

Né de père absent

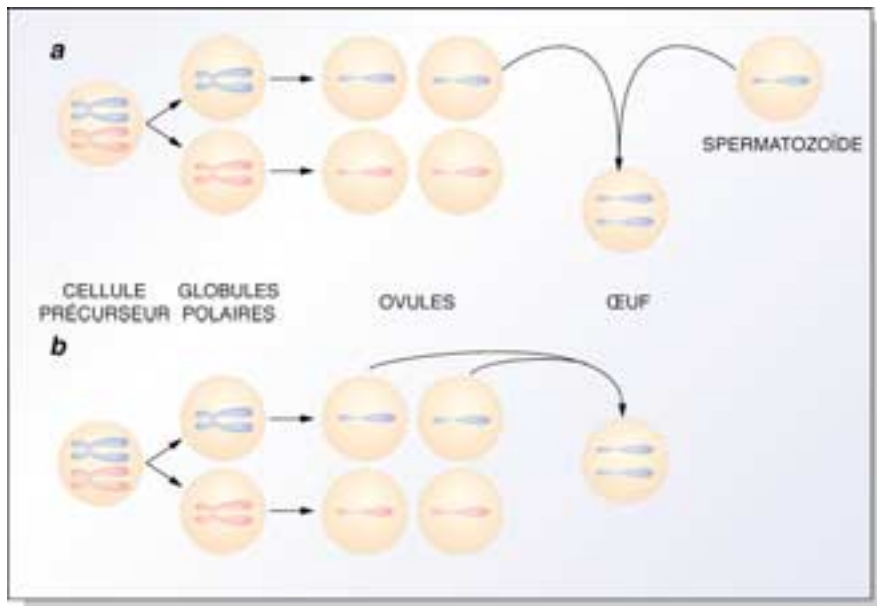
Des serpents femelles donnent naissance à des mâles sans s'accoupler.

Un animal naît généralement de l'accouplement de deux individus de sexes différents. Toutefois, dans certaines espèces, les femelles peuvent donner naissance à des jeunes sans le concours d'un mâle : c'est la parthénogenèse. On observe ce mode de reproduction chez des invertébrés (abeilles, pucerons...) et chez quelques vertébrés, dont plusieurs reptiles.

Ainsi le gecko, petit lézard du Pacifique Sud, est une espèce unisexuée qui se reproduit par clonage : tous les individus sont des femelles. Jusqu'à présent, la parthénogenèse n'était attestée que pour une seule des 2 800 espèces de serpents recensées. Des biologistes viennent de découvrir que cinq autres espèces peuvent aussi se reproduire par parthénogenèse, les femelles ne donnant alors naissance qu'à des mâles.

Des serpents femelles d'espèces bisexuées, maintenus en captivité en l'absence de mâles, produisent des jeunes. Fécondent-elles leurs ovules avec du sperme stocké dans leurs voies génitales, comme c'est souvent le cas chez les reptiles ? C'est peu probable, car les spermatozoïdes ainsi emmagasinés ne resteraient viables qu'une dizaine de mois, et l'une des femelles procréatrices n'a pas eu de contact avec un mâle depuis 14 ans. En outre, la comparaison de l'ADN des femelles et de leurs jeunes confirme l'absence d'éléments d'origine paternelle. Aucun doute possible : les jeunes sont issus de parthénogenèse.

Pourquoi, au contraire de ce qui se passe pour les lézards, tous ces jeunes serpents nés sans père sont-ils des mâles ? Dans le cas de la reproduction sexuée « normale », les cellules sexuelles des deux sexes, les gamètes, sont produites lors de la méiose à partir d'une cellule précurseur. Celle-ci, qui contient n paires de chromosomes (n dépend de l'espèce), se divise d'abord en deux globules polaires, qui contiennent chacun n chromosomes (un de chaque paire). L'un de ces globules est éliminé et, dans le second, les deux brins d'ADN qui composent chaque chromosome se séparent. Ce second globule se divise alors en deux nouveaux globules polaires, qui contiennent chacun n brins d'ADN. Chaque globule devient un gamète fonctionnel : un œuf résultera de la fusion de ce gamète avec un gamète de l'autre sexe.



Chez les reptiles, la femelle porte deux chromosomes sexuels différents (on n'a figuré que ces deux chromosomes, en bleu et en rouge, dans les cellules), et le mâle en porte deux identiques (ici, bleus). Lors de la production de cellules sexuelles par la femelle (a), une cellule précurseur (à gauche) se divise en deux « globules polaires », qui contiennent chacun un chromosome sexuel différent. Puis chaque globule polaire se divise à son tour, et forme un ovule fonctionnel. Dans plusieurs espèces de serpents, deux évolutions sont possibles. Si la femelle s'accouple avec un mâle, un œuf est formé par fusion de l'ovule avec un spermatozoïde (en haut à droite). En l'absence d'accouplement (b), les deux ovules issus du même globule polaire fusionnent et forment un œuf, qui contient ainsi deux chromosomes sexuels identiques : c'est un mâle.

Dans le cas des serpents parthénogénétiques, les deux ovules issus de la seconde division fusionnent, comme si l'un d'eux était un spermatozoïde, et forment un œuf. Chez les reptiles, la femelle porte deux chromosomes sexuels différents, Z et W, tandis que le mâle possède deux chromosomes sexuels identiques (ZZ) (chez les mammifères, en particulier chez l'homme, c'est le mâle qui porte deux chromosomes sexuels différents). Lors de la méiose, la division de la cellule précurseur du gamète produit deux globules polaires qui ne contiennent chacun que l'un des deux chromo-

somes sexuels : Z ou W. Les deux globules formés par la seconde division contiennent donc tous les deux le même chromosome sexuel. La fusion de ces deux globules produit un œuf de type ZZ ou WW. Le développement d'un œuf qui contient deux chromosomes sexuels Z produit un mâle. Les œufs qui contiennent deux chromosomes W, en revanche, ne correspondent à aucun des deux sexes et ne se développent donc pas : on observe effectivement une forte proportion d'œufs stériles chez ces femelles qui ne s'accouplent pas.

Catherine PERRIN

Moussons inattendues

Des moussons vieilles de 525 000 ans remettent en question les modèles d'évolution des climats.

Depuis un million d'années, les pluies tropicales d'été, nommées moussons, sont renforcées tous les 20 000 ans environ (quand la Terre passe au plus près du Soleil pendant l'été de l'hémisphère Nord), pendant quelques milliers d'années. Martine Rosignol-Strick (CNRS-Université Paris VI), Martine Paterne et Franck Bassinot (CEA)

ont découvert que les moussons africaines et indiennes ont été énormes il y a 528 000 - 525 500 ans, à un moment où elles auraient dû être à peine renforcées. Cette anomalie serait le signe d'un événement climatique exceptionnel à l'échelle planétaire.

La Terre a enregistré l'amplitude de ces moussons dans les sédiments marins. M. Rosignol-Strick et ses collègues ont étudié une carotte forée en Méditerranée, à l'Est de la Sicile. Dans cette carotte, les sédiments généralement clairs sont entrecoupés de quelques couches noires, très riches en matière organique, qui indiquent que des moussons exceptionnellement fortes ont frappé l'Afrique de l'Ouest.

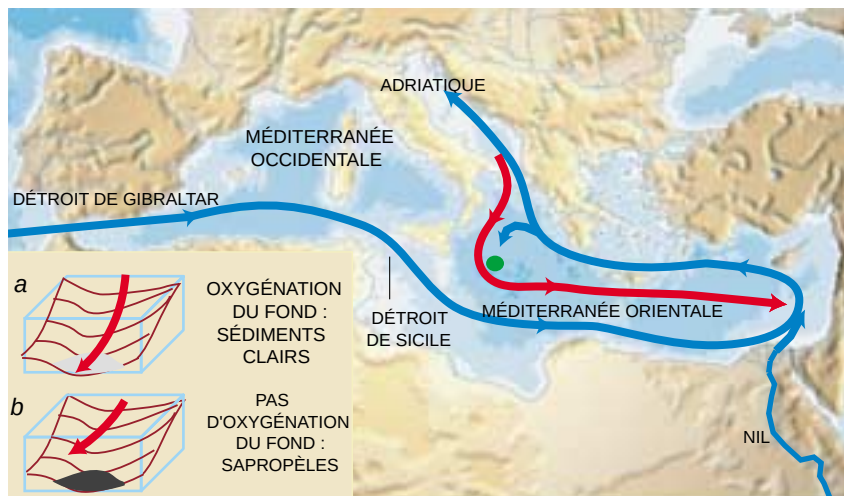
Dans ce bassin oriental de la Méditerranée, l'eau de surface vient de l'océan Atlantique. En revanche, la circulation d'eau profonde est bloquée par les détroits, et l'eau de fond résulte de l'enfoncement, en hiver, de l'eau dense (froide et salée) de la surface de l'Adriatique. Cette eau alimente le fond du bassin en oxygène et assure la survie des bactéries aérobies. Ces bactéries oxydent la quasi-totalité des déchets organiques, de sorte que les sédiments au fond de la mer sont de couleur claire.

Sur le Nord de l'Éthiopie, les pluies de la mousson d'Afrique de l'Ouest alimentent la crue du Nil, qui se déverse au Sud-Est de la Méditerranée. Quand la mousson est particulièrement forte, l'eau de ces crues, mêlée à l'eau de mer, est entraînée jusqu'à l'Adriatique. L'apport d'eau douce est alors tel que l'eau de surface n'est plus assez dense pour s'enfoncer beaucoup : le fond de la mer n'est pas assez oxygéné pour que les bactéries aérobies survivent. Les bactéries anaérobies, qui les remplacent, ne dégradent pas les débris organiques les plus résistants, qui s'accumulent et colorent en noir le sédiment, nommé alors sapropèle.

Afin de dater ces sédiments, on relie l'alternance des sédiments clairs et noirs à celle des périodes glaciaires et interglaciaires dont on connaît les dates. Pour cela, on prélève les coquilles de certains micro-organismes marins dans les carottes sédimentaires. Leur analyse renseigne sur la proportion d'oxygène lourd par rapport à l'oxygène normal, dans l'eau des océans, proportion qui dépend du volume total des glaces.

Ainsi, on a trouvé que le dépôt d'une des couches de sédiments noirs de Méditerranée a commencé il y a 528 000 ans, et s'est terminé il y a 525 000 ans. Pourtant, à cette époque, l'insolation d'été était relativement faible dans l'hémisphère Nord, et les pluies de mousson n'auraient pas dû être si abondantes sur l'Afrique de l'Ouest : habituellement, seule une forte insolation d'été dans l'hémisphère Nord, en accentuant les différences de pression entre l'hémisphère Sud froid et des zones très chaudes de l'hémisphère Nord, renforce les vents de mousson responsables des pluies.

En outre, l'étude de sédiments prélevés dans l'océan Indien a révélé de fortes moussons indiennes, exactement à la même période. Il reste aux paléoclimatologues à trouver le phénomène climatique responsable de ces énormes moussons africaines et indiennes, que n'explique pas l'intensité de l'insolation terrestre.



Circulations des eaux méditerranéennes : les flèches bleues représentent la circulation des eaux de surface, et les flèches rouges les eaux profondes. En hiver, les eaux froides et salées de l'Adriatique s'enfoncent : la matière organique est oxydée (a). En cas de moussons d'Afrique exceptionnellement fortes, les abondantes eaux de pluies diminuent la densité des eaux de surface : les eaux de l'Adriatique s'enfoncent moins, et n'apportent plus l'oxygène aux matières organiques qui ne sont plus complètement oxydées. La fraction non oxydée s'accumule dans les sédiments comme ceux découverts à l'Est du détroit de Sicile (point vert).

Exploration virtuelle du côlon

Une méthode non invasive dépiste les polypes, sources potentielles de cancer du côlon.

Le dépistage précoce est l'une des conditions d'un traitement efficace des cancers. Dès lors, comment détecter les signes avant-coueurs de la maladie ? Une nouvelle méthode permet une exploration virtuelle du côlon, reconstitué à partir d'images prises au scanner.

Le cancer du côlon est la deuxième cause de mortalité par cancer en France, et les polypes en sont un indice précurseur. Ces petites tumeurs, de quelques millimètres de diamètre, bénignes au début, dégénèrent souvent en cancer. Pour les dépister, on recherche du sang dans les selles, mais le test (*Hémocult*) est peu sensible et peu fiable.

Les gastro-entérologues espèrent disposer bientôt de la coloscopie virtuelle, née de l'association du scanner à rayons X et de logiciels informatiques performants. L'endoscopie est une méthode fiable, mais qui présente quelques inconvénients : on introduit dans le côlon, par l'anus, un endoscope, une sorte de caméra miniaturisée équipée d'un minuscule scalpel qui sert à l'ablation des polypes visualisés grâce à la caméra.

Cette méthode n'est pas envisageable pour un dépistage de masse, car elle nécessite une anesthésie, qui augmente le coût de l'opération et n'est pas dénuée de risques. De surcroît, exceptionnellement, l'endoscope risque de perforer la paroi colique.

Au contraire, un examen par endoscopie virtuelle se déroule comme un scanner abdominal classique, sans injection d'un produit améliorant les contrastes. Comme lors d'une endoscopie, la personne subit une préparation pour nettoyer le côlon des selles ; au début de l'examen, le côlon est distendu par de l'air à l'aide d'une sonde introduite par l'anus, et le médecin administre un médicament qui relaxe les muscles du côlon. L'abdomen est ensuite exploré par scanner X : la table où est placé le patient avance lentement, pendant que le tube à rayons X tourne autour. Des détecteurs enregistrent les rayons X qui traversent l'organisme et fournissent les données nécessaires à la reconstruction des images des « coupes » de l'intestin. L'examen dure une vingtaine de minutes. Ensuite, la coloscopie virtuelle est réalisée sur les données stockées par l'ordinateur, tandis que la personne examinée est déjà repartie. Les programmes informatiques reconstituent l'abdomen et, notamment le côlon, en trois dimensions. Le médecin étudie à l'aide d'un logiciel adapté cet abdomen selon toutes les incidences qui l'intéressent. Il peut même observer l'inté-

rieur du côlon, grâce à une lumière virtuelle qu'il y déplace. Les images brutes sont en noir et blanc, comme des radiographes, mais le système les colore artificiellement.

Dans ces conditions, les polypes apparaissent comme des excroissances dans le côlon. On détecte aisément les polypes de plus de 10 millimètres de diamètre, mais la sensibilité est médiocre pour les polypes de moins de cinq millimètres (on n'en détecte qu'un sur trois environ). Une des principales difficultés tient aux risques de confusion entre un polype et un résidu fécal. Selon Gérard Schmutz, du Service de radiologie du Centre hospitalo-universitaire de Caen, qui évalue cette nouvelle méthode, la coloscopie virtuelle devrait être utilisée lors des premières explorations des malades à risques. En cas de doute, si l'on détecte un polype à l'endoscopie virtuelle, on doit pratiquer une endo-



Grâce à la coloscopie virtuelle, on observe l'intérieur du côlon sans y faire pénétrer aucun endoscope.

scopie classique, plus sensible, et qui, seule, permet l'ablation des polypes.

Simultanément, poursuivant leur quête de méthodes d'exploration ou de traitement peu invasives, les méde-

cins cherchent comment détruire les polypes par voie externe. Ils étudient, par exemple, des substances qui se fixeraient spécifiquement sur les polypes et qui, quand on les activerait par un faisceau laser, libéreraient un facteur nécrosant le polype sur lequel ils se sont fixés. D'autres études visent à étendre le domaine d'application de l'endoscopie virtuelle du côlon à toute structure tubulaire, par exemple la trachée, l'œsophage ou encore les vaisseaux sanguins.

Un examen par coloscopie virtuelle coûte environ trois fois moins cher qu'une coloscopie classique. Il est dénué de risques, mais l'irradiation

par les rayons X équivaut à neuf radiographies pulmonaires. Malgré cet inconvénient, la coloscopie virtuelle devrait devenir une méthode de prévention du cancer du côlon.

Séisme en Afghanistan

Aura-t-il un successeur?

Il y a deux mois, un séisme de magnitude 6 avait ébranlé les montagnes de l'Hindu Kush, en Afghanistan. Le 30 mai 1998, un nouveau séisme de même intensité a frappé à nouveau, durant la nuit : 4 000 personnes ont péri, ensevelies dans leurs habitations qui avaient été sans doute fragilisées par le premier séisme.

Pourquoi cette répétition? Pendant une semaine, les seules informations dont ont disposé les géologues ont été les enregistrements sismologiques du réseau mondial, et les relevés tectoniques effectués lors de précédentes missions. La géologie de la région est déterminée par le mouvement de deux plaques tectoniques : l'Inde, qui comprime l'Asie à la vitesse de quatre à cinq centimètres par an depuis 40 millions d'années, s'enfonçant en partie sous elle, provoque la surélévation de l'Himalaya et du Tibet ; la collision des deux plaques découpe dans l'Asie de gros blocs, limités par des failles. On avait étudié certains de

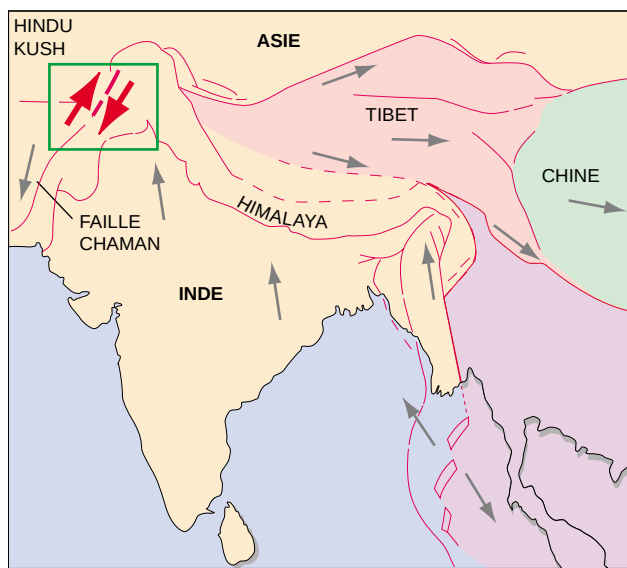
ces blocs qui se déplacent vers l'Est (tel le Tibet) ; le séisme du 30 mai 1998 concerne un bloc à l'Ouest de l'encoche produite par l'enfoncement de l'Inde dans le continent asiatique.

Comment ce séisme est-il né? Le réseau mondial de sismomètres, dont fait partie le réseau français Géoscope, a pu identifier la position et la profondeur du séisme, superficiel. En déterminant le sens des premiers mouvements du

sol et en mesurant l'amplitude des ondes sismiques guidées par la surface du Globe, on a déterminé l'orientation de la faille qui a coulissé : le plan de décrochement orienté Nord-Nord Est/Sud-Sud Ouest s'étend sur une vingtaine de kilomètres de longueur, sur dix kilomètres de profondeur, et la rupture de ce plan s'est répercutée en surface. Le décrochement a atteint environ un mètre, le long d'une cassure irrégulière.

À quoi servent de telles informations? Tout d'abord, les tectoniciciens ont été intéressés d'observer que la faille qui a coulissé est dans le prolongement d'un système de failles déjà connu, plus au Sud (faille de Hodarab), ainsi que dans le prolongement direct d'une très grande faille qui, encore plus au Sud (la faille de Chaman), forme la limite occidentale des plaques indienne et asiatique. D'autre part, comme la faille fautive n'est pas exactement au même endroit que celle qui a rompu il y a deux mois (80 kilomètres plus au Nord) et que son mécanisme est identique, on peut imaginer qu'une zone encore sous contrainte, entre les deux, risque de lâcher bientôt.

R. ARMIJO et P. BERNARD, Institut de physique du Globe

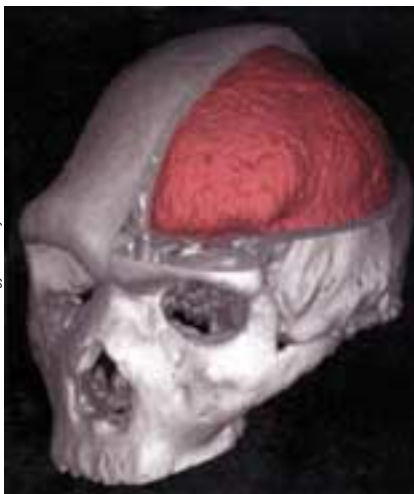


L'Inde, qui heurte l'Asie, crée des chaînes de montagnes et repousse de gros blocs (en couleurs) limités par des failles (en rouge). Le séisme du 30 mai a eu lieu à l'endroit encadré en vert ; les flèches rouges indiquent le décrochement détecté par les sismomètres.

Crânes virtuels

Les fossiles sont les seuls témoins directs de nos ancêtres. Toutefois, les conservateurs de musées prêtent difficilement ces Pierres de Rosette. Les crânes fossiles, en outre, renferment beaucoup d'informations inaccessibles par des méthodes traditionnelles. Aujourd'hui, les images tridimensionnelles (obtenues à l'aide de scanners identiques à ceux utilisés par les médecins), la réalité virtuelle et les techniques de modélisation par ordinateur viennent à la rescousse des paléo-anthropologues, qui réalisent ainsi des analyses impossibles à pratiquer sur les fossiles originaux. Les parties manquantes d'un crâne peuvent être reconstruites à l'aide des parties conservées, des déformations postérieures à la mort de l'individu corrigées, et de minuscules structures cachées (par exemple de l'oreille interne) grossies. De plus, les anthropologues reconstituent, sur leur écran, des fossiles brisés.

On mesure aussi, virtuellement, tous les paramètres accessibles par les mesures classiques, et, souvent, avec la même précision. En créant un moule virtuel de l'intérieur du crâne, on détermine le volume du cerveau : Glenn Conroy, de l'Université de Washington, a ainsi montré que le volume du cerveau d'un australopithèque de 2,5 millions d'années avait été surestimé de près de 20 pour cent. Les estimations des capacités crâniennes d'autres fossiles pourraient également être incorrectes : selon les nouveaux résultats obtenus avec l'imagerie virtuelle, il faudra peut-être reconsidérer les modèles d'évolution du cerveau.



Ce crâne fossile virtuel d'un homme archaïque de Petralona, en Grèce, révèle les structures cachées comme les sinus. Un moule de l'intérieur du crâne permet l'étude du cerveau.

Après les images tridimensionnelles, les anthropologues vont découvrir la réalité virtuelle : un modèle en résine transparente est réalisé, par stéréolithographie, à partir d'une image informatique. La résine est polymérisée par un faisceau laser, couche après couche, de sorte que toutes les structures internes, notamment la boîte crânienne, les sinus et les canaux où passaient les nerfs, sont reproduits. Des crânes qui se ressemblent extérieurement peuvent cacher des différences internes, de sorte que l'étude des caractéristiques morphologiques internes des crânes fossiles apportera sans doute des éléments nouveaux au débat sur les origines de l'homme de Néandertal et de l'homme moderne.

D'autre part, selon une hypothèse récente, fondée sur la taille d'un canal qui innerve la langue, les Néandertaliens auraient eu une capacité de langage proche de la nôtre ; la réalité virtuelle aidera les anthropologues à tester cette hypothèse.

Les paléontologues envisagent de créer des archives numériques, contenant les images des principaux fossiles du monde entier. Grâce à l'Internet et à un logiciel approprié, ils pourront étudier n'importe quel fossile, faire leurs propres mesures, et, éventuellement, réaliser un modèle par stéréolithographie. Ces techniques d'imagerie ne remplaceront pas l'observation directe des fossiles ou de leurs moulages classiques, seul moyen d'obtenir une précision submillimétrique ; l'imagerie complétera ces méthodes traditionnelles, surtout quand son coût aura notablement diminué.

Épiderme de culture

Les grands brûlés peuvent être sauvés par des autogreffes de cellules d'épiderme multipliées en culture.

Une personne brûlée profondément sur plus des deux tiers de la peau n'a qu'une chance sur dix de survivre. Peut-être parce qu'on ne s'occupe pas assez tôt de sa peau. Les grands brûlés sont aussi de grands blessés et les réanimateurs tentent de sauver le blessé avant de traiter ses brûlures. Or, selon Hervé Carsin de l'Hôpital d'instruction des armées Percy, à Clamart, les chances de survie dépendent en tout premier chef du traitement de la peau brûlée : comme cette dernière libère des toxines dans l'organisme, on doit la retirer chirurgicalement le plus rapidement possible. L'équipe de l'Hôpital Percy a montré, au

terme d'un suivi de 30 personnes, que les chances de survie des grands brûlés traités par la technique de greffe d'épiderme de culture atteignent 90 pour cent.

Pour traiter les malades, les chirurgiens retirent la peau brûlée et prélèvent, quand ils le peuvent, des fragments de



Des fragments d'épiderme de culture, d'environ 70 centimètres carrés, ont été placés sur l'abdomen de cette personne gravement brûlée.

peau indemne, qu'ils étirent jusqu'à former une sorte de filet dont ils recouvrent les plaies. La multiplication des cellules épidermiques assure la reconstitution de l'épiderme. Que faire quand la surface de peau indemne est insuffisante pour recouvrir les plaies ? On ne peut pas greffer des cellules épidermiques d'un donneur, car, contrairement aux cellules du derme, les cellules de l'épiderme activent le système immunitaire, qui les rejette. Les cellules greffées doivent donc provenir du brûlé lui-même.

L'équipe de Clamart prélève deux biopsies de un à deux centimètres carrés (généralement, il reste quelques zones indemnes dans les plis cutanés). Les biopsies sont envoyées aux États-Unis, à la Société *Genzyme Tissue Repair*, spécialisée dans la culture d'épiderme pour les grands brûlés. Les cellules épidermiques, les kératinocytes, prélevées sur le brûlé sont mises en culture avec des facteurs de croissance. Chaque kératinocyte engendre un clone de cellules filles qui lui sont identiques.