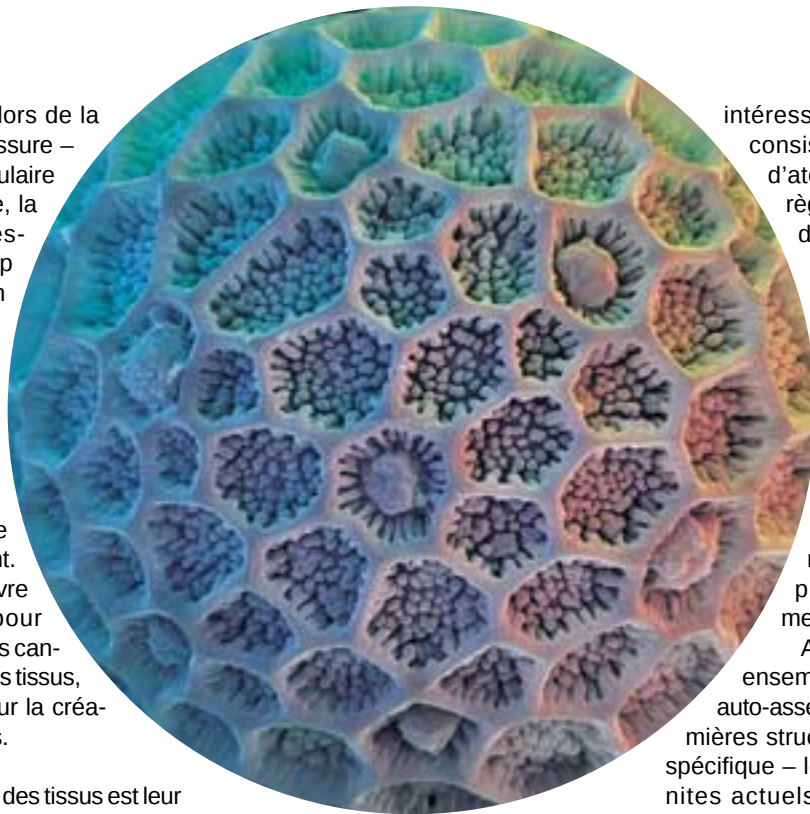


le substrat – comme lors de la cicatrisation d'une blessure – et qu'une division cellulaire s'impose. Au contraire, la forme arrondie correspond à la situation où trop de cellules sont en concurrence sur la matrice ; certaines doivent mourir pour empêcher une prolifération incontrôlée et la formation d'une tumeur. Entre ces deux extrêmes, le tissu se comporte normalement. Cette commutation ouvre de nouvelles voies pour induire le traitement des cancers ou la réparation des tissus, et peut-être même pour la création de tissus artificiels.



4. Un grain de pollen a une forme de dôme géodésique.

Une propriété capitale des tissus est leur comportement mécanique. Un très grand nombre de tissus distincts, tels que les muscles, le cartilage, les vaisseaux sanguins et la peau, réagissent selon une loi de raidissement linéaire. Quand vous tirez sur votre peau, vous sentez la résistance s'accroître à mesure que vous tirez plus fort. Des travaux récents montrent que même des molécules isolées comme l'ADN manifestent ce raidissement linéaire ; avant le modèle de tenségrité, il n'existait pas d'explication mécanique de ce comportement.

En utilisant un modèle de tenségrité à base de bâtonnets et d'élastiques, nous avons montré que les cellules réagissent comme des structures de tenségrité. Tous les éléments structuraux interconnectés modifient d'eux-mêmes leur disposition en réaction à une contrainte. Le raidissement linéaire s'explique alors : lorsque la force appliquée augmente, de plus en plus d'éléments se disposent dans la direction où s'exerce la contrainte.

Comme une force, même localisée, modifie la forme globale d'une structure de tenségrité, la liaison d'une molécule à une protéine impose un réarrangement complet des différentes régions sur toute la longueur de la protéine. Par exemple, lorsqu'une molécule portant un signal se lie à un récepteur qui traverse la membrane cellulaire, cette liaison peut modifier la conformation à l'extrémité opposée du récepteur. Ces changements déforment à leur tour des protéines adjacentes et déclenchent une série de restructurations moléculaires à l'intérieur de cette

cellule. C'est ainsi que les cellules détectent les informations qui leur parviennent et y réagissent.

Des molécules aux os, aux muscles ou aux tendons, la tenségrité est le système de construction privilégié de la nature. La tenségrité explique, par exemple, comment, chaque fois que vous bougez un bras, votre peau s'étire, comment votre matrice extracellulaire s'étend, comment vos cellules se déforment et comment les molécules interconnectées qui forment l'armature interne des cellules ressentent cette sollicitation.

Peut-être les structures de tenségrité entièrement triangulées ont-elles été sélectionnées au cours de l'Évolution en raison de leur efficacité structurelle qui associe haute résistance mécanique et économie de matériaux. La flexibilité des structures de tenségrité précontraintes est sans doute avantageuse parce qu'elle leur permet de prendre diverses formes. Par exemple, si une molécule ou une cellule est apte à se transformer, à une température ou à une pression données, en une forme plus stable ou plus efficace sur le plan métabolique, sa durée de vie en est prolongée. Elle interagit mieux avec d'autres entités similaires pour donner de nouveaux auto-assemblages.

Les chercheurs sont maintenant convaincus que l'évolution biologique a commencé dans des couches d'argile plutôt que dans la mer primordiale. Il est

intéressant de noter que l'argile consiste en un réseau poreux d'atomes disposés selon les règles géodésiques au sein de formes octaédriques et tétraédriques. Comme ces octaèdres et ces tétraèdres ne sont pas fortement compactés, ils peuvent bouger et glisser les uns par rapport aux autres. Cette souplesse permet à l'argile de catalyser un grand nombre de réactions chimiques, dont celles qui ont produit les premiers éléments de la vie organique.

Avec le temps, différents ensembles moléculaires se sont auto-assemblés pour former les premières structures ayant une fonction spécifique – les précurseurs des organites actuels –, qui se combinèrent pour créer les premières cellules. Ces cellules produisirent des protéines qui s'auto-assemblèrent pour constituer les supports d'ancrage des matrices extracellulaires, qui, à leur tour, se sont auto-assemblées en tissus pluricellulaires. Des organes se développèrent par auto-assemblage de tissus, et des organismes complexes firent leur apparition par combinaison et remodelage progressif d'organes différents. Le développement d'un embryon à partir d'un spermatozoïde et d'un ovule récapitule ces étapes d'auto-organisation.

L'apparition de l'ADN et des gènes donna naissance à un nouveau mécanisme pour engendrer une diversité structurelle qui accéléra l'Évolution. Pendant tout ce temps, les règles définissant le processus d'auto-assemblage hiérarchique restèrent pratiquement inchangées. Il n'est donc pas surprenant que la disposition générale des os et des muscles soit extraordinairement voisine chez *Tyrannosaurus rex* et chez *Homo sapiens*, et que les formes géodésiques telles qu'hexagones, pentagones et spirales soient omniprésentes dans les systèmes naturels.

Comme le suggérait, au début du siècle, le zoologiste écossais D'Arcy Thompson, en se référant à Galilée qui, lui-même, citait Platon : le Grand Livre de la Nature est écrit dans le langage de la géométrie.

Donald E. INGBER est professeur de physiologie à l'Université Harvard (États-Unis).



Schering-Plough

La voie des ondes



Les réseaux de satellites

John Evans

Les télécommunications du XXI^e siècle

Joseph Pelton



Les réseaux radio terrestres

Alex Hills

Les applications des réseaux cellulaires

Warren Stutzman
et Carl Dietrich



L'occupation du spectre radio

David Hughes
et Dewayne Hendricks

Guglielmo Marconi, qui inventa la télégraphie sans fil en 1896, ne reconnaîtrait pas les systèmes de télécommunications. Depuis le début de la révolution micro-électronique, il y a 40 ans, les circuits se sont tant miniaturisés que l'on glisse aujourd'hui un téléviseur ou une radio dans une poche et que l'on a encore de la place pour un téléphone mobile.

Le Globe est en permanence inondé d'ondes électromagnétiques qui transmettent la voix et les images, mais des évolutions encore plus radicales sont en gesta-

tion. Ce dossier montre comment la nouvelle génération de satellites de télécommunications formera un réseau mondial qui offrira, via des terminaux portables situés n'importe où, des services liés à la parole et aux transferts de données à haut débit. Associés aux ordinateurs portables et aux réseaux terrestres, ce réseau de satellites mettra à portée de souris l'intégralité du savoir numérique de notre civilisation. Ces réseaux, qui amélioreront notre sécurité, nous rapprocheront et nous aideront à mieux communiquer.



Les réseaux de satellites

JOHN EVANS

Grâce aux flottilles de satellites de télécommunications, les possesseurs d'un téléphone portable auront accès au réseau téléphonique, à partir de n'importe quel point du Globe.

Le satellite est aujourd'hui la pierre angulaire de notre système de télécommunications. Les débuts furent pourtant modestes : en 1965, le premier satellite de télécommunications placé sur orbite ne comportait que 240 canaux vocaux. Après 35 ans de perfectionnements, les satellites transmettent un tiers du trafic vocal mondial et la plupart des signaux de télévision qui transitent entre les pays.

Le trafic vocal assuré par les satellites est surtout à destination de pays qui n'ont pas de réseau de fibres optiques, le moyen privilégié de transmission des communications téléphoniques : un gros câble à fibre optique transporte dix gigabits par seconde, alors qu'une liaison satellite transporte moins de un gigabit par seconde. Les satellites les plus importants sont sur l'orbite géostationnaire, à 36 000 kilomètres au-dessus du même point du Globe en permanence. À cette distance, un signal électromagnétique met environ un quart de seconde pour atteindre le satellite et revenir, ce qui ralentit la conversation. Bien que la plupart des utilisateurs du téléphone se satisfont de ce délai, les satellites de télécommunications sont de plus en plus utilisés pour transporter des signaux de télévision plutôt que la voix.

Les réseaux de satellites, dont le premier devrait être opérationnel dès la fin de l'année 1998, pourraient inverser cette tendance. Ces nouveaux réseaux fourniront des services de téléphonie mobile par satellites. Ils seront constitués de nombreux satellites placés bien au-dessous de l'orbite géostationnaire, ce qui réduira les délais de transmission. Ces réseaux seront complétés par un ensemble de satellites qui transmettront exclusivement des données, telles celles du réseau Internet. Au cours des sept prochaines années, trois à cinq réseaux de satellites seront dédiés à la voix, tandis qu'une dizaine de réseaux de satellites transporteront des données.

La prévision de l'évolution d'un marché qui n'existe pas encore est impossible. Néanmoins, plusieurs groupes industriels ont investi des milliards de francs dans de nombreux projets, certains déjà bien avancés. Les difficultés et les risques sont

importants : certains projets tablent sur la mise au point d'une nouvelle génération de satellites puissants, capables non seulement d'amplifier et de retransmettre les signaux, mais aussi de les diriger vers des récepteurs spécifiques. De surcroît, ces systèmes fonctionneront à de très hautes fréquences, dans des bandes radio encore inutilisées par des satellites de télécommunications.

Téléphonie numérique

Les nouveaux réseaux satellitaires combineront des caractéristiques des réseaux téléphoniques mobiles terrestres avec celles, plus classiques, des réseaux de télécommunications utilisant des satellites. Aujourd'hui, les téléphones mobiles emploient des ondes radio dont la fréquence est comprise entre 800 et 900 millions de hertz (mégahertz), ce qui correspond à une longueur d'onde de quelques

1. LES SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS du réseau Iridium (représentés ici) ou d'autres réseaux en construction achemineront les communications téléphoniques. Sur cette page, on voit deux des 66 satellites qui seront en place à la fin de 1998. Ces satellites sont sur des orbites terrestres basses ; en réalité, ils sont plus éloignés les uns des autres que cette vision d'artiste ne le suggère. Les panneaux rectangulaires situés à l'extrémité inférieure de l'engin de 4,6 mètres de long sont des panneaux solaires ; les trois autres, articulés, sont les antennes principales.



dizaines de centimètres, voisine de la taille des antennes. Les nouveaux réseaux pour les communications personnelles utiliseront une fréquence deux fois supérieure, mais leur fonctionnement restera identique.

Dans les réseaux radiomobiles classiques, la zone couverte est divisée en «cellules», chacune équipée d'une station de base associée à une tour hertzienne terrestre. Pour éviter les brouillages, les téléphones mobiles émettent à une fréquence vers la station et reçoivent à une fréquence différente. La station de base transforme généralement ces signaux radio en micro-ondes (des ondes de fréquence supérieure à celle des ondes radio), qui sont transmises à un commutateur cellulaire, où une seconde transformation restitue des signaux de parole. Cette transformation se fait parfois dans la station de base elle-même, et la parole est alors véhiculée par des lignes téléphoniques classiques avant d'être transmise au commutateur cellulaire.

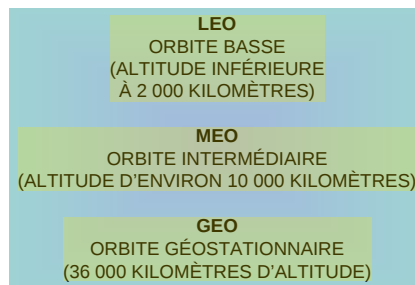
Ce dernier a deux fonctions : il établit les communications et les transfère à un autre commutateur lorsque l'abonné change de cellule durant la communication. Chaque commutateur cellulaire est aussi relié à un commu-

tateur central du réseau téléphonique public, afin de permettre aux abonnés du téléphone cellulaire de communiquer avec les utilisateurs de téléphones fixes.

Les abonnés aux services cellulaires sont devenus si nombreux que les systèmes numériques se sont imposés. Dans les réseaux classiques, analogiques, la voix est codée par des variations de la fréquence, une technique nommée modulation de fréquence. Ce procédé est coûteux en bande passante : le signal transmis utilise entièrement une bande, ou canal, de 30 kilohertz de large. Afin de réduire l'encombrement de l'espace radio, de nombreuses compagnies utilisent des matériels qui communiquent des messages codés en binaire (les signaux sont composés de séries de 0 et de 1). Les données ainsi numérisées sont alors comprimées

avant la transmission, ce qui réduit la durée d'occupation du canal par chacune des communications, au prix d'une légère baisse de la qualité.

Dans les réseaux téléphoniques classiques, les réseaux commutés, la parole est également transmise sous forme numérique, mais à des débits environ huit fois supérieurs à ceux des réseaux cellulaires (64 kilobits par seconde pour les réseaux commutés). Avec des codages numériques à des débits aussi élevés, la qualité est meilleure, mais la transmission nécessite encore plus de bande passante que si l'on transmettait le signal non numérisé. Pourquoi, alors, utiliser un codage numérique ? D'une part, parce qu'il permet le mélange de plusieurs communications dans une seule fibre optique ou dans une seule ligne micro-onde : les flots de données individuels peuvent être combinés en un seul flot de débit supérieur (multiplexage) qui, à son tour, peut être mélangé avec d'autres dans un flot de débit encore supérieur. D'autre part, la technique numérique est moins sensible aux altérations des signaux dans le réseau : tous les bits ayant la même amplitude, on peut facilement restaurer l'amplitude d'un bit qui aurait été affaibli au cours de la transmission.



CONSTELLATIONS POUR LE TRANSPORT DE LA PAROLE					
	IRIDIUM	GLOBALSTAR	ICO	ELLIPSO	ECCO
SOCIÉTÉ	Motorola	Loral/Qualcomm	ICO Global Communications	Mobile Communications Holdings	Constellation Communications
NOMBRE DE SATELLITES	66	48	10	14	46
PLANS DES ORBITES	6 circulaires polaires (86,5 degrés)	8 circulaires inclinées (52 degrés)	2 circulaires inclinées (45 degrés)	2 elliptiques inclinées (116,6 degrés) 1 elliptique équatoriale (0 degré)	7 circulaires inclinées (62 degrés) 1 circulaire équatoriale (0 degré)
ALTITUDE DE L'ORBITE (EN KILOMÈTRES)	780 (LEO)	1 414 (LEO)	10 355 (MEO)	520 - 7 846 (MEO) 4 223 - 7 846 (MEO)	2 000 (LEO)
NOMBRE DE SATELLITES PAR PLAN ORBITAL	11	6	5	4 par elliptique 6 par équatoriale	5 par inclinée 11 par équatoriale
NOMBRE DE FAISCEAUX PAR SATELLITE	48	16	163	61	32 par inclinée 24 par équatoriale
COÛT ESTIMÉ (EN MILLIARDS DE FRANCS)	20	15	27	5,5	17