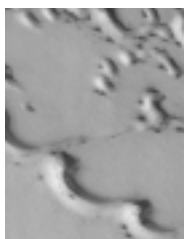


Les doigts de Saint-Antoine

Le chef-d'œuvre de Matthias Grünewald est le Retable d'Issenheim, achevé vers 1515. Selon Marcel-Francis Kahn, de l'Hôpital Bichat, Matthias Grünewald y a peint la première représentation d'une maladie vasculaire des extrémités : les doigts de Saint-Antoine y sont bleutés et atrophiés, signe d'une maladie liée à l'ergotisme (l'ergotisme est dû à la consommation d'un champignon parasite du seigle, qui est un puissant vasoconstricteur). Les doigts, gangrenés, devaient être amputés (certains personnages de la toile ont des doigts amputés). L'artiste aurait peint ces détails par reconnaissance envers la confrérie des Antonins qui l'a hébergé quelque temps et qui avait le privilège de traiter les personnes atteintes du «feu de Saint-Antoine», ultérieurement nommé ergotisme.

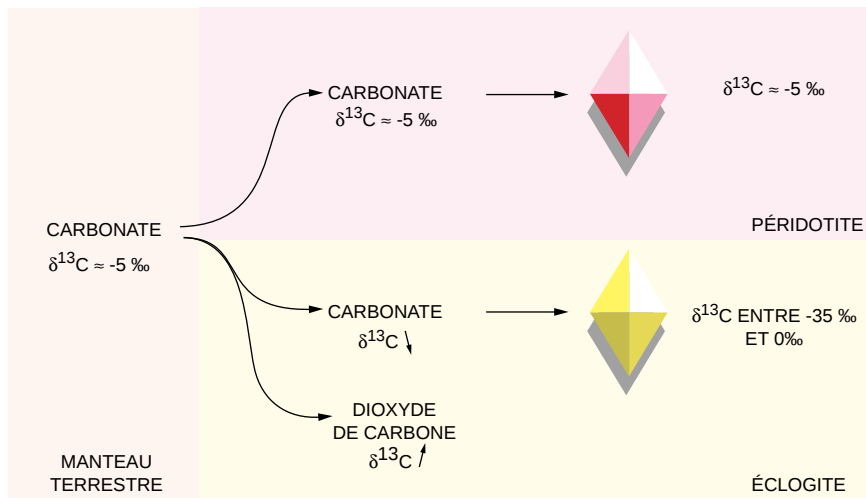
Lave et dune

La sonde *Mars Global Surveyor* a révélé de nouvelles structures géologiques à la surface de Mars : des plaques de laves solidifiées et des dunes. Les dunes martiennes étaient connues depuis la mission *Mariner 9*, en 1972, mais le mouvement du sable qui constitue les dunes a été révélé par des images du pôle Nord de Mars. Dans ces régions froides, le sable noir est recouvert de glace. Des zones de sable noir apparaissent par endroit : la glace qui les recouvrait a disparu, sublimé, ou érodée par le vent. Le vent a alors déplacé une partie de ce sable sur les dunes blanches, où les astronomes ont observé de fins filaments noirs.



Art préhistorique

La grotte Chauvet, découverte il y a quatre ans à Vallon-Pont-d'Arc, en Ardèche, commence à livrer ses secrets aux préhistoriens. Ces derniers ont découvert que des ponctuations rouges de plusieurs centimètres de diamètre ont été réalisées par l'application sur la roche de la paume de la main enduite d'ocre. Deux panneaux ont été décorés chacun par un individu différent : l'un plutôt fluët, et l'autre assez grand, probablement un homme d'environ 1,80 mètre. Par ailleurs, le comptage des animaux représentés confirme aussi la première estimation : les animaux «formidables», rhinocéros, mammoths et félins, sont largement majoritaires.



On distingue deux types de diamants naturels selon l'environnement rocheux où ils se forment à partir de carbonate. Dans les péridotites (*en haut*), le carbonate est stable et la proportion de carbone 13 ($\delta^{13}\text{C}$) dans le diamant est la même que dans les roches du manteau terrestre. Dans l'éclogite (*en bas*), une partie du carbonate se transforme en dioxyde de carbone. Lors de la séparation des deux phases, le carbonate s'appauvrit en carbone 13 et aussi le diamant.

nues dans le diamant, l'azote est la plus abondante : 70 pour cent des diamants en contiennent, et sa concentration moyenne dans le diamant est de 300 atomes pour un million. Or l'azote possède deux isotopes stables, l'azote 14 et l'azote 15, dont le rapport d'abondance est nettement différent dans le manteau et dans les sédiments océaniques. Nous avons mesuré ce rapport pour des diamants éclogitiques extraits de la mine de Jwaneng, au Botswana : il varie dans le même intervalle que pour les roches du manteau, et est incom-

patible avec une origine sédimentaire. La vie sur Terre n'est donc pas responsable de l'étrange composition isotopique en carbone 13 des diamants éclogitiques. Cette dernière résulterait de leur mécanisme de formation : en présence d'éclogites, le carbone contenu dans les roches sous forme de carbonate peut se transformer en dioxyde de carbone, ce qui modifie les rapports isotopiques dans le carbonate et, finalement, dans les diamants.

Pierre CARTIGNY et Marc JAVOY,
Institut de physique du Globe, Paris

Leptine multifonction ?

Le rôle de l'hormone anti-graisse dans l'immunité et le système vasculaire.

La leptine est une hormone connue depuis 1995 pour son action sur l'obésité grâce aux travaux de Jeffrey Friedman et de ses collègues de l'Université Rockefeller. Ils ont montré que des injections de leptine provoquaient l'amaigrissement des souris rendues obèses par suppression du gène codant la synthèse de cette hormone. Les biologistes pensent que la leptine informe le cerveau de la quantité de graisse présente dans le corps et indique si l'organisme doit continuer de se nourrir ou non. Son action se limite-t-elle à la régulation du poids ?

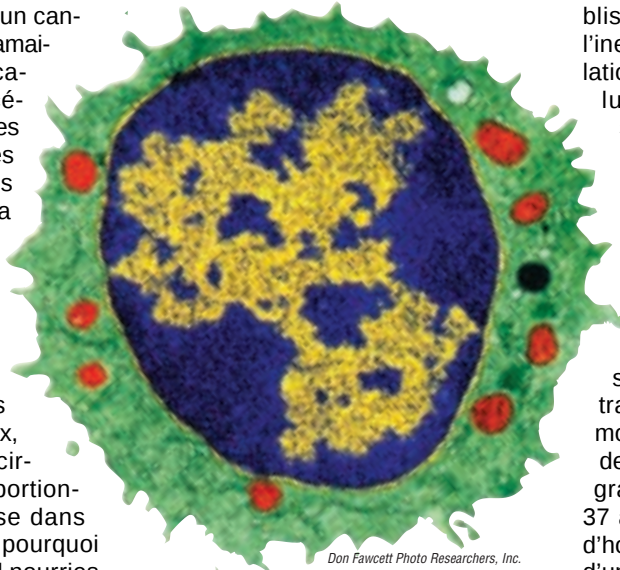
Récemment, des chercheurs ont identifié des récepteurs spécifiques

de la leptine sur la paroi des capillaires en développement et sur les lymphocytes T, une catégorie de globules blancs du sang. Ces résultats indiquent que la leptine pourrait intervenir dans des cas de cancer ou d'immunodépression.

En septembre 1998, Rocio Sierra-Honigmann et ses collègues de l'Université Yale ont découvert ces récepteurs sur des cellules endothéliales qui tapissent les vaisseaux sanguins humains. Afin d'étudier la fonction de la leptine dans le système vasculaire, les chercheurs ont injecté des vésicules contenant l'hormone dans les cornées (le blanc de l'œil) de rats où la croissance de vaisseaux sanguins est facilement observable. Ils ont constaté la prolifération de nouveaux vaisseaux sanguins, alors que les cornées de rats témoins qui avaient reçu des injections de solution saline sont restées intactes.

Les personnes souffrant d'un cancer sont souvent victimes d'un amaigrissement grave, nommé cachexie. Or, les cellules cancéreuses sécrètent des substances qui favorisent la croissance des vaisseaux sanguins. Des études sont en cours pour identifier la leptine parmi ces substances. Si tel est le cas, l'amaigrissement serait un effet secondaire du cancer.

Par ailleurs, l'équipe de Graham Lord, de Londres, a rapporté d'autres découvertes concernant la leptine. Selon eux, la concentration en leptine circulant dans le sang est proportionnelle à la quantité de graisse dans les cellules. En recherchant pourquoi les personnes maigres et mal nourries sont plus vulnérables aux maladies infectieuses, les biologistes ont découvert des récepteurs de la leptine dans les membranes de certains globules blancs, les lymphocytes T. Dans ces cellules, l'hormone activerait la sécrétion de cytokines, des molécules qui favorisent la réaction immunitaire en stimulant la sécrétion d'anticorps par d'autres lymphocytes et en accélérant la spécialisation de certaines cellules



Don Fawcett Photo Researchers, Inc.

Un lymphocyte T sur lequel on a découvert des récepteurs spécifiques de la leptine.

en cellules tueuses d'agents infectieux (par exemple, des bactéries).

La réaction immunitaire d'une souris qui jeûne pendant 48 heures à l'injection d'une substance irritante est trois fois moins importante que celle d'une souris bien nourrie. Cependant, l'injection de leptine compense cet affai-

blissement. Ces résultats expliquent l'inefficacité des vaccins sur des populations victimes de famine : leurs cellules contenant peu de graisses sécrètent peu de leptine, et le système immunitaire est moins activé et donc moins efficace.

Parallèlement à ces nouveaux résultats, l'étude des effets de la leptine sur le poids est toujours en cours. En juin, la Société Amgen, en Californie, a rapporté les résultats de tests cliniques sur l'utilisation de la leptine dans le traitement de l'obésité : huit obèses modérés qui ont absorbé une forte dose de leptine ont perdu plus de sept kilogrammes en six mois. En revanche, 37 autres, qui ont absorbé des doses d'hormone inférieures, ont perdu moins d'un kilogramme, alors qu'ils suivaient un régime hypocalorique.

La leptine est sans doute une hormone à fonctions multiples, son rôle dans la régulation pondérale n'étant vraisemblablement que la «partie émergée de l'iceberg». La réaction immunitaire étant une grande consommatrice d'énergie, son affaiblissement réduit les dépenses caloriques, mais cette réaction adaptative semble plutôt avoir des conséquences néfastes.

Des moteurs protéiques

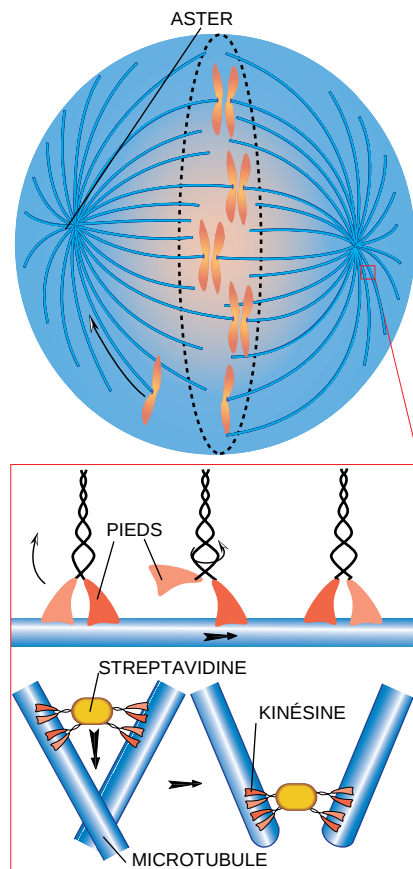
Trois protéines pour étudier le squelette des cellules.

Pour qu'une cellule réussisse sa division, elle doit dupliquer l'ensemble de ses chromosomes, puis le diviser en deux lots similaires. Lorsque cette opération réussit, chacune des cellules filles hérite d'un lot identique à celui de la cellule mère, et le cycle peut continuer. Cette «chorégraphie» de la reproduction est la même pour toutes les cellules. Tout d'abord les chromosomes, accolés en paires, se rassemblent dans le plan équatorial de la cellule (voir la figure) pendant qu'aux extrémités de la cellule apparaissent deux structures en forme d'étoile, les asters. Ces derniers sont composés de filaments (les microtubules) dont une extrémité est fixée à un chromosome. Puis les microtubules, en rétrécissant, entraînent les chromosomes qui se répartissent équitablement dans la cellule avant qu'elle ne se scinde en deux par le milieu. Qui est responsable de la bonne organisation des microtubules ? Comment se forment les asters ?

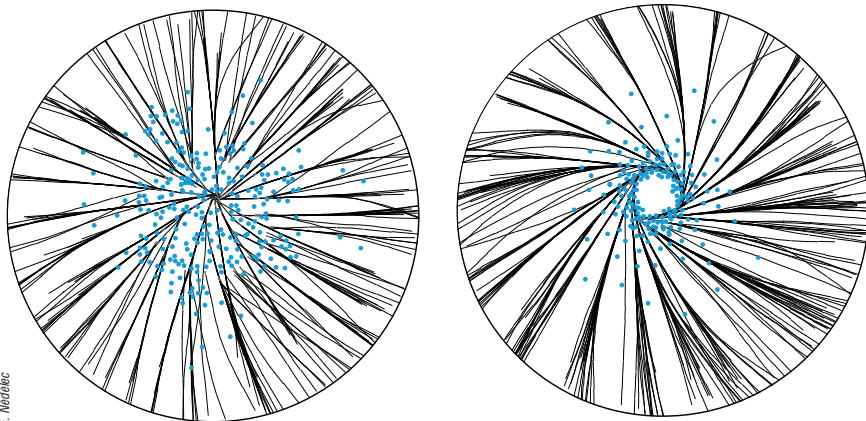
Dans les cellules animales, des petits éléments nommés centrosomes engendrent des asters. Cependant, certaines cellules, notamment les cellules végétales, sont dépourvues de centrosome. Dans ces cellules, la formation des asters semble être la conséquence d'un phénomène d'auto-organisation.

En 1998, à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris, François Nédélec a étudié un mécanisme de formation d'aster. Il a construit un modèle expérimental de la cellule, où trois protéines seulement sont mélangées : la tubuline qui, en se polymérisant, forme les microtubules, la kinésine et la streptavidine.

Dans une cellule qui se divise (ci-contre, en haut), les chromosomes se rassemblent dans le plan équatorial (cercle en pointillé) pendant que des asters de microtubules se forment aux extrémités de la cellule. Ces microtubules, formés de tubuline, entraînent les chromosomes vers les pôles de la cellule. Les microtubules se déplacent les uns par rapport aux autres grâce à des complexes moteurs constitués de streptavidine et de kinésine (ci-contre, au milieu). Les deux «pieds» de la kinésine se meuvent le long du microtubule par une succession de petits pas (ci-contre, en bas).



F. Nédélec



Simulation informatique de la formation d'un aster (à gauche). Les microtubules sont représentées par les traits noirs et les complexes moteurs par des points bleus. À droite, les microtubules longs constituent un vortex, les moteurs sont regroupés au centre.

La kinésine est un moteur protéique bien connu : il a deux «pieds» qui se fixent simultanément sur un microtubule. L'un de ces pieds reste fixe pendant que l'autre pivote de 180 degrés et vient se placer de l'autre côté. À son tour, ce pied reste immobile tandis que l'autre se déplace. Ainsi, «pas à pas», la kinésine se déplace le long d'un microtubule.

La streptavidine lie quatre kinésines et forme ainsi des complexes de moteurs, qui en associant deux microtubules, forment un lien mécanique. Les kinésines appartenant au complexe se meuvent le long des deux microtubules qui se déplacent alors l'un par

rapport à l'autre jusqu'à ce que leurs extrémités se rejoignent. Ainsi, toutes les extrémités des microtubules initialement éparpillées se rassemblent et forment un aster.

Les expériences ont été effectuées dans un espace restreint de la taille d'une cellule et ont confirmé cette mécanique de formation des asters. Quand les microtubules deviennent plus longs que le rayon de la boîte, ils ne peuvent plus se maintenir en aster, et s'arrangent en une nouvelle structure nommée vortex, où les filaments sont disposés en spirale.

F. Nédélec a ensuite modélisé le système. La simulation informatique a repro-

duit les structures obtenues dans les expériences et confirmé les hypothèses retenues. Une telle simulation aide le biochimiste à choisir des conditions expérimentales optimales (par exemple, concentration en tubuline ou en moteurs), mais aussi à explorer l'action de paramètres inaccessibles dans la pratique (vitesse de déplacement des moteurs par exemple). Bien que la simulation prenne en compte des concentrations en microtubules et en moteurs inférieures à celles des expériences, les résultats obtenus sont identiques : les microtubules s'allongent ; des asters, puis des vortex apparaissent.

Les expériences de F. Nédélec sont des versions simplifiées de ce que l'on trouve dans une cellule vivante : la majorité des protéines du squelette des cellules y sont absentes. Cependant, les résultats ont, d'une part, prouvé que des complexes de moteurs qui existent dans toutes les cellules suffisent à expliquer l'apparition d'asters et, d'autre part, explicité comment ces structures se forment. Les complexes de moteurs existent dans toutes les cellules ; ils expliquent à eux seuls la formation des asters, et dans les cellules animales, complètent l'action des centrosomes dans le bon déroulement d'une division cellulaire.

Drôles de mouvements

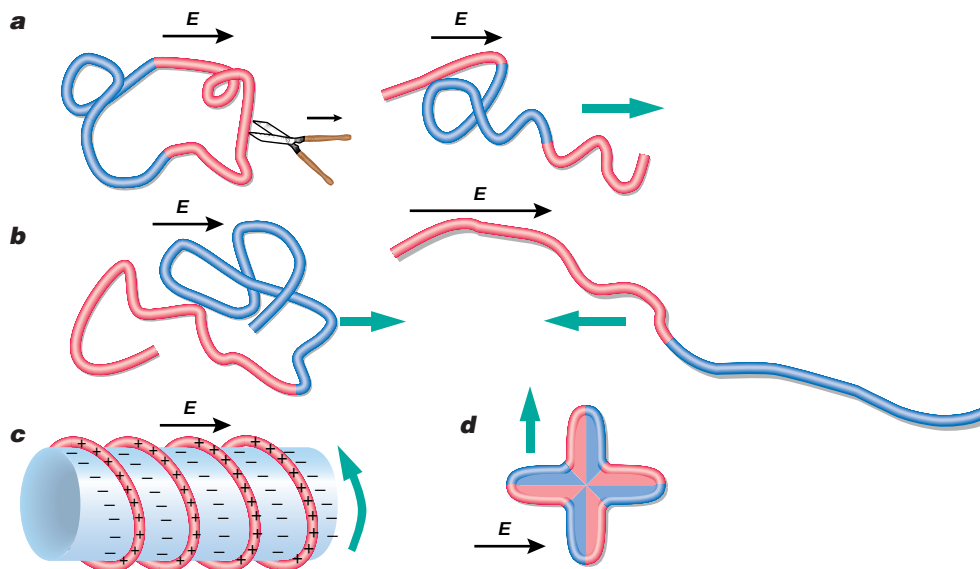
En électrophorèse, la force électrique ne domine pas toujours.

En biologie, l'électrophorèse est une méthode de séparation des protéines, des molécules d'ADN ou des cellules. Elle consiste à mettre en mouvement ces objets électriquement chargés en appliquant un champ électrique.

On admettait que le champ électrique engendre sur l'objet une force à laquelle s'oppose une force de friction visqueuse, proportionnelle à sa vitesse. L'objet acquiert ainsi une vitesse qui dépend du champ électrique appliqué. Le coefficient de friction varie avec la taille de la particule, de sorte qu'après un temps donné, les molécules (pour une charge identique) ont été séparées selon leur taille : les plus petites, pour lesquelles les forces de frottement sont les plus faibles, migrent le plus loin.

Nous montrons que cette description classique n'explique pas toujours l'électrophorèse. Pour rendre compte du mouvement des particules, on doit prendre

en compte des effets plus fins, tels la répartition géométrique des charges électriques. En particulier l'absence de déplacement d'une particule ne signifie pas que cette dernière est neutre.



Des polymères chargés sont plongés dans une solution saline. Les parties rouges sont chargées positivement en surface, les parties bleues, négativement. Soumis à un champ électrique, ces brins de polymères ont un déplacement (flèches vertes) qui dépend de la répartition des charges électriques, car les polymères positivement chargés sont entourés par un excès d'ions négatifs présents dans la solution.

Le phénomène résulte de l'écranage électrostatique : une surface chargée plongée dans une solution saline provoque l'apparition dans la solution, au voisinage de la surface, d'un excès

d'ions de charge opposée à celle de la surface. Une particule positivement chargée plongée dans une telle solution est entourée d'une zone chargée négativement, mais «vu de loin», l'ensemble apparaît neutre. Ainsi, en raison de l'écrantage, la force électrique totale qui s'exerce sur ces objets est nulle : le mouvement résulte des mouvements relatifs du fluide et de la particule, car le champ électrique tire le fluide dans un sens opposé à celui de la particule.

Si cette double action du champ électrique est facilement analysable pour des objets chargés uniformément en surface, elle conduit à un mouvement d'ensemble surprenant pour des objets hétérogènes. Dans le cas de la migration des particules de polymère (molécules linéaires), nous avons analysé quelques situations extrêmes, où la vision classique ne s'applique plus.

Imaginons d'abord un polymère refermé sur lui-même dont les deux moi-

tiés ont des charges identiques, mais de signe opposé (voir la figure a). Pour des raisons de symétrie, placé dans un champ électrique, ce polymère globalement neutre ne bouge pas. Lorsque l'on coupe le polymère au centre de sa partie chargée positivement, il dérive comme un objet chargé positivement. Pourquoi ? Parce que les parties chargées positivement sont moins enfouies que les parties chargées négativement. Ces parties positivement chargées sont donc en meilleur contact hydrodynamique avec le fluide environnant et prédominent pour la détermination du sens du mouvement. Cet exemple illustre de manière frappante que le mouvement ne dépend pas de la charge totale du polymère, mais bien de la répartition des charges le long de la chaîne.

Autre exemple, un polymère formé d'un bloc positif attaché à un bloc négatif (b) peut dériver dans le sens du champ appliqué pour de faibles intensités de ce champ et dans le sens opposé pour des

intensités plus grandes : lorsque l'intensité du champ augmente, la déformation du polymère modifie la répartition géométrique des charges.

Finalement, un objet ne dérive pas nécessairement dans le sens du champ ou dans le sens opposé : nous avons imaginé un objet qui tourne sur lui-même sans dériver (c), et un objet qui dérive perpendiculairement au champ appliqué, quelle que soit la direction de ce dernier (d).

Pour l'électrophorèse sur gel, la structure réticulée du gel gomme la plupart des effets hydrodynamiques et ces exemples ne s'appliquent pas. En revanche, en électrophorèse sur capillaires, les effets hydrodynamiques peuvent être importants. En outre, l'analyse de ces effets constitue un premier pas vers la conception de petites pompes, analogues artificiels d'entités biologiques, telles certaines pompes cellulaires ou certains nanorotors.

Didier LONG et Armand AJDARI, Physico-chimie théorique, ESPCI, Paris.

Le réveil des dunes

On déboise aujourd'hui les dunes fixées au siècle dernier par des forêts.

Les dunes mobiles ont longtemps été synonymes de menace, de désertification et de misère pour les populations du littoral. Tout au long du XIX^e siècle, les gestionnaires du littoral européen les ont plantées d'arbres afin de les fixer. Aujourd'hui, au contraire, on protège les dunes encore non boisées et, dans certaines régions, on les déboise.

Le déplacement des dunes menace d'ensablement les maisons, les routes et les champs cultivés près des littoraux. Ainsi, sur la côte d'Aquitaine, pendant

des siècles, les dunes se déplaçaient sous l'action du vent et ensevelissaient les bâtiments.

Grâce à son *Mémoire sur les dunes*, paru en 1797, Nicolas Brémontier, ingénieur des Ponts et Chaussées à Bordeaux, obtient en 1801 la publication d'un décret prescrivant de «prendre des mesures pour continuer de fixer et de planter en bois les dunes des côtes de Gascogne». À la fin du Second Empire, une forêt homogène de pins maritimes s'étend sur 80 000 hectares. Elle stabilise la topographie et, par ses ressources en bois et en résine, contribue au développement socio-économique d'une région jusque là pauvre et attardée.

Cet exemple fait école. Au cours du XIX^e siècle, les espaces dunaires de nombreuses côtes d'Europe atlantique sont boisés de la même façon.

Changement de tendance : en cette fin du XX^e siècle, la vacuité et la valeur paysagère des espaces dunaires naturels sont appréciés. Ceux qui ont échappé au boisement font désormais l'objet de mesures de conservation. Ainsi, les grands champs de dunes libres du Coto de Doñana, en Espagne, et de Leba, en Pologne, sont aujourd'hui inclus dans des parcs nationaux. Au Danemark, près de Skagen, des terres agricoles ont été achetées par l'État pour permettre aux dunes mobiles de Råbjerg Mile de les envahir librement.

En outre, au Danemark et en Angleterre, des boisements artificiels sont éliminés des dunes où ils avaient été implantés. Le but est de redonner vie aux dunes, en s'assurant évidemment que leur mouvement ne présentera pas un risque pour des établissements humains, et de permettre ainsi à la végétation native spécifique du sable de s'y réimplanter spontanément.

Cette évolution de l'aménagement du territoire, où des environnements autrefois sans attrait sont aujourd'hui appréciés pour leur valeur écologique et esthétique, dépasse le cadre des espaces dunaires. La conquête de nouvelles terres agricoles aux dépens des marais maritimes est arrêtée et, en Allemagne et aux Pays-Bas, des polders sont remis en eau. Les riverains, dont la mémoire collective reste marquée par des siècles de lutte contre les sables ou contre la mer, accepteront-ils ce retour à une nature romantique et sauvage ?

Roland PASKOFF, Université Lumière, Lyon



La forêt de pins noirs plantée au début de ce siècle dans la réserve naturelle des dunes d'Ainsdale, près de Southport, en Angleterre, sur la côte de la mer d'Irlande, a été abattue sur une quinzaine d'hectares pour redonner de la mobilité aux dunes.

