

# NÉCESSITÉ D'UN NOUVEL ÉCOSYSTÈME EN SANTÉ...

## TOUS LES ÉLÉMENTS SONT DÉJÀ DISPONIBLES

COUCKE PA (1), COUCKE-GILSON L (2)

**RÉSUMÉ :** Les indicateurs clés en matière de santé démontrent que le système de santé que nous connaissons aujourd'hui n'est pas financièrement durable. Dès lors, des changements fondamentaux s'imposent si nous voulons maintenir ou améliorer la qualité, la sécurité et l'équité au niveau des soins de santé. Les technologies nouvelles, souvent taxées de «disruptives», modifient profondément la société civile. Il s'agit essentiellement de développements en matière de «big data», l'intelligence artificielle, le «cloud» et le «blockchain». Ces nouvelles technologies, déjà éprouvées dans d'autres domaines d'activité, pourraient bien apporter des solutions pour les problèmes auxquels nous sommes et serons immanquablement confrontés dans le domaine de la santé. Il faudra adapter ces nouvelles techniques aux besoins des bénéficiaires et des utilisateurs, mais également veiller à un changement rapide de la culture de nos organisations afin qu'elles intègrent plus rapidement et facilement ces changements.

**MOTS-CLÉS :** Soins de Santé – Big data – Intelligence artificielle – Technologies disruptives

### THE URGENT NEED FOR A NEW ECOSYSTEM IN HEALTHCARE

**SUMMARY :** The key performance indicators in healthcare illustrate that the system we run nowadays is no longer sustainable. There is an urgent need for fundamental changes within the current ecosystem, if we want to maintain or improve the levels of quality, security and equity in healthcare. Disruptive technologies profoundly modify all domains of our society. Those changes, driven by technical convergence, are particularly rapid and extensive in the fields such as big data and analysis, artificial intelligence, cloud and blockchain. These continuously evolving technologies could potentially offer opportunities to efficient problem solving in the health care sector. The culture of our organizations needs major changes and especially adaptability and fast speed integration to a process which is inevitable.

**KEYWORDS :** Healthcare - Big data - Artificial intelligence – Disruptive technologies

## INTRODUCTION

En 2016, nous discutons déjà, dans cette même revue, des indicateurs clés en matière de santé publique (1). La situation n'a pas fondamentalement changé. Financièrement, elle ne s'est certes pas améliorée et le vieillissement de la population empêche tout optimisme béat. Nous évoquions, à l'époque, les réels moteurs du changement : le coût de la médecine actuelle sans cesse grandissant, l'inefficacité ubiquitaire et la transparence exigée par les bénéficiaires des soins. Dans un texte accompagnant, nous avons mentionné quelques exemples de changements «disruptifs» issus de la convergence technologique (2).

Aujourd'hui, nous faisons le constat que tous les éléments requis pour la mise en place d'un nouvel écosystème sont disponibles. Il manque une volonté politique pour les mettre en place, des moyens financiers pour maintenir, ne fût-ce que temporairement, l'ancien écosystème et permettre la construction rapide du nouveau. Un élément essentiel – et non des moindres – sera la nécessité d'une culture bienveillante de la

part des professionnels de la santé vis-à-vis de ces changements inéluctables.

## EN QUOI CONSISTE CE NOUVEL ÉCOSYSTÈME ?

Le nouvel écosystème se résume par les pierres angulaires suivantes : le «big data», l'intelligence artificielle, le cloud et les solutions techniques comme les plateformes et le blockchain.

### 1. L'IMPORTANCE DES «BIG DATA»

Partons d'un constat simple : le nombre de paramètres provenant d'un seul patient explose de façon exponentielle, et nous ne sommes pas encore vraiment à l'ère des patients connectés dont les applications vont inonder en continu nos dossiers médicaux. C'est, à l'évidence, simplement une question de temps. Il est plus que prévisible que la situation va rapidement déraiper pour les professionnels de la santé. Ils seront inévitablement submergés par un réel raz de marée de données.

On estime que d'ici 2020, c'est-à-dire demain, nous allons – selon IBM – devoir gérer deux cents fois plus de données par patient qu'aujourd'hui. Nous rentrerons donc rapidement de plain-pied dans l'ère des «big data». Ces multiples données sont issues d'une multitude de sources : la littérature médicale (en particulier-mais pas seulement - les études cliniques), les registres, les données des dossiers médicaux

(1) Chef de Service, Service de Radiothérapie, CHU de Liège, Site Sart Tilman, Liège, Belgique.

(2) Prépresse, Revue médicale de Liège, CHU de Liège, Site Sart Tilman, Liège, Belgique.

informatisés (DMI), l'imagerie, l'anatomopathologie, les données biologiques, sans oublier le tsunami, annoncé à plus ou moins court terme, de la cascade des «omics» (génomique, transcriptome, protéome, métabolome). Rajoutons à cela les multiples données relatives au microbiome intestinal (3-6). Par ailleurs, le tableau serait incomplet si nous faisons abstraction de toutes les informations provenant de l'environnement du patient, ce que l'on appelle aujourd'hui «l'exposome». Ces facteurs influencent fortement la genèse et l'évolution des maladies. On a trop souvent tendance à oublier l'importance de cet environnement sur le phénotype. Les anglosaxons nous le rappellent de façon pragmatique avec une seule phrase : «*Genetics loads the gun, environment pulls the trigger*».

Nous ne sommes pas le premier ni le seul secteur d'activité à être confronté à un tel apport de données. C'est un paradoxe de constater, aujourd'hui, que notre voiture produit plus de données que nous quand elle passe dans le garage à des fins de «diagnostic» et de «traitement». C'est aussi ce qui motive l'initiative prise par des sociétés privées (par exemple Verily) (7) ou par des états (en particulier les États-Unis et la Chine), qui ont pour but d'accumuler un maximum de données provenant de volontaires afin de comprendre l'origine et l'évolution des maladies (8-10). Ce que nous avons en commun avec des acteurs industriels dans le monde du numérique, comme par exemple Amazon® et Netflix®, c'est que nous voulons mettre en évidence des liens présumés, mais aussi découvrir des connections que nous n'avions même pas imaginées (11,12). Les techniques analytiques mises en place par ces acteurs industriels sont aussi utiles dans le monde des soins.

Creuser ces mines de données, structurées ou non, s'avérera essentiel pour la compréhension des maladies, l'amélioration et l'automatisation du diagnostic et la prise de décision. Il est certain qu'analyser des données structurées est nettement plus simple que de s'attaquer à des données non structurées («dark data» = texte ouvert et images). Toutefois, des sociétés se spécialisent aujourd'hui dans la conversion du non-structuré en structuré (société Lattice Data, récemment rachetée par Apple) (13).

C'est la convergence technologique entre ce Big Data et l'intelligence artificielle (IA) qui sera le réel détonateur pour l'automatisation de la prise de décisions intelligentes.

## 2. L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'élément clé devant une telle quantité de données – tout le monde le comprendra, même

les plus conservateurs d'entre nous – c'est l'intelligence artificielle. Selon Anthony Chang (Directeur médical du «Heart Institute» et responsable du «Artificial Intelligence Group Heart Institute Orange County US»), l'IA rend l'invisible visible. Elle permet d'aller sous la surface. Il rejoint donc l'avis d'Eric Topol (Rédacteur en chef de Medscape et Directeur du Scripps Translational Science Institute) qui estime que cette IA devrait nous permettre d'aller jusqu'aux causes profondes de la maladie et ce, à une échelle individuelle.

Le potentiel est énorme car ces algorithmes évoluent et s'améliorent sans cesse au fur et à mesure qu'ils seront nourris par des quantités astronomiques de données (c'est le principe du «machine learning» = apprentissage automatique), seront rapidement incontournables. Leur domaine d'application dans le secteur des soins s'étendra largement au-delà de l'intérêt diagnostique et thérapeutique. On peut aisément imaginer l'apport possible en matière de monitoring et management hospitalier, en analyse d'images, en recherche et développements (découverte de nouveaux médicaments et de nouvelles associations médicamenteuses). N'oublions pas, dans cette longue liste, la médecine connectée et les applications portables capables de réagir en temps réel et d'adapter le traitement, la robotisation de tâches répétitives, le coaching personnalisé et la médecine de précision. Cette énumération n'est certes pas exhaustive. En résumé, tous les domaines des soins seront impactés, sans exception.

Berci Mesko, connu dans le milieu comme observateur avisé des technologies nouvelles, clame que l'intelligence artificielle n'est rien d'autre que le stéthoscope du 21<sup>ème</sup> siècle (14). Selon lui, on peut s'étonner que cette IA n'ait pas encore fait irruption massivement dans le monde des soins. A titre anecdotique, rappelons la réaction du corps médical à l'époque de Laennec, quand Sir John Forbes (1787-1861), parlant de notre stéthoscope actuel – disait que «*Son application bénéfique nécessite beaucoup de temps et donne du mal à la fois au patient et au praticien car il s'oppose à toutes nos habitudes*». Il enchaînait en affirmant : «*Il y a quelque chose de ridicule dans l'image grave d'un médecin écoutant formellement à travers un long tube, appliqué sur le thorax du patient, comme si la maladie qui se cache à l'intérieur était un être vivant qui pouvait communiquer*».

Ce qui peut poser problème aujourd'hui au monde médical - car contraire à ce que nous avons appris et toujours pratiqué - c'est que la recherche de corrélation par le «machine learning» n'est pas dirigée. Elle n'est pas basée sur

une hypothèse de départ. De plus, on a l'impression désagréable de se trouver devant une boîte noire. Nous n'en comprenons ni la logique, ni la construction, et encore moins l'évolution de cet algorithme au fur et à mesure qu'il est nourri de données supplémentaires.

Nous n'avons, par ailleurs, qu'une piètre idée des données particulières que nous devons introduire dans le système. Devons-nous sélectionner les éléments que nous encodons, et si oui, comment pouvons-nous être certains de sélectionner ceux qui sont potentiellement d'intérêt ? Devons-nous, au contraire, fournir un maximum d'informations possibles sans être sélectifs au départ ? Même si nous ne voyons pas forcément l'intérêt d'une donnée particulière, elle pourrait s'avérer importante par la suite. Revenons, à titre d'exemple, sur une étude effectuée à partir de dossiers d'assurances, qui semble démontrer un lien génétique entre la migraine et le syndrome du côlon irritable et un lien environnemental entre la migraine, la cystite et l'urétrite (12, 15). Ces liens non présumés sont apparus grâce au «machine learning» et bien malin celui qui aurait pu en suspecter l'existence *a priori*. Ce constat, bien entendu, met à mal notre approche scientifique classique.

De toute façon, il nous faudra être très attentif à la qualité des éléments encodés : rien de pire que d'introduire des données incorrectes qui pourraient totalement fausser la construction et l'évolution de l'algorithme. Des mesures objectives, non influencées par une interprétation humaine, seront d'une valeur supérieure, ce qui fait la part belle à la médecine connectée.

## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET ANALYSE D'IMAGES

Il est indéniable que l'IA s'imposera en premier lieu dans le monde de l'analyse de l'image et la supériorité de l'IA sur l'humain a déjà été mise en exergue dans certaines publications (16, 17). Et s'il y a deux secteurs dans lesquels l'IA prend une place de plus en plus importante – voire «inquiétante» selon les professionnels directement concernés – ce sont les domaines de l'imagerie médicale et de l'anatomopathologie.

### A) DERMATOLOGIE

Citons, à titre d'exemple, les avancées faites en dermatologie clinique par une équipe de Stanford. Le logiciel a été nourri de 129.450 images de maladies cutanées représentant 2.032 diagnostics différents (18, 19). La capacité diagnostique de l'IA dans le domaine des cancers cutanés a été comparée à 21 dermatologues

experts. Il est à noter qu'en guise de contrôle, on avait le diagnostic anatomo-pathologique correspondant à chaque image. L'algorithme fait aussi bien que ces experts pour différencier le carcinome kératinocytaire de la kératose séborrhéique banale (diagnostic différentiel fréquent), et le mélanome malin du nævus bénin (diagnostic différentiel vital) et ce, simplement grâce à une photo prise avec un smartphone. Une société comme VisualDx, société basée à Rochester New York, commercialise déjà une application sur un smartphone qui permet à des médecins non dermatologues d'identifier et de traiter une large palette de maladies cutanées (20). L'image captée par un smartphone est classée en moins d'une seconde. L'intelligence artificielle met à disposition du médecin non dermatologue des informations sur les examens complémentaires à faire et les options thérapeutiques.

### B) OPHTALMOLOGIE

Dans le domaine de l'ophtalmologie, Google a conclu un partenariat avec le NHS (National Health Service) en Angleterre afin de développer de l'IA capable de diagnostiquer la dégénérescence maculaire liée à l'âge et la rétinopathie diabétique (21). En moins de deux ans, la presse vulgarisante faisait déjà état de résultats plus que prometteurs au Moorfield Eye Hospital en Angleterre (22). Le but est de déterminer si des algorithmes issus de «machine learning» sont capables de diagnostiquer les deux conditions pathologiques susmentionnées à partir de photographies digitales du fond de l'œil. Pour ce faire, les chercheurs ont entraîné l'algorithme avec 1.000.000 d'images (24). Les résultats ont été publiés dans le JAMA et la précision pour la détection de la rétinopathie diabétique dépasse 90 % (sensibilité 97,5 % et spécificité 93,4 %) (25). Il n'y a pas que Google qui s'intéresse à ce secteur ! D'autres, aux moyens d'investissements quasiment illimités comme IBM et Microsoft, se prêtent au même jeu (26, 27). Ce qui est frappant dans toutes ces annonces, c'est que la disruption technologique peut provenir de n'importe quel acteur. Il y a même des «petits joueurs» qui se laissent tenter. Deux adolescents Indiens, âgés de 15 ans, ont entraîné l'IA à lire et à reconnaître les signes de la rétinopathie diabétique (28). En adaptant un smartphone, avec une lentille imprimée en 3D et en utilisant le flash du téléphone, ces jeunes ont obtenu des photographies du fond de l'œil interprétables par l'IA. Aux USA, pour détecter des altérations vasculaires dans un fond d'œil chez des patients atteints de diabète, il faut une capacité annuelle d'analyse de 32 millions d'images par an. On se

rend vite compte qu'une IA, capable de lire 260 millions d'images en 24 heures, offre une solution facile et définitive à la pénurie d'ophtalmologues et ce, d'autant plus qu'une application du même genre vient d'être approuvée par la Food and Drug Administration (FDA) en avril 2018. Et les ophtalmologues ne sont pas au bout de leurs surprises. Chez Google, l'intelligence artificielle Deepmind, au départ utilisée pour la rétinopathie diabétique et la dégénérescence maculaire liée à l'âge, a identifié un profil d'anomalie au niveau du disque optique et des vaisseaux qui prédit la présence de facteurs de risque cardiovasculaire, ces derniers n'ayant pas été «enseignés» à l'IA (29). Sur un échantillon initial de 284.335 patients, l'IA a déterminé l'âge (avec une erreur moyenne absolue de 3,26 ans), le genre (Area Under Curve, AUC = 0,97), le tabagisme (AUC = 0,71), la pression artérielle (erreur moyenne absolue de 11,23 mmHg) et la présence d'accidents vasculaires (AUC = 0,70). Ces résultats ont été confirmés sur deux cohortes indépendantes de 12.026 et 999 patients (30). Pour le lecteur non familier avec le concept de l'AUC, une valeur de 1 voudrait dire que l'IA ne s'est jamais trompée dans sa prédiction.

### C) ANATOMOPATHOLOGIE

Certains affirment déjà que l'avenir de l'anatomopathologie est digital (31). Cette approche digitale permet d'optimiser l'assurance qualité. Elle permet également une revue exhaustive et rapide de cas comparables et, surtout, de quantifier plusieurs paramètres visibles ou invisibles à l'œil et ce, de façon rapide et reproductible. Il n'est donc pas étonnant de lire que cette approche digitale fait – au stade de développement actuel – déjà mieux que l'humain. En 2016, on rapporte que l'IA fait au moins aussi bien que des anatomopathologistes. Au Beth Israel Deaconess Medical Center (BIDMC) et au Harvard Medical Center, on a développé de l'IA capable de détecter, avec une précision de 92 %, une atteinte ganglionnaire dans un contexte de cancer du sein (32). Quand on associe l'IA et l'humain, on obtient même une précision de 99,5 %. Un des chercheurs du BIDMC, interrogé à ce sujet, a ironiquement déclaré que si l'on sait qu'il y a plus dans deux têtes que dans une, personne n'a jamais précisé que c'était nécessairement deux têtes humaines» (33). A Stanford, on a démontré que l'IA est supérieure aux anatomopathologistes dans la lecture des lames colorées en hématoxyline-éosine pour la classification des cancers pulmonaires et qu'elle est nettement meilleure pour l'établissement d'un pronostic sur base de caractéristiques cellulaires non perçues par l'œil humain (34, 35).

L'intelligence artificielle en a distingué 10.000, là où l'humain en perçoit une centaine. Depuis, le mouvement s'accélère, avec une constante : la supériorité de la machine sur l'humain, ne fût-ce qu'en matière de rapidité d'analyse, et donc, d'efficacité (36, 37).

### D) IMAGERIE MÉDICALE

En imagerie médicale, le raz de marée est déjà à nos portes. Le nombre de sessions dédiées à l'utilisation de l'intelligence artificielle au Radiological Society of North America en novembre 2017 avoisine 100 (38). Chacune de ces sessions est elle-même constituée de différentes présentations. Les applications s'immiscent dans tous les domaines de l'imagerie radiologique, à tel point que les professionnels du secteur s'attendent à un réel chambardement à court terme (39). Le secteur est inondé par des applications qui ont pour unique but d'automatiser une large part de la lecture de l'image en routine clinique. Ce n'est – nous le concédons – pas forcément ressenti comme une bonne nouvelle par le secteur professionnel (40, 41). En effet, la capacité horaire de l'IA sera largement supérieure à celle d'un humain et elle fonctionnera sept jours sur sept et 24 heures sur 24 sans jamais être fatiguée ni malade. Son efficacité sera sans cesse grandissante. Sa résolution en pixels est largement supérieure à l'œil humain avec, en plus, une capacité illimitée de traduire ces pixels en informations quantifiables et reproductibles. La formation et l'apprentissage de l'IA seront nettement moins onéreuses que la formation de cohortes de radiologues. Le National Health Service (NHS) au Royaume-Uni vient d'investir un milliard de livres afin de rendre disponible pour les hôpitaux et ce, gracieusement, de l'IA qui permet l'interprétation des scanners cardiaques (Ultromics®) et pulmonaires (Optellium®) (42). La FDA vient de valider deux autres applications en matière de recherche de lésions nodulaires dans le foie et dans le poumon (43). Même si, aujourd'hui, nous avons encore l'impression qu'il s'agit d'applications dans des niches particulières, il faut réaliser que nous ne sommes qu'au début d'une véritable déferlante.

### AUTRES DOMAINES D'APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

#### A) PRATIQUE MÉDICALE

En matière de diagnostic et de choix thérapeutique, nous n'en sommes qu'aux balbutiements, mais les jours qui passent permettent d'emmagasiner des quantités astronomiques

de données patients. Ces informations sont utilisées afin d'affiner les algorithmes qui surpasseront l'esprit humain. La supériorité de la machine, *in fine*, ne fait aucun doute même si les professionnels de la santé ne sont pas enchantés par l'idée (44). Reconnaître un profil sur base de multitudes de données et effectuer des prédictions sera toujours plus fiable avec de l'intelligence artificielle, à un point tel que le Dr Saxon Smith, Président de l'Australian Medical Association North West Branch, rapporte que la principale question évoquée par les étudiants en médecine a trait à l'avenir même de la profession pour laquelle ils se forment (45).

## B) GESTION HOSPITALIÈRE

L'intelligence artificielle fait également irruption dans le domaine de la gestion hospitalière. Certains grands groupes hospitaliers dont Kaiser Permanente aux Etats-Unis, dans la mouvance du «Value-based healthcare», estiment qu'aujourd'hui il faut mettre en place l'infrastructure requise, car l'ignorer pourrait s'avérer fatal pour l'organisation elle-même (46). La gestion des risques et la recherche de lacunes en matière de performance hospitalière font partie des solutions proposées par les sociétés qui se spécialisent dans ce domaine (47-49).

Les données stockées dans nos silos hospitaliers, souvent incomplètes et parfois, avouons-le, de piètre qualité, sont finalement peu accessibles et, donc, peu utilisables. En l'état actuel, elles ne seront d'aucune aide dans cette explosion annoncée de la connaissance. Nous devons d'abord assurer la qualité et la quantité des données et, par la suite, abattre les remparts qui en empêchent l'échange. Le faire en toute sécurité, tout en assurant un certain niveau de sauvegarde de la vie privée, semble indispensable.

## 3. PROTÉGER LA VIE PRIVÉE PAR LE BLOCKCHAIN

Un blockchain (chaîne de blocs) est une technologie de stockage et de transmission sécurisée d'informations. Pratiquement, il s'agit d'une base de données dont les informations envoyées par les utilisateurs sont vérifiées et groupées à intervalles de temps réguliers en blocs, le tout formant ainsi une chaîne sécurisée par cryptographie. La base de données ainsi constituée gère des enregistrements protégés par des «nœuds» de stockage contre une éventuelle falsification et une utilisation frauduleuse.

Partons d'emblée du fait, établi par ailleurs, que nos structures institutionnelles ne sont absolument pas efficaces en matière de pro-

tection contre le piratage informatique (50, 51). Le monde hospitalier, peu préparé et mal outillé pour faire face aux attaques cybernétiques, deviendra incontestablement une cible, étant donné la valeur marchande du contenu des dossiers médicaux (52).

Une société comme Tierion®, qui a signé des contrats de collaboration avec Philips et Microsoft, a publié un rapport fin 2016, mettant en exergue les avantages du «blockchain» dans le domaine des soins. Cette solution, utilisée entre autres - mais pas seulement - dans le secteur des monnaies numériques comme le «bitcoin», peut fournir une traçabilité en matière de transactions, de plaintes, de gestion de stock. Elle permet aussi de déterminer, en temps et en heure, d'où viennent les données et avec qui elles sont partagées. Les applications et logiciels sont aisément intégrables, et la collection et le partage des données provenant d'objets connectés sont sécurisés. Les rapports médicaux, financiers et organisationnels sont non modifiables et la sécurisation des données personnelles y est assurée car l'échange ne peut se faire qu'entre utilisateurs du réseau dignes de confiance (trusted users) (53). Il n'est donc pas étonnant que le Center of Disease Control, IBM ainsi que la FDA fassent appel à cette technologie pour l'échange sécurisée de données médicales (54, 55). On admet aujourd'hui que c'est la méthode d'avenir pour sortir du stockage des données en silo et le moyen adéquat d'aborder le virage nécessaire d'échange d'informations de façon sécurisée (56).

## 4. LE NUAGE (CLOUD)

Vu la quantité d'informations à stocker, il devient indispensable d'envisager des solutions de type «cloud». Ne fût-ce qu'en stockage d'images, il deviendra rapidement financièrement impossible de les garder physiquement dans nos institutions de soins, avis partagé par Frost & Sullivan (Société d'Analyse de marché et de Veille technologique) (57, 58). Cette approche pourrait bien sonner le glas des solutions IT hospitalières telles que nous les connaissons aujourd'hui et ce, dans les 5 ans (59). D'autant plus qu'il y a quatre raisons fondamentales qui rendent la solution cloud intéressante : la capacité de rénover et de moderniser les systèmes informatiques quand on les déplace sur le cloud; l'accessibilité aux systèmes virtuels – déployés sur les plateformes les plus modernes et les plus puissantes – éliminant, de ce fait, l'obsolescence du matériel informatique (hardware); un menu sans cesse adapté et grandissant de services fournis; la possibilité de déléguer com-

plètement la gestion et la maintenance de l'IT aux fournisseurs du cloud (60). A nouveau se posent les questions relatives à la sécurité, mais cette technologie, appliquée selon des normes strictes, est finalement bien plus sécurisée que les structures informatiques existantes, réputées être de vraies passoires pour les cybercriminels.

## CONCLUSIONS

Médecine connectée, «big data», intelligence artificielle, solutions techniques de type plateforme, cloud et blockchain, voici les caractéristiques de tout un écosystème déjà disponible aujourd'hui.

Ce n'est pas sa mise en place qui posera problème mais, comme toujours, la résistance au changement. Gageons que l'inefficience du système actuel et la volonté clairement exprimée de l'utilisateur d'une valeur ajoutée auront rapidement raison du conservatisme parfois exacerbé des professionnels. Et pour ceux qui craignent cette (r)évolution, qu'ils se rassurent : cette technologie galopante ne va pas «éliminer» les médecins, mais les médecins qui ne l'appliqueront pas seront tout naturellement balayés par ceux qui l'embrassent. La mise en place de cet écosystème représente un virage serré entre l'existant et l'avenir. Ce virage n'est plus vraiment à remettre en question ! Il se fera avec ou sans nous. Ne pas y adhérer pourrait être considéré comme non professionnel, voire même non éthique.

Appelons aussi à une philanthropie des données afin que le potentiel énorme contenu dans ce «big data» puisse être pleinement exploité, par le biais sécurisé du blockchain, dans l'intérêt sociétal et individuel.

Mais ne soyons pas naïfs au point de faire une confiance aveugle à ceux qui ont les moyens techniques, et surtout financiers, pour implémenter cet écosystème. Nous faisons, bien entendu, allusion aux GAFA's (Google, Apple, Facebook, Amazon et autres membres de ce «7<sup>ème</sup> continent»), caractérisés par une toute-puissance financière et un sentiment d'impunité totale. Nous devons être vigilants et exiger, autant que possible, le respect de la vie privée, pas mal battue en brèche d'ailleurs dès le moment où nous faisons l'acquisition, en toute «liberté» et ... en toute insouciance ..., d'un smartphone...

## BIBLIOGRAPHIE

1. Coucke PA.— L'explosion des coûts, la recherche de l'efficacité et la transparence : les trois moteurs du changement en santé publique. *Rev Med Liege*, 2016, **71**, 287-290.
2. Coucke PA.— La convergence technologique provoquera rapidement des changements disruptifs en oncologie. *Rev Med Liege*, 2016, **71**, 291-297.
3. Hasin Y, Seldin M, Lusic A.— Multi-omics approaches to disease. *Genome Biol*, 2017, **18**, 83-98.
4. Tuddenham S, Sears CL.— The intestinal microbiome and health. *Curr Opin Infect Dis*, 2015, **28**, 464-470.
5. D'argenio V, Salvatore F.— The role of gut microbiome in the healthy adult status. *Clinica Chimica Acta*, 2015, **451**, 97-102.
6. Lynch SV, Pedersen O.— The human intestinal microbiome in health and disease. *N Engl J Med*, 2016, **375**, 2369-2379.
7. Comstock J. (2017).— Verily's goal make our bodies produce as much data as our cars. En ligne: <http://www.mobihealthnews.com/content/verilys-goal-make-our-bodies-produce-much-data-our-cars> consulté le 22 mars 2018.
8. Geib C. (2017).— A Chinese province is sequencing one million of its residents' genomes. En ligne: <https://futurism.com/chinese-province-sequencing-1-million-residents-genomes/> consulté le 22 mars 2018.
9. Haelle T. (2016).— Wide support for NIH study for precision medicine initiative. En ligne: <https://www.medscape.com/viewarticle/867992> consulté le 22 mars 2018.
10. Monegain B. (2017).— 2017 : precision moved closer to mainstream. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/2017-precision-medicine-moved-closer-mainstream> consulté le 22 mars 2018.
11. Siwicki B. (2017).— What Precision Medicine and Netflix have in common. En ligne: <http://www.mobihealthnews.com/content/what-precision-medicine-and-netflix-have-common> consulté le 22 mars 2018.
12. Data mined insurance records point to interesting disease relationships. (2017).— En ligne: <https://www.medgadget.com/2017/08/data-mined-insurance-records-point-interesting-disease-relationships.html> consulté le 22 mars 2018.
13. Lant K. (2017).— Apple is using AI to unlock previously unusable dark data. En ligne: <https://futurism.com/apple-is-using-ai-to-unlock-previously-unusable-dark-data/> consulté le 22 mars 2018.
14. Mesko B. (2017).— Artificial intelligence is the stethoscope of the 21st century. En ligne: <http://medicalfuturist.com/ibm-watson-is-the-stethoscope-of-the-21st-century/> consulté le 22 mars 2018.
15. Wang K, Gaitsch H, Poon H, et al.— Classification of common human diseases derived from shared genetic and environmental determinants. *Nat Genet*, 2017, **49**, 1319-1325.

16. Nithila EE, Kumar SS.— Automatic detection of solitary pulmonary nodules using swarm intelligence optimized neural networks on CT images. *Engineering Science and Technology*, 2017, **20**, 1192–1202.
17. Chen L, Carlton Jones AL, Mair G, et al.— Rapid automated quantification of cerebral leukoaraiosis on CT images : A multicenter validation study. *Radiology*, 2018, **28**, 573-581.
18. Lowry F. (2017).— Artificial intelligence as good as docs for diagnosing skin cancers from photo. En ligne: <https://www.medscape.com/viewarticle/874944> consulté le 23 mars 2018.
19. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA et al.— Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 2017, **542**, 115-118.
20. Lagasse J. (2017).— Visual DX app to debut with Apple iOS 11, helping non-dermatologist doctors diagnose skin conditions. En ligne: <https://www.mobihealthnews.com/content/visualdx-app-debut-apple-ios-11-helping-non-dermatologist-doctors-diagnose-skin-conditions> consulté le 23 mars 2018.
21. Lomas N. (2016).— Deepmind partners with NHS eye hospital to conduct AI research. En ligne: <https://techcrunch.com/2016/07/05/deepmind-partners-with-nhs-eye-hospital-to-conduct-ai-research/?guccounter=1> consulté le 23 mars 2018.
22. Ward V. (2018).— AI could spot eye disease more accurately than doctors, study suggests. En ligne: <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/02/05/ai-could-spot-eye-disease-better-doctors-study-suggests/> consulté le 23 mars 2018.
23. Caparas C. (2016).— Google's DeepMind to scan a million eyes to fight blindness with NHS. En ligne: <https://futurism.com/googles-deepmind-to-scan-millions-of-eyes-to-fight-blindness-with-nhs/> consulté le 23 mars 2018.
24. Comstock J. (2016).— Google researchers use deep learning to detect diabetic retinopathy with upwards of 90 percent accuracy. En ligne: <https://www.mobihealthnews.com/content/google-researchers-use-deep-learning-detect-diabetic-retinopathy-upwards-90-percent-accuracy> consulté le 23 mars 2018.
25. Gulshan V, Peng L, Coram M, et al.— Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, 2016, **316**, 2402-2410.
26. Mack H. (2016).— Microsoft India launches global research group to develop AI-powered eye care. En ligne: <https://www.mobihealthnews.com/content/microsoft-india-launches-global-research-group-develop-ai-powered-eye-care> consulté le 23 mars 2018.
27. Mack H. (2017).— IBM researchers use deep learning, neural networks to screen for diabetic retinopathy with 86 percent accuracy. En ligne: <https://www.mobihealthnews.com/content/ibm-researchers-use-deep-learning-neural-networks-screen-diabetic-retinopathy-86-percent> consulté le 23 mars 2018.
28. Lagasse J. (2017).— Teenage team develops AI system to screen for diabetic retinopathy. En ligne: <https://www.mobihealthnews.com/content/teenage-team-develops-ai-system-screen-diabetic-retinopathy> consulté le 23 mars 2018.
29. Siwicki B. (2018).— Google AI now can predict cardiovascular problems from retinal scans. En ligne: <https://www.healthcareitnews.com/news/google-ai-now-can-predict-cardiovascular-problems-retinal-scans> consulté le 24 mars 2018.
30. Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K, et al.— Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nature Biomedical Engineering*, 2018, **2**, 158-164.
31. Laarmann C. (2016).— I saw the future of pathology and it's digital. En ligne: <https://healthcare-in-europe.com/en/story/15717-i-saw-the-future-of-pathology-it-s-digital.html> consulté le 24 mars 2018.
32. Bejnordi BE, Veta M, van Diest PJ, et al.— Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA*, 2017, **318**, 2199-2210.
33. Caparas C. (2016).— This artificial intelligence was 92% accurate in breast cancer detection contest. En ligne: <https://futurism.com/this-artificial-intelligence-was-92-accurate-in-breast-cancer-detection-contest/> consulté le 24 mars 2018.
34. Castellino A. (2016).— In lung cancer, training computers to be pathologists. Medscape August 16th 2016. En ligne: <https://www.medscape.com/viewarticle/867509> consulté le 24 mars 2018.
35. Conger C. (2016).— Computers trounce pathologists in predicting lung cancer type and severity. En ligne: <https://med.stanford.edu/news/all-news/2016/08/computers-trounce-pathologists-in-predicting-lung-cancer-severity.html> consulté le 24 mars 2018.
36. Jenkins C. (2017).— AI ups precision in breast cancer pathology. En ligne: <https://www.medscape.com/viewarticle/889965> consulté le 27 mars 2018.
37. Bejnordi BE, Veta M, van Diest PJ, et al.— Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA*, 2017, **318**, 2199-2210.
38. Hein I. (2017).— A blowout year for AI in radiology. En ligne: <https://www.medscape.com/viewarticle/888846> consulté le 27 mars 2018.
39. The Medical Futurist. (2017).— The future of radiology and artificial intelligence. En ligne: <http://medicalfuturist.com/the-future-of-radiology-and-ai/> consulté le 27 mars 2018.
40. The Economist. (2017).— Why scan-reading artificial intelligence is bad news for radiologists. En ligne: <https://www.economist.com/blogs/freeexchange/2017/11/job-stealing-robots> consulté le 27 mars 2018.
41. Miliard M. (2018).— AI adoption rate picking up and radiologists are paying attention to workflow and career impact. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/ai-adoption-rate-picking-and-radiologists-are-paying-attention-workflow-career-impact> consulté le 28 mars 2018.
42. Comstock J. (2018).— Digital Health News in brief 1-3-2018. En ligne: <http://www.mobihealthnews.com/content/digital-health-news-briefs-132018> consulté le 27 mars 2018.
43. Medgadget. (2018).— Arterys FDA clearance for liver AI and lung AI lesions spotting software. En ligne: <https://www.medgadget.com/2018/02/arterys-fda-clearance-liver-ai-lung-ai-lesion-spotting-software.html> consulté le 28 mars 2018.

44. Crawford R, Jaiprakash A, Roberts J.— (2016). En ligne: <https://www.lifehacker.com.au/2016/01/smart-machines-can-diagnose-medican-conditions-better-than-humans-doctors/> consulté le 28 mars 2018.
45. Hutson M. (2017).— Self-taught artificial intelligence beats doctors at predicting heart risks. En ligne: <http://www.sciencemag.org/news/2017/04/self-taught-artificial-intelligence-beats-doctors-predicting-heart-attacks> consulté le 28 mars 2018.
46. Siwicki B. (2018).— Vision for value-based health-care must include decision support integrated into HER. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/vision-value-based-care-must-include-clinical-decision-support-integrated-ehr> consulté le 28 mars 2018.
47. Sullivan T. (2018).— Next up for EHRs: vendors adding artificial intelligence into the workflow. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/next-ehrs-vendors-adding-artificial-intelligence-workflow> consulté le 28 mars 2018.
48. Siwicki B. (2018).— Hospital leans on machine learning to reduce sepsis-related mortality rate. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/hospital-leans-machine-learning-reduce-sepsis-related-mortality-rate> consulté le 28 mars 2018.
49. Sullivan T. (2018).— Health catalyst unveils AI tool that borrows from amazon and Netflix. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/health-catalyst-unveils-ai-tool-borrows-amazon-and-netflix> consulté le 28 mars 2018.
50. Davis J. (2017).— Majority of health orgs saw significant security incidents in 2017, HIMSS survey finds. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/majority-health-orgs-saw-significant-security-incidents-2017-himss-survey-finds> consulté le 28 mars 2018.
51. Chicago Tribune. (2016).— Hospitals cyberattack highlights health care vulnerabilities. En ligne: <http://www.chicagotribune.com/business/ct-hospital-cyberattack-vulnerabilities-20160330-story.html> consulté le 28 mars 2018.
52. Maryland Coordination and Analysis Center. (2017).— The frightening new frontier for hackers: medical records. En ligne: <http://www.mcac.maryland.gov/newsroom/Critical%20Infrastructure%20News/the-frightening-new-frontier-for-hackers-medical-records> consulté le 28 mars 2018.
53. Tierion®. (2016).— Blockchain healthcare 2016 report – promise and pitfalls. <https://tierion.com/blog/blockchain-healthcare-2016-report/> consulté le 28 mars 2018.
54. Mack H. (2017).— IBM-Watson and FDA collaborate to explore the use of blockchain data in population health management. En ligne: <http://www.mobihealthnews.com/content/ibm-watson-and-fda-collaborate-explore-use-blockchain-data-population-health-management> consulté le 28 mars 2018.
55. Jones B. (2017).— The CDC wants to use blockchain as a weapon against deadly epidemics. En ligne: <https://futurism.com/the-cdc-wants-to-use-blockchain-as-a-weapon-against-deadly-epidemics/> consulté le 28 mars 2018.
56. Siwicki B. (2017).— 2018 is primed for blockchain, big data and cloud computing advancements, all with a better security plan. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/2018-primed-blockchain-big-data-and-cloud-computing-advancements-all-better-security-plan> consulté le 28 mars 2018.
57. Siwicki B. (2018).— Adoption of Cloud-based imaging informatics tools set to accelerate. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/adoption-cloud-based-imaging-informatics-tools-set-accelerate> consulté le 28 mars 2018.
58. Rowe J. (2018).— Growth in medical image volumes fuels migration to cloud solutions. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/cloud-decision-center/growth-medical-image-volumes-fuels-migration-cloud-solutions> consulté le 28 mars 2018.
59. Sullivan T. (2017).— Hospital datacenters: extinct in 5 years? En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/news/hospital-datacenters-extinct-5-years> consulté le 28 mars 2018.
60. Rowe J. (2017).— Sound cloud economics still key to successful health org transition. En ligne: <http://www.healthcareitnews.com/cloud-decision-center/sound-cloud-economics-still-key-successful-health-org-transition> consulté le 28 mars 2018.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Pr PA Coucke, Service de Radiothérapie, CHU de Liège, Site Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique.

Email : [pcoucke@chuliege.be](mailto:pcoucke@chuliege.be)