008, un tour du monde. *"Tout ce qui avait été repéré sur terre relevait jusqu'ici d'anecdotes locales, ou avait donné lieu à des mesures et publications restées confidentielles, raconte Valérie Beaumont, géochimiste à l'Ifpen. Nous n'avions aucune idée de l'ampleur du phénomène, ni de sa systématique."*

Des Anglais avaient mesuré quelques effluves d'hydrogène dans les années 1980 au cœur de sublimes sources d'eau azur du sultanat d'Oman. Une fois sur place, force est de constater que de petites bulles s'échappent : elles contiennent

## Où retrouver sur la terre ferme les conditions extrêmes des abysses ?

plus de 80 % d'hydrogène ! Aux Philippines, dans la province du Zambales, la population locale connaît bien Los Fuegos Eternos, ces lueurs dues à la combustion du méthane sortant d'un massif fracturé ; *"en m'asseyant sans faire attention au-dessus*

### 1 La capture

Les émissions naturelles d'hydrogène sont très diffuses : cette caractéristique demandera sûrement de multiplier les dispositifs d'exploitation. Pour ne rien arranger, l'hydrogène est un gaz très volatil, qui se disperse dans l'air quatre fois plus vite que le gaz naturel. Il en sera d'autant plus difficile à capturer.

## Les trois défis de l'exploitation de l'hydrogène

Aucun industriel ne s'est encore penché sur la question... A quelle profondeur capter cet hydrogène naturel ? Existe-t-il des poches exploitables ou est-ce seulement un flux continu ? Faudra-t-il fracturer la roche ? Il est beaucoup trop tôt pour avancer des réponses. Mais les propriétés très particulières du gaz hydrogène laissent déjà imaginer les défis qui attendent les futurs exploitants.

*d'une fracture, j'ai ressenti une vive brûlure : c'était une source d'hydrogène, qui ne produit pas de flamme visible lorsqu'il se consume",* sourit Eric Deville.

Ce n'est pas tout. Les géologues vont aussi se tourner vers un site touristique du sud de la Turquie, connu pour ses flammèches décrites dès le début de notre ère par Pline l'Ancien. Là encore, le méthane est le responsable de ce spectacle permanent. Or, surprise : ces fractures libèrent aussi de l'hydrogène qui s'était, une fois de plus, laissé voler la vedette.

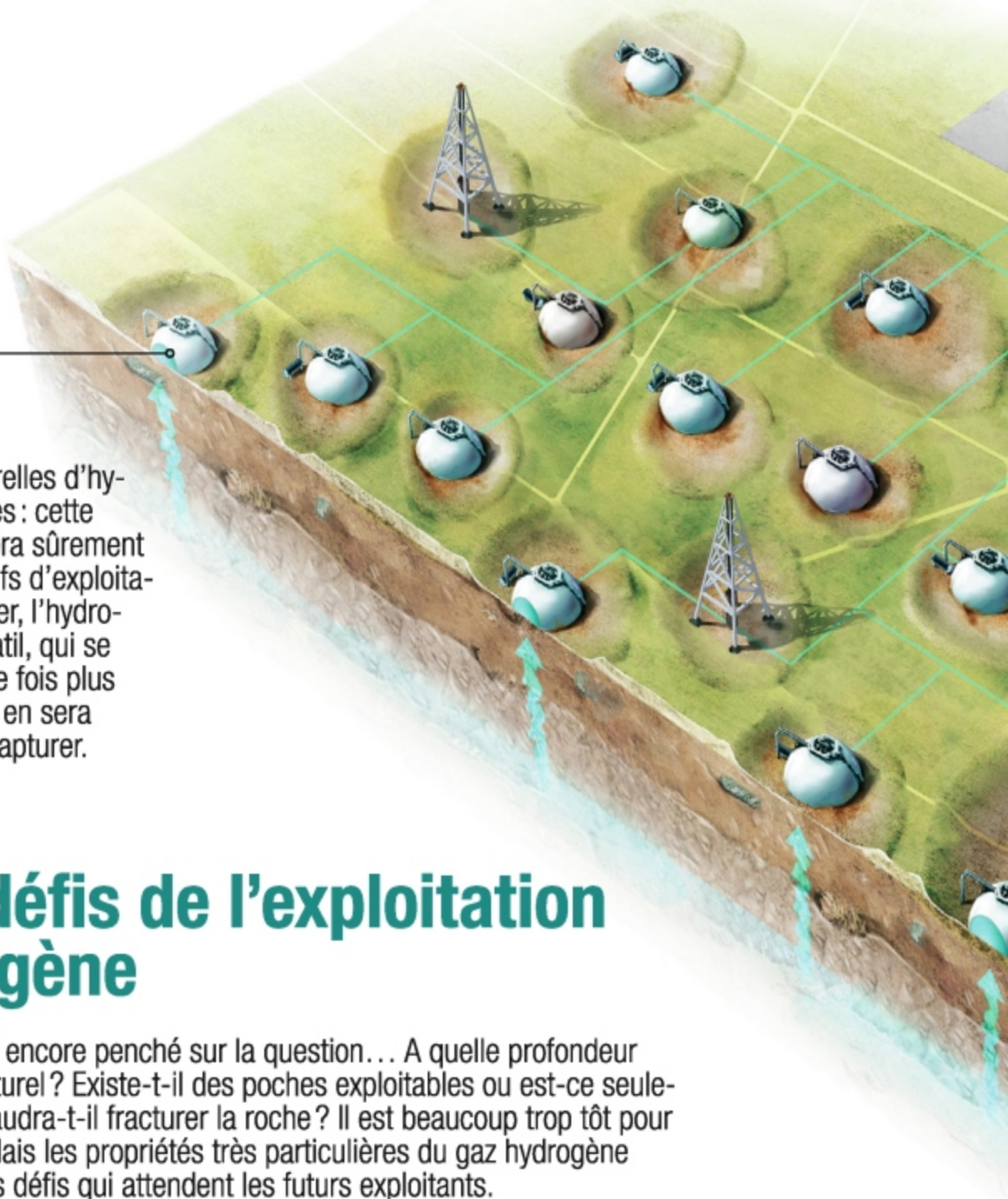
Les cibles géologiques commencent à se préciser. Nos prospecteurs français, avec les chercheurs du laboratoire Geosciences environnement Toulouse, mettent ainsi en évidence une nouvelle émission d'hydrogène en Nouvelle-Calédonie, dans la baie de

Prony. En attendant de prospecter en Italie, au Portugal, en Nouvelle-Zélande...

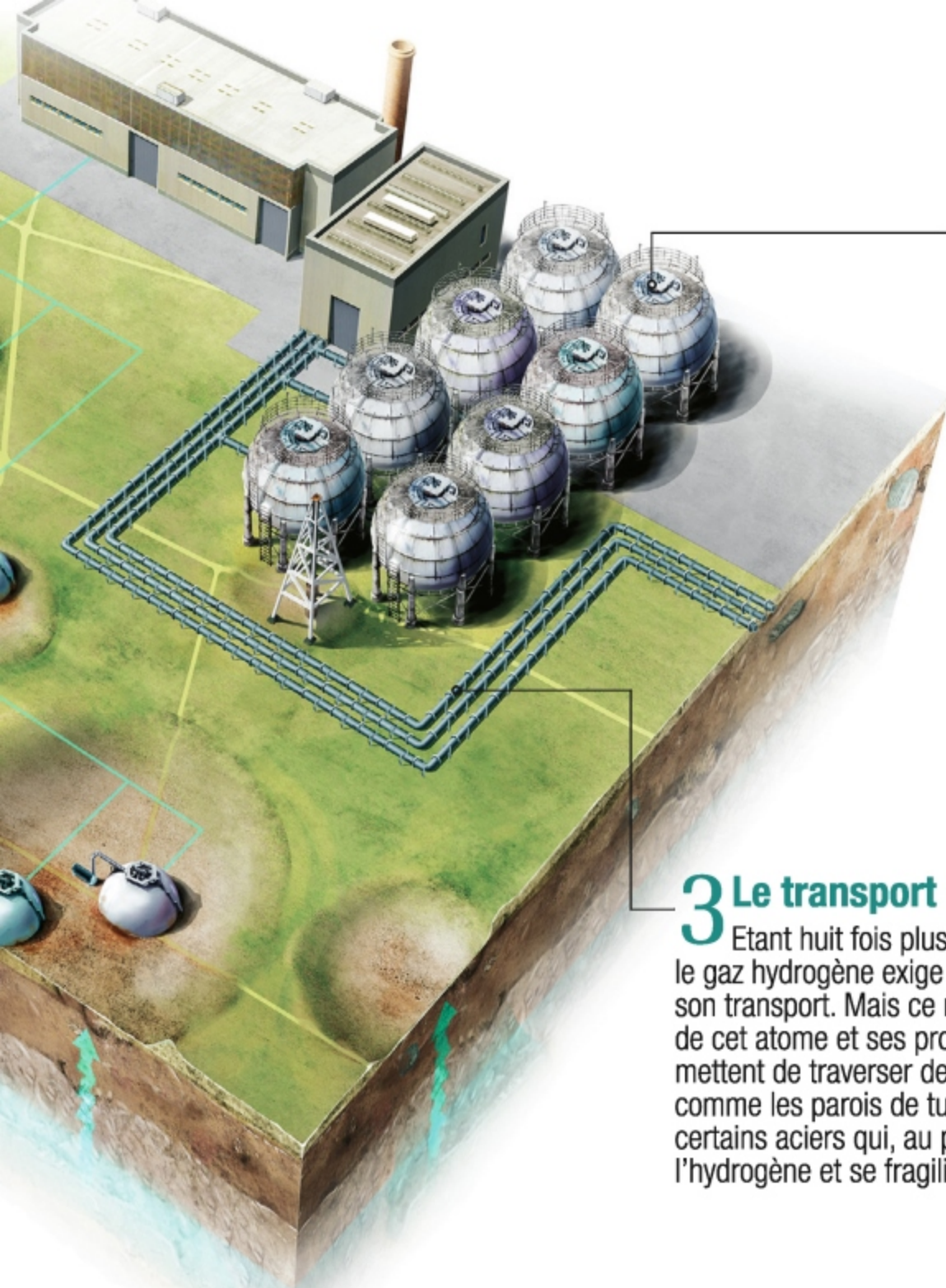
### DES REJETS EN QUANTITÉ

Un premier constat s'impose : que ce soit sous l'océan ou sur terre, de l'hydrogène s'échappe en quantité du sous-sol. Second constat : les conditions thermodynamiques de ces réactions paraissent incroyablement variées, se déroulant aussi bien à plus de 300 °C qu'à moins de 100 °C, dans l'eau de mer ou l'eau douce, en conditions acides ou basiques.

Autant de phénomènes qui interrogent aujourd'hui les géochimistes penchés sur leur paillasse. *"Nous recherchons le détail des divers ingrédients qui interviennent, notamment à basse température, explique Muriel Andreani, du Laboratoire de géologie de Lyon. La communauté tente d'identifier*







## 2 Le stockage

Concentrer de grands volumes d'hydrogène n'est pas anodin : son seuil d'inflammation est dix fois plus bas que celui du propane, et à partir d'une concentration de 18 % dans l'air l'hydrogène est aussi susceptible de détoner. Ce qui en fait un gaz aussi redoutable que l'acétylène...

## 3 Le transport

Etant huit fois plus léger que le méthane, le gaz hydrogène exige de hautes pressions pour son transport. Mais ce n'est pas tout : la petite taille de cet atome et ses propriétés diffusives lui permettent de traverser de nombreux matériaux comme les parois de tuyaux en polymère et même certains aciers qui, au passage, réagissent avec l'hydrogène et se fragilisent voire rompent.

*les différentes géologies candidates et donc les 'gisements' potentiels."*

Et les prospecteurs ne sont pas au bout de leurs surprises, avec l'entrée en scène de géologues russes aux théories peu orthodoxes. A leur tête : Vladimir et Nikolai Larin, père et fils. En 2011, les Larin entrent en contact avec l'Ifpen. Ils déclarent avoir découvert des flux d'hydrogène à quelques centaines de kilomètres de Moscou. Affirmation pour le moins douteuse : la zone concernée se situe en plein craton précambrien, une vieille formation géologique qui ne remplit aucun critère de formation d'hydrogène.

Une erreur de mesure ? Probable... Très sceptiques, les Français se rendent sur place avec leurs propres instruments. Verdict ? *"Eh bien nous avons détecté des pics d'hydro-*

*gène, comme eux",* témoigne Eric Deville. *"Nos mesures réparent l'injustice historique qui a été faite à l'hydrogène, victime des préjugés des géologues",* exulte Nikolai Larin.

Des déclarations qui ne convainquent cependant pas tout le monde. Surtout pas les universitaires, comme Christophe Monnin, du laboratoire Geosciences environnement Toulouse : *"J'attends que cette équipe franco-russe publie ses résultats dans des revues scientifiques à comité de lecture, plutôt que par communiqués de presse."* *"Leurs mesures sont simplistes, pleines d'incertitudes",* tacle aussi Giuseppe Etiope, spécialiste des émanations gazeuses à l'Institut national italien de géophysique.

Les critiques sont violentes. Mais les géologues aventuriers n'en démordent pas : ils ont bel et bien détecté des sorties

d'hydrogène dans la grande plaine russe. Elles se manifestent au niveau de légères dépressions (2-3 m de profondeur) d'une centaine de mètres à quelques kilomètres de diamètre. Ces trous de sorcière, aux contours étrangement jauniss, ne trouvaient pas d'explication valable jusqu'à présent. L'hydrogène en serait donc la clé : en réagissant avec la roche, la molécule  $H_2$  aurait provoqué des effondrements à l'origine de ces cuvettes.

## SOLS DESTRUCTURÉS

Et si les arbres, le blé ou l'herbe peinent à pousser au périmètre de ces "cercles magiques", c'est que, suggère Eric Deville, *"les émanations d'hydrogène ont visiblement déstructuré les sols pourtant très fertiles de la région"*.

Images satellites à l'appui, plusieurs milliers de ces structures circulaires apparaissent de Moscou jusqu'au Kazakhstan, le long de lignes de failles anciennes. Cette découverte élargit considérablement le potentiel de la ressource H, au vu de la banalité de ce contexte géologique.

*"De telles dépressions apparaissent tout au long de la côte Est américaine, continue Eric Deville. Nous nous sommes rendus en Caroline du Nord et avons, là encore, mesuré des émanations d'hydrogène. A notre connaissance, c'est une première, d'autant plus étonnante que ces structures jouxtent de prestigieuses universités américaines où exercent parmi les plus brillants géologues..."*

Ces prospecteurs ne sont pas les seuls ni les premiers à s'aventurer sur les terrains continentaux : Barbara



→ Sherwood Lollar (université de Toronto) écume depuis quelques années les mines d'or ou de diamant du Canada et d'Afrique du Sud pour mesurer les flux d'hydrogène – hautement explosif – soupçonnés d'être à l'origine d'accidents miniers. D'autres découvertes, fortuites, ont été signalées. Au printemps 2012, une compagnie gazière canadienne indiquait ainsi

Deville: *“Nous étions obnubilés par les hydrocarbures et le CO<sub>2</sub>, alors que nos collègues russes et avant eux soviétiques avaient pris conscience de ces émissions, si j'en juge par leur riche bibliographie sur le sujet. Le forage le plus profond du monde, dans la péninsule de Kola, avait d'ailleurs relevé dans les années 1980 des fuites d'hydrogène que les ingénieurs s'étaient empres-*

luations encore très locales : dans les dorsales océaniques, chaque événement de 40 cm de diamètre libérerait ainsi 2 700 m<sup>3</sup> par jour. L'une des structures circulaires étudiée en Russie produirait environ 21 000 m<sup>3</sup> d'hydrogène par jour – débit comparable à un puits de gaz de schiste –, mais de nombreux cercles afficheraient à peine 50 m<sup>3</sup>/jour – soit aucun intérêt économique.

## La voiture à hydrogène devient réalité

En décembre dernier, Toyota lançait au Japon la première voiture de série à hydrogène. Sachant que Honda, BMW, Hyundai... préparent eux aussi leur modèle grand public. Cet engouement s'explique par les derniers progrès de la pile à combustible, ce moteur capable de convertir l'hydrogène en électricité. En effet, plusieurs obstacles technico-économiques ont été levés : la quantité du très cher platine nécessaire à la catalyse a été divisée par dix, les problèmes de résistance à long terme des membranes ont été réglés ainsi que ceux liés au stockage de l'hydrogène, grâce à des réservoirs capables de soutenir 700 bars de pression. Le résultat est prometteur : forts d'une autonomie de plus de 600 km et de temps de recharge de quelques minutes, ces véhicules vont opposer une sérieuse concurrence aux autos électriques classiques.

avoir transpercé, à 60 km au nord de Bamako (Mali), une poche d'hydrogène pur à 98 % dans une nappe phréatique ; il s'agissait d'un ancien forage de recherche d'eau scellé il y a vingt ans à la suite d'une explosion de gaz... C'était donc de l'hydrogène.

Un grand mystère entoure encore les mécanismes géologiques à l'œuvre sur ces cratons continentaux. Quoi qu'il en soit, ces révélations marquent la fin d'un long aveuglement chez les géologues occidentaux, estime Eric

sés d'exploiter... A croire que nous vivons sur deux planètes différentes !”

“Cela nous a échappé, on ne se posait pas la question, l'hydrogène ne faisait pas partie de la culture des pétrographes, complète Fabrice Brunet, chercheur à l'Institut des sciences de la Terre (Grenoble). On va peut-être se rendre compte qu'il y en a un peu partout.”

Un peu partout, mais en quelle quantité ? La question est cruciale pour les industriels. Des scientifiques se sont risqués à de premières éva-

### UN MARCHÉ EN PROGRESSION

Eminemment diffus, ces flux sont difficiles à évaluer. “Nous n'avons tout simplement aucune idée des débits réels ni des réserves”, persifle Giuseppe Etiope. Sans parler de l'exploitation de ces gisements vraiment pas conventionnels (voir infographie).

Difficile de dire, donc, si cette ressource naturelle pourra alimenter toute la planète et son milliard d'automobiles, ou simplement compléter à la marge une production manufacturière d'hydrogène (voir encadré ci-contre).

Rendez-vous après 2050, diront les grincheux. “Cette quête est beaucoup moins futuriste qu'il n'y paraît, veut croire Eric Deville. La demande actuelle en hydrogène (production d'ammoniac, méthanol, plastiques, raffinage des pétroles lourds...) atteint déjà le quart du volume de la consommation mondiale de gaz naturel. Ce marché progresse de 10 % par an, le monde a de plus en plus besoin d'hydrogène !” Bientôt l'heure H ?

Les publications et exposés des chercheurs d'hydrogène français, italiens et anglo-saxons.



**EN  
SAVOIR  
PLUS**

science-et-vie.com



# 100 QUESTIONS\*100 RÉPONSES pour mieux vivre le printemps 2015



NATURE &  
ENVIRONNEMENT



CORPS & SANTÉ



LES QUESTIONS DE LA VIE, LES RÉPONSES DE LA SCIENCE

En vente actuellement



## Allergies alimentaires

# Et si les médecins se trompaient ?

Pour éviter l'allergie, évitez l'aliment allergène. Jusqu'ici, le conseil donné aux parents était simple. Simple, oui, mais guère efficace... Et voici que deux chercheurs le soupçonnent même, preuves à l'appui, d'avoir l'effet inverse !

Par **Coralie Hancock**

**D**es démangeaisons jusqu'au fond de la gorge, des petits boutons autour de la bouche, parfois même les traits du visage qui gonflent...

Cette expérience, toutes les personnes victimes d'allergies alimentaires la connaissent. Rien qu'en France, 5 % des adultes et 8 % des enfants sont concernés.

Généralement, la première alerte survient autour de 3 ou

4 ans. Parfois, la découverte se fait à un âge bien plus avancé.

Pour limiter les risques, les experts recommandent aux parents de retarder le plus possible la consommation d'aliments particulièrement allergènes, c'est-à-dire connus pour provoquer plus facilement une réaction exacerbée du système immunitaire – puisque les allergies ne sont pas une maladie en soi, mais une réaction disproportionnée des défenses de l'organisme, qui s'imaginent, à tort, agressés.

Au premier rang des allergènes alimentaires auxquels les enfants ne devraient pas être exposés, selon les médecins : les cacahuètes, certains fruits (kiwis, fruits exotiques...), les œufs, le poisson...

Plus précisément, pas de purée ou de compote pour les

bébés avant qu'ils aient fêté leurs 6 mois, et surtout ne jamais tenter l'expérience avant 4 mois. Attendre l'âge de 1 an pour faire goûter des aliments contenant des fruits à coque ou de l'arachide. Enfin, dernière mise en garde, si un ou plusieurs membres de la famille sont déjà allergiques : jamais d'œuf, de céleri, de kiwi, de poisson ou de crustacé avant 1 an, et même 3 ans pour l'arachide.

Prévenir les allergies en évitant de manger les aliments susceptibles de les déclencher : cela semble logique.

Sauf que l'unanimité autour de cet impératif de prévention est en train de se fissurer. Pour une raison imparable : le remède se révélerait peut-être pire que le mal !

### Enjeux

Depuis une vingtaine d'années, le nombre d'allergies alimentaires augmente régulièrement. En France, elles touchent désormais 5 % des adultes et 8 % des enfants. Une hausse d'autant plus préoccupante que leurs conséquences peuvent être fatales et que les pistes médicales pour les prévenir ou les guérir n'en sont qu'au stade de l'expérimentation.







**5,1 %**  
d'allergiques  
à l'arachide en  
2009-2011

**3,4 %**  
d'allergiques  
à l'arachide en  
1997-1999

**UNE VÉRITABLE ÉPIDÉMIE**  
En dépit des conseils de prévention  
prônés dans les pays occidentaux,  
le nombre de cas d'allergie alimentaire  
ne cesse d'y augmenter depuis quinze  
ans (ici les chiffres pour les Etats-Unis).

Dès 2010, quelques analyses avaient déjà dénoncé son manque d'efficacité: l'évitement alimentaire est prôné un peu partout dans les pays occidentaux depuis 2001, et pourtant le nombre d'allergiques n'a pas diminué – il a même augmenté depuis quinze ans!

### DES FONDEMENTS RENVERSÉS

Voilà pour les premières fissures...

Qui sont devenues une vraie faille après les conclusions d'une large étude publiée en février dernier par des chercheurs du King's College de Londres. Imaginez: non seulement supprimer les allergènes de l'alimentation des nourrissons ne réduirait pas le nombre de cas d'allergie... mais cela les favoriserait!

Les fondements mêmes de la prévention sont donc mis en cause par cet essai clinique, mené plus précisément sur l'arachide. Plus de 500 enfants âgés de 4 à 11 mois et souffrant déjà d'eczéma ou d'allergie à l'œuf ont été suivis par l'équipe d'allergologues de George Du Toit et Gideon Lack. Ces derniers ont demandé aux parents de la moitié des enfants d'introduire dans leur alimentation au moins 6 g de protéines d'arachide par semaine (sous la forme de beurre de cacahuète, notamment) tandis que les parents du second groupe devaient exclure toute source d'arachide.

A l'âge de 5 ans, les médecins ont diagnostiqué avec précision les enfants allergiques à l'arachide dans les deux groupes: ils étaient 1,9 % dans

le premier, contre 13,7 % dans le second! Autrement dit, l'allergie à l'arachide était plus de 7 fois plus fréquente chez les enfants qui n'en avaient jamais mangé que chez ceux qui en avaient régulièrement consommé.

Stupéfiant? Pas vraiment. Car les deux allergologues britanniques s'attendaient à de tels résultats. *"L'idée de mettre en place cet essai clinique est née en 2008, lorsque nous avons découvert que la prévalence de l'allergie à l'arachide était dix fois plus importante chez les enfants de la communauté juive en Grande-Bretagne que chez ceux appartenant à cette même communauté, mais vivant en Israël, raconte George Du Toit. La seule différence que nous avons alors trouvée était leur consommation d'arachide*



→ *entre 8 et 14 mois : la quantité médiane de protéines d'arachide ingérées était de 7,1 g par mois en Israël, contre 0 en Grande-Bretagne.*

Depuis, d'autres chercheurs avaient fait des constatations similaires à propos d'autres aliments. En 2013, l'équipe de Bright Nwaru (université de Tampere, Finlande) montrait que l'introduction d'œuf avant 6 mois et de poisson avant 11 mois réduisait la fréquence des allergies. Tandis qu'en février 2014, l'équipe de Caroline Roduit (université de Zurich, Suisse) mettait en évidence une corrélation inverse entre la variété des aliments introduits durant la première année de vie et la fréquence des allergies alimentaires.

Mais ces études avaient toutes un inconvénient majeur : il s'agissait de suivis de cohortes. Autrement dit, c'étaient les parents qui avaient la main sur l'alimentation de leurs enfants, et ils pouvaient faire le choix d'éviter certains aliments si le risque allergique était présent dans leur famille. De quoi largement biaiser les résultats.

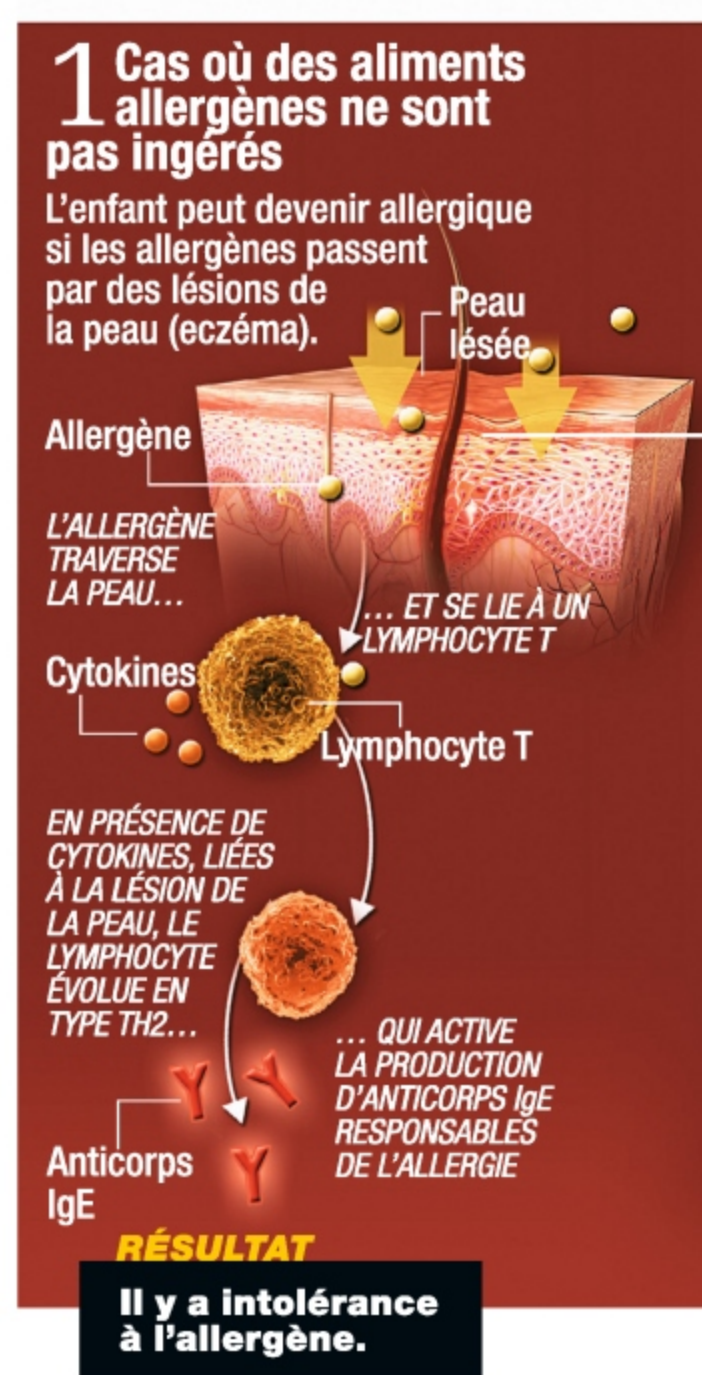
*"L'étude de Gideon Lack et George Du Toit est la première à montrer de façon rigoureuse que le risque d'allergie peut être*

*réduit, non en évitant les allergènes, mais par une confrontation précoce avec eux",* félicite Dominique Sabouraud, allergopédiatre au CHU de Reims.

Pour autant, ni elle ni les instigateurs de cet essai clinique ne vont jusqu'à rendre le retardement de la diversification alimentaire responsable de l'épidémie d'allergies qui sévit depuis une vingtaine d'années. *"Les recommandations émises au début des années 2000 l'ont été en réaction à l'augmentation déjà constatée des allergies alimentaires",* rappelle Dominique Sabouraud.

### UN MONDE TROP ASEPTISÉ

Pour l'expliquer, les allergologues privilégient plutôt l'hypothèse "hygiéniste" : dans un environnement de plus en plus aseptisé, les jeunes enfants ne sont pas assez confrontés aux bactéries, inoffensives pour la plupart, qui sont indispensables à l'éducation de leur système immunitaire. Dès lors, celui-ci, désorienté, se met à lutter contre des protéines alimentaires, provoquant plus d'allergies. La pollution, qui favoriserait la production de certains types de cellules immunitaires, les traitements industriels subis par les aliments,



qui induiraient la transformation de molécules inoffensives en protéines allergisantes, ou encore les modes de culture intensifs, qui pousseraient les fruits et légumes à produire des protéines du stress très allergisantes, sont également au rang des accusés.

Mais alors même que les autorités sanitaires ont tenté de contrer le mal en retardant la diversification alimentaire, elles ont peut-être, paradoxalement, contribué à l'amplifier. Comment ?

Pour répondre à cette question, Gideon Lack et George Du Toit ont élaboré une hypothèse. Selon eux, plus un aliment est introduit tard dans l'assiette de l'enfant, plus il a pourtant de chances d'y être confronté de façon involontaire : non par voie orale, mais

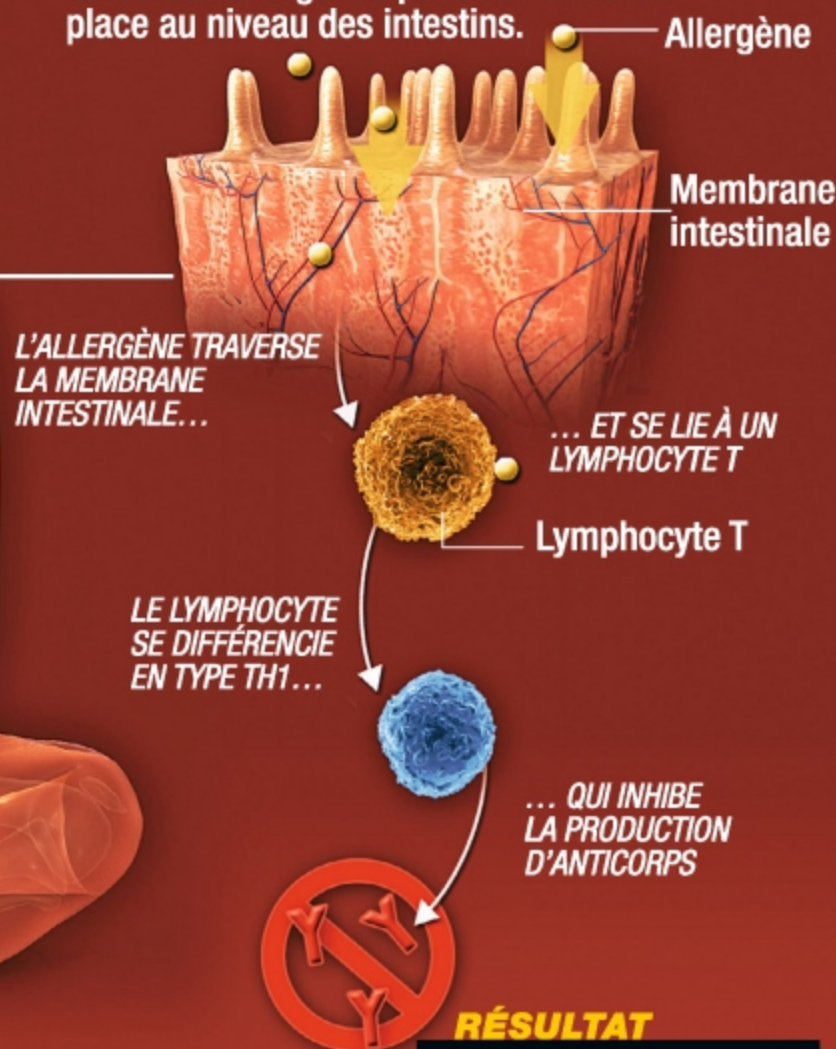
## Des perspectives de traitement

**Et pour les enfants déjà allergiques ? Calqués sur le traitement contre les pneumo-allergènes, plusieurs protocoles de désensibilisation aux allergènes alimentaires commencent à faire leurs preuves. Dans une étude de janvier 2014, plus de 80 % des enfants auxquels des médecins britanniques avaient fait ingérer des doses minimales, mais croissantes, de farine d'arachide pouvaient manger, au bout de 26 semaines, 5 cacahuètes par jour. En France, plusieurs CHU, dont ceux de Lille et de Reims, proposent aussi la désensibilisation pour les jeunes allergiques. Demain, ce ne sera peut-être plus nécessaire d'aller à l'hôpital grâce au patch de désensibilisation à l'arachide mis au point par DBV Technologies. Après des essais cliniques jugés très encourageants, l'entreprise française espère le commercialiser en 2018.**



## 2 Cas où des aliments allergènes sont ingérés

Un mécanisme immunitaire de tolérance aux allergènes peut se mettre en place au niveau des intestins.



**Il y a tolérance à l'allergène.**

de céleri et de jus de kiwi? "Le beurre de cacahuète, peut-être pas, car c'est un aliment plus ancré dans la culture anglo-saxonne que dans la nôtre, sans compter qu'il n'est pas connu pour ses vertus nutritionnelles, répond Dominique Sabouraud. Et pas non plus dès le plus jeune âge, car avant 4 mois, l'enfant n'est pas capable de digérer les aliments solides. Mais entre 4 et 6 mois, il semble qu'il existe une fenêtre d'introduction opportune."

Debra Palmer, à l'université d'Australie-Occidentale, confirme: "Le meilleur conseil à donner aux parents est d'introduire dans l'alimentation des nourrissons une grande variété d'aliments sains, incluant des aliments potentiellement allergènes, entre 4 et 6 mois."

Mais Christophe Dupont, gastro-entérologue (hôpital Necker, Paris) et référent nutrition pour la Société française de pédiatrie, se veut plus prudent: "Il existe un consensus sur le fait qu'il ne faut pas diversifier l'alimentation avant l'âge de 4 mois. Au-delà, cela se discute. Selon nous, il n'y a pas de nécessité nutritionnelle à introduire les aliments solides avant 6 mois. Quant à réduire éventuellement le risque allergique, cette étude est intéressante mais ne justifie pas, à elle seule, de modifier nos recommandations." Pourtant, l'Académie européenne d'allergologie et d'immunologie clinique, elle, y réfléchit déjà.

A lire : la publication de G. Du Toit et G. Lack ; les recommandations du Programme national nutrition santé sur l'alimentation des bébés.

science-et-vie.com

par voie cutanée, en particulier si son épiderme est lésé par un eczéma. En effet, dès lors que l'environnement de l'enfant consomme certains aliments, tout l'environnement se retrouve contaminé par des traces de ces aliments, que ce soit dans l'air, sur les doigts des parents qui habillent l'enfant et jusque dans le lit de ce dernier.

Or, le système immunitaire ne réagit pas de la même manière selon qu'un aliment entre en contact avec lui pour la première fois via le tube digestif ou la peau. Par voie orale, le type de lymphocytes (voir jargon) mobilisés pour reconnaître l'aliment induirait plutôt une tolérance, en limitant la production d'anticorps E (IgE), à la base de la réaction allergique. A l'inverse, la pénétration dans les couches profondes de l'épiderme ferait entrer en scène un

## Jargon

Parmi les cellules du système immunitaire, on distingue les **lymphocytes T**, qui peuvent détruire les cellules infectées ou servir d'intermédiaires dans la réponse immunitaire, et les **lymphocytes B**, qui sécrètent des anticorps : les **IgE**, en particulier, sont responsables du déclenchement de la réaction allergique.

type de lymphocytes qui, eux, renforcent la production d'IgE (voir l'infographie).

Ce qui expliquerait pourquoi les enfants eczémateux ont plus de risques de développer une allergie alimentaire, de même que les différences géographiques des allergies à l'arachide : peu fréquente dans les pays où adultes et jeunes enfants en consomment, comme en Afrique, elle l'est un peu plus en France, où les adultes en consomment modérément, et encore plus dans les pays anglo-saxons, royaumes du beurre de cacahuète.

## DE NOUVEAUX CONSEILS

Alors? Faut-il modifier les recommandations nutritionnelles et nourrir, dès le plus jeune âge, nos bambins de beurre de cacahuète, d'omelettes, de purée

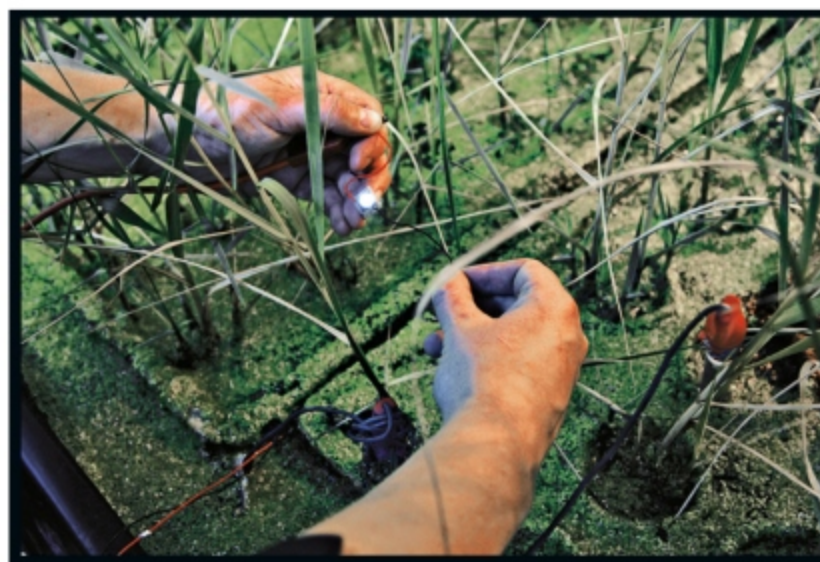


# Plantes

## Et elles devinrent des lampes !

On va pouvoir s'éclairer aux... plantes ! Des chercheurs sont en effet parvenus à exploiter l'électricité que les végétaux produisent naturellement. Grâce à des piles à combustible microbiennes...

Par **Etienne Thierry-Aymé**



< Les chercheurs de la start-up néerlandaise Plant-e ont connecté entre elles des centaines de plantes aquatiques installées dans des bacs équipés d'électrodes...

**E**n cette fin d'après-midi, dans l'est des Pays-Bas, la nuit tombe à peine, sur la petite route qui relie les villes de Ede et de Wageningen, lorsque le bas-côté s'illumine. Au même moment, dans le nord d'Amsterdam, sur l'ancien site industriel Hembrug de Zaandam, transformé en jardin public, 300 diodes lumineuses percent la nuit.

Entre Ede et Wageningen, c'est un parterre long de

100 m<sup>2</sup> garni de plantes aquatiques entre lesquelles courent électrodes et câbles électriques qui longe la route, alimentant les lampes de la rampe de protection. A Zaandam, c'est le même dispositif, ou presque : il s'agit de 400 "piles" végétales reliées entre elles pour éclairer le ciel.

Il y a de la magie dans l'air ce soir-là, car si les lampes utilisées sont ordinaires (de simples LED), la source qui les alimente l'est beaucoup moins ! Pour la première fois, ce 5 novembre 2014, des dispositifs d'éclairage électriques – conçus par une start-up néerlandaise, Plant-e – sont directement alimentés en électricité par une série de plantes vivantes. Les piles à combustible microbiennes sortent enfin des laboratoires !

Les piles à combustible microbiennes ? L'idée aura fait un

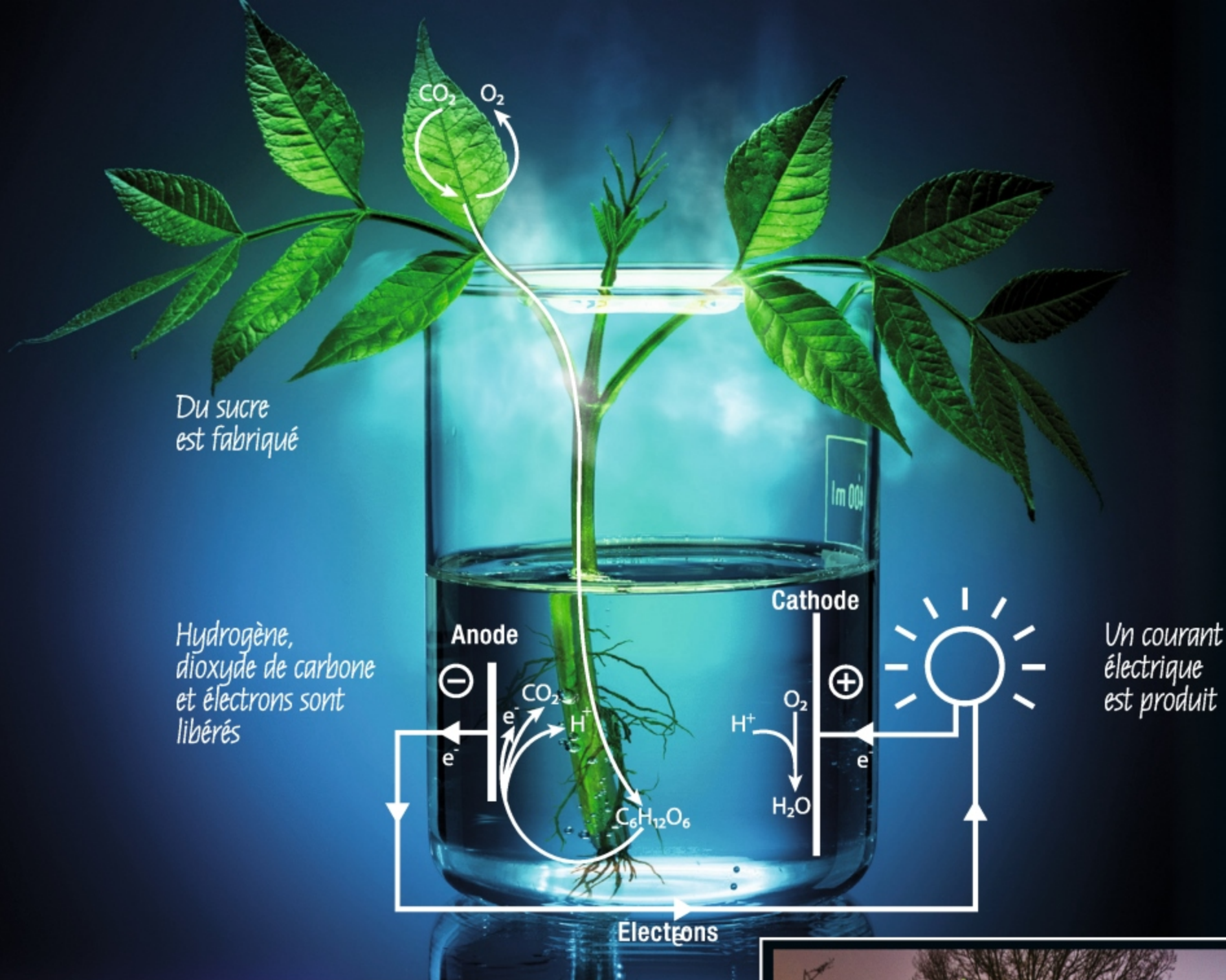
long chemin avant de trouver une application concrète. "Dès 1911, le professeur M.C. Potter, botaniste à l'université Durham, en Angleterre, a mis en avant les effets électriques de la décomposition des matières organiques, explique Frédéric Barrière, maître de conférences de l'Institut des sciences chimiques de Rennes. Quelques études y ont été consacrées dans les années 1930. La Nasa s'y est ensuite un temps intéressée pour le programme lunaire. Mais c'est surtout à partir des années 2000 que les études sur le sujet ont décollé."

Jusqu'en 2009, où un foisonnement de travaux a abouti au lancement de Plantpower, un projet européen mené par l'université de Wageningen, dont est directement issue la jeune pousse néerlandaise Plant-e.

### Repères

Les piles à combustible microbiennes reprennent le principe des piles à combustible à hydrogène. Une électrode libère des électrons, l'autre les récolte, produisant ainsi un courant. La première, l'anode, est placée au sein d'un compartiment contenant des bactéries et de quoi les nourrir, ce qui libère des électrons. L'autre, la cathode, est alimentée en oxygène par l'air ambiant, composant d'une réaction chimique absorbant les électrons.





Le principe: il est analogue à celui des piles à combustible au sein desquelles une réaction chimique produit un courant électrique. Mais alors que celles-ci utilisent l'oxydation de l'hydrogène, les piles microbiennes utilisent, elles, les réactions chimiques naturelles des micro-organismes (bactéries) pour produire de l'électricité.

### UNE SOURCE RENOUVELABLE

*"L'idée neuve consiste ici à profiter de la photosynthèse des plantes pour fournir le carburant in situ aux bactéries: les exsudats de matières organiques issus des racines et le produit de leur décomposition",* explique Frédéric Barrière, qui a participé au projet Plantpower.

A la clé, non seulement la production d'une électricité

"verte", puisque la réaction chimique qui produit le courant dégage la même quantité de  $\text{CO}_2$  que celle qui est naturellement absorbée. Mais aussi, font valoir les chercheurs, une source électrique renouvelable à l'envi et presque inépuisable, tout au long du cycle de vie de la plante.

Les rendements énergétiques varient néanmoins, comme dans le cas des énergies solaire ou éolienne, en fonction du climat, qui influence le métabolisme des plantes. Le système cesse par exemple de produire de l'électricité dès que le sol gèle. *"Mais ce sont des 'piles' quasiment indestructibles, insiste Frédéric Barrière, car les réactions chimiques se font dans un milieu vivant: le biofilm bactérien présent à la surface de l'anode."*



^ ... Leur rendement, de l'ordre de  $0,2 \text{ W/m}^2$ , permet d'alimenter la rangée de LED qui éclairent ce premier "jardin électrique", situé à Zaandam, au nord d'Amsterdam.

Pour obtenir des courants suffisamment importants pour éclairer des séries de LED, l'équipe de Plant-e, menée par la chercheuse Marjolein Helder, a utilisé des plantes qui aiment vivre les pieds dans l'eau. Leur croissance, assurent les chercheurs, s'accommode en effet très bien de la présence d'électrodes. →



→ En pratique, les plantes grandissent d'abord sous serres avant d'être installées sur site, dans des récipients en plastique d'un peu plus de 60 cm<sup>2</sup> équipés d'électrodes. En tout, ce sont, sur 100 m<sup>2</sup>, quelque 400 modules qui ont été installés sur les deux sites néerlandais.

Quid des rendements ? Ils restent assez faibles. Comptez une moyenne de 0,2 W

Une limitation liée notamment au phénomène électrique d'inversion de polarité, qui implique que les courants produits n'augmentent pas aussi vite que le nombre de "piles" végétales connectées ensemble. Un problème *"commun à tous les systèmes présentant des piles en série ou parallèles, explique le chercheur. Et le paramètre biologique complique les choses.*

des besoins d'un foyer moyen au Pays-Bas (qui consomme 3 500 kWh d'électricité par an). Mais encore faut-il disposer d'une telle surface...

## EXPLOITER DELTAS ET RIZIÈRES

En attendant de futures améliorations, et parce que rares sont les particuliers jouissant d'un jardin de plusieurs centaines de mètres carrés, les premiers usages envisagés se satisfont de moins de 100 m<sup>2</sup>, pour des appareils requérant peu de puissance (éclairage par LED, alimentation des points d'accès wi-fi, recharge des téléphones portables). Les "jardins électriques" de plus grande surface ont, eux, les meilleures chances d'être installés sur les toits. En effet, les plantes équipées de leurs électrodes, outre un appoint de fourniture électrique aux immeubles de bureau, assureront alors aussi les fonctions classiques des toits végétalisés : isolation thermique, stockage de l'eau, embellissement...

La suite ? *"Produire une énergie verte à grande échelle dans les zones naturelles humides : tourbières, mangroves, rizières..."*, annonce Marjolein Helder. Plant-e compte pour cela placer des tubes horizontaux équipés d'électrodes sous la surface de l'eau afin d'utiliser la décomposition des plantes aquatiques déjà présentes dans ces milieux naturels.

Prometteur. Le premier prototype extérieur est attendu d'ici à la fin de l'année.

## Méthane, eaux usées et biocapteurs microbiologiques

**Les piles microbiennes peuvent, c'est leur but premier, fournir du courant électrique. Mais c'est loin d'être leur seul intérêt. Nombre de laboratoires – chinois, américain, européen, australien, coréen – mènent des recherches pour tirer profit de l'interaction entre électrons et bactéries : dépollution des eaux, production d'hydrogène ou de méthane, surveillance des milieux naturels, traitement des métaux... Les débouchés sont extrêmement variés. Rares sont pourtant les dispositifs qui, comme ceux de Plant-e, de l'israélien Emefcy (pour le traitement des eaux usées), ou de la start-up lyonnaise Enoveo (qui exploite les signaux électriques des bactéries pour la création de biocapteurs microbiologiques), ont franchi le seuil des laboratoires.**

de puissance pour 1 m<sup>2</sup>, soit à peine de quoi alimenter une LED. C'est pourquoi les piles sont connectées entre elles afin de produire suffisamment d'électricité. Pas de quoi, en tout cas dans l'immédiat, faire la nique aux sources d'énergies actuelles, renouvelables ou pas.

C'est d'ailleurs l'une des principales limites qu'entrevoit Frédéric Barrière à cette technologie : *"Même si on peut très bien, selon moi, imaginer améliorer ces rendements, cela restera toujours de la basse puissance."*

*Difficile en effet d'avoir ici des performances exactement identiques pour chaque pile, comme c'est le cas avec des piles à combustible classiques, plus facilement contrôlables."*

Des limites qui ne semblent pas pour autant effrayer l'équipe de Plant-e. Elle estime en effet pouvoir diffuser très largement sa technologie, car même avec les faibles rendements actuels – que pourrait améliorer le choix d'autres plantes, bactéries ou matériaux constituant les électrodes – 400 m<sup>2</sup> de plantes connectées suffisent à répondre à 20 %

A consulter : les résultats des différents travaux sur le site [Plantpower.eu](http://Plantpower.eu) ; ainsi que le site [plant-e.com](http://plant-e.com) pour la technologie et ses dérivés.



**EN SAVOIR PLUS**

[science-et-vie.com](http://science-et-vie.com)



# Consultez en ligne 25 ans de Science & Vie !

Retrouvez + de 300 numéros de  
Science & Vie depuis 1989



Consultez  
+ de 15000  
articles

**Abonnez-vous  
aujourd'hui**  
pour bénéficier d'une  
consultation illimitée  
pendant 1 an

**Tarif  
abonné**

**12€**  
seulement  
au lieu  
de 36€

**Tarif  
lecteur**

**36€**

Faites des  
recherches efficaces  
grâce à un moteur  
de recherche  
performant

Chaque jour, une  
info scientifique inédite,  
surprenante ou insolite

[www.archives.sciences-et-vie.com](http://www.archives.sciences-et-vie.com)

## BULLETIN D'ABONNEMENT

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 m'abonne aux Grandes Archives.**

**Je suis abonné :**

☐ **Je règle la somme de 12 €**

J'aurai besoin de mon n° d'abonné pour me connecter.

819 326

**Je ne suis pas abonné :**

☐ **Je choisis l'abonnement aux archives seules :**

Je règle la somme de 36 €

819 334

☐ **Je choisis l'abonnement au magazine et aux archives**

(soir 35,90€\* l'abonnement + 12€ l'accès aux archives)

Je règle la somme de 47,90 €

819 342

➤ **Voici mes coordonnées :**

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) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

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 31/05/2015 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,30 €. 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. Service Abonnements - Science & Vie - 8 rue François Ory 92543 MONTRouGE Cedex. RCS B 452 791 262 - Capital : 1 717 360 €.

**SCIENCE & VIE**

**KIOSQUE  
mag**

Disponible sur  
**KiosqueMag.com**





^ Pour permettre l'accès à Internet aux 4 milliards de personnes qui en sont privées, Google s'apprête à placer des antennes relais dans des drones volant à 20 km d'altitude.





MOUNTAIN VIEW (ÉTATS-UNIS)

# Des drones solaires vont amener Internet là où il manque encore

C'est son vice-président, Sundar Pichai, qui l'a annoncé début mars: Google a l'intention d'effectuer, "au plus tard avant la fin de l'année", les premiers vols d'essai de ses drones stratosphériques, destinés à fournir un accès à Internet partout dans le monde. Ces avions sans pilote, dotés de deux larges ailes équipées de panneaux solaires, peuvent voler à une vingtaine de kilomètres d'altitude pendant plusieurs mois. Une technologie achetée au

constructeur Titan Aerospace par Google au printemps dernier. L'idée: disposer d'antennes relais couvrant des zones de 17 000 km<sup>2</sup>, comme un satellite géostationnaire, mais à moindre coût. Pour cela, les drones seront équipés de systèmes automatiques de positionnement et de transmission de données à longue distance. Et pourraient servir à offrir des moyens de communication d'urgence dans les zones de catastrophe. Google projette également

de les utiliser pour établir des cartes aériennes en temps réel.

Des usages qui ne sont pas sans rappeler ceux envisagés pour un autre de ses projets, Loon, dont les ballons stratosphériques ont été testés pour la première fois en Nouvelle-Zélande au mois d'août 2013. Drones et ballons devraient d'ailleurs travailler de conserve pour fournir un accès Internet aux quelque 4 milliards de personnes qui en sont encore privées.

E.T.-A.



PORTLAND (ÉTATS-UNIS)

## Un projet d'**hydroliennes** installées dans des **canalisations** est lancé

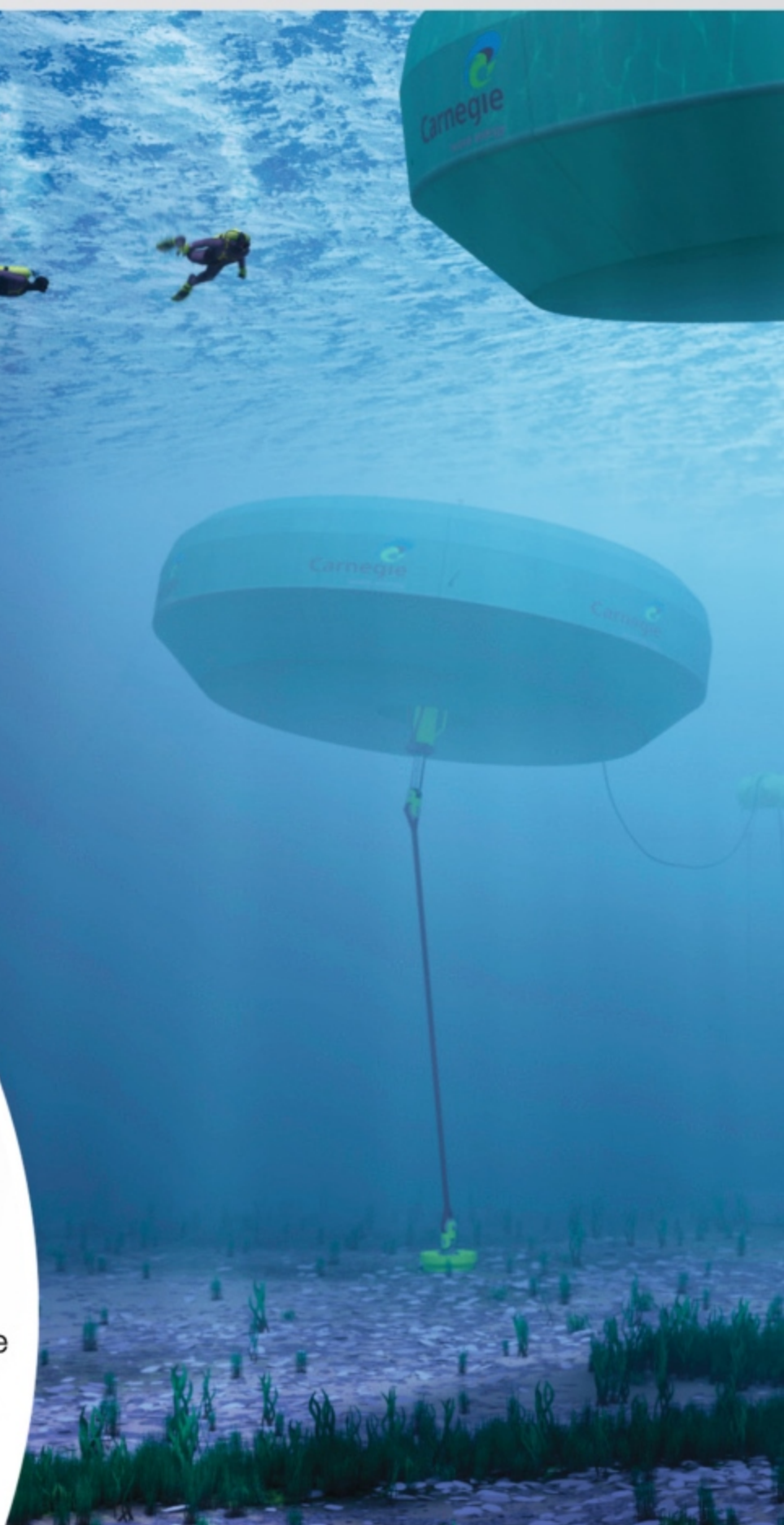
La société américaine LucidEnergy lance les LucidPipe, des sections de canalisations équipées d'hydroliennes qui se montent en une journée sur un réseau municipal. Le passage de l'eau fait tourner les pales et entraîne des turbines, produisant de l'électricité. Conçues pour prélever le minimum de pression, les LucidPipe peuvent donc se monter en série pour maximiser l'énergie produite. Quatre premières hydroliennes ont été installées en janvier dernier dans une canalisation de Portland. Elles produisent de quoi alimenter 150 foyers. **S.F.**



PERTH (AUSTRALIE)

## La première **centrale électrique houlomotrice** entre en service

Cette centrale vient d'être connectée avec succès au réseau australien. Au large de Perth, ses 3 bouées de 11 m de diamètre immergées entre 25 et 50 m montent et descendent au gré des vagues. Elles sont reliées à des pompes hydrauliques fixées sur le fond, elles-mêmes connectées à des tuyaux qui envoient l'eau sous pression aux turbines d'une centrale électrique sur la côte. Chacune des bouées de Ceto 5, le dispositif développé par Carnegie Wave Energy, produit actuellement 240 kW, mais la version 6, en préparation, devrait multiplier leur puissance par quatre. Utiliser les courants plutôt que la marée – comme les centrales marémotrices déjà existantes – rend la production permanente et l'infrastructure plus discrète. Le tout sans pollution, et avec un impact positif sur le littoral, car les bouées attirent aussi la faune marine! **E.L.**

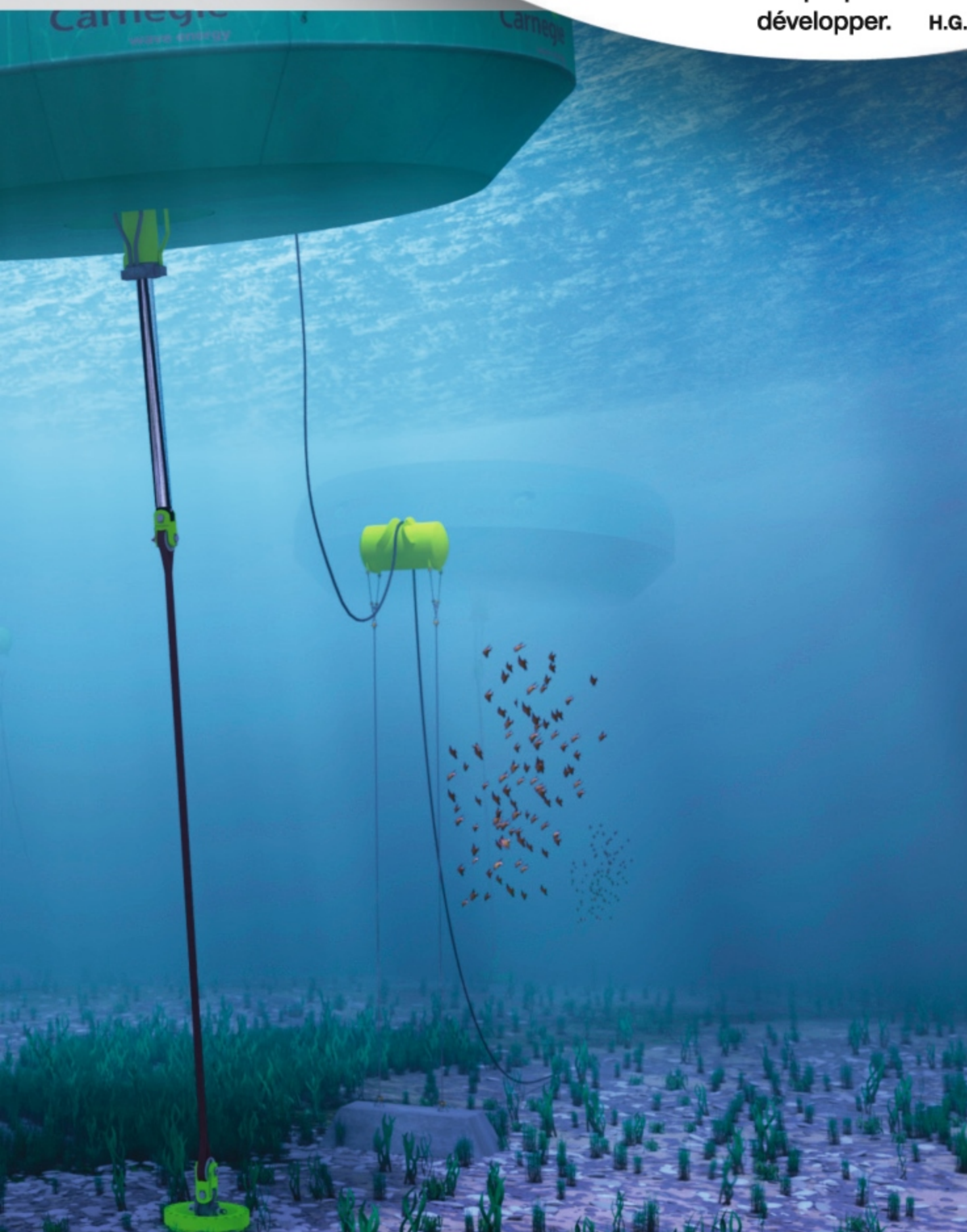




OXFORD (GRANDE-BRETAGNE)

# Des reforestations mieux gérées grâce aux drones

Plus précis et efficaces que les avions, plus rapides que l'homme, des drones pourraient aider à reboiser certaines régions du globe. C'est en tout cas le projet de l'équipe BioCarbon Engineering, menée par l'ex-ingénieur de la Nasa Lauren Fletcher. Evoluant à 3 m du sol, les robots lanceraient des petits tubes biodégradables contenant une graine prégermée et de l'hydrogel dans des zones déterminées grâce à une cartographie 3D, elle aussi réalisée par des drones. Les premiers essais sont prévus en Afrique du Sud et au Brésil. Forêts incendiées, anciennes cultures, mines abandonnées... nombreux sont les espaces où cette technique pourrait se développer. H.G.



## Idée neuve



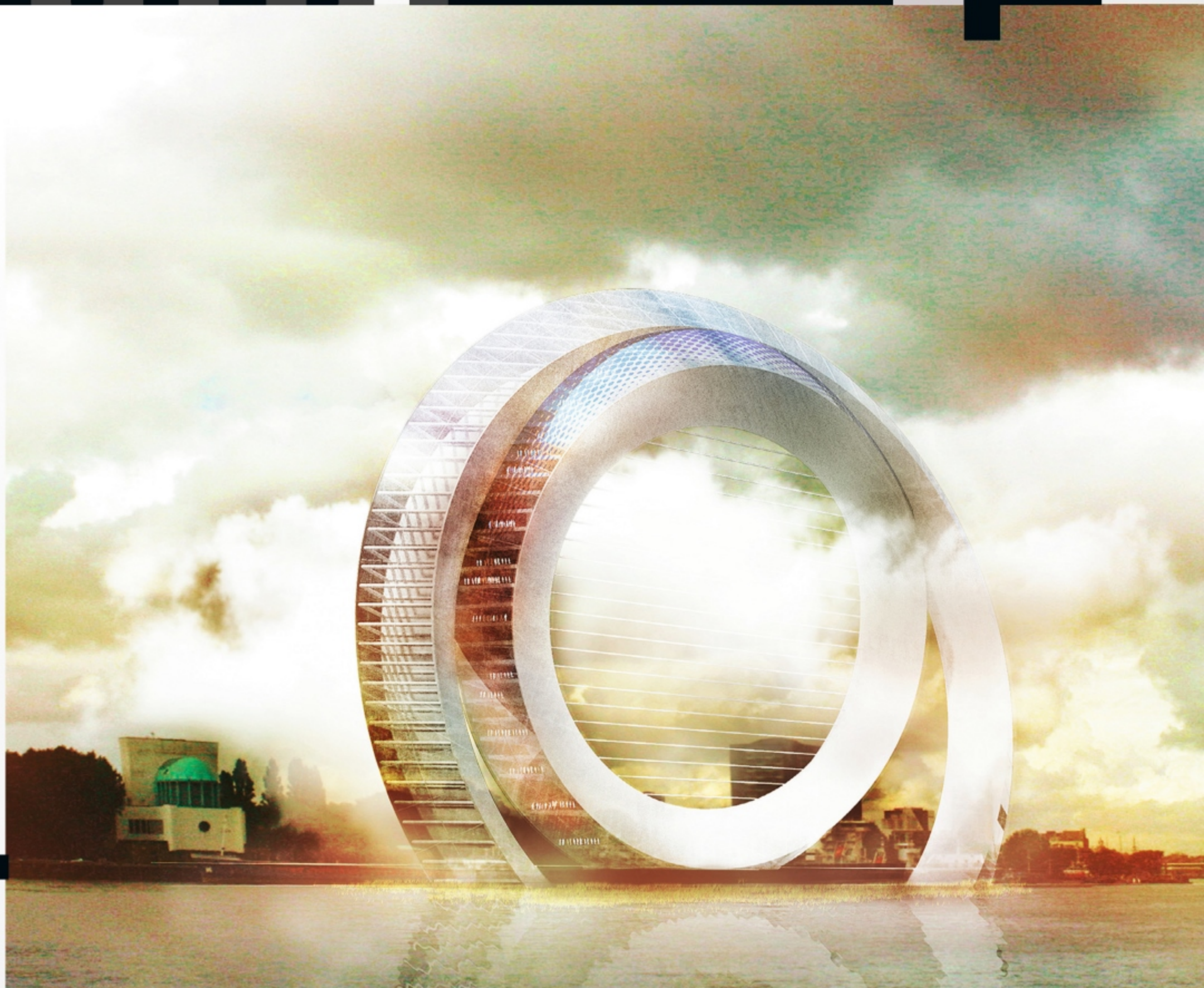
### “PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ GRÂCE À DU BÉTON PHOTOVOLTAÏQUE”

*Thorsten Klooster, architecte, chercheur, université de Kassel (Allemagne)*

Laisser au béton des murs le soin de capter l'énergie solaire pour la convertir en électricité ? Telle est l'idée de Thorsten Klooster et Heike Klussman, (université de Kassel). Dys-Crete, leur nouveau matériau, est composé d'un béton rendu conducteur par un additif sur lequel reposent trois couches de dioxyde de titane coloré, d'un électrolyte et d'un revêtement transparent, conducteur et protecteur. Les pigments présents dans le colorant, qui imitent la photosynthèse végétale, libèrent des électrons sous l'effet du rayonnement. Le revêtement transparent et le béton jouent alors le rôle d'électrodes en conduisant les électrons. “L'avantage de ce système, c'est que ces couches peuvent être vaporisées très facilement. Même si son rendement de 2 % est faible, ce système peut s'appliquer sur de grandes surfaces : tous les murs bétonnés de nos villes !” fait valoir Thorsten Klooster. Et comme il fonctionne aussi dans des conditions d'éclairage diffus, il peut même s'appliquer sur les façades exposées au nord. H.G.

STUDIO 2A - CETO - DR





## SAN FRANCISCO

### Les bouteilles d'eau en plastique en voie d'élimination

San Francisco vient de faire un pas vers l'objectif "zéro déchet" en décharge ou incinérateur, qu'elle s'est fixé pour 2020. A partir du 1<sup>er</sup> octobre 2016, il sera impossible d'acheter une bouteille d'eau en plastique dans les espaces publics. "*Bring your own bottle*" ("Apportez votre propre bouteille"), annonce la municipalité, qui vient d'inscrire cette décision dans la loi. Multiplication des fontaines publiques, amélioration du réseau d'eau, tout est fait pour oublier définitivement la bouteille en plastique. Reste à savoir si l'eau de source au robinet arrivera à convaincre les Californiens de ne pas se tourner vers les bouteilles de soda... Qui, elles, ne sont pas interdites.

B.C.

## NEW YORK

### Des cartes de la circulation tiendront compte du stress

Quelles routes emprunter à New York pour pédaler en toute quiétude ? Pour y répondre, Arlene Ducao, au Media Lab du MIT, a conçu MindRider Map. Pour ce faire, elle a fait rouler dans les rues de Manhattan dix cyclistes équipés d'un casque à électrodes enregistrant leur activité cérébrale. Leurs niveaux d'attention et de relaxation ont été matérialisés en couleurs sur la MindRider Map : du rouge, pour une vigilance accrue, jusqu'au vert, pour l'état le plus relaxé. La chercheuse espère augmenter le nombre de participants, et surtout renouveler l'exercice dans d'autres villes.

H.G.



ROTTERDAM

# Le concept d'un **immeuble** "moulin à vent" prend forme

Bien plus qu'un nouveau bâtiment à l'architecture originale – son anneau extérieur abrite notamment des cabines d'observation tournantes –, le Dutch Windwheel, imaginé par le cabinet d'architecture néerlandais Doe-  
pel Strijkers, doit accueillir en son centre une technologie encore jamais intégrée dans une construction: une éolienne sans pale. Baptisée Ewicon (Electrostatic Wind Energy Converter), elle se présente sous la forme d'une grille de tubes en acier horizontaux qui, lorsque le vent les traverse, diffusent des gouttelettes d'eau se chargeant positivement en créant un champ électrique. Comparé à une éolienne classique, l'absence de mouvement évite le bruit et réduit les coûts de maintenance. Ses concepteurs espèrent que, couplée à des panneaux photovoltaïques sur le toit, cette technologie permettra au bâtiment de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme. Verdict en 2025, date prévue pour sa construction dans le port de Rotterdam. L.B.



THE DUTCH WINDWHEEL - A. DUCAO

Rendez-  
vous en...  
**2050**

## L'ÉNERGIE SOLAIRE COÛTERA MOINS CHER QUE LE NUCLÉAIRE

En dix ans, le coût de l'énergie photovoltaïque a été divisé par cinq, atteignant 9 centimes par kilowattheure. Une baisse des coûts qui devrait, selon le cabinet d'étude allemand Agora Energiewende, encore continuer jusqu'à atteindre entre 2 et 5 centimes/kWh en 2050... contre 6 centimes aujourd'hui pour le nucléaire. Pour Philippe Malbranche, directeur de l'Institut national de l'énergie solaire, ces chiffres traduisent une évolution de longue date: *"Les innovations technologiques font baisser les prix. En trente ans, l'épaisseur des panneaux solaires en silicium est passée de 500 micromètres à 160. La quantité d'argent utilisé pour récupérer et faire circuler l'électricité a, elle aussi, énormément diminué, et les chercheurs pensent même le remplacer définitivement par du cuivre d'ici une dizaine d'années."* Mais l'innovation n'est pas, selon Philippe Malbranche, le seul levier pour faire chuter les prix aussi bas. *"Pour l'instant, le photovoltaïque souffre encore d'un manque de confiance des investisseurs. D'ici dix ans, l'innovation et la pérennité du photovoltaïque devraient changer la donne et abaisser le coût des emprunts."* De quoi voir enfin émerger un sérieux concurrent aux énergies conventionnelles. B.C.



CAMPS DE RÉFUGIÉS

# L'électricité à portée de tous grâce à des ballons captifs

Apporter de l'électricité dans les zones sinistrées aussi simplement que l'on gonfle un ballon, tel est le concept Zéphyr de deux jeunes designers français, Julie Dautel et Cédric Tomissi. Livré sous la forme d'un kit, le ballon est gonflé à l'hydrogène et recouvert d'une toile photovoltaïque de 15 m<sup>2</sup> pour capter l'énergie solaire en hauteur et la transmettre, via un câble, à un caisson au sol abritant des batteries et un générateur d'hydrogène. Moins encombrante que des panneaux solaires, l'installation fournit assez d'énergie pour alimenter une quinzaine de tentes en électricité et en chauffage, de jour comme de nuit, grâce à ses batteries. Autre avantage: contrairement à un groupe électrogène qui a besoin de carburant, elle est autonome et ne nécessite que de l'eau pour produire l'hydrogène. Ses concepteurs, qui recherchent financements et partenaires techniques, espèrent voir voler le premier Zéphyr d'ici trois ans.

L.B.





# Culture Science

122

## Bon à savoir

Santé, vie quotidienne, environnement... Petite moisson d'informations pratiques en direct des publications scientifiques et autres études.

124

## Questions / Réponses

Le chocolat dope-t-il aussi la mémoire ? Pourquoi y a-t-il des alvéoles sur les balles de golf ? A quel point le lait maternel est-il bénéfique ?...

130

## A lire / à voir

Deux livres sur les mécanismes cérébraux à l'œuvre quand nous prenons une décision ; un webdoc sur le réchauffement climatique ; un site qui explique le format mp3.

132

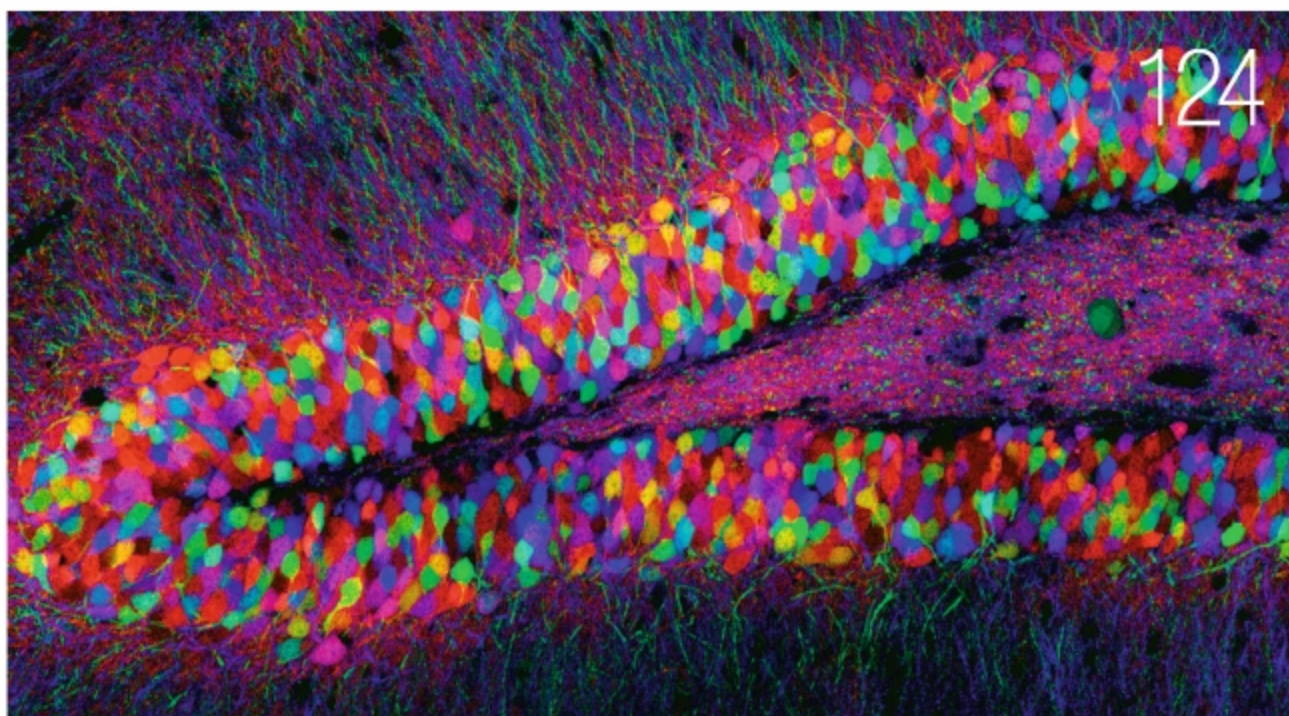
## Technofolies

Des écouteurs qui corrigent votre accent anglais ; un pilulier intelligent ; la première enceinte pour un son 3D et à 360° ; un scooter électrique à 4 roues...

136

## Il y a... 600 ans

En 1415, l'architecte italien Brunelleschi imaginait un astucieux mécanisme permettant d'observer en 3D un monument peint sur une toile. Il venait d'inventer la science de la perspective.



124



135



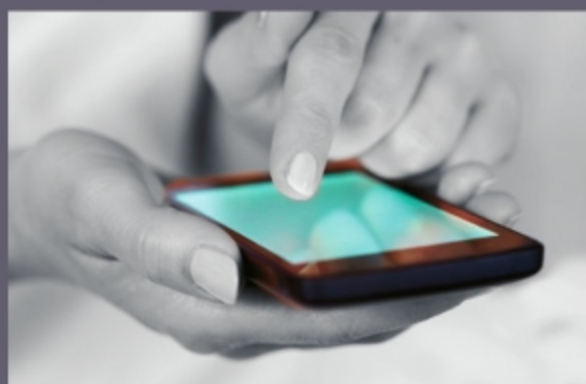
138

T.A. WEISSMAN - D.R. - INTERFOTO/LA COLLECTION



## LES HOMMES ONT MOINS DE MÉMOIRE QUE LES FEMMES

Ce serait surtout vrai après 40 ans, selon une étude américaine menée sur plus de 1 200 volontaires. Elle montre aussi que le volume de l'hippocampe, zone cérébrale impliquée dans la mémoire, se réduit plus vite chez eux. Les hormones féminines pourraient protéger les neurones. "JAMA Neurology", mars 2015



## LES SMARTPHONES FLATTENT LA PARESSE INTELLECTUELLE

Moins un individu aime réfléchir, plus il se sert de son smartphone pour obtenir des informations. Cependant, aucune baisse des capacités analytiques associée à la possession de ces téléphones n'a encore été observée... "Comput. Hum. Behav.", mars 2015

## LE SPORT INTENSE PRÉVIENT LE DIABÈTE

225 personnes obèses ont suivi pendant 6 mois des programmes sportifs de différentes durée et intensité. Tous ont perdu le même poids, mais à dépense calorique égale seuls ceux soumis à des efforts intenses ont vu leur glycémie s'améliorer. "Ann. Intern. Med.", mars 2015

# LES CÉRÉALES COMPLÈTES CONFIRMENT LEURS NOMBREUSES VERTUS

Des chercheurs de l'université Harvard ont analysé la consommation de céréales complètes (pâtes, riz, pain, petits déjeuners...) de 367 442 personnes sur 14 ans. Résultat : les 20 % qui en consommaient le plus bénéficiaient d'un taux de mortalité 17 % plus faible que les 20 % qui en consommaient le moins. Cette baisse était surtout due aux décès liés au diabète (-48 %), mais aussi à ceux dus aux infections (-23 %), aux maladies cardiovasculaires (-17 %), au cancer (-15 %) et aux maladies respiratoires (-11 %). "BMC Medicine", mars 2015

## LES PESTICIDES SONT AUSSI DANGEREUX POUR LES JARDINIERS OCCASIONNELS

La dangerosité de cinq pesticides a été revue à la hausse par l'OMS. Parmi eux, le malathion, le diazinon et le glyphosate, désormais classés dans les "cancérogènes probables". Ce dernier est particulièrement utilisé dans l'agriculture intensive et il est présent dans le Roundup. Cependant, ces trois pesticides se retrouvent aussi dans certains produits utilisés par les particuliers. Or les jardiniers ne respectent pas toujours les normes de sécurité (port de gants...), considérant que ces produits ne sont nocifs que pour les nuisibles. Les deux autres pesticides étudiés ont été classés "cancérogènes possibles" : le tetrachlorvinphos et le parathion. "OMS", mars 2015



SHUTTERSTOCK - P. PAHAM / SHUTTERSTOCK - S. WORDLEY / SHUTTERSTOCK - A. MÜLTHAUP / LAIF-REA





## UN "TIENS" VAUT... MOINS QUE DEUX "TU L'AURAS"

Un "tiens" vaut mieux que deux "tu l'auras" : la maxime ne résisterait pas à l'examen de la science. A travers plusieurs expériences, des chercheurs américains ont prouvé que notre concentration et notre investissement étaient décuplés lorsque le montant final d'une récompense n'était pas clairement établi. A la question : "Boiriez-vous cette bouteille d'eau en deux minutes pour 2 euros ?", 43 % des cobayes acceptent le défi. Lorsque la récompense est aléatoirement de 1 ou 2 euros, 70 % des personnes se prêtent au jeu. Encore plus probant : ces derniers tentent d'être encore plus rapides. Même s'ils sont conscients que la récompense est aléatoire, ils agissent comme si leur rapidité pouvait améliorer leur chance ! Les autres expériences expliquent que la possibilité d'une meilleure récompense est plus importante que le montant lui-même. "Journal of Consumer Research", février 2015

### À L'HÔPITAL, IL FAUT PORTER SON BADGE DU BON CÔTÉ !

Des chercheurs suisses ont noté, en étudiant 100 patients hospitalisés, que le badge d'un médecin est deux fois plus visible placé à droite qu'à gauche. Sa détection prend seulement 9 secondes dans un cas, contre 25 dans l'autre. "PLoS One", mars 2015

### LE BODY AIDERAIT LES PRÉMATURÉS À PROGRESSER

Des chercheurs français ont analysé les mouvements de 18 prématurés en body ou en pyjama avec turbulette. Résultat : les premiers bougeaient plus les bras et touchaient plus leur environnement et leur visage. Un plus pour leur développement. "Sci. Rep.", mars 2015

### LE NARGUILLÉ EST ENCORE PLUS NOCIF QUE LA CIGARETTE

Une séance de narguillé reviendrait à consommer de 20 à 30 cigarettes ; une bouffée égale presque le volume de fumée d'une cigarette. Or, la chicha libère près de 4 000 substances chimiques, dont certaines toxiques. "16<sup>e</sup> Conférence internationale tabac ou santé", mars 2015

## LE SAUNA PEUT ÊTRE BON POUR LE CŒUR

Rester allongé peut être bon pour la santé... si c'est dans une pièce chauffée à 79°C ! Des chercheurs finlandais ont montré que, parmi des hommes d'environ 50 ans, ceux qui se rendaient 4 à 7 fois par semaine au sauna n'avaient que 30,8 % de chance de mourir au cours des 21 années suivantes ; pour ceux qui y allaient 2 à 3 fois par semaine, le risque montait à 37,8 %, et il grimpait à 49,1 % pour une seule séance hebdomadaire. Cet effet bénéfique serait dû à la stimulation du cœur par la chaleur. Attention : chez les personnes qui souffrent déjà de maladies cardio-vasculaires, un avis médical s'impose avant une séance. "JAMA Internal Medicine", février 2015





# Le chocolat dope-t-il aussi la mémoire ?

Question de Jacky Moreau, Boismé (79)

Si les vertus du chocolat sur l'humeur sont connues, ses effets sur la mémoire sont une *"découverte encore trop récente pour qu'il y ait consensus"*, précise Richard Béliveau, chercheur en neurochirurgie.

Sachant qu'on parle ici exclusivement du chocolat noir, c'est-à-dire avec 70 % de cacao minimum.

L'an passé, des scientifiques de Columbia (É.-U.) ont observé que le cacao favorisait l'afflux sanguin vers une partie du cerveau essentielle à la mémorisation : le gyrus denté, dans l'hippocampe. Ainsi, des personnes âgées qui avaient régulièrement consommé

du cacao pendant trois mois retrouvaient leur mémoire d'il y a dix ans.

Un an plus tôt, des chercheurs de Harvard (É.-U.) avaient démontré le même genre d'effets : deux tasses de chocolat par jour pendant un mois et la capacité cognitive de 88 % des personnes au flux sanguin cérébral ralenti s'améliorait.

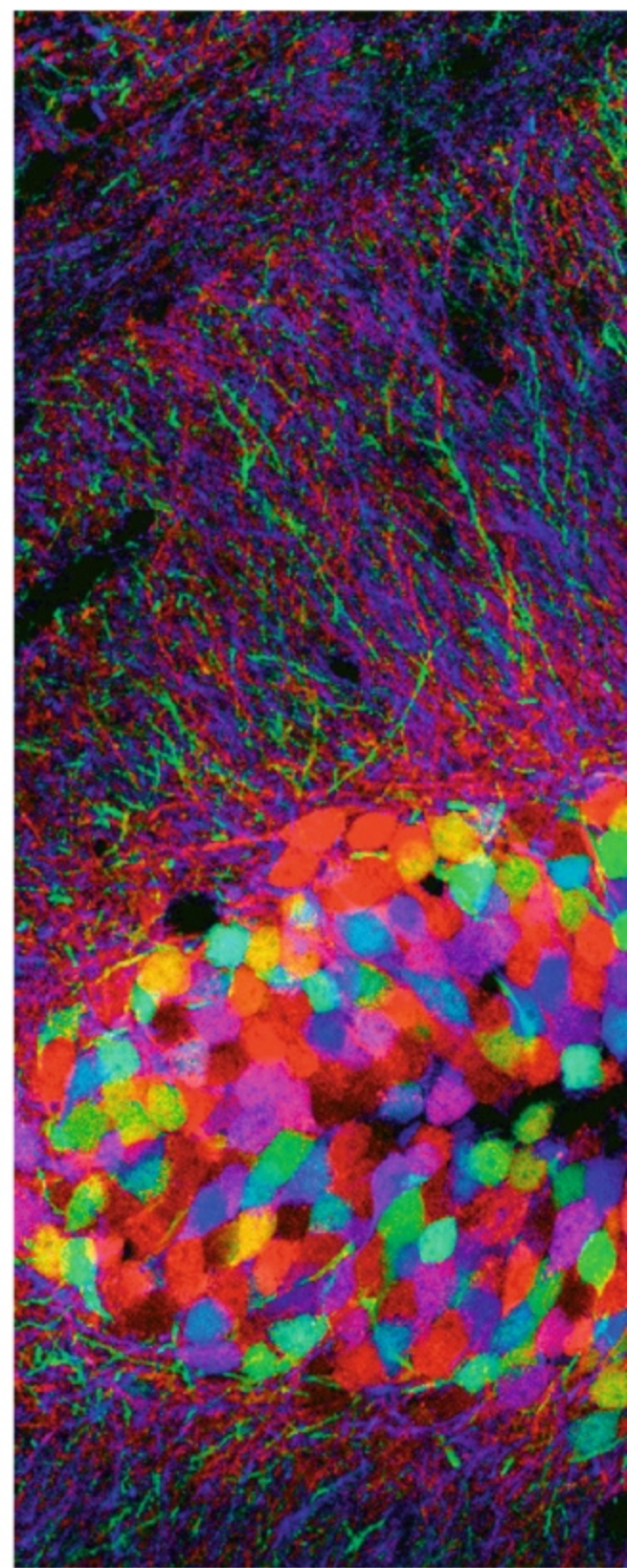
*"Le cacao, comme le thé vert, les baies ou le vin rouge, est une source exceptionnelle de flavanols, qui seraient responsables des effets positifs sur la mémorisation."* Car ces molécules ont une forte activité anti-inflammatoire ;

or c'est l'inflammation de cellules nerveuses qui entraîne la perte de mémoire.

Par ailleurs, les flavanols optimisent la circulation du sang au cerveau (ils ont un impact positif sur le risque de maladie cardiovasculaire). Ils améliorent aussi la réponse des cellules à l'insuline, une hormone importante pour les cellules cérébrales, ce qui jugule le déclin cognitif et le développement de la maladie d'Alzheimer.

Enfin, le chocolat recèle des stimulants, comme la caféine, qui, en favorisant l'attention et la concentration, facilitent la mémorisation.

F.C.



Le train Anvers-Amsterdam roule grâce à 5 ha de panneaux solaires.

## Le TGV pourrait-il rouler à l'éolien ou au solaire ?

Marie-France Di Giorgio, Montrouge (92)

Pour délivrer la puissance nécessaire au démarrage d'une rame, qui est alors à son maximum (environ 9 mégawatts), il faudrait entre 3 et 5 éoliennes (la puissance énergétique des éoliennes moyennes actuelles est de 2 à 3 MW). Pour l'option solaire, il faudrait mobiliser 6,5 ha de toiture photovoltaïque, soit plus de 8 terrains de foot (un panneau solaire moyen actuel produit une puissance optimale d'environ 150 W/m<sup>2</sup>). Depuis 2011, il existe un train "solaire" qui relie Anvers à Amsterdam. Les 5 ha de panneaux solaires, disposés sur un tunnel de quelques kilomètres au-dessus de la ligne, fournissent dans l'année de quoi faire rouler un TGV à 300 km/h durant 500 heures.

K.B.





< Le cacao favorise l'afflux sanguin vers le gyrus denté (photo), une région de l'hippocampe impliquée dans la mémorisation.

## Est-ce que la pluie tombe toujours à la même vitesse ?

Question d'Antoine Bocquier, Rennes (35)

Non. Tout dépend de la taille des gouttes, elle-même déterminée par les conditions météorologiques. Une goutte atteint sa vitesse de pointe lorsque les frottements de l'air s'opposent exactement à son poids. Or, plus la goutte est petite, plus les frottements prennent de l'importance. Ainsi, dans un brouillard, les gouttes mesurent 20 micromètres de diamètre et tombent à 1 cm/s. Les gouttes de pluie les plus courantes dans nos contrées mesurent entre 1 et 3 mm de diamètre et tombent à 15-30 km/h. Lors d'un orage, les gouttes, plus grosses, peuvent atteindre les 35 km/h. C'est la vitesse maximale de la pluie, qui correspond à la taille maximale d'une goutte – au-delà, elle devient trop sensible aux frottements, qui la font exploser. B.R.





# Pourquoi une goutte d'eau reste sur une plaque chauffante sans s'évaporer ?

Question d'Anne-Laure François, Arles (13)

Parce que, comme l'explique David Quéré, directeur de recherche au laboratoire de Physique et mécanique des milieux hétérogènes (ESPCI ParisTech), sur une plaque qui est environ deux fois plus chaude que la température d'ébullition de l'eau (200 °C), "la goutte est soutenue par un film de sa propre vapeur, visible à l'œil nu, qui l'isole de la plaque brûlante.

*A l'image d'un aérogeliseur, l'absence de contact avec la surface rend la goutte extrêmement mobile et empêche l'ébullition. Plus étonnant encore, lorsqu'elle est immobilisée, la goutte est visible quasiment une minute avant de disparaître !"*

## EFFET SPECTACULAIRE

Ce phénomène, appelé caléfaction ou effet Leidenfrost, du nom du pionnier

de sa description et de sa compréhension en 1756, a inspiré Jules Verne (les yeux de son héros Michel Strogoff sont sauvés par le film protecteur de ses larmes à l'approche d'une lame chauffée à blanc) et Marcel Proust ("un corps incandescent qu'on approche d'un objet mouillé ne touche pas son humidité parce qu'il se fait toujours précéder d'une zone d'évapo-

ration", écrit-il dans *Du côté de chez Swann*).

Il a également inspiré les ingénieurs spécialistes du refroidissement nucléaire ou des systèmes autopropulsés : "Une surface texturée en forme de 'toit d'usine' force la vapeur émise à s'échapper préférentiellement dans une direction, ce qui propulse la goutte dans la direction opposée", explique encore David Quéré. **A.P.**

## Tous les arbres d'une même espèce ont-ils la même taille ?

Cédric Stanghellini, Neuville-sur-Ain (01)

Eh bien non ! Au sein d'une même espèce, tous les arbres ne font pas la même taille. C'est que tous les arbres, quelle que soit leur espèce, voient leur hauteur limitée par le même facteur : le coût énergétique de la fabrication du bois, indispensable au transport de la sève. Lorsque la plante parvient à une certaine hauteur (plus de 100 mètres pour les séquoias, autour de 5 pour les pruneliers ou 50 pour les chênes...), la dépense énergétique devient trop forte et l'arbre ne peut plus répondre aux besoins de la croissance du bois.

Mais ce coût varie pour chaque individu selon sa stratégie écologique, la disponibilité d'eau dans le sol ou la présence de vent. C'est pourquoi "un chêne évoluant dans une forêt d'Auvergne pourra être cinq fois plus grand que s'il pousse dans le Midi", illustre Hervé Cochard, écophysiologiste à l'Inra. **F.C.**

## A quel point

Question de Louis Sachot,

D'abord, le lait de la mère est parfaitement adapté aux besoins de son bébé : il comporte des éléments qui, venant d'elle, ne peuvent pas être présents dans le lait infantile industriel, comme les cellules immuno-compétentes (globules blancs, anticorps...) ou divers facteurs de croissance. De plus, via son lait, la mère transmet les fragments protéiques des aliments qu'elle a ingérés.

"L'objectif des laits infantiles, c'est d'approcher au maximum le lait original, rappelle le professeur Patrick Tounian, pédi-

SHUTTERSTOCK - A.DAGAN

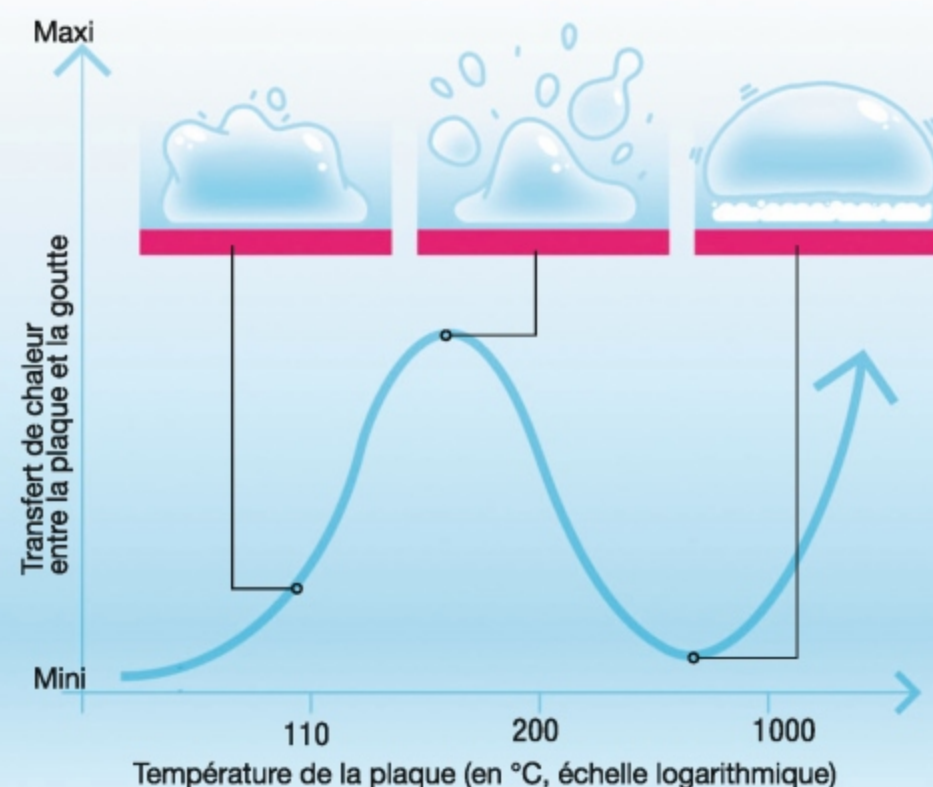
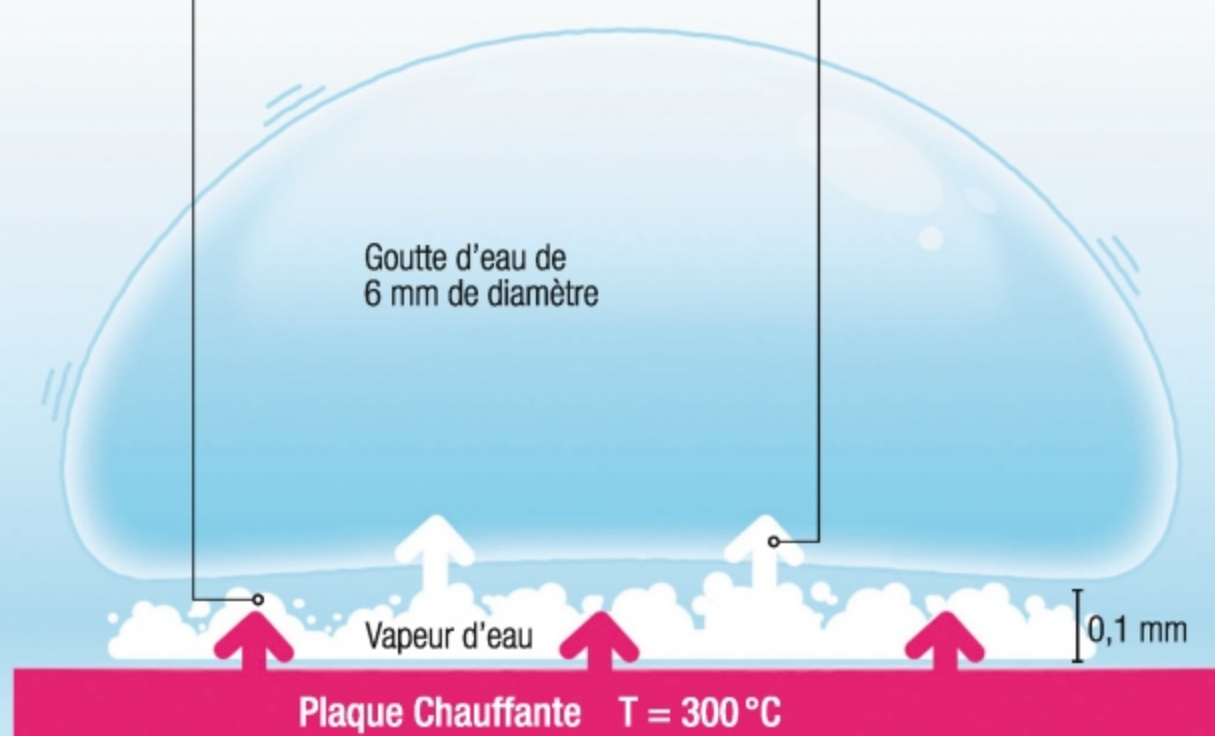


## Parce qu'elle est isolée thermiquement de la plaque par un coussin de vapeur d'eau

**1** Au contact de la plaque, la partie inférieure de la goutte se vaporise instantanément. Un coussin de vapeur d'eau se forme alors et maintient la goutte en suspension.

**2** Le transfert de chaleur de la plaque vers la goutte d'eau est dès lors réduit, car la vapeur est un très bon isolant thermique. La goutte s'évapore lentement.

**3** Ce phénomène est observé au-delà de 200 °C. Pour des températures inférieures, la goutte d'eau reste en contact avec la plaque : elle bout progressivement ou explose.



## le lait maternel est-il bénéfique ?

Bouillé-Loretz (79)

tre, nutritionniste et auteur de plusieurs ouvrages sur l'alimentation des enfants. *Mais je ne crois pas que l'industrie arrivera un jour à reproduire une copie identique ou meilleure.*

### BON POUR LE CERVEAU

Cette composition singulière semble grandement influencer sur la santé des bébés. Ainsi, le lait maternel jouerait un rôle important dans la prévention des infections (notamment digestives et respiratoires) et des allergies (à l'aide des protéines évoquées) lors des premiers mois du nourrisson. Il pourrait

même intervenir sur ses performances intellectuelles, grâce aux acides gras qu'il contient. C'est ce qu'a notamment montré une étude de l'université de Harvard (2013) sur des enfants de 3 et 7 ans : plus ils avaient été allaités longtemps bébés, meilleurs étaient leurs résultats aux tests cognitifs. Surtout lorsque la maman avait mangé du poisson, aliment riche... en acides gras. La même année, des chercheurs américains ont constaté que la substance blanche du cerveau des enfants (de 10 mois à 4 ans) était 20 à 30 % plus déve-

loppée chez ceux nourris au lait naturel.

Tous ces bénéfices sont reconnus, même si *"rien ne peut être établi formellement à cause des difficultés liées à ce genre d'observation, la population qui choisit l'allaitement n'étant statistiquement pas la même que celle qui la refuse"*, reprend le spécialiste.

Pour autant, *"les mères qui nourrissent leur enfant au biberon n'ont aucune culpabilité à avoir, rassure Patrick Tounian. Le lait artificiel répond correctement aux besoins du bébé"*.

F.C.

GAGNEZ UN  
ABONNEMENT  
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

**Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !**

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à 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-Ory  
92543 MONTROUGE CEDEX



# Pourquoi y a-t-il des alvéoles sur les balles de golf ?

Question de Carlos José, Cienfuegos (Cuba)

Parce que cela améliore l'aérodynamisme de la balle. *“Les alvéoles diminuent la traînée – ou résistance à l'air –, cette force qui s'oppose au mouvement de la balle dans l'air et ralentit sa course”*, précise Daniel Huilier, physicien à l'université de Strasbourg.

En effet, en s'introduisant dans ces cavités, l'air va générer des mini-tourbillons. Alors que

la mince couche d'air autour de la surface d'une balle parfaitement lisse est “laminaire”, c'est-à-dire homogène et continue, elle devient ici turbulente, ce qui réduit les forces de frottement. Conséquence : pour une même vitesse de *drive* initiale, une balle alvéolée sera moins freinée en vol qu'une balle lisse, et sa tra-

jectoire sera plus droite sur une plus grande distance.

Si, au XIII<sup>e</sup> siècle (en Hollande), la première balle de golf était lisse, les joueurs se sont vite rendu compte qu'une fois abîmé, leur projectile avait une meilleure portée.

Il a fallu cependant attendre le tout début du XX<sup>e</sup> siècle pour que l'ingénieur anglais William Taylor étudie scientifiquement, en soufflerie, ces effets des alvéoles sur la trajectoire des balles. **K.B.**

> Les alvéoles réduisent les frottements dans l'air : la balle vole vite et droit.

## Sait-on combien il y a d'atomes dans l'Univers ?

Question de Dominique Coulet, Paris 5<sup>e</sup>

Oui :  $10^{80}$  ! *“Ce chiffre ne vaut que pour la fraction visible de l'Univers, soit une sphère de 90 milliards d'années-lumière de diamètre centrée autour de nous, prévient Daniel Pfenniger, à l'Observatoire de Genève. En revanche, la taille de l'Univers dans son ensemble est inconnue et*

*on ne sait même pas s'il a une limite.”*

Pour compter les atomes, la méthode la plus directe consiste à compter les galaxies de l'Univers proche, à estimer le nombre moyen d'étoiles, ainsi que leur masse, puis à y ajouter la matière non lumineuse dont les astrophysiciens savent qu'elle

compte pour 90 % de la matière galactique totale, avant d'extrapoler à tout l'Univers visible.

Il existe deux autres méthodes. L'une se fonde sur la densité de photons et sur les abondances relatives des éléments légers dans l'Univers, fixées dans les premières secondes après le big bang. L'autre s'appuie sur les fluctuations de la première lumière émise par

l'Univers 380 000 ans après l'étincelle initiale. Or ces deux méthodes, extrapolées à l'ensemble de l'Univers visible, donnent le même verdict que la première :  $10^{80}$  !

*“Tout cela est très rassurant, s'enthousiasme Alain Riazuelo, à l'Institut d'astrophysique de Paris. C'est un fabuleux test d'auto-cohérence de nos théories d'évolution de l'Univers.”* **M.G.**

SHUTTERSTOCK



## Beaux jours !

# Abonnez-vous à Science & Vie



**Bénéficiez de  
30%  
de réduction !**

**35,90 €** seulement  
au lieu  
de 51,60 €\*

## 1 an - 12 numéros

**Profitez vite de cette offre exceptionnelle !**

**NOUVEAU !** Recevez la version  
numérique **OFFERTE** avec votre  
abonnement papier !



## BULLETIN D'ABONNEMENT

**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 m'abonne à Science & Vie pour**  
**1 an (12 n°) pour 35,90 €** au lieu de ~~51,60 €~~  
**soit 30 % de réduction**

819 292

☐ Je préfère m'abonner à **Science & Vie 1 an (12 n°)**  
+ **4 hors-séries** pour **49,90€** au lieu de ~~71,40 €~~\*  
**soit 30 % de réduction**

819 300

**Science & Vie le journal de tous  
ceux qui veulent vivre  
en intelligence avec le monde.**

➤ **Voici mes coordonnées :**

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) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

□  | | | | | | | | | | | | | |

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 31/07/2015 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,30 € et chacun des hors-séries au prix de 4,95 €. 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 Ory 92543 Montrouge cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €

C1172



Deux livres sur ce qui guide nos choix

# Tout ce qu'il faut savoir pour ne plus décider à la légère

Adam et Eve auraient-ils réussi le test du marshmallow? Cette drôle de question continue d'amuser Walter Mischel, professeur de psychologie à l'université Columbia, à New York, spécialiste mondial du *self-control* – en français, la maîtrise de soi.

Le test du marshmallow? Le psychologue l'a inventé au début des années 1960, dans l'école maternelle de l'université Stanford, en Californie.

## RÉSISTER À LA TENTATION

Dans la "salle des surprises", une grande pièce de jeu, les écoliers sont invités par Walter Mischel et ses étudiants à prendre une décision face à une terrible tentation: ils peuvent soit déguster immédiatement le marshmallow (de la guimauve) que l'expérimentateur vient de poser devant eux avant de partir, soit attendre qu'il revienne et se voir offrir alors un deuxième marshmallow.

L'expérience a été reproduite, depuis, des dizaines de fois. Adaptée à des enfants plus âgés, à des adultes...

Walter Mischel a décoré, quarante ans du-  
rant, ce qui fait que

certains enfants se ruent sur le premier marshmallow, pendant que d'autres inventent mille tactiques pour patienter; il a étudié, de l'enfance à l'âge adulte, les profils sociologiques, génétiques, psychologiques... de centaines d'individus ayant passé le test.

Et de livrer, dans un style très vivant, le bilan de ces recherches: oui, les enfants qui réussissaient le mieux à patienter devant le marshmallow sont aussi, une fois devenus adultes, les plus épanouis, ceux qui réussissent le mieux dans la vie. Oui, le comportement des parents, l'éducation, le contexte dans lequel s'exprime la volonté influencent sa fermeté. Et surtout, oui, il est possible de la renforcer.

Le psychologue consacre plusieurs chapitres aux différentes stratégies psychologiques que chacun peut mobiliser pour que les processus mentaux "froids" – qui analysent les conséquences de nos actions – l'emportent sur les processus mentaux "chauds" – qui incitent l'enfant à manger le premier marshmallow, l'adulte à se resservir un verre, reprendre du dessert, conduire trop vite...



WALTER  
MISCHEL



*Devenus adultes, les enfants qui étaient les plus patients au test sont plus résilients, plus souples en cas de conflit...*

Le *Test du marshmallow* est une ode à notre formidable capacité à décider, même face aux tentations les plus fortes. Il laisse cependant de côté une question centrale: quand nous réussissons à outrepasser nos pulsions, sommes-



3:34 / 3:45

^ Que décider? Manger le marshmallow tout de suite ou patienter jusqu'au retour du professeur... et d'un 2<sup>e</sup> bonbon?

nous sûrs de faire le meilleur choix? Sommes-nous capables d'être rationnels?

C'est à cette question que répond *Matière à décision*. Dans cet ouvrage à la fois pointu et remarquable de clarté, le neurobiologiste Thomas Boraud, directeur de recherche au CNRS, explique, sur la base des connaissances les plus récentes sur les neurones, que le cerveau humain n'est pas capable de produire de décision absolument rationnelle. Quand nous déci-

D. DINI/COLUMBIA UNIVERSITY - D.R. - T. BORAUD





**WEBDOC** 79° NORD



► **79° Nord**  
 ► De Frédéric de La Mure  
 ► <http://webdocs.diplomatie.gouv.fr/79nord/>

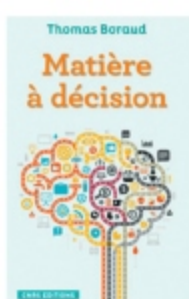
En plein cœur de l'Arctique, dans l'archipel de Svalbard, glaciologues, climatologues, hydrogéologues et biologistes étudient les conséquences du réchauffement climatique. Le web documentaire *79° Nord*, réalisé par le photographe Frédéric de La Mure, nous ouvre la porte de cet univers singulier, où la nuit d'hiver dure trois mois et où la fonte des glaces est une préoccupation quotidienne. Alimentés par la voix des chercheurs, de superbes diaporamas plongent dans l'ambiance unique de cet avant-poste du réchauffement. Seul bémol : une navigation parfois un peu déroutante. **H.G.**

**SITE**



► **The Ghost in the mp3**  
 ► De Ryan Maguire  
 ► <http://theghostinthemp3.com/theghostinthemp3.html>

Compressé, décompressé, recompressé... Quelle part du signal sonore enlève-t-on pour faire tenir un morceau de musique sur un fichier mp3 ? Ryan Maguire, chercheur en informatique musicale, a "déshabillé" la chanson *Tom's Diner*, de Suzanne Vega, et explique en détail le procédé. Le résultat : d'un côté, la version mp3, de l'autre le "ghost", les données perdues lors de la conversion. Ce fantôme musical devient un morceau à part entière, éthéré et envoûtant. Surprise : la chanson reste reconnaissable. Et l'on se prend à regretter les subtilités perdues. **B.C.**



*Homo sapiens n'est pas programmé pour être un Homo logicus comme notre culture occidentale aimerait nous le faire croire*

dons, nos neurones pèsent le pour et le contre, utilisent les enseignements des expériences passées... mais, par leur nature même, injectent du hasard dans nos délibérations intimes.

Conséquence : nous ne sommes pas les "homo lo-

gicus" que chérit la culture occidentale. Mais si la "logique pure n'est pas un avantage évolutif", c'est, comme le suggère le neurobiologiste, que les décisions irrationnelles ont, parfois, des conséquences bénéfiques. **F.LASSAGNE**

► **Le Test du marshmallow**

► De Walter Mischel  
 ► Ed. JC Lattès  
 ► 386 p., 19 €

► **Matière à décision**

► De Thomas Boraud  
 ► CNRS Editions  
 ► 264 p., 22 €



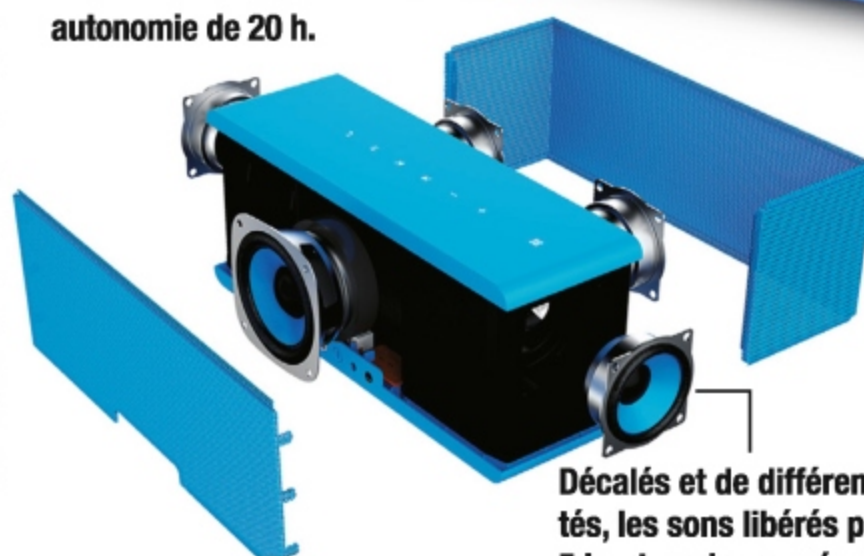
# La première enceinte pour un son 3D et à 360°

Comment recréer chez soi un son 3D comme au cinéma? Jusqu'ici, il fallait positionner différentes enceintes aux 4 coins d'une pièce pour avoir l'impression que le son sortait de différents endroits. Theatre Box, de la société américaine ACEMILE, devrait changer la donne. Cette enceinte unique est capable de diffuser un son 3D tout autour d'elle. Pour ce faire, elle se connecte *via* Bluetooth à votre mobile (ordinateur, téléphone...) pour récupérer le fichier son à diffuser (de type

Dolby pour avoir de la 3D, sinon elle diffusera le même son que n'importe quelle enceinte). Grâce à un algorithme, les cinq haut-parleurs de l'enceinte envoient ensuite chacun un son dans différentes directions, avec différentes intensités et différents délais. C'est la superposition de ces ondes sonores qui reproduit l'impression 3D. L'enceinte mesure 260 x 85 x 110,5 mm, pèse 1,5 kg et a une autonomie de vingt heures. **S.F.**

Prix : env. 300 €. Rens. : [www.acemile.net](http://www.acemile.net)

Theatre Box mesure 26 cm de longueur et fonctionne en Bluetooth avec une autonomie de 20 h.



Décalés et de différentes intensités, les sons libérés par les 5 haut-parleurs créent l'effet 3D.

✓ Ce pilulier éclaire la capsule qui contient le médicament quand il est l'heure de prendre son traitement.



## Ce pilulier intelligent veille sur le patient

Le pilulier Imedipac prévient le patient quand il est l'heure de prendre son traitement en éclairant la bonne case et en émettant une alerte sonore. Mais il permet aussi à des tiers de contrôler le suivi du traitement. L'accéléromètre du boîtier et le capteur optique de l'alvéole détectent le moment où le patient perfore l'opercule pour prendre sa pilule, et la carte SIM de l'appareil communique avec la plate-forme Medissimo, qui a pré-enregistré le traitement. Si le patient ne le suit pas correctement, proches ou médecin seront prévenus par SMS ou e-mail. **O.L.**

Prix : env. 50 €/mois (abonnement). Rens. : [www.imedipac.com](http://www.imedipac.com)



## LE COIN DES PROTOTYPES

## Des patins à roulettes accélérateurs de marche

Un tapis roulant embarqué sous les pieds, c'est ainsi que les concepteurs des Rollkers définissent leur prototype. "De loin, ils ressemblent à des patins à roulettes, décrit Paul Chavand, leur inventeur. Sauf qu'on n'a pas besoin de faire les mouvements d'un patineur : ils réagissent aux mouvements de la marche naturelle." Une fois les Rollkers fixés sous les chaussures, il suffit de marcher normalement pour accélérer, et même doubler son allure ! "Un système de capteurs gyroscopiques sensibles aux mouvements de l'utilisateur comprend s'il souhaite accélérer ou freiner et envoie l'information à un processeur qui réagit en contrôlant par exemple la vitesse de rotation des roues", précise l'inventeur. Connectés aux appareils électroniques, ils permettront de choisir certains paramètres (vitesse maximum...).

S.D.

Rens. : [www.rollkers.com](http://www.rollkers.com)

< L'enceinte peut être posée n'importe où : le son rayonne autour d'elle sur une surface pouvant atteindre 190 m<sup>2</sup>.

## Le pneu qui colle à la route été comme hiver

Un même pneu serait capable d'adhérer sur la neige en hiver, le bitume brûlant de juillet ou les orages du mois d'août : impensable ? Plus maintenant. Après trois années de développement, Michelin vient de présenter le premier pneu homologué été comme hiver : le CrossClimate. Pour y parvenir, le manufacturier de Clermont-Ferrand a notamment travaillé la bande de roulement, avec une sculpture en "V" qui permet d'optimiser l'adhé-

rence sur la neige. Cette sculpture est combinée à des lamelles 3D autobloquantes ultra-ondulées qui produisent un effet de griffe sur la neige et s'arriment entre elles par temps sec, offrant une plus grande rigidité et donc une meilleure adhérence.

E.T.-A.

Prix : non communiqué.  
Rens. : [www.michelin.fr](http://www.michelin.fr)

> La sculpture en forme de "V" de sa bande de roulement permet au CrossClimate d'adhérer sur toutes les surfaces.





✓ Cette ruche souple livrée en kit ne pèse que 3 kg.

## La ruche qui se pend sur son balcon

**Pour préserver les abeilles, la société française Bacsac a conçu un "nid" en toile imperméable. Souple et léger (3 kg), il reproduit la forme ovale de leur habitat naturel et peut se suspendre n'importe où (jardin, balcon...). A l'intérieur, sa structure à étages ressemble à celle des ruches traditionnelles: entrée par le bas et miel stocké dans la partie supérieure... que l'on récolte en ôtant le toit. Livrée en kit, cette ruche conçue pour être utilisable par le plus grand nombre se monte en quelques minutes. Il suffit ensuite, au printemps, d'attirer un essaim grâce à un baume spécial (fourni) placé à l'entrée.**

L.B.

Prix: env. 170 €.  
Rens.: [www.bacsac.com](http://www.bacsac.com)



➤ La Compute Stick fonctionne avec Linux ou Windows 8.1 et sa prise HDMI permet de la brancher sur une télé.



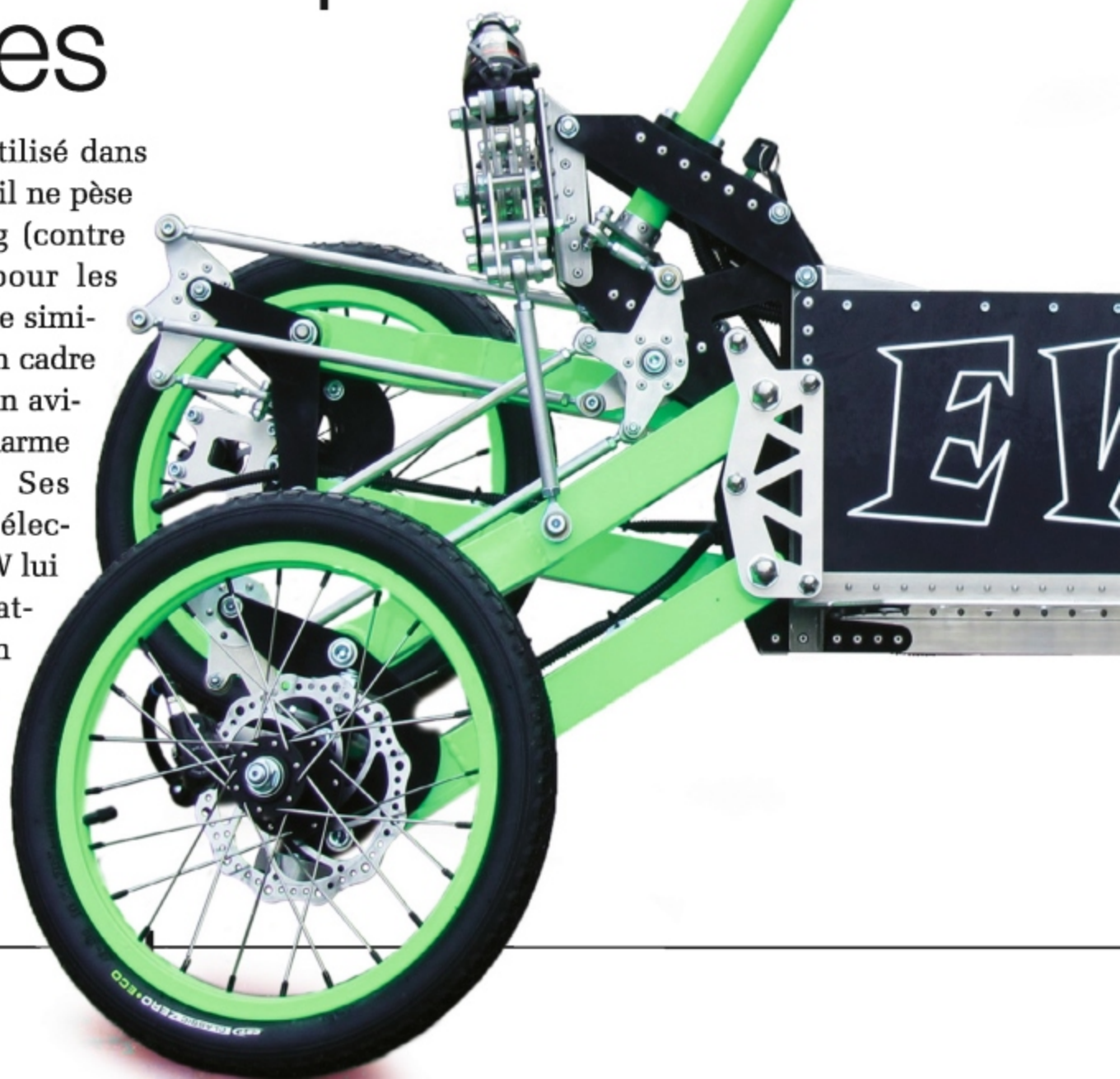
## Un scooter électrique à quatre roues

Quand on prend un virage en roulant, il faut résister à la force centrifuge: soit en se penchant (deux-roues), soit en profitant de points d'appuis écartés (voiture). Le scooter électrique EV4 de la société polonaise Aero-service combine ces deux propriétés. Il se penche sans risque dans les virages, grâce à une suspension qui s'adapte au terrain et permet à ses 4 roues de ne jamais quitter le sol. Plus stable qu'un scooter à 3 roues, il est aussi plus léger: constitué principalement d'un alliage

d'aluminium utilisé dans l'aéronautique, il ne pèse que 41 à 53 kg (contre 75 à 100 kg pour les modèles essence similaires). Avec son cadre riveté comme un avion, il a tout le charme du Meccano. Ses deux moteurs électriques de 500 W lui permettent d'atteindre 40 km/h pour une autonomie de 30 à 50 km.

S.F.

Prix: env. 5 000 €.  
Rens.: [www.ev4.pl/index-en.html](http://www.ev4.pl/index-en.html)







## Un ordinateur de poche dans une clé USB

Il suffit de brancher cette clé sur n'importe quel écran équipé d'une prise HDMI (téléviseur, vidéo-projecteur...) pour le transformer en ordinateur. La Compute Stick, du fabricant américain Intel, contient tout le nécessaire: un processeur quatre cœurs, de la mémoire vive (1 ou 2 Go), de l'espace de stockage (8 ou 32 Go), et un système d'exploitation (Windows 8.1 ou Linux). Ses prises USB et sa connexion Bluetooth 4.0 permettent d'ajouter

clavier et souris sans fil, à moins d'utiliser les propriétés tactiles de l'écran. Alors que les clés HDMI existantes, comme la Google Chromecast, servent de passerelles entre l'écran et un autre appareil numérique, la Compute Stick, elle, est complètement autonome: elle sert aussi bien à faire de la bureautique qu'à naviguer sur Internet en wi-fi ou regarder des films. Elle doit être alimentée *via* une prise mini-USB. **O.L.**

Prix: à partir de 100 €. Rens.: [www.intel.fr](http://www.intel.fr)



< Inspiré de l'univers aéronautique, ce 4 roues ultra-léger en alliage d'aluminium peut atteindre 40 km/h.

## Sa visière abrite un rétroviseur "virtuel"

Le Skully AR-1 bénéficie d'une visière nouvelle génération: grâce à un petit écran situé au niveau de l'œil droit et une petite caméra grand angle fixée à l'arrière, le pilote peut voir, en temps réel, ce qui se passe dans son dos, comme dans un rétroviseur "virtuel".

Le guidage GPS peut aussi être projeté sur cet écran, accompagné d'un message sonore. Ce casque permet également d'écouter de la musique ou de téléphoner (grâce au Bluetooth, par commande vocale). Disponible en précommande, Skully AR-1 sera mis en vente au mois de juillet. **E.T.-A.**



Prix: env. 1 130 €. Rens.: [www.skullysystems.com](http://www.skullysystems.com)

## Des écouteurs qui corrigent votre accent anglais

Améliorer sa prononciation anglaise et réduire son temps d'apprentissage... Voici les promesses de la startup Sound for Life. Son casque Pronounce associe micro, processeur et conduction osseuse afin de modifier en temps réel la perception de votre voix en fonction des fréquences utilisées par l'anglais. Un filtre dynamique corrige instantanément l'intensité, la hauteur et la durée des accents portés sur les syllabes prononcées dans le micro et les transmet dans le casque. A recharger *via* USB. **E.T.-A.**



Prix: env. 150 €. Rens.: <http://fr.pronounce.com>



1415

# Filippo Brunelleschi invente la perspective

Les curieux se pressent dans l'atelier de Filippo Brunelleschi. L'architecte, sculpteur, orfèvre et peintre florentin propose, en cette année 1415, une singulière attraction: il a représenté sur un panneau de bois le baptistère San Giovanni de Florence, tel qu'il apparaîtrait à l'œil d'un visiteur situé en face, à l'intérieur de la cathédrale. Au centre, à hauteur d'œil, Brunelleschi a percé le panneau d'un trou qui s'élargit en cône vers la face arrière jusqu'à atteindre la taille d'une pièce de monnaie. Le spectateur est invité à y placer son œil et, tenant le panneau d'une main, à se placer à la bonne distance d'un miroir.

L'effet est saisissant: l'œil semble voir le baptistère octogonal "pour de vrai". L'image reflétée est exactement celle que le bâtiment réel aurait produite dans l'œil. Les visiteurs sont stupéfaits.

## LA "VUE TRAVERSANTE"

Pourtant, dans cette Italie qui vit depuis près d'un siècle une éclosion sans précédent de la peinture, la représentation a déjà fait des progrès énormes en jouant sur les rapports de taille entre les personnages, ou les ruptures du parallélisme des lignes suggérant l'éloignement d'un objet par rapport à un autre. Giotto, par exemple, un siècle avant,

s'est initié à la profondeur, apprenant à faire converger les traits perpendiculaires au plan du tableau en un point appelé "point de l'œil". Les lois de l'optique géométrique d'Euclide (la *perspectiva naturalis*) lui étaient connues. Et l'étude des réfractions de la lumière, des grandeurs apparentes et des illusions, des jeux d'ombres et de lumière connurent un essor considérable à partir du XII<sup>e</sup> siècle.

Un savoir empirique s'est constitué, mais sans rigueur géométrique: les artistes juxtaposaient différentes méthodes, certaines même incompatibles entre elles, pour représenter dans un même tableau plusieurs objets "en perspective"...

chaque objet ayant en général la sienne.

Il y avait donc, en 1415, dans le dispositif de Brunelleschi, quelque chose d'incontestablement nouveau. En glissant le tableau entre l'œil et l'objet, l'artiste formalise un concept inédit de "vue traversante", dans laquelle la toile et la subjectivité de l'artiste s'effacent pour restituer la réalité géométrique apparente de l'objet. En invitant le spectateur à trouver la bonne place et la bonne distance par rapport au miroir, le peintre suggère que le point d'observation détermine ce qui est vu: ce qui est dessiné correspond à ce qui serait réellement vu en un point fixé de l'espace.

## SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

### 1993 IL EXISTE D'AUTRES GÉOMÉTRIES

Pour représenter rationnellement la réalité, les artistes font appel à la géométrie euclidienne bâtie sur des points et des droites. Or, elle "n'est plus qu'une géométrie parmi d'autres" depuis les travaux de Nicolas Lobatchevski. "Le coup final viendra en 1872" avec la géométrie algébrique de Félix Klein. **S&V n° 910** @



### 1998 LA RÉVOLUTION DU DESSIN ANIMÉ EN 3D

Comble de la complexité: représenter des objets en perspective et en mouvement. "Grâce aux nouvelles technologies, le dessin animé franchit ces limites." Pour *Mulan*, "les studios Disney ont conçu sur ordinateur des Barbares et leurs montures en trois dimensions. On voit même leurs ombres se découper sur la neige!" **S&V n° 975** @







< V Le stratagème du Florentin Filippo Brunelleschi permettait de voir le baptistère comme s'il était réellement là, en regardant le tableau dans un miroir à travers un trou percé dans le panneau de bois.



Comment? L'humaniste Leon Battista Alberti l'explique vingt ans plus tard dans son *De pictura*: il faut imaginer le cône visuel qui, partant de l'œil, aurait pour base l'objet à représenter. Ce cône

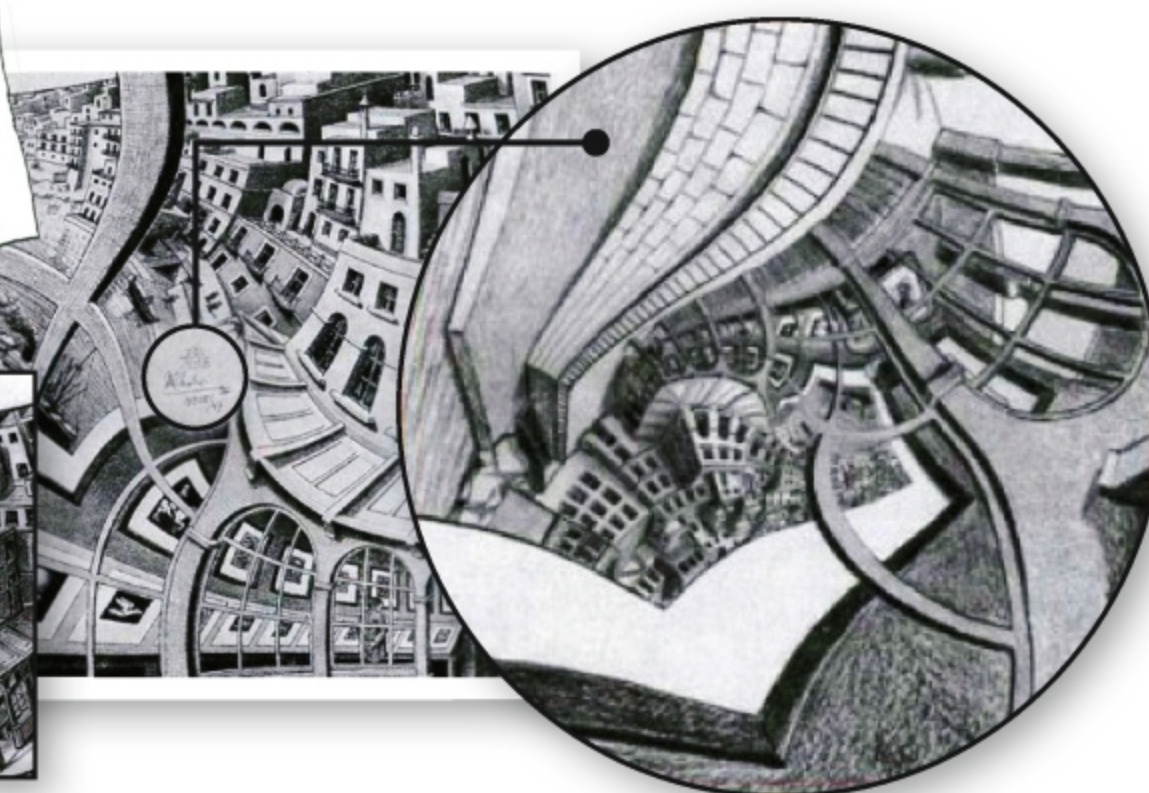
coupe le plan du tableau, dessinant point par point la réalité perçue par l'œil.

La règle du géomètre devient l'outil du peintre. Mais les peintres se soucient plus d'esthétique que de mathématiques. Et pour un

géomètre averti, les toiles de la Renaissance sont d'une justesse très relative.

Guidobaldo del Monte établit, en 1600, en des termes euclidiens plus rigoureux, une véritable théorie des parallèles en perspective.

*"Si l'œil voit des lignes parallèles qui, prolongées, rencontrent la section – c'est-à-dire le plan du tableau – les lignes apparentes dans la section se rencontreront en un point unique, aussi haut que l'œil au-dessus d'un*



## 2002 LES MATHS AU SECOURS DU PEINTRE

*"Quarante-six ans après que Maurits Escher a dessiné son Exposition d'estampes, des mathématiciens ont réussi à compléter l'espace central laissé vide" par ce maître du trompe-l'œil. Basée sur des "projections conformes, qui respectent les angles lors des transformations", la toile est en fait "une surface de Riemann [...], 'courbe elliptique définie sur les nombres complexes'".*

S&V n° 1023



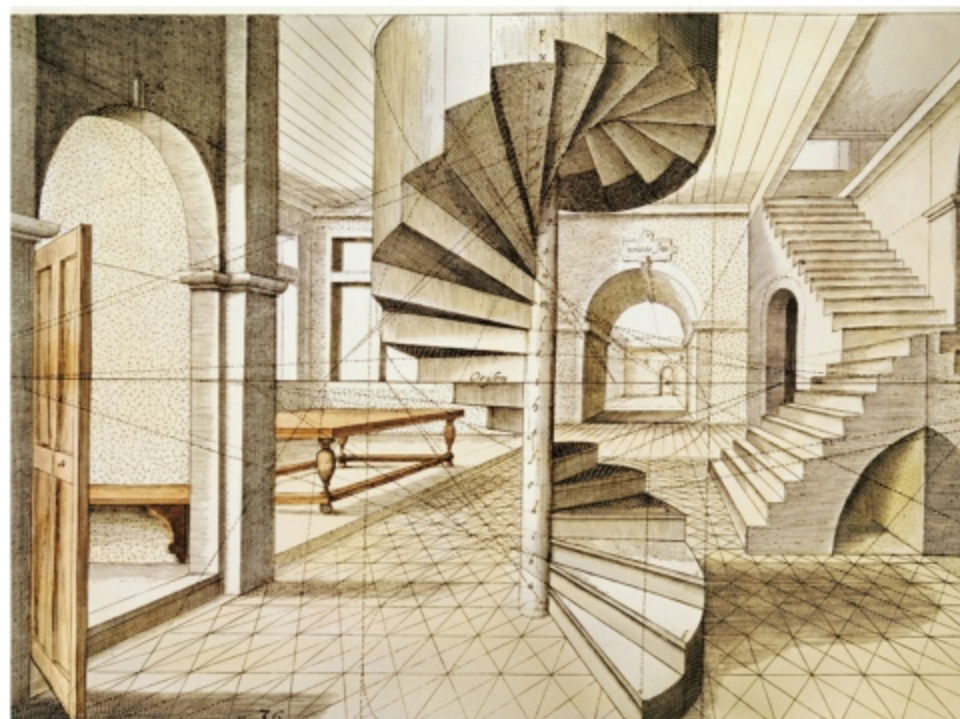


→ plan parallèle aux lignes parallèles", démontre-t-il. En d'autres termes, tout ensemble de droites parallèles à représenter se projettent sur le tableau en un ensemble qui converge vers un point "de fuite".

### UNE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

En 1639, le mathématicien français Girard Desargues poursuit ce travail de conceptualisation avec une théorie des sections coniques présentées comme les perspectives possibles d'un cercle. La *perspectiva artificialis* de la Renaissance est pour lui une forme particulière de projection centrale, consistant à relier par une droite chaque point d'un objet à un point fixe de l'espace (l'œil), pour projeter ces points sur une surface donnée (la toile) et obtenir une nouvelle représentation de l'objet, dont il recherche les éléments mathématiquement invariants.

Gaspard Monge utilise au siècle suivant ces



^ Au XVII<sup>e</sup> s., les règles de la géométrie organisent la construction du tableau autour d'un "point de fuite" (ici un plan de l'architecte de Vries).

concepts pour développer une géométrie descriptive dont le but est de représenter, sans perdre d'information, tout objet en 3D dans les 2 dimensions d'une feuille de papier. Mais c'est un de ses disciples, Jean-Victor Poncelet, qui invente en 1822 la géométrie projective. Elle s'appuie sur le principe de projection centrale, transformation qui conserve les propriétés d'incidence (intersection, contacts...), mais ni les distances ni les

angles, contrairement aux transformations usuelles (rotations, symétries...) de la géométrie euclidienne. La géométrie projective élimine peu à peu la notion de point de vue pour étudier les propriétés communes à toutes les projections centrales d'un même objet.

Science et arts poursuivent ensemble, au XX<sup>e</sup> siècle, ce chemin radical. Rompant avec Galilée et Newton, Einstein abandonne l'idée de référentiels privilégiés

qui permettraient de définir un espace et des mouvements absolus : tout mouvement devient relatif à un référentiel donné et l'espace lui-même (sa géométrie), déformé par la présence des objets, ne peut être considéré indépendamment d'eux.

Picasso va plus loin encore : il s'affranchit avec *Les Femmes d'Alger* de la perspective unique et de l'angle privilégié, pour représenter les corps simultanément peints sous toutes leurs facettes. Cubisme et relativité abandonnent ainsi l'idée cardinale d'un référentiel ou d'un observateur absolu, qui s'appuierait sur un espace géométrique euclidien. Les représentations sont élargies à des dimensions géométriques supérieures (l'espace-temps à 4 dimensions) pour intégrer la relativité de tous les regards que l'on peut porter sur un même objet. Deux visions, scientifique et artistique, qui ouvriront chacune des perspectives révolutionnaires. **Emmanuel Monnier**

## SCIENCE&VIE en parlait encore

### 2003 LE JOUR OÙ LE CUBISME A TUÉ LE POINT DE VUE UNIQUE

S&V revient sur *Les Femmes d'Alger*, achevé en 1907, qui a bouleversé la perspective : "Le monde classique vient de s'écrouler ! A deux ans d'intervalle, [...] Einstein a fondé la théorie de la relativité restreinte, [et] Picasso signé l'acte de naissance du cubisme [...]. Il n'existe plus de perspective unique : "La représentation des corps dans l'espace et le temps passe par l'abandon d'un référentiel absolu." S&V n° 1027



### 2005 CES PREMIERS HOMMES QUI INVENTAIENT LE DESSIN ANIMÉ

De Marsoulas à Chauvet, "près de la moitié des animaux figurés dans l'art des cavernes sont en action. [...] En décomposant des actions à travers une succession d'images" ou en les superposant, "les artistes du Paléolithique ont plaqué sur la roche le 'film' de leurs images mentales". "Ils maîtrisaient déjà toutes les techniques artistiques : représentation des volumes et de la perspective..." S&V n° 1049



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)



# Votre dose quotidienne de savoir



## SCIENCE&VIE TV

la chaîne pour comprendre

---

@ScienceetvieTV

[www.science-et-vie.tv](http://www.science-et-vie.tv)



Disponible chez tous les opérateurs TV habituels



+ LES GOÛTS +  
D'UNE LÉGENDE\*



BK RCS Strasbourg 775 614 308

— 1128 —  
+ GRIMBERGEN +  
BIÈRE D'ABBAYE - ABDIJBIER

\*Grimbergen, une gamme large de bières, la légende de la marque née en 1128.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.