



La santé du futur : le numérique partout

27 Novembre 2020



claude@lemarson.com

L'impression 3D médicale, ce sera 3,5 G\$ en 2025

Sommaire

La santé du futur : le numérique partout, que cela plaise ou non...

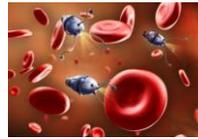
- ❖ Santé, le domaine le plus conservateur du monde, mais...
- ❖ L'homme augmenté : on a besoin de pièces détachées
- ❖ Les robots au service de la chirurgie et du handicap
- ❖ La géolocalisation pour la prévention : ex du covid
- ❖ La médecine à distance : des praticiens 2.0 et le recours aux spécialistes
- ❖ Les objets connectés partout : à l'extérieur et à l'intérieur du corps humain
- ❖ Surveillance 7/24 : la santé "as a service"
- ❖ La e-santé et les fichiers personnels
- ❖ Les données médicales doivent-elles rester privées ?
- ❖ Les imprimantes 3D et la chirurgie réparatrice
- ❖ L'Intelligence Artificielle et les diagnostics
- ❖ Mon médecin est un algorithme !
- ❖ Très en colère contre la mort



L'informatique médicale du futur



Les interventions chirurgicales, assistées par un robot...(robot da Vinci)



Des nanorobots pourraient servir de mécaniciens du corps. Injectés dans le sens ils détecteraient certains problèmes et pourraient d'eux-mêmes apporter des solutions.



Implantation d'organes fabriqués avec les cellules souches des patients



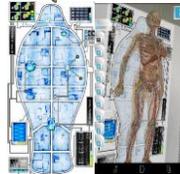
Analyse en temps réel par un spectromètre des vapeurs émises lors d'une incision, pour des diagnostics en cours d'opération.



Une deuxième peau remplie de capteurs pour mesurer nos paramètres physiologiques



Une interface BCI : Brain Computer Interface a été mise au point à la Harvard University



Des tables de simulation plutôt que des cadavres...



Les circuits ingérables arrivent avec des piles construites à l'aide de matériaux biodégradables

La médecine de demain

3 / 19

Santé, le domaine le plus conservateur du monde

- ❖ Le domaine de la santé est à la fois le plus conservateur et le plus novateur
- ❖ Deux grands domaines
 - ❖ Tout ce qui est mécanique et simulable peut être remplacé et amélioré par des implants nouveaux
 - ❖ Tout ce qui touche au cerveau et à l'intelligence ne peut être qu'approché, sans aucun espoir prévisible de s'approcher de la cible
- ❖ On peut discerner trois étapes fondamentales dans l'évolution de l'être humain :
 - ❖ l'**homme biologique** tel qu'il a été créé (hier), avec ses qualités et insuffisances
 - ❖ l'**homme bionique**, dans lequel les organes défaillants sont remplacés par des implants artificiels (aujourd'hui)
 - ❖ le transhumanisme dont l'objectif est de créer un homme nouveau sur la base d'algorithmes d'intelligence artificielle.



Homme biologique Hier



Homme augmenté Bionic man Aujourd'hui



Homme transhumanisé Demain

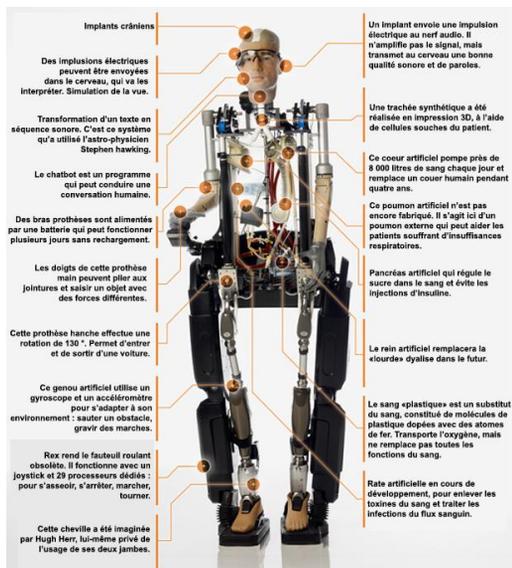


4 / 19

L'homme augmenté

On a besoin de pièces détachées

- ❖ On parle souvent d' « exoskeleton » ou squelette externe, par opposition à l' « endoskeleton », ou squelette interne.
- ❖ L'idée ici est de copier la nature.
- ❖ L'exosquelette est une disposition artificielle qui permet d'améliorer le comportement d'un individu, en **l'augmentant**, de manière à lui faire exécuter des tâches qu'il ne pourrait pas faire autrement : transporter des produits lourds, se déplacer plus vite, réduire la fatigue, etc.
- ❖ Le mouvement qui tend à bonifier l'être humain s'exerce dans deux directions :
 - ❖ Pour soutenir, améliorer voire remplacer certaines fonctions qui se seraient dégradées,
 - ❖ Pour lui apporter des éléments externes qui n'existent pas naturellement, tout en restant dans le cadre de ce « qu'il sait faire ».
- ❖ Les grands axes de développement de cet être bionique sont bien connus.
 - ❖ Vision
 - ❖ Circulation sanguine
 - ❖ Os et articulations.
- ❖ Comme le montre Rex, ce robot « théorique » présenté par la télévision britannique, la plupart des organes humains peuvent compter sur une aide artificielle, voire être remplacés par des implants ou compléments externes.
- ❖ Les mentalités ont fortement changé : il y a quelques années, les observateurs auraient été outrés, aujourd'hui, ils sont indifférents.
- ❖ Un jour viendra, ou nous disposerons de "pièces détachées" comme d'un médicament générique, fabriquées parfois avec nos cellules



Les imprimantes 3D et la chirurgie réparatrice

- ❖ De gros progrès effectués par les imprimantes 3 et 4D, capables de fabriquer des organes grâce à des cellules souches, des cellules naturelles programmées pour se multiplier indéfiniment et susceptibles de reproduire n'importe quel organe et tissu humain.
- ❖ Les bio-encres sont des matériaux utilisés pour produire des tissus vivants artificiels en impression 3D. Composées de cellules associées souvent à des matériaux supplémentaires qui les enveloppent.



Prothèses à Moins de 1 000 \$ (Openhandproject, e(Nable, Limbitless)



Implants sur-mesure (ex de CSIRO's lab 22, Premières côtes et sternum Pour un malade atteint d'un sarcome à la poitrine.



Numérisation 3D de prothèses dentaires. (connexion directe avec les logiciels spécialisés)



Bio-impression de cartilages et d'os (équipe Amber).



Reconstruction mammaire par transfert de graisse (lipofilling) dans une structure 3D.



Cœur artificiel en silicone réalisé par l'ETH de Zurich (1 heure). Une démonstration.



Impression directe de peau 3D dans le corps d'un patient (Wake Forest School of Medicine)



L'objectif ultime est de fabriquer des organes complets, dont le cœur artificiel. Horizon 10 ans.

Les robots, au service de la chirurgie et du handicap

- ❖ Un robot "bien programmé" ne subit pas les séquelles d'une soirée bien arrosée...
- ❖ Pour certaines opérations, il devient irremplaçable... associé à un chirurgien, sorte de "conducteur des travaux"...
- ❖ Chirurgie mini invasive
- ❖ Plus de 5 000 robots chirurgicaux dans le monde (dont 4 000 da Vinci)
- ❖ Les robots effectuent les gestes pilotés par les médecins (joysticks, bras animés)
- ❖ C'est de la chirurgie "assistée" par robots
- ❖ Transplantation d'un rein : extraction et implantation en chirurgie, qui ne nécessite qu'une petite incision de la taille du rein
- ❖ Exemple du Royal Marsden à Londres, avec 2 500 interventions robotisées, à l'aide du robot da Vinci (2 millions \$ l'unité)
- ❖ Chirurgie oculaire à l'Université d'Oxford
- ❖ À l'Hôpital général juif de Montréal, trois robots de ce type opèrent des patients atteints du cancer. Ils peuvent retirer des tumeurs dans l'abdomen, dans la bouche, dans la gorge et dans la prostate.
- ❖ Hôpital Georges Pompidou à Paris : précurseur, un robot 3 bras utilisé dans trois spécialités chirurgicales : l'ORL et la chirurgie cervico-faciale, la chirurgie oncologique gynécologique et du sein et l'urologie.
- ❖ Le futur très proche : interventions à distance par des spécialistes



Le robot 4 bras muni de Vinci Xi a permis de nouvelles disciplines d'être prise en compte : la chirurgie digestive, la chirurgie cardiaque et vasculaire et la chirurgie thoracique.

Médecine à distance : des praticiens 2.0 ...et le recours aux spécialistes

- ❖ Vrai pour la chirurgie, mais aussi pour les autres spécialités
- ❖ Il y a peu de pays qui ont construit une organisation de santé égalitaire, qui ne soit pas fondée sur l'argent, même et surtout les plus riches...
- ❖ Cette situation ne pourra pas durer
- ❖ Le coût d'une médecine libérale est très élevé et celui des installations performantes l'est encore plus : on est proche de l'asymptote
- ❖ Il ne sera pas possible de garantir à tout le monde des soins de grande qualité sans que les prix explosent
- ❖ D'où la nécessité de mettre en place une architecture à trois niveaux, fondée sur la télémédecine ou médecine 2.0
 - ❖ Auto-prescriptions par les patients eux-mêmes
 - ❖ Pré-diagnostics sur la base d'analyses par des généralistes, qui seront des "aiguilleurs de pathologies" (avec téléassistance)
 - ❖ Des praticiens 2.0, des spécialistes qui finaliseront les diagnostics et valideront une thérapie adaptée
- ❖ Le tout se fera dans un contexte de télémédecine : une forme de pratique médicale à distance qui utilise les technologies de l'information et de la communication, avec cinq natures d'interventions
 - ❖ Téléassistance médicale et intervention d'un expert auprès d'un professionnel de santé
 - ❖ Télésurveillance : interprétation de résultats par un professionnel de santé
 - ❖ Téléexpertise : un médecin peut solliciter l'avis d'experts
 - ❖ Téléconsultation : consultations à distance
 - ❖ Régulation médicale : premiers diagnostics pour les urgences.



Médecine à distance : engouement des startups

77 startups dédiées à la télémédecine

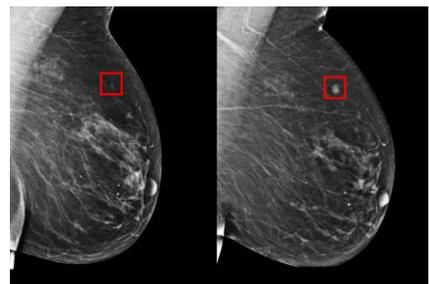
<p>1 Amwell</p>  <p>Country: USA Funding: \$711M Amwell is a telehealth platform that providers, insurers, patients, and innovators deliver more affordable, higher quality care.</p>	<p>4 Key</p>  <p>Country: Sweden Funding: €210.1M With KEY's app, you can meet a doctor or therapist at any time or location, using your phone or tablet.</p>	<p>7 @pointé</p>  <p>Country: USA Funding: \$120.3M @pointé combines deep technology with the expertise of board-certified physicians to provide text-based primary care anytime, anywhere.</p>
<p>2 Chunyu Yisheng</p>  <p>Country: China Funding: \$243.4M Chinese smartphone app that lets users remotely consult with physicians to diagnose their ailments</p>	<p>5 MDLive</p>  <p>Country: USA Funding: \$173.6M MDLIVE is a telehealth provider of online and on-demand healthcare delivery services and software.</p>	<p>8 Avail Medsystems</p>  <p>Country: USA Funding: \$227.9M Avail Medsystems is a medical technology company that develops software intended to digitize physical presence in operating rooms.</p>
<p>3 Doctor On Demand</p>  <p>Country: USA Funding: \$235.7M Doctor On Demand is a mobile app providing fast and easy access to some of the best doctors, psychologists, and other healthcare providers.</p>	<p>6 Heal</p>  <p>Country: USA Funding: \$171.1M Heal is startup offering house calls with primary care doctors, along with video appointments</p>	<p>9 Nurx</p>  <p>Country: USA Funding: \$115.9M Nurx is offering Truvada as "iPrEP" or an HIV pre-exposure prophylaxis. People looking to get on iPrEP can sign up via Nurx's website or smartphone app.</p>

La médecine de demain

9 / 19

La médecine préventive

- ❖ L'un des gros espoirs de la médecine de demain
- ❖ Il vaut mieux prévenir que guérir
- ❖ Ce sera le domaine clé de l'Intelligence Artificielle
- ❖ **On va passer d'une médecine curative (traitement après constat) à une médecine préventive**
- ❖ Le séquençage de l'ADN peut être une aide décisive dans la prédiction des maladies. Il permettrait de prédire avant les symptômes, l'apparition d'une maladie.
- ❖ Le coût du séquençage est de plus en plus faible : quelques centaines d'€/\$, alors que Steve Jobs avait payé 700 000 \$ pour faire le sien en 2007.
- ❖ De nombreuses compagnies proposent ce service : l'européen Gene Plaza, Novogenes, 23andMe...
- ❖ Le dernier prix Nobel de chimie a été attribué à Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna pour l'invention de la technique de ciseaux génétiques CRISPR-Cas9 en 2012.
 - ❖ Le système CRISPR-Cas9 sont des ciseaux moléculaires qui permettent de couper et modifier l'A.D.N. à des endroits précis du génome.
 - ❖ Il permet d'inactiver un gène, d'en contrôler l'expression ou de le modifier, ce qui va améliorer la compréhension des mécanismes moléculaires dans les cellules et l'élaboration de nouvelles approches thérapeutiques.
 - ❖ CRISPR-Cas9 représente un grand espoir dans la mise au point de traitements de pathologies héréditaires liées à la mutation d'un gène unique.



Une équipe du Laboratoire d'Intelligence Artificielle du MIT et du Massachusetts General Hospital (MGH) a entraîné un modèle capable de prédire, à partir d'une mammographie, si un patient a de fortes chances de développer un cancer du sein dans le futur. L'algorithme est entraîné sur plus de 60 000 cas et a appris à détecter des signaux faibles dans les tissus mammaires pour prédire un cancer futur.

La médecine de demain

10 / 19

Les objets connectés partout

A l'extérieur et à l'intérieur du corps humain

- ❖ Les objets connectés constitueront la grande révolution de la santé future
- ❖ Ce sont de simples capteurs dotés d'un moyen de mesure, d'une interface pour communiquer des données sur un réseau sans fil, voire plus rarement une capacité de mini-traitement et de stockage avant envoi sur le réseau
- ❖ Deux types : externes et internes
- ❖ Les objets externes sont partout : mobiles (100 000 applications de santé et bien-être dans le monde), T-shirts, bracelets, chaussettes, tétines, patches, bandeaux, brosses à dents, pèse-personnes, miroir de salle de bains, qui collectent nos données, fréquence cardiaque, respiratoire, taux d'oxygène, sommeil, alimentation, etc. dans une frénésie d'automesure.
- ❖ Ces capteurs externes sont susceptibles de communiquer avec des récepteurs externes, avec lesquels ils interagissent : ce sont nos anges gardiens, en lien avec les chatbots
- ❖ Ex du "Wize mirror" : glace intelligente, qui analyse l'haleine, les mouvements et notre peau, grâce à une IA embarquée.
- ❖ La vraie révolution est celle des "circuits ingérés ingérables", qui seront chargés d'une mesure très précise, dans le sang ou dans un organe.



La médecine de demain

La géolocalisation pour la prévention : ex du covid

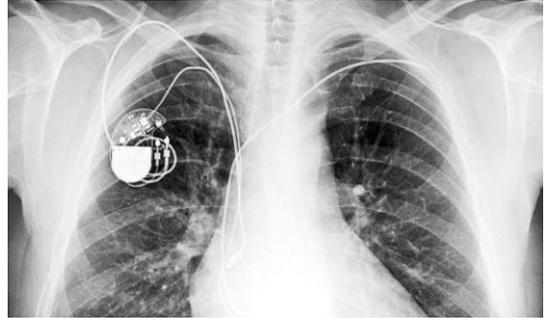
- ❖ Le covid a mis en évidence l'intérêt de la géolocalisation
- ❖ De nombreux pays ont développé une application que l'on installe sur un mobile Android ou iOS et qui alerte les autres individus de la proximité d'un contact ou personne contaminée
- ❖ Exemple de la France et de la première version AntiCovid : échec car fondée sur le volontariat
 - ❖ 7 969 personnes se sont déclarées comme étant positives au Covid-19 dans l'application, qui n'a généré que 472 notifications envoyées ensuite à de potentiels cas contacts.
 - ❖ Nouvelle version plus informative, mais pas une réussite éclatante : l'individu moyen ne veut pas que son état sanitaire soit "visible" de tous.
- ❖ La géolocalisation a de nombreuses autres applications :
 - ❖ Suivi des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer
 - ❖ Localisation des patients, des personnels soignants et des équipements dans une enceinte médicale (solution Alstom)
- ❖ Avantages (contestés) de la géolocalisation médicale
 - ❖ Elle rassure les patients et leurs familles
 - ❖ Elle réduit l'usage de médicaments pour les patients désorientés, condamnés à être sédentarisés
 - ❖ Plus de sérénité pour le personnel soignant dont la **fonction est le soin et pas la surveillance**
 - ❖ Elle facilite le travail du personnel soignant en lui permettant de retrouver plus vite et facilement le matériel nécessaire au soin.



La médecine de demain

La grande question des circuits internes et puces sous-cutanées

- ❖ Les circuits internes et sous-cutanés sont très souvent mal protégés
- ❖ Vulnérabilités sur des systèmes vitaux, où leur altération peut entraîner la mort du patient : pompes à insuline, pacemakers, défibrillateurs...
- ❖ De nombreuses démonstrations ont été effectuées de hacking du pacemaker
 - ❖ Ex : Après s'être procuré les données confidentielles des porteurs de stimulateurs cardiaques d'une grande marque, un chercheur a implanté un malware pour perturber le fonctionnement du pacemaker.
 - ❖ Installé à une dizaine de mètres de l'appareil médical, et muni uniquement d'un ordinateur portable, il lui a envoyé plusieurs décharges de 830 volts...
 - ❖ Pas de cas connu d'attaque réelle de ce genre.
- ❖ Les circuits sous-cutanés de type Veychip n'ont pas eu de succès
 - ❖ Applied a cessé ses activités en 2010
 - ❖ La capsule aurait permis, via un identifiant sur 16 caractères, d'accéder au dossier médical numérique dans de bonnes conditions de sécurité
 - ❖ Trop d'inconvénients



L'Intelligence Artificielle et les diagnostics

- ❖ Dans un premier temps l'IA est un assistant du médecin, pas son remplaçant
- ❖ En 2016, Watson, algorithme d'Intelligence Artificielle d'IBM, sauve une patiente japonaise de 60 ans. Elle diagnostique une leucémie très rare sur une base d'apprentissage d'environ 20 millions de dossiers.
 - ❖ L'algorithme détecte un cancer de la peau dans 90% des cas là où un colloque composé des meilleurs oncologues n'arrive qu'à 85%.
 - ❖ Lorsque ces mêmes oncologues s'aident du diagnostic de Watson, ils atteignent 95% de détection.
 - ❖ Il existe une opposition qui se fonde sur l'idée que 80 % des données issues de l'historique d'une thérapie appliquée à un patient ne sont pas reportables pour la même maladie sur un patient différent
- ❖ En plus de l'aide au diagnostic, l'IA apporte globalement deux types de services :
 - ❖ L'usage du Machine Learning pour analyser des données structurées, comme des informations génétiques, des images, des données électrophysiologiques, de manière à anticiper sur des risques encourus graves, voire sur des décès
 - ❖ Traitement du langage naturel pour extraire des informations à partir de documents non structurés, comme des publications médicales, des actes de symposiums, des notes, etc. De manière à mettre à jour les connaissances sur lesquelles va s'appuyer le praticien.
 - ❖ Dans les deux cas, la route est encore longue pour atteindre un niveau acceptable.
- ❖ L'IA est particulièrement efficace pour les maladies du système nerveux, les maladies cardiovasculaires et les cancers.
- ❖ Très efficace en analyse de documents et images numériques : tomographie des poumons (cancers), électrocardiogrammes et images MRI (attaques cardiaques), classement des lésions de la peau, détection de rétinopathies diabétiques grâce à l'image de l'oeil
- ❖ Développement plus rapide des médicaments. Voir le vaccin du covid.



Système d'imagerie médicale assisté par Watson

La e-santé et les fichiers personnels

- ❖ La grande question de ces vingt dernières années
- ❖ Hésitation entre la mise à disposition des données de santé pour les professionnels et le droit à l'anonymat
- ❖ Au Québec
 - ❖ Le Dossier Santé Québec (DSQ) est un outil provincial sécurisé qui permet de collecter, de conserver et de consulter les informations médicales.
 - ❖ Accès direct pour les professionnels à certains renseignements de santé, quelle que soit la région
 - ❖ Intervention plus rapide, en cas d'urgence
 - ❖ Meilleure gestion des prélèvements et examens
 - ❖ Ajustement optimal de la médication par le partage de l'historique des médicaments et de leurs résultats
 - ❖ Collaboration interprofessionnelle plus efficace grâce à une connaissance des professionnels de la santé et des services sociaux.
 - ❖ Le Carnet de Santé Québec est différent qui comporte des données issues du DSQ mais permet aussi d'accéder à certains services, comme la prise de rendez-vous
- ❖ En France
 - ❖ DMP : Dossier Médical Partagé
 - ❖ Comptes-rendus hospitaliers et radiologiques
 - ❖ Résultats d'analyses de biologie
 - ❖ Antécédents et allergies
 - ❖ Actes importants réalisés
 - ❖ Médicaments qui ont été prescrits et délivrés.



Les données médicales doivent-elles rester privées ?

- ❖ Deux camps s'affrontent, avec des points de vue irréconciliables
- ❖ Les tenants de la confidentialité des données médicales
 - ❖ Ce sont des données personnelles, le RGPD va dans ce sens
 - ❖ Leur divulgation peut avoir des conséquences graves sur la santé mentale des personnes
 - ❖ Leur connaissance peut entraîner la discrimination des employeurs
- ❖ Les tenants de l'ouverture
 - ❖ Les données médicales ne sont plus personnelles dès lors qu'elles mettent autrui en péril, ce qui est valable aussi pour les données judiciaires
- ❖ La tendance est à la diffusion des données médicales, ce qui heurte la législation de nombreux pays et la conscience des individus
- ❖ Le problème (difficile) est de contrôler les flux. Avec des capteurs répartis dans et hors corps et leur interaction avec des systèmes externes, c'est mission impossible...
- ❖ Les prochaines années seront décisives du point de vue législatif, car les cadres légaux vont devoir s'adapter
- ❖ Les biohackers constituent une nouvelle tendance de praticiens et usagers qui n'acceptent plus la frilosité de la médecine actuelle
 - ❖ Face à l'immobilisme de la médecine occidentale sur son idéologie : symptomatologie, hyperspécialisation, focalisation sur la chimie par les médicaments, refus des méthodes alternatives), les biohackers prennent la responsabilité de leur santé et innovent.
 - ❖ **Tout le monde est concerné et pas seulement le personnel médical.**
 - ❖ Objectifs : **optimiser l'usage du cerveau et de leur santé.** Ils veulent éviter ou guérir de maladies de civilisation (alzheimer, cancer, maladies auto-immunes issues du dysfonctionnement du système immunitaire...), via des techniques non-conventionnelles.
 - ❖ Pour eux, la notion de donnée privée n'a plus aucun sens.

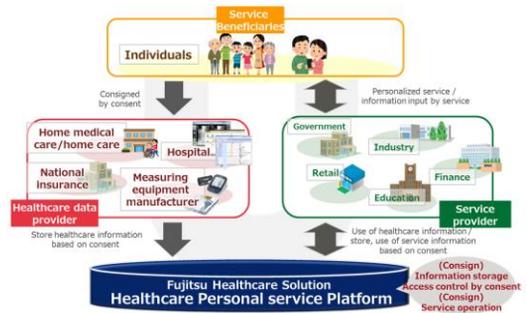


La crainte de ressembler à Winston Smith (1984 de George Orwell)

Mon médecin est un algorithme



- ❖ Une affaire de générations et de pays
- ❖ En Europe, la médecine reste attachée au mode libéral, les médecins étant très proches de leurs patients, qu'ils connaissent depuis toujours
- ❖ La médecine libérale dépend beaucoup de la qualité du diagnostic et de l'accumulation de données sur les patients
- ❖ Dans ce contexte, l'algorithme est une aide, mais pas l'interface du malade
- ❖ Dans d'autres pays, la médecine est avant tout hospitalière, le contact n'est pas le même
- ❖ A quoi faut-il s'attendre
 - ❖ La médecine libérale va décliner
 - ❖ Le modèle anglo-saxon va se répandre avec son triptyque auto-médication, diagnostics via Internet, hôpitaux : moins coûteux
 - ❖ Le Canada, les Etats-Unis et le Royaume Uni vont servir de référence, vers ce nouveau type de médecine, plus égalitaire, qui traite "ad minimum" les besoins des patients
- ❖ Mon médecin ne sera pas uniquement un algorithme, mais des professionnels qui vont s'appuyer sur des algorithmes : X \$ par mois, comme un abonnement Internet
- ❖ Des plates-formes "tout en un", hébergées dans le Cloud, se développent, dans lesquelles l'utilisateur trouve tout ce dont il a besoin :
 - ❖ Des équipements pour la surveillance, assurances, hôpitaux affiliés, moyens de stockage pour les données médicales...
 - ❖ Parsec, WiseThink Health Solutions, Hitachi...
- ❖ Problème des anciennes générations : tout va trop vite



Très en colère contre la mort...

- ❖ ...Larry Ellison (Oracle)
- ❖ Calico est une société de biotechnologies fondée en 2013 par Google, dans le complexe secret Google X Lab, pour lutter contre le vieillissement et "tuer la mort"
- ❖ Calico : le vieillissement est le problème le plus fondamental non résolu par la biologie
- ❖ 1,5 G\$ investis par Page Brin (porteur d'un gène de la maladie de Parkinson), avec le géant pharmaceutique AbbVie (le prix Nobel Cynthia Kenyon qui a découvert le premier gène du vieillissement en 1993 fait partie de l'équipe)
- ❖ Quelques pistes étudiées :
 - ❖ Rallongement des télomères : extrémité d'un chromosome, qui ne code pas une information mais intervient dans la stabilité du chromosome et dans les processus de vieillissement. Les télomères protègent les chromosomes et participent à l'intégrité du patrimoine génétique.
 - ❖ Remplacement des organes vieillissants par des cellules souches
 - ❖ Séquençage génomique
 - ❖ Les implants neuronaux : pour freiner le vieillissement du cerveau
- ❖ Google Calico travaille aussi sur la sauvegarde du cerveau...





La santé du futur : le numérique partout

27 Novembre 2020

Nos prochains rendez-vous

- Vendredi 4 décembre 2020 : **La transformation digitale, mythe ou réalité**
- Vendredi 18 décembre 2020 : **Panorama des architectures globales du TI**
- Mercredi 23 décembre 2020 : **Une journée comme les autres en... 2070**
- Vendredi 8 janvier 2021 : **Cette pensée unique qu'on nous impose**
- Vendredi 15 janvier 2021 : **La planète ou le smartphone, il faut choisir...**

