

La sélection robotique

Par un procédé analogue à la sélection naturelle, des robots marcheurs sont créés ex-nihilo.

A Prague, une légende veut qu'un vieux rabbin ait fabriqué un être artificiel en argile, le Golem, afin de soulager les habitants de la ville de leurs corvées quotidiennes. Les roboticiens ne font pas autre chose, sauf qu'ils remplacent l'argile par du métal ou du plastique, et comptent plus sur des moteurs électriques pour mouvoir leurs créations que sur des extraits de la Cabbale. Toutefois, les roboticiens ajoutent aujourd'hui un ingrédient jusque-là réservé à Dame nature : la sélection naturelle.

Hod Lipson et Jordan Pollack, de l'Université Brandeis, ont «construit» sur ordinateur des robots constitués d'éléments passifs (des barres rigides et des articulations) et d'éléments actifs (des barres rétractables). Ces robots, commandés par un réseau de neurones, ont pour tâche de se déplacer en ligne droite. Ces robots assemblés (au cours d'une simulation), ont été soumis à des contraintes «évolutives» artificielles, par un procédé qui s'apparente à la sélection naturelle. À partir d'une population de robots virtuels, le

processus de sélection choisit les plus performants, c'est-à-dire ceux qui parcourent la plus grande distance en un temps donné.

Puis, au hasard, le «programme de sélection» ajoute, retire ou modifie une structure passive de l'architecture, ou des neurones du système de commande des «individus» sélectionnés. Lorsqu'apparaît un neurone qui relie le système de commande à une barre rigide, celle-ci devient alors automatiquement une barre rétractable active. Aucun mouvement n'est possible tant qu'un neurone n'est pas relié à une barre rétractable, et plusieurs générations sont requises avant d'observer le moindre mouvement. On passe d'une «génération» de robots à la suivante lorsque le programme informatique a, premièrement, modifié au hasard les robots virtuels, puis, deuxièmement, éliminé les moins performants.

D'abord modélisée sur un ordinateur, une population initiale de 200 machines a peu à peu évolué et fait apparaître des robots capables de se déplacer. Les simulations achevées, les modèles retenus après 300 à 600 générations ont été fabriqués, grâce à une «imprimante en trois dimensions» qui a façonné les éléments des différents robots en plastique. L'intervention humaine est réduite à son minimum : elle consistait à monter les éléments fabriqués et à installer des moteurs électriques au niveau des barres rétractables.

Chacune des machines finales était composée en moyenne d'une vingtaine de barres. Parmi elles, les roboticiens ont eu la surprise d'obtenir des spécimens symétriques alors qu'aucune instruction n'avait imposé, ni proposé cette solution : ils concluent que la marche en ligne droite symétrique est naturellement «sélectionnée». De plus, les «vainqueurs» de cette compétition étaient robustes, c'est-à-dire que de petites modifications, telle la longueur des barres, n'influent pas sur leur capacité à marcher.

Au palmarès, une structure en forme de tétraèdre avec une barre centrale parcourt plus de trois centimètres par cycle de mouvements. Par ailleurs, une structure en forme de flèche dotée de trois «bras» rétractables a fait preuve d'inventivité en utilisant un déphasage synchronisé des mouvements : tandis que la barre centrale se rétracte, les deux extérieures s'allongent et font glisser l'ensemble.

Des robots autonomes qui se construisent eux-mêmes et évoluent font rêver les ingénieurs des agences spatiales qui y voient des engins d'exploration idéaux. Devant de telles applications, oublions la fin de la légende du Golem, selon laquelle la créature s'est rebellée contre les êtres humains qui l'avaient créée.

Déformation professionnelle

Les chanteurs d'opéra présentent des déformations de la colonne vertébrale qui résultent de la pratique intensive du chant.

Des anomalies de la forme et de la courbure du rachis cervical des chanteurs d'opéra avaient été constatées, il y a une quinzaine d'années, par Nicole Scotto di Carlo, de l'unité CNRS-ESA 6057, à l'Université de Provence. Toutefois, les données n'étaient pas suffisantes pour que l'on réponde à la question : ces anomalies sont-elles d'origine pathologique ou résultent-elles d'une déformation inhérente à la pratique du chant ? Afin de déterminer la cause de ces anomalies, N. Scotto di Carlo a entrepris une étude radiologique systématique du rachis cervical de plusieurs chanteurs professionnels : les déformations du rachis cervical observées résultent bien de la pratique intensive du chant.

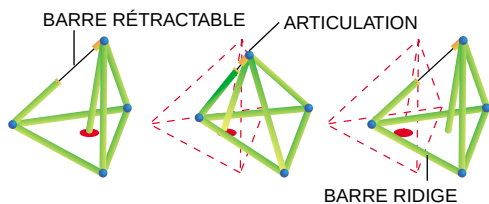
Pour cette étude, 12 chanteurs professionnels (qui avaient entre 15 et 25 ans de pratique vocale), 12 chanteurs débutants (5 ans de pratique vocale) et 12 personnes qui ne chantent pas et constituent le groupe témoin ont été sélectionnés. Aucun ne présentait de pathologie rachidienne ni de trouble de la statique, aucun ne pratiquait d'activité sportive mettant le cou à l'épreuve. Des radiographies de la tête et du cou ont été réalisées sur des chanteurs au repos et pendant qu'ils émettaient des voyelles en voix parlée et en voix chantée dans les registres grave, médium et aigu. Les sujets témoins ont été radiographiés au repos et en cours de bâillement, quand l'ouverture de leur bouche est proche de celle des chanteurs pendant l'émission de l'aigu.

L'analyse des radiographies a révélé des anomalies dans la forme du rachis cervical pour tous les chanteurs professionnels : plus de la moitié présente une rectitude cervicale, c'est-à-dire un rachis cervical rectiligne (voir la figure 1c), et 42 pour cent ont une hypocyphose, c'est-à-dire une légère courbure à concavité antérieure (voir la figure 1d). Seulement 16 pour cent des chanteurs débutants ont une rectitude cervicale.

De surcroît, cette étude a révélé l'existence de postures spécifiques en fonction des registres. Chez les chanteurs professionnels, lors du passage du grave à l'aigu, l'ouverture buccale augmente, la tête se relève, le rachis cervical recule et la courbure cervicale s'inverse (voir la



Hod Lipson et Jordan Pollack



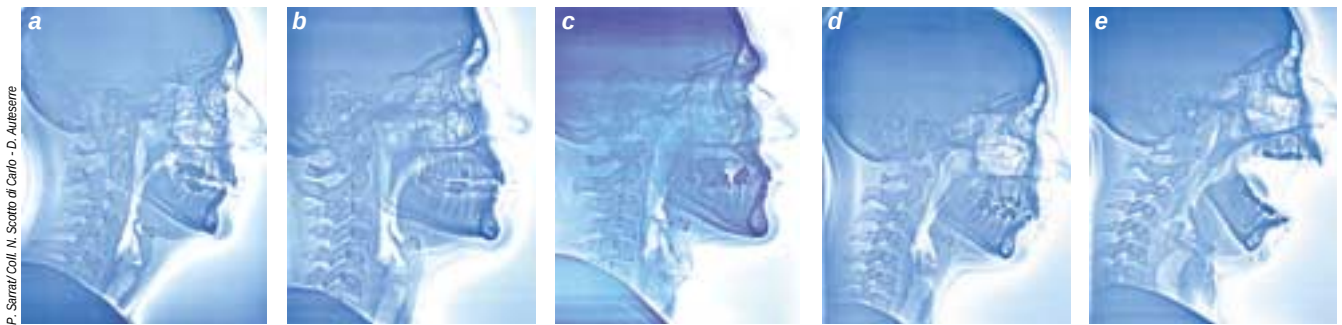
L'évolution et la pression d'une sélection «artificielle» appliquée à des robots dont la tâche est de marcher en ligne droite aboutit, après 300 à 600 générations, à des «spécimens» qu'une «imprimante en trois dimensions» a fabriqués. Certains ont la forme d'un tétraèdre (au milieu) muni d'une tige centrale qui sert d'appui lorsqu'une barre se rétracte (le principe de la «marche du robot» a été schématisé en bas). Ce robot avance de deux à trois centimètres par cycle de mouvements et chaque cycle dure quelques secondes.

figure 1e). En revanche, chez les chanteurs débutants, les modifications sont moins prononcées et, dans l'aigu, la courbure du rachis cervical ne s'inverse pas. Lors du passage du grave à l'aigu, le relèvement de la tête et le recul du rachis cervical sont imposés l'un et l'autre par l'ouverture buccale. Chez les chanteurs professionnels, le recul du rachis cervical dans l'aigu s'accompagne d'une inversion de courbure laquelle dégage le pharynx qui se dilate alors suffisamment pour permettre la bascule antérieure

du larynx, indispensable à l'émission de l'aigu.

Ainsi, la mobilité du rachis cervical et les déformations qu'il subit pendant le chant semblent être la cause des anomalies de la courbure observée chez tous les chanteurs examinés. Ces anomalies n'étant associées à aucun trouble fonctionnel, on admet que la posture observée chez les artistes lyriques au repos résulte de déformations cervicales subies tout au long des années de pratique intensive du chant.

Dans le chant, les déplacements antéro-postérieurs du rachis peuvent atteindre cinq à six centimètres (à la septième vertèbre cervicale). Cette extrême mobilité expliquerait que toute lésion de cette région du rachis (y compris un simple torticolis) qui réduirait sa mobilité perturberait la voix chantée et notamment l'émission de l'aigu. Pour ne pas mettre leur voix en danger, les chanteurs professionnels doivent éviter toute manipulation ou intervention chirurgicale visant à corriger les «anomalies» de leur rachis cervical.



La comparaison de radiographies faites sur des personnes qui ne chantent pas (a) et sur des chanteurs d'opéra professionnels a révélé plusieurs anomalies dans la courbure du rachis cervical. Ainsi, on observe dans la moitié des cas une rectitude cervicale (b), parfois une hypo-

lordose (c), c'est-à-dire une légère courbure à convexité postérieure de la colonne vertébrale, ou encore une hypocypose, c'est-à-dire une légère courbure à convexité antérieure (d). Chez certains chanteurs, pendant l'émission de l'aigu, on constate une cyphose prononcée (e).

Vache folle : révision à la baisse des risques

Nouvelles estimations du nombre des personnes qui mourront de la maladie transmise par l'agent de la vache folle.

Depuis son déclenchement en Angleterre au début des années 1990, l'épidémie de la vache folle a tué 180 000 bovins et provoqué l'apparition d'une nouvelle maladie humaine. Cette dernière ressemble en tout point à la maladie de Creutzfeldt-Jakob, décrite au début du xx^e siècle par Hans Creutzfeldt et Alfons Jakob. Maladie rare, cette dernière touche une personne sur un million. Dans huit pour cent des cas, elle apparaît sous une forme dite sporadique, parce qu'elle survient «au hasard» chez des personnes, qui ont en moyenne 65 ans. En revanche, la nouvelle forme de la maladie de Creutzfeldt-Jakob, frappe surtout les jeunes : plus de la moitié des malades ont moins de 35 ans. Aujourd'hui, les biostatisticiens Roy Anderson et ses collègues de l'Université d'Oxford, révisent à la baisse les conclusions, inquiétantes, qu'ils tiraient dans leurs estimations précédentes. Tenant compte des cas dénombrés jus-

qu'en 1999, ils estiment qu'il y aura vraisemblablement entre 63 et 136 000 victimes : c'est trop, certes, mais c'est moins que les 500 000 victimes britanniques de la maladie de Creutzfeldt-Jakob évoquées dans le passé.

Malgré les nouvelles prévisions, le bilan du premier semestre de l'année 2000 est déjà de 24 décès, dont cinq dans un même village du Leicestershire. Toutefois, selon Annick Alpérovitch, qui dirige l'Unité INSERM 360 d'épidémiologie des maladies neuro-dégénératives à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, le nombre de cas augmente parce que l'épidémie ne fait que commencer. Comme la durée moyenne d'incubation de la maladie de Creutzfeldt-Jakob se mesure en dizaines d'années, le nombre annuel de victimes risque encore d'augmenter pendant quelques années.

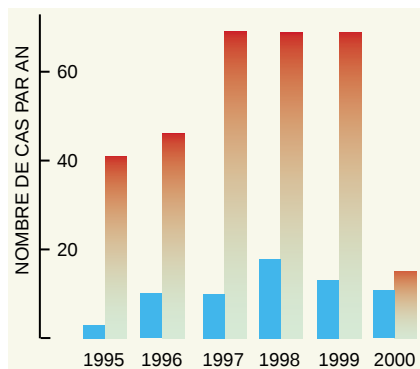
Pour calculer le nombre probable de victimes de la maladie, R. Anderson et ses collègues évaluent le risque, pour une personne, de tomber malade à un instant et à un âge donnés. Ce risque dépend de trois facteurs principaux : la susceptibilité génétique des individus à la maladie, le risque qu'un bovin contamine une ou plusieurs personnes, et la répartition statistique des durées d'incubation dans la population. Le facteur génétique est le mieux connu. On sait que toutes les personnes qui ont été atteintes par cette nouvelle maladie ont une caractéristique

génétique commune, que partagent environ 40 pour cent des britanniques. Dans leur étude, les biostatisticiens d'Oxford considèrent donc que seuls les individus porteurs de cette caractéristique sont menacés par la nouvelle maladie de Creutzfeldt-Jakob.

On évalue moins bien la capacité de contamination d'un bovin malade introduit dans la chaîne alimentaire. Les biostatisticiens anglais supposent que, si une vache malade est consommée, elle ne contamine que deux personnes au plus. Inspirée par les dernières observations, cette hypothèse est une révision optimiste des précédentes estimations.

Enfin, on ignore totalement la répartition des durées d'incubation dans la population britannique, mais on peut la simuler à l'aide de lois statistiques, qui toutes ont pour paramètre principal la durée moyenne d'incubation. Ainsi armée d'une méthode de calcul du risque de tomber malade, l'équipe de R. Anderson en a fait varier tous les paramètres ; elle étudie ainsi des millions de scénarios, ne retenant que ceux qui conduisent à des prévisions reproduisant les statistiques de début d'épidémie.

Plus de cinq millions de configurations de paramètres ont été envisagées. Comment mettre de l'ordre ? Les biostatisticiens ont défini quatre niveaux de mortalité hypothétiques pour l'année 2000, puis pour la période 2001-2002. Il ont ensuite réparti leurs prévisions



Le nombre des victimes britanniques de la nouvelle forme de la maladie de Creutzfeldt-Jakob (en bleu) reste notablement inférieur à celui des victimes de la forme «classique», dite sporadique, de cette maladie (en rouge), qui fait, chaque année et dans tous les pays industrialisés, quelques dizaines de victimes, généralement des personnes âgées. Pour l'année 2000, les mortalités indiquées correspondent aux chiffres enregistrés à la fin du mois d'août.

suivant ces quatre niveaux, et les ont triées en fonction des durées moyennes d'incubation. Finalement, ils ont isolé, dans chaque catégorie, la prévision la

plus pessimiste et la plus optimiste. Ils obtiennent ainsi un tableau qui indique dans quelle fenêtre se trouvera le nombre de décès futurs en fonction du nombre de cas qui se déclareront en 2000, puis en 2001-2002. Les limites basse (63) et haute de l'épidémie (136 000) sont les valeurs extrêmes ; ainsi, la prévision la plus défavorable – 136 000 victimes – a été trouvée pour une durée moyenne d'incubation supérieure à 60 ans.

Selon A. Alperovitch, la durée moyenne d'incubation est certainement inférieure à 60 ans ; elle serait plutôt de l'ordre de 25 ans. Avec une telle valeur de la durée moyenne d'incubation, le nombre probable de victimes britanniques du nouveau variant de la maladie de Creutzfeldt-Jakob atteindrait 3 000. Soit en moyenne 100 cas par an d'ici à 2030. Nous sommes encore loin de ce chiffre puisque le nombre de décès était égal à 14 en 1999 et pourrait être proche de 30 en 2000.

Le terrier du poulpe

Le poulpe cache ses provisions de coquillages au fond de l'abri qu'il creuse dans le sable.

La moitié des prises mondiales de poulpe s'effectue au large des côtes d'Afrique de l'Ouest et du Nord. Cette pêche s'est développée dans les années 1960 au large du Sahara, puis dans les eaux sénégalaises, après un spectaculaire accroissement de l'abondance des poulpes en 1986. Selon les années, la prise de poulpe varie de 2 000 à plus de 15 000 tonnes au Sénégal. Pourquoi un tel écart ? Afin d'évaluer la pérennité de cette ressource, une étude récente a précisé les caractéristiques biologiques de l'espèce *Octopus Vulgaris* : le poulpe est casanier et le renouvellement annuel des populations met l'espèce hors de danger.

Alain Caverivière et ses collègues, de l'Institut de recherche pour le développement, et leurs collègues africains ont étudié des poulpes vivant en bassin d'étude et d'autres vivant en pleine mer. Parmi ces derniers, ils en ont marqué 6 000, dont 1 200 ont été repêchés. Au Sénégal, les poulpes vivent sur tous les types de fonds, mais préfèrent les sédiments de sable fin. Le poulpe creuse des abris dans ces fonds meubles pour se protéger des prédateurs, dont les principaux sont les raies, les daurades, les murènes et les mérours. Ces terriers, dont la profondeur et le diamètre varient avec la taille du poulpe, sont de deux types. Dans le premier (une che-

minée cylindrique et lisse) le poulpe en danger plonge en se retournant pour présenter ses tentacules qu'il cache sous des débris de coquilles. Le second type, d'une forme plus évasée, est rempli de vieilles coquilles sous lesquelles le poulpe s'enfonce rapidement. Le poulpe creuse lui-même son terrier qu'il ne quitte que pour s'alimenter et se reproduire. Cet habitat particulier expliquerait l'abondance de poulpes sur les fonds meubles de l'Afrique de l'Ouest.

On a découvert que les poulpes font des provisions de coquillages vivants, à l'intérieur ou à la périphérie de leurs terriers. Le suivi des poulpes marqués a révélé une durée de vie de l'ordre d'une année. Au terme de leur croissance, les femelles atteignent au maximum un poids de cinq kilogrammes et les mâles de six à huit kilogrammes. La mort des femelles survient peu après l'éclosion des œufs qu'elles couvent pendant deux mois environ. Puis, elles jeûnent, maigrissent et meurent d'épuisement. Les mâles maigrissent comme les femelles qu'ils ont fécondées, et meurent presque en même temps qu'elles.

Des explosions démographiques surviennent lorsque les larves trouvent un environnement favorable à leur développement, telle la remontée des eaux froides riches en éléments nutritifs déclenchées par les alizés. Ce phénomène, observé en 1999 au Sénégal, a précédé un énorme accroissement des populations de poulpes l'été suivant. Malgré la surpêche de 1999, le renouvellement rapide des poulpes dans les eaux sénégalaises les protège de la surexploitation. En revanche, leurs prédateurs se raréfient.

Votre futur compagnon numérique

FIONA HARVEY

Pour créer un réseau Internet sans fil, des ingénieurs construisent des réseaux qui traitent rapidement des quantités considérables de données et des dispositifs de poche qui exploitent les ressources du réseau Internet actuel.

En 2005 : en voyage d'affaires à New York, vous avez quelques heures pour flâner dans la Cinquième Avenue. Soudain, votre ordinateur portable vibre ; vous sortez de votre poche l'appareil gros comme une calculatrice actuelle et, sur l'écran vidéo, vous découvrez que les actions de la Société *Captrôme* perdent de la valeur. Vous avez créé cette entreprise de nez électronique en 2000, mais, fin 2004, votre partenaire

financier a voulu qu'elle entre au second marché. Dans le microphone de votre portable, vous criez : « Appelle Viviane ! » Devant vous, des passants se retournent, tandis que votre secrétaire vous révèle que votre ancien partenaire financier – avec qui vous êtes fâché – vient de placer sur le marché 30 pour cent des actions de la société, qu'il possédait encore. Debout sur le trottoir, vous criez : « Accès finances personnelles ! » Votre compagnon numérique se connecte immédiatement à votre site boursier favori. Pendant que les passants vous regardent, vous rachetez la moitié des actions tout juste mises sur le marché.

Vous devez rentrer d'urgence à Paris pour concrétiser l'achat. Vous demandez au compagnon numérique de se connecter sur le service de réservation d'une compagnie aérienne et vous achetez un billet. À l'aide de l'appareil, vous informez aussi Viviane et votre femme de ce changement de programme. Enfin, vous demandez à votre portable de vous indiquer le bar le plus proche. Après cette alerte, un remontant s'impose.

Ce scénario paraît fantaisiste, mais la plupart des grandes entreprises de télécommunications dépensent des milliards afin de le rendre plausible. Pourquoi ? Parce qu'elles ont observé le succès considérable des téléphones cellulaires : tous ces utilisateurs de téléphones sans fil pourraient devenir des consomma-

teurs à temps complet. En France, plus de 24 millions de personnes possèdent déjà un portable, soit 37 pour cent de la population. Dans plusieurs pays occidentaux, une personne sur deux est équipée. En tout, 117 millions d'Européens utilisent la téléphonie mobile. C'est en Finlande que la frénésie de la téléphonie mobile culmine : 71 pour cent des personnes utilisent un *kännykkä*. Outre Atlantique, 34 pour cent des Américains téléphonent quotidiennement de leur *mobile phone*. Au Japon, 45 pour cent des Nippons abusent du *Keitai Denwa*, 58 pour cent des Hongkongais font de même, etc. Tous ces abonnés utilisent déjà des services que les opérateurs ont ajoutés à la simple communication. Toutefois, l'exercice est souvent inefficace : le paiement sécurisé reste difficile, le recours à un opérateur est impératif, les temps d'attente sont longs, etc. Aujourd'hui, les utilisateurs de téléphone portable n'utilisent des prestations par téléphone qu'en cas de nécessité. La situation changerait si les accès étaient automatiques et simples. Toutefois, ils ne le deviendront que si les données arrivent assez rapidement dans les portables. Les services pourront alors y être proposés sur une multitude de minipages. Pour de nombreux experts commerciaux, l'évolution ultérieure du marché est assurée : obnubilés par l'idée de gagner du temps, la « ménagère de moins de 50 ans » et beaucoup d'autres



À gauche et à droite : avec l'aimable autorisation de Lernout & Hauspie et Nokia

Les gadgets électroniques de demain auront probablement une tout autre apparence que ceux d'aujourd'hui. La Société belge *Lernout & Hauspie* a mis au point un prototype (à gauche) d'appareil portable, que les utilisateurs commandent à la voix. Ils lui dictent aussi leurs courriers électroniques. La Société finlandaise *Nokia*, spécialiste de téléphonie, a développé un appareil capable d'afficher des images et des films vidéo (à droite).

consommateurs feront leurs achats sur leurs terminaux portables. Des entreprises se chargeront alors de les aider à bien utiliser le temps ainsi sauvé...

Les bases de la prochaine révolution de la téléphonie sont en construction. L'Europe est plus avancée que les États-Unis et l'Asie. En Finlande, par exemple, les abonnés utilisent déjà leur téléphone pour envoyer des messages à leurs amis, pour payer des factures, pour connaître l'état de la circulation routière et pour payer leurs consommations dans un café d'Helsinki : ils composent seulement les numéros appropriés. L'avance européenne résulte d'une meilleure harmonisation des techniques. Le GSM est adopté dans tous les pays d'Europe. Au Japon, tous les adolescents sont fous de l'option *iMode*, qui assure la connexion au réseau Internet. Plus de 12 millions de Japonais l'utilisent. Les sociétés américaines ont été plus lentes à offrir ce genre de services parce qu'aucune norme ne s'est répandue aux États-Unis. Pourtant, les opérateurs américains n'ont pas hésité à lancer des campagnes publicitaires agressives afin de convaincre leurs clients d'acheter des téléphones cellulaires reliés au réseau Internet. Parallèlement, des fabricants de matériels informatiques, notamment les constructeurs d'ordinateurs de poche, exploitent le nouveau marché.

Le *Palm VII*, par exemple, accède au réseau Internet par les airs, grâce à une mini-antenne. Le *Jornada* intègre un modem, lequel peut être branché sur un portable, etc.

Aujourd'hui, les communications effectuées par ces appareils sont terriblement lentes : le débit est inférieur à seulement dix kilobits par seconde en moyenne, soit une transmission cinq fois plus lente qu'avec un micro-ordinateur connecté par un fil. Avec ces débits, on peut effectuer des tâches simples, tel l'acheminement d'un message, mais la navigation sur Internet est pénible. Le téléchargement de films vidéo ou de musique est impossible ! À cette faiblesse technique s'ajoute celle de l'infrastructure. Aujourd'hui, les réseaux ne transmettent des données par les airs que dans les grandes agglomérations.

Les progrès techniques et les investissements considérables devraient pallier ces défauts. Les premiers téléphones cellulaires étaient des appareils analogiques : ils transmettaient un signal électrique proportionnel à l'intensité sonore de la voix. Les téléphones de deuxième génération – ou « téléphones 2G » – sont tous numériques. Les séquences de 0 et de 1 qu'ils envoient ou reçoivent codent la voix, et ils peuvent en principe coder n'importe quel type d'informations. Les sociétés de télé-

communications mettent aujourd'hui au point des réseaux sans fil de troisième génération (3G), qui transmettent rapidement les données. Les opérateurs annoncent des débits de deux mégabits par seconde : on pourra télécharger des morceaux de musique et des films vidéo.

Le gouvernement britannique a déjà réservé certaines bandes du spectre électromagnétique à la téléphonie mobile de troisième génération : la mise aux enchères des licences correspondantes lui a rapporté presque 250 milliards de francs. En Allemagne, où les mêmes fréquences viennent d'être mise aux enchères, les montants atteints devraient être comparables. En France, le gouvernement a décidé de vendre les licences à un prix fixe aux sociétés qu'il choisira. Le gouvernement américain a des projets similaires. En Europe, le Royaume Uni devrait être le premier pays équipé de réseaux 3G. De grands opérateurs, tels *British Telecommunications*, *Vodafone* et *France Telecom*, promettent que leurs réseaux 3G seront opérationnels dès 2002. Les services de données à haut débit ne seront peut-être pas actifs aussitôt, et les populations rurales seront équipées bien après les citadins : en 2010, semble-t-il.

Impatients de capter le marché, plusieurs opérateurs s'apprêtent à proposer des solutions intermédiaires : les



«réseaux 2,5G». Aux États-Unis, par exemple, la Société *Sprint PCS* projette de pousser la vitesse de pointe de ses applications Internet à 144 kilobits par seconde grâce à la «commutation de paquets». Jusqu'à présent, presque tous les réseaux de téléphonie mobile utilisaient la commutation de circuits : un canal de communication, c'est-à-dire une bande spécifique de fréquence, est réservé à chaque utilisateur qui téléphone ; quand tous les canaux sont occupés, téléphoner devient impossible. La commutation par paquets évite cette saturation : le signal est découpé en paquets de données qui sont étiquetés avec l'adresse de destination. Puis tous ces paquets sont envoyés sur les réseaux, qui les acheminent par tous les canaux disponibles. À la réception, un ordinateur les met dans le bon ordre, puis les livre au circuit d'écoute ou à l'écran. Les

débits maximaux de la commutation par paquets sont bien supérieurs à ceux de la commutation de circuits. La commutation par paquets est comparable à la gestion ordinaire du trafic routier : tous les véhicules sont libres d'emprunter n'importe quelle chaussée, n'importe quand. En revanche, la commutation de circuits se compare à la gestion extraordinaire du trafic mise en place par la gendarmerie lors de la visite d'un président étranger ; le véhicule de ce dernier emprunte une partie du réseau libérée pour lui. Pendant ce temps, le reste des véhicules n'a pas le droit de rouler sur l'itinéraire du président. Si nous étions tous des présidents obligés de s'annoncer avant de passer, le trafic sur les routes de France serait bien moins intense !

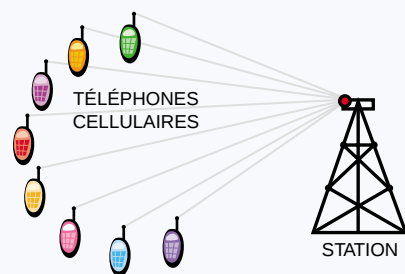
La commutation par paquets a cependant un inconvénient majeur : la

transmission est moins fiable, la collecte et le réassemblage des paquets de données prend du temps. Dans la rue Sleidan, à Strasbourg, quand il pleut, ou devant le supermarché de Suippes, en Champagne, quand le réseau est encombré, le paquet n° 735 n'atteint parfois pas le récepteur ou arrive trop tard. Les systèmes de transmission de données attendent jusqu'à l'arrivée du paquet qui manque et demande une retransmission s'il tarde. Les systèmes spécialisés sur la voix, en revanche, n'attendent pas longtemps ; à la fin d'un court délai de latence, ils réassemblent le signal avec des vides. Les mots sont alors hachés, ce qui rend la conversation plutôt fatigante. Les opérateurs ont mis au point plusieurs méthodes pour minimiser le problème. La suppression des «paquets de silence» en est une : environ 30 pour

La télécommunication sans fil

De nombreux acronymes sont utilisés par l'industrie des télécommunications sans fil. Ils forment trois catégories qui cor-

respondent à trois stades successifs du développement des réseaux aériens.

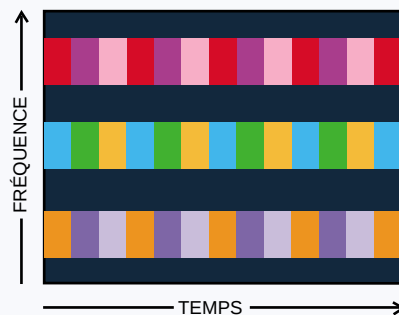


avec une forêt d'antennes qui émettent vers tous les «téléphones cellulaires» présents dans la cellule.

Réseau cellulaire : pour assurer une bonne couverture d'un grand territoire, les opérateurs de réseaux téléphoniques le divisent en un grand nombre de zones plus petites nommées cellules. Chacune est équipée d'une station de base,

AMPS : cet acronyme d'*Advanced Mobile Phone System*, soit «système perfectionné de téléphone portable», désigne un type fréquent de réseau cellulaire analogique. Ce réseau utilise la bande voisine de 800 mégahertz. Il sera bientôt remplacé par les réseaux FDMA.

FDMA : cet acronyme de *Frequency Division Multiple Access*, soit «accès multiples par partage de fréquence», désigne une façon d'allouer automatiquement des fréquences aux utilisateurs, de sorte qu'un grand nombre de personnes puissent téléphoner par l'intermédiaire d'une même station. Un réseau local AMPS utilise, par exemple, 832 canaux différents, placés à 30 kilohertz les uns des autres sur l'échelle des fréquences. Le système FDMA peut être employé en même temps que les systèmes CDMA ou TDMA.



GRÂCE AU SYSTÈME FDMA, un grand nombre de téléphones cellulaires peuvent envoyer simultanément leurs signaux à une même station (à gauche). Comme le montre la figure ci-dessus, chacun des utilisateurs se voit assigner une fréquence différente. Dans la figure, chacune de ces fréquences est symbolisée par une bande de couleur différentes. Les interruptions dans ces bandes signifient que ces canaux ne sont pas utilisés en permanence.

Bande passante : dans les télécommunications, c'est la fréquence utilisée pour la transmission d'un signal modulé en fréquence (l'antenne émet une onde de fréquence déterminée, et le signal est codé par des variations de la fréquence autour de l'onde «porteuse»). En physique, c'est aussi la gamme de fréquences qu'un système électronique transmet (un filtre, un amplificateur, un réseau, etc.). La bande passante se mesure en nombre de cycles par seconde, c'est-à-dire en hertz.

Débit de transmission : c'est le nombre de bits transmis par un système électronique par seconde.

Première génération : les systèmes analogiques (début des années 1980 jusqu'à aujourd'hui)

Encore largement utilisés, les téléphones cellulaires apparus au début des années 1980 captent et émettent des signaux analogiques. Ils transforment les sons en variations électriques dont la fréquence dépend de l'intensité sonore, puis ils émettent ce signal électrique par un canal réservé à la conversation. À l'autre bout de cette ligne, le signal est transformé en signal sonore par le petit haut-parleur de l'appareil.

Deuxième génération : les premiers systèmes numériques (début des années 1980 jusqu'à aujourd'hui)

CDMA : cet acronyme de *Code Division Multiple Access*, soit «accès multiples par partage de code», désigne une technique de partage d'une même fréquence par les utilisateurs. Avec ce système, le signal

cent d'une conversation téléphonique est formée de silences ; pourquoi les transmettre ?

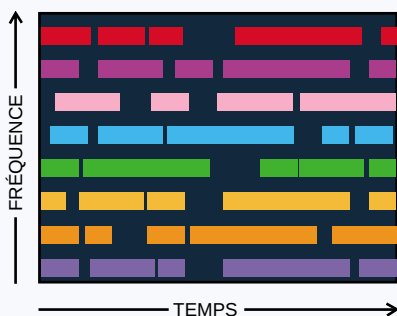
Les supertéléphones arrivent

Si un téléphone reçoit des données, de la musique, des images, pourquoi ressemblerait-il aux téléphones actuels, et si l'on veut perfectionner l'ergonomie des «compagnons numériques», quelle apparence doit-on donner à ces appareils ? Pour les opérateurs, la question est essentielle. Quand les réseaux de troisième génération seront construits, les clients ne les emploieront que si les terminaux sont bien pensés. Doit-on conserver la forme du mini-ordinateur ? Ou celle du téléphone ? De l'agenda électronique ? Apparemment, chaque public préfère un appareil spécifique : l'ado-

lescente japonaise devra avoir son terminal en forme de cœur fluorescent, l'ingénieur allemand son solide appareil de ceinture, l'universitaire français son bureau de poche, le boursier sa minisalle des marchés, etc. Ces machines devront être polyvalentes, adaptables, éventuellement modifiables en fonction de la mode. Aussi les fabricants explorent-ils des modèles et des formes variés. Les principales sociétés, telles *Nokia*, *Ericsson* et *Motorola*, créent des «supertéléphones 3G» qui ne ressembleront à aucun des téléphones cellulaires actuels. Ils auront des écrans couleur de haute résolution, de plusieurs dizaines de centimètres carrés, pour la présentation de graphiques et de vidéos. Certains seront équipés d'un clavier et d'une souris miniature, mais la plupart s'utiliseront à l'aide d'écrans sensitifs et de stylets, à la façon des machines *Palm*

ou d'autres ordinateurs de poche actuels.

Proches des baladeurs par le format, ces terminaux du futur devraient en assurer la fonction. Le téléchargement de musique est une application étudiée par plusieurs sociétés. Elle se fera sans doute sous le format déjà bien connu MP3, ou sous le format qui le remplacera. Robert Madge, fondateur de la Société *Madge Networks*, pense que ces applications seront les premières utilisées. Aujourd'hui, ceux qui ont déjà téléchargé de la musique sur Internet savent que de la mise au point reste à faire avant d'arriver aux visions de R. Madge. Cependant, plusieurs solutions sont envisagées : par exemple, l'utilisateur pourrait télécharger les morceaux musicaux commandés pendant la nuit. Comprimés, ces fichiers seraient conservés sur des cartes mémoires, telle la *Memory Stick* de la Société *Sony*.



LE SYSTÈME CDMA divise le signal en «jetons de communication» (petits paquets en couleurs dans la figure), qui sont ensuite transmis par les nombreux canaux d'une certaine bande de fréquence, puis réassemblés.

temps», désigne une technique de partage du temps de communication par les utilisateurs. Les téléphones de ces derniers disposent de façon périodique d'une certaine durée de communication dans le canal (fréquence) qui leur a été attribué. Les appareils reçoivent tous les signaux, mais ils peuvent ne conserver que ceux qui leur sont destinés, parce qu'ils «savent quand écouter».

GSM : cet acronyme de *Global System for Mobile Communication*, soit «système global de téléphones mobiles», désigne le système de télécommunication sans fil utilisé en Europe et au Japon. Il garantit la compatibilité des réseaux ; ainsi, un «téléphone GSM» français peut être employé en Allemagne, et réciproquement. La norme GSM est fondée sur le système de division du temps de communication TDMA. Les systèmes GSM utilisent la bande de fréquence des 900 mégahertz.

PCS : cet acronyme de *Personal Communication Service*, soit «service de communication personnelle», désigne un type de réseau sans fil nord-américain, qui utilise la bande de fréquence de 1 900 mégahertz. La variante *Sprint PCS*, par exemple, utilise le système CDMA d'étiquetage par code de morceaux de signal (jetons).

téléphonique est divisé en un grand nombre de «jetons», tous étiquetés avec le code de l'appareil portable dont ils proviennent. Le système CDMA peut être employé en même temps que les systèmes FDMA ou TDMA.

TDMA : cet acronyme de *Time Division Multiple Access*, soit «accès multiples par partage du

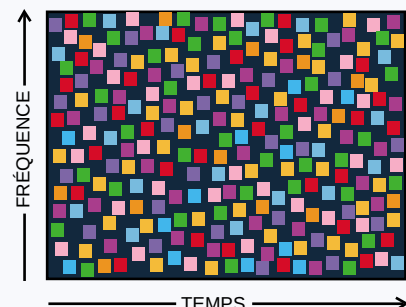
Troisième génération : les systèmes numériques à large bande (devaient apparaître au début des années 2000)

Les entreprises de télécommunications veulent modifier bientôt leurs réseaux, afin d'atteindre des débits de dix kilobits par seconde.

EDGE : cet acronyme de *Enhanced Data Rates for Global Evolution*, soit «taux de données améliorées pour l'évolution globale», a été composé parce qu'il suggère l'idée d'être «en pointe». Il désigne une forme rendue plus rapide de système TDMA, c'est-à-dire de partage des temps de communication. Le taux de transmission du système EDGE devrait dépasser 384 kilobits par seconde. Le système EDGE va être employé pour reconditionner les systèmes GSM en Europe et AT&T en Amérique du Nord.

GPRS : cet acronyme de *General Packet Radio Service*, soit «service général de paquets radio», désigne l'une des améliorations prévues du système GSM. Elle consiste à introduire la commutation par paquets. Au lieu d'envoyer des données à l'aide de circuits dédiés, un système par commutation de paquets divise l'information en paquets susceptibles d'être transmis par n'importe lequel des canaux disponibles.

W-CDMA : cet acronyme de *Wideband Code Division Multiple Access*, soit «accès multiple à large bande par partage de code», désigne une forme améliorée de système CDMA. Le taux de transmission peut y culminer à deux mégabits par seconde. W-CDMA répartit les paquets d'informations qu'il prépare (jetons de communication) sur une bande de fréquence beaucoup plus large que ne le fait CDMA.



GRÂCE AU SYSTÈME TDMA, un grand nombre de téléphones cellulaires peuvent se partager de façon efficace le temps de communication sur un même canal (fréquence). Chaque canal est mis à disposition d'un utilisateur pendant une durée fixe, à intervalles réguliers (bandes de couleurs dans la figure ci-dessus).

Bluetooth, ou comment se débarrasser des câbles

Enfin un moyen crédible de se débarrasser des câbles. Harald «Dent bleue» est le roi qui unifia la Norvège au Danemark, il y a 1 000 ans. Le nom de l'impitoyable Viking fait aujourd'hui l'unité chez tous ceux qui attendent avec impatience d'être délivrés des câbles d'ordinateurs et autres attrape poussières qui encombreront inutilement nos bureaux. Ce réseau radio, *Bluetooth*, de faible portée, fut initialement inventé pour la transmission entre les chaînes stéréo et les casques sans fils. Très rapidement, il a été adopté pour des applications électroniques variées.

Même si les premiers appareils dotés de ce système arrivent à peine sur le marché, plus de 1 000 constructeurs électroniques ont déjà adopté *Bluetooth*, qui est, de facto, devenu la norme pour la communication sans fils. On le trouve dans des ordinateurs portables, des téléphones cellulaires, des jouets, des réfrigérateurs, etc.

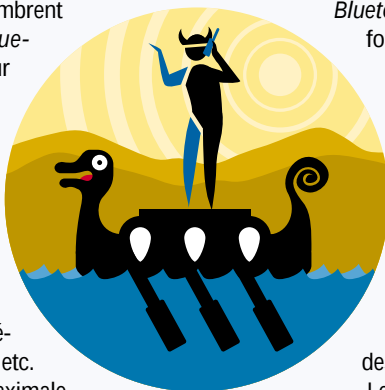
Un réseau radio *Bluetooth* a une portée maximale d'environ dix mètres. Il fonctionne par micro-ondes, c'est-à-dire dans la bande de fréquence ISM réservée aux applications industrielles, médicales et scientifiques (2,4 à 2,5 gigahertz). Cette bande de fréquence a l'avantage d'être utilisable sans autorisation de l'administration. Afin d'éviter les interférences avec d'autres types

d'appareils qui émettent dans la même bande, le réseau *Bluetooth* varie sa fréquence 1 600 fois par seconde.

Avec *Bluetooth*, les câbles sont inutiles, et l'installation de réseaux domestiques ou de bureau sera beaucoup plus facile.

Bluetooth facilitera aussi l'échange automatique d'informations entre appareils proches. Les hommes d'affaires pourraient ainsi échanger leurs coordonnées en rapprochant, puis en activant leurs organiseurs. Ces derniers appareils deviendraient aussi beaucoup plus faciles à accorder avec le système d'information de l'entreprise. À peine leurs propriétaires présents dans les locaux de l'entreprise, une procédure automatique les «synchroniserait». Une autre application serait l'identification permanente de personnes à l'intérieur des usines, des bureaux ou des villes...

Les constructeurs électroniques estiment que *Bluetooth* sera très vite omniprésent. La vitesse avec laquelle l'industrie l'adoptera dépendra toutefois de la vitesse de renouvellement des appareils portables. Rapide pour les téléphones, les agendas électroniques (organiseurs), etc., il l'est moins pour les réfrigérateurs ou les machines à laver.



XPlane

Les constructeurs de téléphones pensent aussi à tous ceux qui préfèrent l'écrit : les jeux ou la lecture d'informations sont difficiles sur un écran minuscule. Aussi, les constructeurs électroniques imaginent des appareils munis d'écrans plus grands, comme les livres électroniques qui apparaissent en France depuis un ou deux ans. Ces sortes d'ardoises ont la surface d'une page et une mémoire assez vaste pour stocker des dizaines d'ouvrages. Des constructeurs qui envisagent un développement du téléchargement de films ont mis au point des systèmes équipés de minuscules caméras vidéo ou de projecteurs. Ils permettront soit la réalisation des films dans toutes les circonstances, soit une projection après un téléchargement.

Parler, écouter et regarder son écran

Avec tous les prototypes, l'utilisateur pourra simultanément parler, écouter et regarder son écran. Certains ont un écran séparé du corps de l'appareil ou sont dotés de microcasques qui associent des écouteurs et un microphone. Toutefois, les ingénieurs voudraient supprimer les fils. Aussi de nombreux prototypes transmettent-ils les signaux entre le microcasque et le corps de l'appareil à l'aide d'ondes électromagnétiques de faible puissance. Un réseau

radio à faible distance, nommé *Bluetooth* a été mis au point à cette fin ; il assurera également la transmission des données entre le terminal et des appareils situés à proximité : la caisse enregistreuse d'un supermarché, par exemple. Ainsi, le compagnon numérique servira aussi de portefeuille électronique.

Toutefois, ces machines risquent de coûter cher (la mise au point d'un prototype de supertéléphone coûte plus de 18 millions de francs), et quelques spécialistes du marketing prédisent qu'ils seront réservés à un public limité. «La plupart des individus n'auront pas besoin de l'animation vidéo intégrale continue», observe Lars Godell, de la Société *Forrester Research*, qui pense que le compagnon numérique courant sera un «téléphone intelligent», simple et proche des téléphones cellulaires actuels ; son écran sera sans doute un peu plus grand, et son clavier amélioré facilitera la saisie des données. Ces téléphones intelligents assureront la téléphonie, l'envoi et la réception de courriers électroniques, l'accès au réseau Internet et, peut-être, l'écoute de musique téléchargée.

Pourquoi les spécialistes du téléphone seraient-ils les seuls à concevoir des supertéléphones ? Ces appareils transformeront des informations numériques en voix, données, jeux, musique, etc. Forts de leurs savoir-faire, les spécialistes du traitement ou de la création

de chacun de ces types d'information veulent aussi créer leurs types de compagnons numériques. Ainsi, les sociétés informatiques cherchent à relier à Internet leurs ordinateurs de poche et agendas électroniques ; grâce à des transmissions radio, ces systèmes deviendront de petits bureaux électroniques transportables partout. Une connexion automatique régulière avec le micro-ordinateur du bureau rafraîchira les données utilisées dans «le bureau de poche». Certains fabricants envisagent des interfaces vocales pour ces appareils, mais le surcoût réservera ces systèmes aux hommes et aux femmes d'affaires. De même, les fabricants de consoles de jeux vidéo veulent aussi que leurs clients puissent jouer partout. Selon L. Godell, les Sociétés *Nintendo* et *Sony* prévoient de doter leurs consoles d'accès au réseau Internet d'ici à deux ans. Même intérêt chez les fabricants de baladeurs : ils préparent des modèles qui téléchargeraient des fichiers MP3 à partir du réseau Internet.

Plus généralement, tous les constructeurs de systèmes électroniques portables veulent transmettre des données du réseau Internet aux terminaux sans fil. Certains projets sont très originaux. Par exemple, la Société *Swatch* s'est associée avec la Société *Hewlett Packard* pour créer une «montre Internet» : elle aura l'aspect d'une montre normale, mais son possesseur

pourra télécharger des messages électroniques, de la musique ou des résultats sportifs grâce à un minuscule émetteur-récepteur.

La guerre des logiciels

Tous ces matériels portables sont de petits ordinateurs, qui sont animés par un système d'exploitation, c'est-à-dire un programme qui traduit les instructions reçues dans le langage du microprocesseur. Comment adapter les systèmes d'exploitation actuels à la gestion des échanges sans fil avec le réseau Internet? Aucun des systèmes actuels (les équivalents pour les systèmes portables de Windows 97, MacOS...) ne semble vraiment avantage. Le système d'exploitation mis au point par *Palm*, par exemple, est utilisé sur les machines *Visor* de la Société *Handspring*. Le système d'exploitation *EPOC*, créé par le fabricant britannique d'ordinateurs de poche *Psion*, est déjà bien implanté : il est employé sur les téléphones cellulaires avec accès au réseau Internet des Sociétés *Nokia* et *Ericsson*. Ces systèmes, mis au point par des spécialistes du matériel portable, sont aujourd'hui concurrencés par la Société *Microsoft* : en 1996, le géant du logiciel a mis au point son propre système d'exploitation pour systèmes portables, *Windows CE*. Ce système a été adopté par *Hewlett Packard*, *Compaq* et *Casio*, pour leurs ordinateurs de poche. La Société *Microsoft* fabrique aussi des logiciels pour les «téléphones intelligents». Elle s'est associée au spécialiste des téléphones suédois *Ericsson* afin de créer, à l'aide de ces logiciels, du matériel portable facile à personnaliser : on adaptera ainsi les machines aux diverses professions (médecins, avocats, agents commerciaux...) ou aux diverses catégories de consommateurs (adultes, enfants...).

Beaucoup d'appareils portables seront probablement équipés pour reconnaître la parole. Toutefois, les avancées dans ce domaine sont lentes. La qualité des logiciels de dictée s'est améliorée (certains d'entre eux transcrivent avec précision entre 95 et 99 pour cent des mots qu'on leur dicte), mais, cette application mise à part, les tâches linguistiques les plus simples sont à peine à la portée des ordinateurs les plus puissants. Les performances insuffisantes limitent les applications. Pourtant, de nombreuses équipes se penchent sur le problème. Les Sociétés *Microsoft*, *IBM* et *Philips* étudient notamment des

systèmes d'exploitation qui seraient commandés par la voix. La Société belge *Lernout & Hauspie*, spécialisée dans la reconnaissance vocale, vient de se renforcer en rachetant ses concurrents : *Dragon* et *Dictaphone* ; elle a créé le système *NAK*, une forme de commande par la voix qui fonctionne à partir d'un nombre limité de commandes vocales. Le nom *NAK* est inspiré du mot *nakulu*, qui signifie «écho» en hawaïen. Le système ne fonctionne que sur les appareils portables construits autour du microprocesseur *StrongARM* de la Société *Intel* (une puce puissante et qui consomme peu d'énergie). Avec le système *NAK*, les appareils peuvent exécuter les programmes de synthèse vocale pour lire les textes des courriers électroniques ; ils peuvent également prendre des réponses sous la dictée, puis les envoyer après réception d'une commande («envoyez le courrier électronique»). La Société *Lernout & Hauspie* annonce que *NAK* aura un vocabulaire de plus de 30 000 mots, un large répertoire de commandes et la capacité de comprendre plusieurs langues ; les matériels *NAK* seraient disponibles dès 2001 et coûteraient environ 30 000 francs.

Au rythme où apparaissent de nouvelles fonctions pour appareils portables, peut-être aurons-nous bientôt un compagnon numérique muni d'une tige, qui nous grattera obligeamment le dos pendant que nous téléphonerons? De quelles fonctions exactement sera doté le «compagnon numérique du peuple», celui qui sera courant dans dix ans? La question est évidemment difficile, car de nombreuses incertitudes subsistent. Quel sera le succès des services qui se préparent pour l'Internet aérien? À quelle vitesse se feront les retours sur les investissements énormes consentis en ce moment? La bande passante de l'Internet aérien augmentera-t-elle assez vite pour rendre son utilisation supportable? Les opérateurs et les constructeurs de matériels ont leurs hypothèses, mais ils ont surtout besoin que nous acceptions ces futurs compagnons numériques. Aussi émettent-ils vigoureusement un message de leur cru : «Les téléphones portables actuels seront bientôt aussi dépassés que les monocles.»

Fiona HARVEY est journaliste spécialiste de l'industrie des télécommunications.
