

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

Rapport
Emmanuel Alain Cabanis *
Jean de Kervasdoué **
et collaborateurs

**Académie Nationale de Médecine, **Académie des Technologies*

Key-words : informatics and health, informatique et santé, numérique, technologies de l'information & de la communication (TIC), 24.10.14

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

MOTS CLES : INFORMATIQUE. NUMERIQUE. TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION (TIC) EN SANTE (TICs),

Key-words : informatique et santé, numérique, technologies de l'information & de la communication

(TIC) Emmanuel Alain Cabanis*, Jean de Kervasdoué ** et collaborateurs.

RESUME. Dans un monde global en accélération augmentée (évolution sans «révolution») continuant une maturation mathématique et physique de 22 siècles, ce rapport du progrès mondial 21^{es}. nous fût commandé conjointement (2013) par l'Académie Nationale de Médecine (commission XX biotechnologie, Pr E.A.C.) et par l'Académie des Technologies (Pr J.de Kervasdoué). Gigantesque et par définition évolutif, l'informatique bousculant et modifiant toutes les activités humaines dont la santé, le résultat de ce travail fût admis comme « information » académique non discutée (janvier 2014) et dépasse évidemment les capacités d'impression du « Bulletin ». Il est donc **très résumé ici** (rapport d'étape) et renvoie au rapport intégral imprimé papier (52 p.), dont 22p. de texte suivies de bibliographie, x de glossaire médico-numérique (>500 items) et iconographie de 5p., diaporama de 32 fig, désormais intégralement accessible sur le site académie nationale de medecine.fr. L'espace contraint limite la présentation à son plan et un minimum d'exemples privilégiant un dernier chapitre conclusif, 7 propositions pour le numérique en santé, déjà présentées au ministre du numérique à sa demande. Le premier chapitre résume un historique débutant en Chine (-10 av JC) jusqu'à internet (1969) avec mauvaises et bonnes nouvelles. Le second expose l'apport du numérique en santé quotidienne chez le malade, chirurgical, réanimé ou médical. Le troisième chapitre aborde l'aide numérique au patient fragile, de l'embryon au patient handicapé physique puis à l'âge dépendant. Quatrième chapitre : homme et femme en (hyper) bonne santé placé en «milieu hostile», du sportif de haut niveau (compétition) au militaire (guerre) et cinquième chapitre, la recherche et l'enseignement, évolution continue qui rend ces lignes obsolètes déjà qu'elles seront lues. Le sixième chapitre détaille sept recommandations en numérique pour la santé.

SUMMARY. In a continuously accelerating global world from a 22 centuries maturation of mathematics and physics (evolution without any «revolution») this report had been asked to us in 2013 by the Académie Nationale de Médecine (commission XX *biotechnology*, E.A.C.) and Académie des Technologies (J. de Kervasdoué). By definition without limits because informatics had changed our health-world, here is a very simply structured «step-report» admitted as a simple academic «information» without any discussion or vote, **drastically summarized here** for acceptance and printing in the « Bulletin » format. The complete step-report (52 p., 22 of text/bibliography, 500 ref. glossary, 32 ppt plates) on *Academie nationale de medecine.fr* is restricted here to its plan and a minimum of exemples with a privilege to its last conclusive chapter, 7 proposals for numeric in health, already submitted to the ministry of numeric, at her invitation. First chapter : summarized history beginning in China (-1000 yrs bJC) until internet (1969) with bad and good news. The second details the daily numerics in health for the patient, in surgery, reanimation or medicine. Third the numerical help for the « fragile », from the genom to the handicape and the iold depending age. Fourth chapter : man or woman in an (hyper) good health by training, but placed in an difficult environnement, fom the high level sportmen (or woman) in competition to war and soldiers; to space ISS or submarines. Chapter 5, research and teaching, making these lines as obsoletes immediately after reading! Chapter 6 : 7 guidelines for a better life with TIC in health.

* Académie Nationale de Médecine **Académie des Technologies Tirés à part Pr E.A. Cabanis, 24 rue de Surène, 75008 Paris

Introduction. « Faire de la France une République numérique » est objectif affiché au fronton du site Ministère de l'économie, du redressement productif et du numerique.gouv.fr (07.14). Au-delà de la course 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/bibliographie, 500 réf. glossaire, 32 fig.)). L'OMS définit la santé (1946) : «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), 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, 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, 5, 6]. La loi de relance de l'économie américaine par l'investissement public en numérique de la santé (ARRA, 17.02.09, 20 Mds \$) poursuit une histoire commencée en Chine il y 5.000 ans (Yang pour le 1 et Yin pour le 0 en langage binaire), continuée par des génies mathématiques, physiques et électroniques, de B. Pascal (1642) et sa *Pascaline* à l'ordinateur (1950), Internet (1989) [7 à 37]. L'informatique change la société, l'économie, la science et la santé, sans révolution ni nouvelle ère grand public. Simplement, l'*Hominisation* accélère. Ce travail veut aider le patient, la personne fragile et

l'athlète à maîtriser ce bouillonnement technologique du 21^e s., avec 3 réponses, un sous-titre *TIC* résumant l'outil et les convergences vers l'automate (trader déséquilibrant le monde en 5 ms, un centrage sur la personne du malade au bien portant et la santé publique, un plan (CGEIET [38, 39, tabl. 2 à 5]), de la technologie au service du malade avec (V.Num), avec 7 propositions finales [40, 41, 42].

I. Mauvaises et bonnes nouvelles technologiques, des mathématiques aux convergences. I.1. De Leibniz (18^{es}, probabilités) à Reeves (1938) et sa MIC (Modulation par Impulsions Codées, base d'internet) numérisant le signal audio en 3 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 (*A 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* et, rappelant Jean Bernard (*c'est de l'homme qu'il s'agit !*), il parle pour les médecins grondant devant ce tout numérique [20, 21]. 2° L'insécurité créée par 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, limiter l'accès d'appareils médicaux à fonction vitale. Le guide FDA de validation des DM impose la cybersécurité de tout appareillage médical, avec fonctionnement dégradé et restauration secondaire. En pédopsychiatrie, le succès mondial des réseaux sociaux (Google, Facebook, Tweeter, YouTube...) de 3 milliards (Mds) d'utilisateurs et 1Md de sites, fragilise l'intimité des jeunes utilisateurs. 3° L'échec technologique par non- maîtrise (Cour des Comptes 2013, *dossier médical personnel*) ou inutilité (ex. étude britannique d'auto-contrôle de l'asthme par smartphone découvrant, au 6^e mois, que le téléphone mobile a seulement coûté plus cher que la feuille de papier [25 à 27]. 4° La surcharge du réseau croît (utilisateurs, F.A.I., téléphone-TV, Internet mobile, smarphone) en attendant le réseau multimedia IMS (*IP Multimedia Subsystem*). 5° L'impact environnemental (consommation énergétique en refroidissement des systèmes) et déchets vieux matériels croissent vite, les ventes de PC reculant à 77 millions pour la 1^o fois en 20 ans, inverse des tablettes et smartphones. 6° La pérennisation des données cliniques-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. Hounsfeld (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). Avec A. McLeod Cormack, leur Prix Nobel en physiologie et médecine (1979) [13] conduit aux années 1980 de la photographie numérique grand public (capteurs CCD), à la fibre optique (signal/bruit), l'accélération du traitement du signal (RNIS, ADSL), comme à P. C. Lauterbur & P. Mansfield, prix Nobel Physiologie et Médecine (2003), calculant les premières images par RMN (1981). En 1983, ARPA donne *TCP-IP* (Internet protocole) à l'OTAN [16, 17] et dès 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, gouvernance mondiale garantissant la compatibilité des langages HTML. 2° Les sciences computationnelles (Informatics) sont 3 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, Ecoles et Universités, entre autres, créent des chaires d'innovation & régulation des services numériques. 2° 2^o rang mondial en prestigieuses Médailles Fields équivalent du prix Nobel en mathématiques (sur 55 lauréats, 13 Américains et 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 depuis sa création (1936) et professeur à Stanford (Californie), spécialiste en géométrie des formes inhabituelles et calcul du volume d'objets à surfaces hyperboliques,(selle de cheval) pour le Congrès international des mathématiciens d'août 2014, la France et les USA sont les deux nations ayant reçu le plus souvent cette récompense. 3° La puissance et la vitesse de calcul des ordinateurs, en flops (opérations à virgule flottante/s) augmente depuis 1950 (« lois » de Moore) de 1000 (10³) à 1 million (10⁶, 1964), mille milliards (10¹², 1998), 1Md de Mds (10¹⁸, 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 de TIC, TV smartphones-tablettes-phablettes, 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). 4° En bio-informatique des omiques au protéome (décrypté en 2015 ?), la biologie envahit l'informatique en 2° 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 (mal-voyance), écrans liquides, TV à 2² x 1080 pixels, capture de mouvement, OS, NFC sans contact (paiement, domotique) pour 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(télé médecine) [37]. Les convergences des filières

électroniques Web 2.0 puis 3.0, architecture, système, composants, télécom, services, cloud, multi-médias, calcul (simulation, modélisation, calcul intensif), les écrans sont partout [30, 31]. 5° Archivage en 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, la nouvelle informatique est coopérative, chaque station y étant autonome, « *d'un monde à peu d'émetteurs et beaucoup de récepteurs vers un monde avec autant d'émetteurs que de récepteurs* » (M. Serres, 16.08.13) sur Web 2.0 en accès, transport, applications. Le Cloud (octobre 2007 au SI de l'Hôpital) héberge les données médicales et réduit l'informatique hospitalière et ses coûts (20.06.13, *TICsanté*) [36]. Il coïncide avec l'ouverture des volumineux fichiers nationaux (santé, séquençage génomique). 6° Bonnes nouvelles administratives : gouvernement, parlements et administrations européennes et françaises s'engagent lourdement. L'investissement décennal en m - santé « *crée les emplois et la croissance* » en 30 plans, « *pixels du nouveau paysage industriel français* ». Le Conseil National du numérique protège le citoyen. Le rapport Cour des Comptes 2013 et sur l'adaptation de la société au vieillissement en télémédecine (*v.infra*), la CNIL qui *protège les données personnelles, accompagne l'innovation, préserve les libertés individuelles* (sa devise, 01.08.13) [26, 32, 33]. L'U.E. au Programme *Safer Internet Plus 2* (13,4 M.E) protège l'enfant de contenus illicites, développe *Human Brain Project* (2023) [34], adopte la « *m-santé* » (mobile) remplaçant la « *e-santé* », en priorité UE 2014.

II. Pour le blessé ou le malade (*Tab11*) le texte illustre les 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, 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° 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%-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'embolotomie (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), IRM(f) d'activation corticale en neurochirurgie d'exérèse (logiciels probabilistes en connectivité fonctionnelle), SRM de la substance blanche affirmant la SEP progressent chaque jour. 3° La radiologie rachidienne de l'enfant scoliotique en imagerie EOS faible dose (G. Charpak) [47]. 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 radioactivité (H. Becquerel, P. et M. Curie, 1° Prix Nobel, 1903) diagnostique (imagerie métabolique et fonctionnelle du PET-ScanRX & du PET-IRM) et traite en cancérologie (cf. ganglion sentinelle en chirurgie mammaire). 6° La rematérialisation numérique par l'imprimante 3D, à matériaux variés (plastiques), industrie 2.0 aux USA depuis 2011 arrive : prothèses chirurgicales, exosquelette 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.29.08.11*). 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, A-réa)** a 1° l'objectif réduction temps-simplification des techniques utilise programmes informatiques et réseaux de soins spécifiques pour évaluation et prise en charge pré et post-anesthésiques (bilan, suivi multidisciplinaire (AVC, cancérologie, diabétologie, réhabilitation) vers l'hospitalisation ambulatoire ou de semaine, à anesthésie "on-off" (drogues d'action courte), mini-voies d'abord coelioscopique percutanée et robotisée se complétant. H. U. Lemke (IFCARS, Berlin) énumère les 3 TIC en chirurgie : 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 [51]. 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 peropératoire à la robotisation traitent de nouvelles pathologies en ambulatoire ou semaine (ex. anévrysme aortique abdominal en hypnoanalgésie). 2° Robot et robotique d'assistance, humanoïde. TIC et objets connectés du capteur au SIH avec priorité de sécurité, la robotique depuis l'automate du 18° s., au tchèque *robot* (1921, travailleur dévoué), aux 3 lois d'I. Asimov

(1942, robot ne portant pas atteinte à l'être humain auquel il obéit et qui protège son existence [53]) dispose de capteurs d'environnement, de la robotique industrielle à la robotique-compagnon. La question *interface cerveau-machine* naît aux USA avec la biologie et le mouvement transhumaniste en 1947 [54 à 59], avec l'informatique et le robot télé manipulateur nucléaire (1950), *Unimate* de GM (soudure, peinture, assemblage (1961), Delta (1985) à 3 axes pour milieu hostile (nucléaire, biologique, chimique, militaire, ramassage des blessés, espace et océans). Portant charges lourdes et réalisant séries de précision (circuits imprimés et génie génétique) 2 millions de robots (Japon 50%, Europe 30%, USA 15%), les robots s'imposent sur le marché (progrès et baisse des coûts). La télémédecine à IA utilise exosquelette motorisé, BigDog transporteur de matériel (2005), robot domestique (aspirateurs...), robot de service à IA, drone (avion télé-piloté de Airbus à la libellule), tous multipliés par 30 en 2020 (100 Mds E), révolution industrielle comparable à celle d'Internet (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 3 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. 3° 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 (07.09.01, IRCAD et EITS, 1994), mène à WeBSurg (2005), innovation thérapeutique (cholécystectomie par voie trans-vaginale avant néphrectomie (connue ce 07.09.13)). En 2014, J. Marescaux réalise la première liaison ANM-Taïpeh-Sao-Paulo-Strasbourg des 3 « Sites IRCAD ». 4° Robotique de simulation neurochirurgicale pour vol spatial habité (mission longue durée, Stanford, NASA) à 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. 5° Capteurs et DM de stimulation implantés télésurveillent et stimulent (maladies de Parkinson, d'Alzheimer). Une appli iPhone de suivi épileptique (film, 27.03.13) ouvre la voie de l'auto-injecteur automatique IM pour état de mal (NIH, *REMPART*, *NEJM*). Chez l'animal, un capteur intra-cérébral (03/19/2013.NIH) enregistreur-émetteur de l'activité cérébrale in vivo testé depuis > 1 an (NIH) (report, *J.N.E.* 04-13). Implant cochléaire (14/03/2013) de surdité sévère (nourrisson-90 ans) chez 200 adultes et 100 enfants (AP-HP), remboursement de la télé-surveillance du stimulateur-défibrillateur cardiaque implanté, 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**, 1 français sur 2 navigue sur Internet santé avec bénéficiant 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. Délivrance médicamenteuse, éducation thérapeutique et Hôpital tout numérique sont essentiels (*V.num.*) .

III. Numérique et assistance à la personne fragile, des âges extrêmes au handicap (*Tabl. 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, maternité au grand âge de la vie 1°.** Obstétrique et urgentologie-anesthésie-réanimation, moteurs en télé-surveillance (29.07.13, *Mayo Clinic on Pregnancy App, iPhone/iPod*) de la grossesse à la naissance et les 3 premiers mois. Paris Descartes Univ et Dassault Systèmes (30.01.13) créent *Born to be Alive*, jeu sérieux/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 en fragilité** = télé-assistance, objets connectés pour chute, mouvement, 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, repousse les limites de l'autonomie et réintègre dans la société* ». **3°.** Avec la stimulation/rééducation/palliation à capteurs embarqués ou domotiques, robotique, télémonitoring Internet, selon pathologie et handicap (physique et mental), ressource (famille, environnement), la géolocalisation (bracelets, boîtiers-alarmes, capteur mouvement- température, sur la personne ou à domicile (*CNIL, juillet 2013, infra*) à reconnaissance biométrique, intéresse la téléphonie mobile (portable adapté au handicap, touche d'urgence, *Bazile Telecom*, opérateur sénior). **4°.** Serious games destinés aux âgés et soignants . **5°.** 400 M.E./5 ans télésanté (29.03.13. *TICsanté*) pour déserts médicaux, rapport L. Broussy (202p) pour la société du vieillissement (12.03.13. *TICsanté*) [32]. UK = 2 M. d'abonnés téléassistés vs 400.000/F, 10 priorités françaises industrielle en gérontechnologie, de la prescription au remboursement (diabète...), réduisant l'aide à domicile. **III.3** Evaluation et suppléance des personnes handicapées aux 3 stades du handicap après évaluation, récupération (lésionnelle et fonctionnelle), compensation (fonctionnelle etsituationnelle) puis adaptation (situationnelle) à la personne par bionique, emboiture, analyse biomécanique et sociétal[64]. **1° E valuation** : 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. 2° La réadaptation locomotrice instrumentale (dictée vocale ou oculaire...). 3° Contrôle domotique (commande NSC, PC smartphone, Stimulation Electrique Fonctionnelle (SEF), fauteuil électrique à bras robotisé, SEF exosquelette, automobile, fauteuil électrique). 4° L'interface homme-machine = capteurs en pression, mouvement, EMG, voix, interface, intuitivité, interface cérébral (BCI) ordinateur, avatar, robotisation de prothèse à coût réduit, neurostimulation implantée (prothèse myo-électrique), capteurs externes EEG de zone corticale motrice à télé-contrôle. 5° prothèses de membres en CFAO, intelligentes (main, genou, pied) construisent ce monde « bionique ». 6° Robotique compagnon et d'assistance, exosquelette. Le robot, du café à la chaussée traversée, l'aide les pompiers (*Nao*, petit humanoïde (58 cm) du français *Aldebaran Robotics* (2.000 vendus au Japon, USA), *Roméo* (1,43 m/40 kilos), aide. Boston Dynamics, après *Big Dog* (mule militaire), développe *Cheetah* (court) et *Sand Flea* (saute), L'exosquelette *Hercule* (> 2015) (RB3D) aidant soldats, pompiers et secouristes, le robot domestique (2010 = 369 millions \$) aspirateur-tondeuse-carreaux s'impose. 7° Handicap : portail Unapei (20.03.13 TICsanté), 3 régions, 5 ans = des besoins et situations, fichier national (2014). Fegapei, lesforcesduhandicap.fr. avec assureurs.

IV. L'assistance au sujet présumé sain en milieu hostile, (Tableau III, V.Num), du scolaire à l'athlète entraîné (fédérations) ou sportif occasionnel au spationaute ou militaire terre-air-mer (défense), chacun exploite les TIC des vols spatiaux x NASA/ESA), de l'entraînement à la compétition. Deux exemples sont développés. **IV.1. Les écrans, dès la première enfance** 1° L'Académie des Science (02.13) [31], M. Serres, D. Lacombed sur enfants et adolescents dans le bouleversement des réseaux sociaux [65, 66]. L'«*éducation par les pairs* (...) remplaçant les «*digital natives*», [31], un module La Main à la pâte, *Trousseau, AP-HP*) [67]. 2°. Adolescence et temps des pairs en prévention [68] comme la vidéo (min.Santé-INPES, [69]), enquête HBSC 2010 (4 ans) sur le comportement de santé des 11-15 ans (41 pays, 60 questions [70, 71], réseaux addictifs de 18 à 85 ans car disponibles et gratuits [75] 3°. 2206 personnes > 12 ans = 4/5 français à 4 équipements (téléphone-mobile-smartphone-tablette) [39]. **IV.2. De la médecine spatiale, initiatrice de la e-santé, aux objets connectés.** 1° le numérique est omniprésent dans ISS (*International Spatial Shuttle*) depuis *Y. Gagarine* (12.04.61, *Itour terre*) ; depuis, 500 astronautes (9 français) en microgravité (14 mois, [station Mir](#)) : échographie spatiale (Pr L.Pourcelot, Tours) et bio-technologies en microgravité [73] (Fig.7). 2° Télé médecine, télédiagnostic et téléchirurgie robotisés innovent aussi (Fig.8) en WWW (1), opérationnel (2), campagne (3), par pays (ESA), (4). Chir., 3° DM en spatial, objets connectés des lunettes [74] au textile (capteurs) en dérivent.

V. La recherche-enseignement moteur du progrès (tableau IV). 3 exemples sont développés : **V.1. Le projet Cerveau Humain 2023** de simulation neuronale et synaptique, (7° *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 channelomique 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 CGEJET), 2° En construction médicale d'applications mobiles exemplaires. 3°. Aide HAS en projets télé médecine, 4° Ouverture des bases nationales de données à la recherche (Open data : *bases de données ATIH et SNIRAM*) [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° programmation numériques («*42*») 2° Après la bibliométrie des 60', le classement mondial des universités Shanghai place Paris6 35° et Paris SudOrsay 42° malgré les limites (effectifs X et Normale Supérieure et médailles Fields).

VI. Conclusions. Amplifiant et personnalisant l'efficacité diagnostique et thérapeutique par télé médecine 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 ses femmes et hommes dévoués a des chances exceptionnelles, à 7 recommandations,

1. Elargir 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, smartphonie, capteur, batterie) en situation fragile (génétique, handicap-suppléance, dépendance); prescription-identification DM ;

3. Elargir la télésurveillance (télédiagnostic et télé médecine) par objets connectés et domotique, simples, économiques, évolutifs, disponibles et sécurisés (fonctionnement minimum, restaurables, traces), à captures et IA ;

4. Favoriser la délivrance médicamenteuse, l'éducation thérapeutique et la prévention chez les personnes fragiles, aidants et personnel soignant en aidant le rapprochement dossier médical personnalisé-pharmaceutique ;

5. Créer un portail info-santé européen, labellisant, d'internaute (rigueur scientifique et éthique) en NGN ;

6. Orienter les priorités en recherche (capteur, interface corps-cerveau-objet communicant, aide sensorielle, logiciels et **pérenniser les appels à projets** en DM et SI vers le personnel (jeux sérieux, cohortes);

7. Favoriser l'enseignement supérieur (MOOC) et celui des mathématiques dès l'école primaire, selon

Charpak (la main à la pâte) repris en Académie des sciences : 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 que « l'impact considérable de l'informatique dans un nombre croissant de domaines, industrie, communication, loisirs, culture, santé, sciences et société en général 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 national en enseignements primaire, secondaire et supérieur (classes préparatoires et universités), si nous voulons sortir notre pays de l'illettrisme informatique d'aujourd'hui» EAC. 15/08/14.

Annexe (1/5), 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), télémédecine, 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 (HÉGP, 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, Visioconf 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.deKervasdoué (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.Mennecier hepatoweb.com, Ma 18.06.13, visioconf rapport Ma 08.10.13 AT (JDK, Grand Palais), Mme 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.Ardailou, 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 C.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, la séance ANM «Modélisation numérique des organes» (18.11.11) est rappelée, comme « L'imagerie de l'encéphale, de la cellule à l'organe » (2008) et « Navigation IRM encéphalique (2013).

Le lecteur est invité à se rendre sur le site 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).