

## INFORMATION

### **Informatique et santé, du numérique aux technologies de l'information et de la communication (TIC)**

MOTS-CLÉS : INFORMATIQUE MÉDICALE. DIAGNOSTIC PAR IMAGERIE. SYSTÈMES D'INFORMATION SUR LA SANTÉ

### *Informatics and health, from digitization to information and communication technologies (TIC)*

KEY-WORDS: MEDICAL INFORMATICS. DIAGNOSTIC IMAGING. HEALTH INFORMATION SYSTEMS

Emmanuel Alain CABANIS \*, Jean de KERVASDOUÉ \*\* et collaborateurs \*\*\*

**Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêt en relation avec le contenu de cet article.**

*Des annexes figurent dans le Bulletin en ligne sur le site [www.academie-medecine.fr](http://www.academie-medecine.fr)*

## RÉSUMÉ

*Se voulant inséré dans le progrès quotidien depuis qu'il nous fût commandé conjointement (2013) par l'Académie nationale de médecine (commission XX biotechnologie, Pr Emmanuel-Alain Cabanis) et par l'Académie des Technologies (Pr Jean de Kervasdoué) ce rapport sur un aussi vaste sujet ne peut être que « d'étape ». Résumé ici pour un volume compatible avec une impression au Bulletin, il renvoie au rapport intégral (52 p., dont 22 p. de texte, 4p. de bibliographie, 20p. de glossaire pour médecins avec 522 réf. et diaporama de 32 fig en 6p.), accessible sur le site [academie.nationale.de.medecine.fr](http://academie.nationale.de.medecine.fr). La succession des six chapitres comporte d'abord, après le rappel des définitions de « santé » (OMS) et « informatique » et un bref rappel historique, un premier chapitre technologique, divisé en « mauvaises » nouvelles (de la cybercriminalité aux risques écologiques) et heureux progrès pour la santé. Les quatre chapitres suivants illustrent des apports du numérique dans l'acte médical chez le patient, chez le sujet « fragile » (des gamètes jusqu'à l'avance en âge et dépendance), chez le sujet sain et entraîné mis en situation hostile (de la plongée sous-marine au spatial), pour la recherche, enfin. Le dernier chapitre avance 7 propositions de progrès : élargissement du parc national en imagerie et plateformes communicantes, stimulation de l'industrie robotique en santé, élargissement de la télé-*

\* Membre de l'Académie nationale de médecine

\*\* Membre de l'Académie des Technologies

\*\*\* Liste des collaborateurs en dernière page

*Tirés-à-part* : Professeur Emmanuel-Alain CABANIS

*decine à toutes les spécialités médicales et chirurgicales, aide à la délivrance médicamenteuse et l'éducation thérapeutique, fondation d'un portail européen @ labellisant en m-santé, orientation prioritaires en recherche selon les « plans » santé et renforcement de l'enseignement des mathématiques, dès le primaire (cf: « la main à la pâte »).*

## SUMMARY

*Integrating the progress that has been made on a daily basis since it was jointly commissioned in 2013 by the French National Academy of Medicine (Biotechnology Committee XX, Prof. Emmanuel-Alain Cabanis) and the Technologies Academy (Pr Jean de Kervasdoué), this report, covering such a vast subject, can only represent one step in a long process. Summarized here in a volume compatible with the Bulletin, it makes reference to the full report (52 pages ; 22 pages of text, 4 pages of references, a 20-page glossary for physicians, plus 522 figures spanning 6 pages), which is available on the Academy's website. The six chapters first define " health " (WHO) and " informatics " and provide a brief history. The first chapter, on technologies, is divided into " bad " news (cybercrime, ecological risks) and advances relevant to health. The next four chapters describe the contribution of digitization to patient management, ranging from " fragile " individuals (from the gamete to old age and dependency) to healthy subjects trained to work in hostile situations (scuba diving to space exploration), and finally research. The last chapter proposes 7 areas for progress: expansion of the national imaging and communications platforms, stimulation of the medical robotics industry, extension of telemedicine to all medical and surgical specialties, support for drug dispensing and therapeutic education, and foundation of a European portal for m-health certification, research prioritization according to multiyear health plans, and reinforcement of mathematic education, starting in primary school (see : " La main à la pâte " (" Going hands-on ")).*

## INTRODUCTION

« Faire de la France une République numérique » est l'objectif national affiché au fronton de sites ministériels 7.14). Au-delà de la course au suivi du progrès quotidien depuis qu'il fût commandé (2013), ce rapport « d'étape » Académie nationale de médecine (commission XX *biotechnologie*, Pr E.A. Cabanis) et Académie des Technologies (Pr J. de Kervasdoué), très résumé ici pour impression au *Bulletin*, renvoie au rapport (52 p., dont 22 de texte, 4 de bibliographie, 20 p. de glossaire à 522 références pour médecins, diaporama de 32 diapositives en 6 p. L'OMS définit la santé (1946) comme *état de complet bien-être physique, mental et social, non seulement par l'absence de maladie ou d'infirmité, mais encore par la satisfaction des besoins fondamentaux de la personne, affectifs, sanitaires, nutritionnels, sociaux, culturels, depuis les gamètes et l'embryon, jusqu'à la personne âgée* et la santé publique (1952), comme *état sanitaire des populations* [1]. Le mot informatique (S. Nora et A. Minc, 1978) contracte *information et automatique* en traitement automatique par machine quelconque [2, 3]. Télématique et réseau Minitel arrivent, alors que les universités UCSF et UCLA après 1969 (protocole TCP/IP) transforment Arpanet en Internet (1989). Pour F. Jacob, prix Nobel (1992), *la biologie aujourd'hui* [devient] *une certaine alliance du biologiste, de l'informaticien et du chimiste, dix ans après la*

carte à puce de R. Moreno (cartes bancaire et Vitale) [4-6]. La loi de relance de l'économie américaine par l'investissement en numérique de santé (*ARRA*, 17.02.09, 20 Mds \$) prolonge l'histoire commencée en Chine il y a 5 000 ans (Yang pour le 1 et Yin pour le 0, langage binaire) et continuée par des génies mathématiques, physiques et électroniques, B. Pascal (1642) et sa *Pascaline* à l'ordinateur (1950), Internet (1989) [7-37]. L'informatique change la société, l'économie, la science et la santé, *sans révolution ni nouvelle ère* (grand public) mais *accélération évolutive*. Ce travail veut aider le patient, la personne fragile et l'athlète à maîtriser ce bouillonnement technologique du XXI<sup>e</sup> siècle avec un sous-titre (*TIC* résumant outil et convergences de l'automate du trader déséquilibrant le monde en 5 ms), un centrage sur la personne (du malade à la santé publique) par un plan [38, 39] (Tableau 2 à 5), et sept propositions finales au service de l'homme et de la femme [40-42].

## I. Mauvaises et bonnes nouvelles technologiques, des mathématiques aux convergences

I. 1. De Leibniz (18<sup>e</sup>s, probabilités) à Reeves (1938) et sa MIC (*Modulation par Impulsions Codées*, base d'internet) numérisant le signal audio en trois opérations (échantillonnage, quantification par des valeurs discontinues et codage binaire) à A.M. Turing (l'ordinateur) (1947), 6 mauvaises nouvelles en 2014 :

1. La déshumanisation de la médecine stigmatisée par F.B. Michel (*À la question posée à son malade — Je vous ai fait le scanner, l'IRM, que voulez de plus ? — que vous m'écoutez, répondent malade et famille au médecin, caché par son écran d'ordinateur*) qui, rappelant Jean Bernard (*c'est de l'homme qu'il s'agit !*) parle pour les médecins grondant devant ce « tout numérique » [20, 21].
2. L'insécurité des vers, virus, cybercriminalité et cyberguerre a, outre ses contre-mesures liberticides, des conséquences médicales directes. La FDA (*Food and Drugs Administration*) alerte les fabricants de DM (*dispositifs médicaux*) et SI (*systèmes d'information*) intégrés, tous objets connectés Internet par smartphones. Elle impose l'identification systématique d'utilisateurs « de confiance » par RFID (*radio frequency identification device*), QR codes (*Quick Response*) et tags, authentification par passes, biométrie, codage et cryptographie, avec limitation d'accès aux appareils médicaux à fonction vitale. Le guide FDA « validation DM » impose la « cybersécurité » à tout appareillage médical, avec fonctionnement dégradé et restauration secondaire. En pédopsychiatrie, le succès mondial des réseaux sociaux (Google, Facebook, Tweeter, YouTube, etc.) à 4 milliards (Mds) d'utilisateurs et 1 Md de sites, fragilise la personnalité et l'intimité des plus jeunes.
3. L'échec technologique par non-maîtrise (Cour des Comptes 2013, *dossier médical personnel*) ou inutilité (étude britannique d'auto-contrôle de l'asthme par smartphone concluant seulement, au 6<sup>e</sup> mois, que le téléphone mobile a coûté plus cher que la feuille de papier [25- 27]).

4. La surcharge du réseau croît (utilisateurs, FAI, téléphone-TV, Internet mobile, smartphone) en attendant le réseau multimédia IMS (*IP Multimedia Subsystem*).
5. L'impact environnemental (consommation énergétique en refroidissement des systèmes, déchets en vieux matériels) croît vite, les ventes de PC reculant à 77 millions pour la première fois en vingt ans, à l'inverse des tablettes et smartphones.
6. La pérennisation des données clinico-scientifiques ne suffit plus, malgré le cloud (obsolescence des formats et volatilité des supports, 1 DVD = 9 ans).

I. 2. **Mais de bonnes nouvelles** scientifiques, technologiques et administratives en santé

1. Mai 1972 : G. N. Hounsfield (ex-radariste) présente l'E.M.I. Scanner, première imagerie numérique du cerveau, tournant de la médecine, car première convergence mathématique, physique (capteur photonique, transistor, circuit) et informatique (ordinateur construisant l'anatomie humaine, voxel à voxel). Leur Prix Nobel en physiologie et médecine (avec A. McLeod Cormack, 1979) [13] annonce la photographie numérique grand public (capteurs CCD), la fibre optique (signal/bruit), l'accélération du traitement du signal (RNIS, ADSL) des années 1980, comme le prix Nobel en Physiologie et Médecine de P. C. Lauterbur et P. Mansfield (2003) ayant calculé les premières images par RMN (1981). En 1983, ARPA donne *TCP-IP* (Internet protocole) à l'OTAN [16, 17] et en 1989, Tim Berners-Lee relie les pages d'information du monde avec liens hypertexte sur serveurs Web. En 1990, il fonde *World Wide Web W3C Consortium* entre MIT (USA), INRIA (Europe) et Japon, à gouvernance mondiale garantissant la compatibilité des langages HTML.
2. Les sciences computationnelles (*Informatics*) sont trois chaires du MIT (Informatique théorique et mathématique, Sciences de l'information et traitement automatique par algorithmique, traitement du signal, calculabilité, cryptologie, Entreprise avec conception, déploiement/usage du traitement des données (*data processing*)). Une Chaire de sciences informatiques au Collège de France créée après une autre en robotique humanoïde (2012), CNAM, Télécom ParisTech, Écoles et Universités, entre autres, créent des chaires d'innovation et régulation des services numériques.
3. Deuxième rang mondial en Médailles Fields prestigieuses (équivalent Prix Nobel en mathématiques) la France, sur 55 lauréats dont 13 américains, compte 12 français, dont Cédric Villani et N.B. Chau en 2010 [28, 29], Artur Avila, directeur de recherche au CNRS en 2014, à côté de l'Iranienne (Téhéran) Maryam Mirzakhani, 37 ans. Première femme couronnée depuis sa création (1936) et professeur à Stanford (Californie), elle est spécialiste en géométrie des formes inhabituelles et calcul du volume d'objets à surfaces hyperboliques (selle de cheval) lors du Congrès international des mathématiciens d'août 2014.

4. La puissance et la vitesse des ordinateurs, en flops (*opérations à virgule flottantes*), augmente depuis 1950 (lois empiriques de Moore) de 1000 ( $10^3$ ) à 1 million ( $10^6$ , 1964), mille milliards ( $10^{12}$ , 1998), 1 Md de Mds ( $10^{18}$ , 2018) par nano-circuits imprimés à bas coût, implantables facilement, chiplets, graphène remplaçant le silicium, nano conducteurs à nouvelles molécules auto-construites entre électrodes (100 nm, champ flash). Alliant conduction et souplesse des polymères pour écrans souples, ils répondent à l'appétit collectif en TIC, TV, smartphones-tablettes-phablettes, tous objets connectés intégrant des systèmes de plus en plus intelligents. La photonique des ordinateurs quantiques à qBits multipliant les bits de l'électronique (*pétabyte era*) annonce le *calcul biologique* (ADN).
5. En bio-informatique, des omiques au protéome (décrypté en 2015 ?), la biologie envahit l'informatique en deuxième convergence technologique *NBIC* (*nano-tec., bio-tec., informatique, cognitive*) du séquençage ADN sur sang de cordon à l'infectiologie (bactériologie nosocomiale, digestive, obésité) où le volume des données dépasse déjà 95 % du volume des mémoires [60]. *Les salons électroniques* (2013) exposent écran tactile plat à relief (malvoyance), écrans liquides, TV à 4 x 1080 pixels, capture de mouvement, *OS, NFC* sans contact (paiement, domotique), *RFID*, réseau *4G* (France, 2013) à 100 Mbits/s (1 film/1m.), objets connectés sous *iOS, Android, Microsoft* (Google Glass, iWatch), batterie rechargeable sans fil, verre flexible et micro-drônes banalisés (télémédecine) [37]. Les convergences des filières électroniques Web 2.0 puis 3.0, architecture, système, composants, télécom, services, cloud, multimédias, calcul (simulation, modélisation, calcul intensif), les écrans sont partout [30, 31].
6. Archivage cloud computing et réseau : IMS, 3 et 4 GPP, téléphonie IP standardisée NGN (*Next Generation Network*) polyvalente (des données à la TV) font le réseau homme-machine, du patients au DM [12]. Autrefois centralisée-distribuée, l'informatique nouvelle est coopérative, chaque station y étant autonome. « *D'un monde à peu d'émetteurs et beaucoup de récepteurs on avance vers un monde avec autant d'émetteurs que de récepteurs* » sur Web 2.0, en accès, transport et applications, résume M. Serres (16 août 2013). Le Cloud (2007 au SI de l'Hôpital) héberge les données médicales et réduit les coûts de l'informatique hospitalière (*20.06.13, TICsanté*) [36]. Il coïncide avec l'ouverture des fichiers nationaux volumineux (santé, séquençage génomique, etc.).
7. Bonne nouvelle administrative, gouvernements, parlements et administrations européennes et françaises s'engagent lourdement. L'investissement décennal en m-santé « *crée les emplois et la croissance* » en trente plans, « *pixels du nouveau paysage industriel français* ». Le Conseil National du numérique protège le citoyen. Le rapport Cour des Comptes 2013 et celui sur l'adaptation de la société au vieillissement en télémédecine (*cf. infra*), celui de la CNIL qui *protège les données personnelles, accompagne l'innovation et préserve les libertés individuelles* (devise, 1<sup>er</sup> août 2013) [26, 32, 33] convergent aussi. L'Europe protège l'enfant de contenus illicites par *Safer Internet Plus 2* (programme à 13,4 M.E), développe

*Human Brain Project* (2023) [34] et adopte la « *m-santé* » (mobile) après l'ex « e-santé » comme priorité EU 2014.

**II. Pour le blessé ou le malade** (Tableau 1) le texte complet détaille quelques champs du numérique en pathologie médicale, chirurgicale, soins infirmiers, biologie et pharmacie, de l'hôpital au DMP (*Dossier Médical Personnel*), de la télémédecine à l'Assurance Maladie, de l'urgence aux maladies chroniques, en admettant que le progrès génétique guide la médecine « 4P » (*personnalisée, prédictive, préemptive et participative*) pour l'individu et son environnement (nutrition, habitat, transports) [43, 44]. Pour la clarté de l'exposé, les seuls titres d'exemples sont développés ici (imagerie, chirurgie, internet santé, pharmacie).

II. 1. **L'imagerie, première spécialité numérisée** en médecine (1972), est connue (4 séances ANM) :

1. La France a le plus long délai d'accessibilité en IRM (26<sup>e</sup> européenne à 600 machines soit 7,5/M.hab contre 24/M.hab. en Norvège) et en scanner RX (700). Pourtant, l'IRM (de 3T à 17T, imagerie cellulaire encéphalique chez le petit animal), à petit tunnel (rhumatologie), scanner RX à dose réduite de 80 % et résolution spatiale augmentée sont des progrès, avec la tomosynthèse mammaire, le PET/MRI hybride et les mobiles RX connectés.
2. Le traitement images (couleur, transparence, navigation, 2 ou 3D, modélisation, matérialisation) analysent la fonction (neurosciences), la fusion aidant diagnostic et traitement (radiothérapie et/ou chirurgie). Tablette numérique, smartphone, suivent l'anatomie vasculaire (angio-IRM sans injection), la circulation du L.C.S. et l'oculomotricité [16, 17, 45]. L'IRM (perfusion-diffusion) décèle l'AVC et déclenche, avant destruction cellulaire étendue, l'embolectomie (*vs* 75 % de handicaps). La détection de cancers et de métastases (scan RX, PET, IRM), la neurotractographie (IRM TD de diffusion et statistique vers le million de milliards de synapses), l'IRM(f) d'activation corticale en neurochirurgie d'exérèse (logiciels probabilistes en connectivité fonctionnelle), la SRM de la substance blanche affirmant la SEP, tous progressent chaque jour.
3. La radiologie rachidienne de l'enfant scoliotique en imagerie EOS faible dose (G. Charpak) [47], est un progrès majeur car elle réduit l'irradiation (et ses conséquences) d'un facteur 2 et plus. Rappelons que « la chambre à fils » valut à son auteur un prix Nobel.
4. L'ultrasonographie adapte la céramique piézoélectrique (PZT) des sondes aux organes, de 1,5 (abdomen, pelvis), 5 (cœur d'enfant) à 50 MHz (œil) et inspire l'élastographie,

5. La médecine nucléaire, par la radio-activité (H. Becquerel, Pet M. Curie, 1<sup>er</sup> Prix Nobel, 1903) diagnostique (imagerie métabolique et fonctionnelle du PET-ScanRX & du PET-IRM) et thérapeutique en cancérologie (cf. ganglion sentinelle en chirurgie mammaire) additionnent leurs efficacités.
6. La rematérialisation numérique par l'imprimante 3D, à matériaux variés (plastiques), industrie 2.0 aux USA depuis 2011 débute en prothèses chirurgicales et exosquelettes à bas coût pour la croissance de l'enfant handicapé, encres à nanoparticules métalliques (titane, lithium) cathode et anode de nano-batterie pour DM [48, 49].
7. La radiologie interventionnelle (RI) vasculaire et de destruction tumorale percutanée suit : US focalisés transrectaux sous IRM 1.5T en cancérologie prostatique, modélisation Google à UCLA de diffusion d'une tumeur pulmonaire...
8. Des guides du bon usage de l'imagerie médicale sont établis comme en RI à partir de 500.000 actes [50].
9. Archivage et communication des données (PACS en DICOM), stockant, imprimant et transmettant les dossiers en TCP/IP depuis serveurs et réseaux qui les organisent (34 imageries médicales codées) en acheminent le flux vers le monde. Les PACS français nous classent 28°/30 (C.E. 29 août 2011).
10. La photonique du projet européen Helios (CEA-LETI), accélère la communication (puce-puce/rack-rack) des signaux optiques en biologie (S. Haroche et D. Wineland, Nobel de physique 2012).

II. 2. **La chirurgie, du geste anticipé (imagerie) au geste assisté (robotique), comme l'A-réa**, ont l'objectif réduction temps-simplification des techniques, en utilisant programmes informatiques et réseaux de soins spécifiques pour évaluation et prise en charge pré et post-anesthésiques (bilan, suivi multidisciplinaire d'AVC, en cancérologie, diabétologie, réhabilitation) vers l'hospitalisation ambulatoire ou de semaine, à anesthésie « on-off » (drogues d'action courte), mini-voies d'abord coelioscopiques percutanées et robotisées se complétant.

— TIC en chirurgie (H.U. Lemke, Berlin), comportant :

1. modélisation du système, organe et clinique basés sur l'évidence scientifique, règles de bonne conduite et bibliographie,
2. analyse (inférences) et adaptation du modèle aux données patient (imagerie, biocapteurs) en diagnostic et pertinence,
3. temps réel ordinateur, intelligence informatique en salle d'opération optimisant jusqu'à l'aide au compte-rendu sont le noyau de l'Hôpital « tout numérique » [51], avec télé-anesthésie et cockpit anesthésie (*Montreal General Hospital*, 2011), intubation orale Kepler robotisée [52]. L'évolution « mini » multidisciplinaire des techniques (matériel et DM) de l'imagerie 3D per-

opératoire à la robotisation traitent de nouvelles pathologies en ambulatoire ou semaine (ex. anévrisme aortique abdominal en hypnoanalgésie).

- Robot et robotique d'assistance, humanoïde, comme les objets connectés (du capteur au SIH) priorisent la sécurité, des capteurs d'environnement à la robotique industrielle et la robotique-compagnon. De l'automate (xviii<sup>e</sup> siècle) au *robot* (1921, travailleur tchèque dévoué), les 3 lois d'I. Asimov persistent (1942) : robot ne porte pas atteinte à l'être humain auquel il obéit et qui protège son existence [53]. La question *interface cerveau-machine* naît aux USA avec la biologie et le mouvement transhumaniste en 1947 [54-59], avec l'informatique et le robot télé manipulateur nucléaire (1950), *Unimate* de GM (soudure, peinture, assemblage (1961), *Delta* (1985) à trois axes pour milieu hostile (nucléaire, biologique, chimique, militaire, ramassage des blessés, espace et océans). Portant de lourdes charges et réalisant des séries de précision (circuits imprimés et génie génétique), 2 millions de robots (Japon 50 %, Europe 30 %, États-Unis 15 %), s'imposent sur le marché (progrès, baisse des coûts). La télé-médecine à IA utilise exosquelette motorisé, *BigDog* transporteur de matériel (2005), robot domestique (aspirateurs, etc.), robot de service à IA, drone (avion télé-piloté de Airbus à la libellule), tous multipliés par 30 en 2020 (100 Mds E), dans une révolution industrielle comparable à celle d'Internet selon la Commission européenne. En France, n'exportant que 4 % des robots industriels du monde, le Plan robotique industrielle (100 M. Euros, 350 PME, 1/3 automobile) rassure (Aldebaran Robotics, petit Nao). La robotique humanoïde (Collège de France avec HRP2, 4 caméras et capteurs d'efforts) est plus complexe car modélisé sur l'homme, grand (1,4 m) à trois ordinateurs, sensoriel (perception), décision-commande et moteurs de géométrie-équilibre locomoteur alterné [51]. Le petit *RQ-Huno* sous smartphone (<1000 E) danse et joue au foot.
- Télé-chirurgie chirurgie mini-invasive et robotique d'assistance au geste chirurgical, dans les 1980'accèdent au bloc opératoire neurochirurgical (Kwoh, 1985) [59]. 2000 robots d'assistance chirurgicale Da Vinci (Intuitive Surgical) sont dirigés par le chirurgien, urologue surtout en abdomen et pelvis, avec contrôle haptique (controversé) complétant le retour de force. La télé-chirurgie (7 septembre 2001, IRCAD et EITS, 1994), mène à WeBSurg (2005), innovation thérapeutique (cholécystectomie par voie trans-vaginale avant néphrectomie (7 septembre 2013) et, en 2014, J. Marescaux relie ANM-Taïpeh-Sao-Paulo-Strasbourg, les 3 Sites IRCAD.
- Robotique de simulation neurochirurgicale pour vol spatial habité (mission longue durée, Stanford, NASA) : micro-sonde robotisée intra-cérébrale intelligente différenciant densités tumeur vs tissu cérébral et leurs limites et rapports artériels par micro-capteurs pression-température-pH-biologie pour le chirurgien terrien commandant *chirurgie départ, prélever échantillon, attente nouvelle commande de la Terre*, sans blessure artérielle.



- Capteurs et DM de stimulation implantés télésurveillent et stimulent (maladies de Parkinson, d'Alzheimer). Une appli iPhone de suivi épileptique (film, 27 mars 2013) ouvre la voie de l'auto-injecteur automatique IM pour état de mal (NIH, *REMPART*, *NEJM*). Chez l'animal, un capteur intra-cérébral (03/09/2013.NIH) enregistreur-émetteur de l'activité cérébrale *in vivo* est testé depuis > 1 an (NIH) (*J.N.E.* 04-13). L'implant cochléaire (14/03/2013) pour surdité sévère (nourrisson-90 ans) chez 200 adultes et 100 enfants (AP-HP), le remboursement de la télésurveillance du stimulateur-défibrillateur cardiaque implanté, la prise en charge de la prothèse épi-rétinienne ARGUS II (*JORF*, 04/08/14) vont dans le bon sens.

II. 3. **En auto-information médicale et pharmacie**, un français sur deux navigue sur Internet santé avec bénéfice patient-médecin généraliste selon *Brit J. Gen Pract, Univ. College* [71]. En France, l'appétit Internet en médecine générale n'altère pas le colloque singulier, même destructeur chez l'hypocondriaque surinformé.

III. **Numérique et assistance à la personne fragile, des âges extrêmes au handicap** (*Tableau II V. num.*) sont résumés ici en 4 exemples-têtes de chapitre (*V. Num.*).

III. 1. **En bioinformatique génétique**, le séquençage à haut débit NGS innove (cf. danger de l'autoprescription en séquençage du site *23andme* (Google) hors avis médical) de la cible (10-100 gènes) à l'exome (25000 gènes = 50 Mb pour 1000 \$, traitement en quelques jours) puis au génome entier (6000 Mb, 1-2 sem, pour n milliers \$), ADN du sang de cordon et l'infectiologie (bactériologie nosocomiale ou digestive, obésité) [60].

III. 2. **e-santé et autonomie sur le lieu de vie, de la maternité au grand âge de la vie**

1. **Obstétrique et urgentologie-anesthésie-réanimation**, initiateurs de la télésurveillance (29/07/13, *Mayo Clinic on Pregnancy App, iPhone/iPod*) de la grossesse à la naissance aux 3 premiers mois. Paris Descartes Univ et Dassault Systèmes (30/01/13) créent *Born to be Alive*, jeu sérieux pour le jour de l'accouchement. *Carenity* (réseau) accueille 1000 maladies orphelines (2013, 30 000 inscrits), avec tableaux de bord et échanges (40 pathologies) acceptant à 47 % le modèle économique (vente d'études anonymisées à un laboratoire, participation à la recherche).

2. **DM et systèmes pour fragilité** utilisent télé-assistance et objets connectés pour chutes, mouvements anormaux, montres et tablettes à applis pour patients et PS (surveillance lieu de vie et biologie maladies chroniques, réseau médicalisé à sécurité technique du post-partum). Les tablettes dédiées santé résistent aux éclaboussures et aux chutes (1 m.), à lecteur code barre intégré, connectée WiFi, sur phablette (visibilité, préhensible d'une seule main, identifiée sans contact (02.09.13, *TICSanté*) de Mio (Taïwan), *améliorent la vie des personnes dépendantes et de leur entourage quotidien, repoussent les limites de l'autonomie et réintègrent dans la société.*

3. Avec la stimulation/rééducation/palliation à capteurs embarqués ou domotiques, robotique, télémonitoring Internet, selon pathologie et handicap (physique et mental), selon ressources (famille, environnement), la géolocalisation (bracelets, boîtiers-alarmes, capteur mouvement-température, sur la personne ou à domicile (*CNIL, juillet 2013, infra*) à reconnaissance biométrique, tous intéressent la téléphonie mobile (portable adapté au handicap, touche d'urgence, *Bazile Telecom*, opérateur sénior).

4. Serious games pour âgés et soignants.

5. 400 M.E./5 ans en télésanté (*29/03/13. TICsanté*) des déserts médicaux, rapport L. Broussy (202p) sur la société du vieillissement (*12/03/13 TICsanté*) [32] témoignent l'effort. UK = 2 M. d'abonnés téléassistés vs 400 000/ France compensés par 10 priorités industrielles en gérontechnologie, de la prescription au remboursement (diabète) réduisant l'aide à domicile.

III. 3. **Évaluation et suppléance des personnes handicapées** aux 3 stades du handicap après évaluation, récupération (lésionnelle et fonctionnelle), compensation (fonctionnelle et situationnelle) puis adaptation (situationnelle) à la personne par bionique, emboiture, analyse biomécanique [64].

- Évaluation : performance motrice lente (1 Hz, mouvement attendu aux 10 Hz, réflexes) à 300-900 ms, lésionnelle anatomique (CFAO, orthoprothèse), fonctionnelle, modélisation normale vs à proprioception réduites, situationnelle (chute), coût, sont autant d'étapes.
- La réadaptation locomotrice est instrumentale (dictée vocale ou oculaire).
- Le contrôle domotique par NSC, PC smartphone, Stimulation Électrique Fonctionnelle (SEF), fauteuil électrique à bras robotisé, SEF exosquelette, automobile, fauteuil électrique s'assemblent.
- L'interface homme-machine = capteurs en pression, mouvement, EMG, voix, interface, intuitivité, interface cérébral ordinateur (*BCI*), avatar, robotisation de prothèse à coût réduit, neurostimulation implantée (prothèse myo-électrique), capteurs externes EEG de zone corticale motrice à télé-contrôle,
- prothèses de membres en CFAO, intelligentes (main, genou, pied), tous construisent ce monde « bionique ».
- Robotiques compagnon et d'assistance, exosquelette : du café servi à la chaussée traversée, le robot aide, comme auprès des pompiers (*Nao*, petit humanoïde (58 cm) du français *Aldebaran Robotics* (2 000 vendus au Japon, USA), *Roméo* (1,43 m/40 kilos). Boston Dynamics, après *Big Dog* (mule militaire), développe *Cheetah* (court) et *Sand Flea* (saute), l'exosquelette *Hercule* (> 2015) (*RB3D*) appuyant soldats et secouristes, le robot domestique (2010 = 369 millions \$) aspirateur-tondeuse-carreaux s'imposent.
- Handicap : le portail *Unapei* (*20.03.13 TICsanté*), 5 ans dans 3 régions, évalue besoins et situations, en fichier national (2014) comme *Fegapei*, lesforcesduhandicap.fr., avec les assureurs.

**IV. L'assistance au sujet présumé sain en milieu hostile**, (*Tableau III, V.Num*), du scolaire à l'athlète entraîné (fédérations), du sportif occasionnel au spationaute ou militaire terre-air-mer (défense), tous exploitent les TIC des vols spatiaux (NASA/ESA), de l'entraînement à la compétition. 2 exemples sont développés ici.

**IV. 1. Les écrans, dès la première enfance.**

1. L'Académie des Sciences (02.13), M. Serres, D. Lacombed préoccupés par les enfants et adolescents dans le bouleversement des réseaux sociaux, cherchent l'équilibre pédagogique, l'éducation par les pairs (...) remplaçant les « *digital natives* », avec, p.ex. un module La Main à la pâte à l'Hôpital Trousseau [31, 65 à 67].
2. Adolescence et temps des pairs en prévention, comme la vidéo (min.Santé-*INPES*) le démontre en rejoignant les conclusions de l'enquête *HBSC* 2010 (4 ans) sur le comportement de santé des 11-15 ans (41 pays, 60 questions), les réseaux sont addictifs (de 18 à 85 ans !) car disponibles et gratuits [68 à 71, 75].
3. Chez 2206 personnes > 12 ans, 4/5 français disposent de 4 équipements (téléphone-mobile-smartphone-tablette) [39].

**IV. 2. De la médecine spatiale, initiatrice de la e-santé, aux objets connectés.**

1. Le capital numérique est omniprésent dans ISS (*International Spatial Shuttle*) depuis *Y. Gagarine* (12/04/61, 1<sup>o</sup> tour terre) ; depuis, 500 astronautes (9 français) en microgravité (14 mois, station *Mir*) ont exploité l'échographie spatiale du Pr L.Pourcelot (Tours) et les bio-technologies en microgravité [73] (*Fig.7*).
2. Télémédecine, télédiagnostic et téléchirurgie robotisés ont aussi innové (*Fig.8*) en réseaux WWW (1), opérationnel (2), campagne (3), par pays (ESA) (4), avec chirurgie en apesanteur (*Fig.*).
3. DM spatiaux : lunettes, textile (à capteurs), objets connectés d'aujourd'hui, en dérivent [74].

**V. Recherche et enseignement, les moteurs du progrès** (*tableau IV*). 3 exemples sont développés :

- V. 1. Le projet Cerveau Humain 2023 de simulation neuronale et synaptique, (*7<sup>e</sup> PCRDT européen 2023, 2007-2013*), normale et pathologique, par super-ordinateur pour en imiter la capacité de calcul et aider 2 milliards de patients (appel compétitif accélération (10.13-03.16) financé (54 M €), couvrant chanelomique et receptonique de neurones chez l'homme et la souris,
- V. 2. Au quotidien et en ouverture de fichiers nationaux de santé.
  1. en technologie (cf, 11 recommandations CGEIET),
  2. en construction médicale d'applications mobiles exemplaires,

3. aide HAS en projets télémédecine,
  4. ouverture des bases nationales de données à la recherche (Open data : *bases de données ATIH et SNIIRAM*) [76],
  5. la transmission des RPU (*médecine d'urgence* données nationales, expédition numérique des certificats de décès réactivée,
  6. au DMP le rapport Cour des comptes 2013 déplore le retard comparé à celui de la carte Vitale, rappelle l'investissement, pour 5000 PS libéraux.
- V. 3. Enseignement et classement universitaire nés du Web.
1. e-learning (*25.02.13, TICsanté*) dans l'armée, l'aéronautique et les hôpitaux [77], 2<sup>e</sup> programmation numériques (« 42 »),
  2. Après la bibliométrie des 60', le classement mondial des universités Shanghai place Paris6 35<sup>e</sup> et Paris SudOrsay 42<sup>e</sup> malgré les limites (effectifs X et Normale Supérieure et médailles Fields).

## CONCLUSION

Amplifiant et personnalisant l'efficacité diagnostique et thérapeutique par télémédecine et génétique, le numérique rend fonctionnelle l'anatomie de la molécule au gène, de la cellule à l'organe, facilite le geste chirurgical, contrôle le médicament et élabore des prothèses à bas coût. Il conforte l'humanisme médical et renforce son rationnel. L'espérance de vie en bonne santé s'allonge, sauf épidémie. La France, par les mathématiques, la recherche, la médecine 4P et son personnel, a des chances encore perfectibles, et peut profiter de sept recommandations conclusives.

1. **Élargir le parc IRM et PACS** robotique, imprimerie 3D **en réseaux, volontaires public/privé** (proximité, sur plateformes) pour remédier à urgentologie, chirurgie, gérontologie et recherche ;
2. **Stimuler le domaine santé en industrie robotique** (chirurgie, compagnon, domotique, smartphone, capteur, batterie) en situation fragile (génétique, handicap-suppléance, dépendance) ; prescription-identification DM ;
3. **Élargir la télésurveillance** (télédiagnostic et télémédecine) par objets connectés et domotique, simples, économiques, évolutifs, disponibles et sécurisés (fonctionnement minimum, restaurables, traces), à captures et IA ;
4. **Favoriser délivrance médicamenteuse, éducation thérapeutique et prévention** chez les personnes fragiles, aidants et personnel soignant, en rapprochant dossier médical personnalisé et pharmaceutique ;
5. **Créer un portail info-santé européen labellisant** pour internaute (rigueur scientifique et éthique), NGN ;
6. **Orienter des priorités en recherche** (capteur, interface corps-cerveau-objet communicant, aide sensorielle, logiciels, pérenniser les appels à projets en DM et SI avec le personnel soignant (jeux sérieux, cohortes) ;

7. **Favoriser l'enseignement supérieur (MOOC) des mathématiques, dès l'école primaire** (Charpak), « main à la pâte » ; pour *l'enseignement de l'informatique en France, il est urgent de ne plus attendre* (05.13) et à l'heure du Human Brain Project, d'aider l'émergence d'e-métiers en m.santé.

Avec l'Académie des Sciences, concluons :

*« L'impact considérable de l'informatique dans un nombre croissant de domaines, industrie, communication, loisirs, culture, santé, sciences et société est universellement reconnu. Ce « monde numérique » s'appuie sur deux leviers, le matériel et la science informatiques.*

*Nous avons besoin d'un plan de formation nationale en enseignements primaire, secondaire et supérieur (classes préparatoires et universités), si nous voulons sortir notre pays de l'illettrisme informatique d'aujourd'hui »*

## ANNEXE 1

**Déroulement de la mission et co-auteurs du rapport, commun à l'Académie Nationale de Médecine** (Pr E. A. Cabanis, commission XX, biotechnologie) et à l'**Académie des Technologies** (Pr J. de Kervasdoué), avec leur groupe de travail, est soumis au Conseil d'Administration lundi 07.10.13, après lecture critique extérieure. Les personnalités énumérées ci-dessous ont été reçues à l'ANM en 26 auditions, 11 d'octobre 2010 à janvier 2012-15 juin 2013 : Pr J. Lareng (Toulouse), télé-médecine, Dr A. Marcelli et D. Solaret (ANM, CNAM) le DPM, Pr Jean-François Zagury (CNAM) Bio-informatique et médicaments, Pr J.D. Vincent (ANM, AS) le transhumanisme, F. Stephan (CRIP, SystemX) le cloud, Ma. 17.01.12, Dr L. Alexandre (dnavigation Bruxelles), génomique et informatique, Pr I. Azancot (U. Paris Diderot, CHU Lariboisière) numérique et santé, Pr P. Degoulet (HEGP, U. Paris Descartes), Ma. 13.03.12, Pr L. Pourcelot (U. F. Rabelais, Tours) Médecine spatiale et numérique, B. Mousnier et coll. (ben.msn@gmail.com), projet numérique en ville, Ma. 24.04.12, Pr J.P. Laumond (Coll. de France, Univ. Toulouse) Robotique humanoïde, Pr J. Calop (Univ. Grenoble) pharmacie numérique Ma. 29.05.12, Pr J. Paysant (Univ. Lorraine, IRR) Handicap et numérique, Visioconférence Pr J. Marescaux (IRCAD, Taiwan-Strasbourg-ANM) chirurgie mini-invasive, Ma. 26.06.12, C. Hamon (Sagem-Thalès, OTAN) Aide numérique à la personne au S.S.A, Ma. 20.11.12, Pr B. Dreno (CHU, Nantes) critique rapport, Ma. 28.05.13, Dr K. Khelifa (CME et Cardiologie, CHR, Metz) CHR tout numérique, Visioconf Ma 11.06.13, Pr J. de Kervasdoué (CNAM, Acad Technologies) 50 ans de politique de santé (CNAM), Me 12.06.13, Dr C. Binot (P. et M. Curie) initiation au calcul quantique, Med. col. Dr D. Mennezier hepatoweb.com, Ma 18.06.13, visioconférence rapport Ma 08.10.13 AT (JDK, Grand Palais), M<sup>me</sup> H. Callay (CNAM), Dr K. Khelifa (CHR Metz), A. Cabanis, Dr R. Gombergh, Dr A. Castro (CIN), M. R. Picard, santé-Commission CGEJET, Min. EF, par les membres de l'ANM et de la commission XX et de l'AT présents aux auditions : Pr R. Ardaillou, Pr F.-B. Michel, Pr D. Couturier, Pr J. Dubousset, Pr C. H. Chouard, Pr C.P. Giudicelli, Pr J.P. Giroud, Pr F. Dubois, Pr C. Y. Chapuis, Pr Cl. Dreux, Pr J.-P. Tillement, Pr J. Caen (ANM, AT), Pr V. Delmas, Pr M. Germain, Pr U. Salvolini, Pr J. Tamraz, M.V. Delage, des membres de l'Académie des Technologies dont le Pr R. Masse, et nos amis, J.L. Laborde, Cour des comptes, Pr C. Rigault, Telecom

ParisTech, séance ANM « *Modélisation numérique des organes* » (18.11.11), « *L'imagerie de l'encéphale, de la cellule à l'organe* » (2008), *IRM encéphalique* (2013). Le lecteur est invité à se rendre sur le site [academie-medecine.fr](http://academie-medecine.fr) pour la version complète de ce rapport, suivi de ses autres annexes, n° 2 (bibliographie), n° 3 (glossaire) et n° 4 (iconographie en diaporama dédié de 23 diapositives).