

UNIVERSITE MOHAMMED V - RABAT

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT-

ANNEE: 2018

THESE N°: 280

LA MEDECINE A L'ERE  
DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le : .....

PAR

Mme. Aicha GUELLI

Née le 14 Février 1992 à Tétouan

Pour l'Obtention du Doctorat en Médecine

MOTS CLES : Intelligence artificielle – Médecine – Diagnostic –  
Applications – Enjeux.

JURY

Mr. M. ZOUHDI

Professeur de Microbiologie

PRESIDENT

Mr. Y. SEKHSOKH

Professeur de Microbiologie

RAPPORTEUR

Mr. K. HADADI

Professeur de Radiothérapie Oncologie

Mr. B. RADOUANE

Professeur de Radiologie

JUGES

Mr. A. JEAIDI

Professeur d'Hématologie Biologique

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالَ كَلِمَاتٍ  
فَالْحَمْدُ لِلَّهِ  
الْعَلِيِّ الْعَظِيمِ

صِدْقَ اللَّهِ الْعَظِيمِ



**UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT**  
**FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT**

**DOYENS HONORAIRES :**

1962 – 1969 : Professeur Abdelmalek FARAJ  
1969 – 1974 : Professeur Abdellatif BERBICH  
1974 – 1981 : Professeur Bachir LAZRAK  
1981 – 1989 : Professeur Taieb CHKILI  
1989 – 1997 : Professeur Mohamed Tahar ALAOUI  
1997 – 2003 : Professeur Abdelmajid BELMAHI  
2003 – 2013 : Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI



**ADMINISTRATION :**

**Doyen** : Professeur Mohamed ADNAOUI  
**Vice Doyen chargé des Affaires Académiques et étudiantes**  
Professeur Mohammed AHALLAT  
**Vice Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération**  
Professeur Taoufiq DAKKA  
**Vice Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie**  
Professeur Jamal TAOUFIK  
**Secrétaire Général** : Mr. Mohamed KARRA

**1- ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS**  
**ET**  
**PHARMACIENS**

**PROFESSEURS :**

**Décembre 1984**

Pr. MAAOUNI Abdelaziz  
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi  
Pr. SETTAF Abdellatif

Médecine Interne – ***Clinique Royale***  
Anesthésie -Réanimation  
pathologie Chirurgicale

**Novembre et Décembre 1985**

Pr. BENS Aid Younes

Pathologie Chirurgicale

**Janvier, Février et Décembre 1987**

Pr. CHAHED OUZZANI Houria  
Pr. LACHKAR Hassan  
Pr. YAHYA OUI Mohamed

Gastro-Entérologie  
Médecine Interne  
Neurologie

### Décembre 1988

Pr. BENHAMAMOUCH Mohamed Najib  
Pr. DAFIRI Rachida

### Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed  
Pr. CHAD Bouziane  
Pr. OUAZZANI Taïbi Mohamed Réda

### Janvier et Novembre 1990

Pr. CHKOFF Rachid  
Pr. HACHIM Mohammed\*  
Pr. KHARBACH Aïcha  
Pr. MANSOURI Fatima  
Pr. TAZI Saoud Anas

### Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AL HAMANY Zaïtounia  
Pr. AZZOUZI Abderrahim  
Pr. BAYAHIA Rabéa  
Pr. BELKOUCHI Abdelkader  
Pr. BENCHEKROUN Belabbes Abdellatif  
Pr. BENSOUDA Yahia  
Pr. BERRAHO Amina  
Pr. BEZZAD Rachid  
Pr. CHABRAOUI Layachi  
Pr. CHERRAH Yahia  
Pr. CHOKAIRI Omar  
Pr. KHATTAB Mohamed  
Pr. SOULAYMANI Rachida  
Pr. TAOUFIK Jamal

### Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed  
Pr. BENSOUDA Adil  
Pr. BOUJIDA Mohamed Najib  
Pr. CHAHED OUAZZANI Laaziza  
Pr. CHRAIBI Chafiq  
Pr. DEHAYNI Mohamed\*  
Pr. EL OUAHABI Abdessamad  
Pr. FELLAT Rokaya  
Pr. GHAFIR Driss\*  
Pr. JIDDANE Mohamed  
Pr. TAGHY Ahmed  
Pr. ZOUHDI Mimoun

### Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Noureddine  
Pr. BEN RAIS Nozha  
Pr. CAOUI Malika

Chirurgie Pédiatrique  
Radiologie

Médecine Interne – *Doyen de la FMPR*  
Pathologie Chirurgicale  
Neurologie

Pathologie Chirurgicale  
Médecine-Interne  
Gynécologie -Obstétrique  
Anatomie-Pathologique  
Anesthésie Réanimation

Anatomie-Pathologique  
Anesthésie Réanimation – *Doyen de la FMPO*

Néphrologie  
Chirurgie Générale  
Chirurgie Générale  
Pharmacie galénique  
Ophtalmologie  
Gynécologie Obstétrique  
Biochimie et Chimie  
Pharmacologie  
Histologie Embryologie  
Pédiatrie

Pharmacologie – *Dir. du Centre National PV*  
Chimie thérapeutique *V.D à la pharmacie+Dir du CEDOC*

Chirurgie Générale V.D Aff. Acad. et Estud  
Anesthésie Réanimation  
Radiologie  
Gastro-Entérologie  
Gynécologie Obstétrique  
Gynécologie Obstétrique  
Neurochirurgie  
Cardiologie  
Médecine Interne  
Anatomie  
Chirurgie Générale  
Microbiologie



Radiothérapie  
Biophysique  
Biophysique

Pr. CHRAIBI Abdelmjid

Pr. EL AMRANI Sabah  
Pr. EL BARDOUNI Ahmed  
Pr. EL HASSANI My Rachid  
Pr. ERROUGANI Abdelkader  
Pr. ESSAKALI Malika  
Pr. ETTAYEBI Fouad  
Pr. HADRI Larbi\*  
Pr. HASSAM Badredine  
Pr. IFRINE Lahssan  
Pr. JELTHI Ahmed  
Pr. MAHFOUD Mustapha  
Pr. RHRAB Brahim  
Pr. SENOUCI Karima

### Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed\*  
Pr. ABDELHAK M'barek  
Pr. BELAIDI Halima  
Pr. BENTAHILA Abdelali  
Pr. BENYAHIA Mohammed Ali  
Pr. BERRADA Mohamed Saleh  
Pr. CHAMI Ilham  
Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae  
Pr. JALIL Abdelouahed  
Pr. LAKHDAR Amina  
Pr. MOUANE Nezha

### Mars 1995

Pr. ABOUQUAL Redouane  
Pr. AMRAOUI Mohamed  
Pr. BAIDADA Abdelaziz  
Pr. BARGACH Samir  
Pr. CHAARI Jilali\*  
Pr. DIMOU M'barek\*  
Pr. DRISSI KAMILI Med Nordine\*  
Pr. EL MESNAOUI Abbas  
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila  
Pr. HDA Abdelhamid\*  
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed  
Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia  
Pr. SEFIANI Abdelaziz  
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

### Décembre 1996

Pr. AMIL Touriya\*  
Pr. BELKACEM Rachid  
Pr. BOULANOUAR Abdelkrim  
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan  
Pr. GAOUZI Ahmed  
Pr. MAHFOUDI M'barek\*  
Pr. OUADGHIRI Mohamed  
Pr. OUZEDDOUN Naima

Endocrinologie et Maladies Métaboliques *Doyen de la FMPA*

Gynécologie Obstétrique  
Traumato-Orthopédie  
Radiologie  
Chirurgie Générale- *Directeur CHIS*  
Immunologie  
Chirurgie Pédiatrique  
Médecine Interne  
Dermatologie  
Chirurgie Générale  
Anatomie Pathologique  
Traumatologie – Orthopédie  
Gynécologie –Obstétrique  
Dermatologie

Urologie  
Chirurgie – Pédiatrique  
Neurologie  
Pédiatrie  
Gynécologie – Obstétrique  
Traumatologie – Orthopédie  
Radiologie  
Ophtalmologie  
Chirurgie Générale  
Gynécologie Obstétrique  
Pédiatrie

Réanimation Médicale  
Chirurgie Générale  
Gynécologie Obstétrique  
Gynécologie Obstétrique  
Médecine Interne  
Anesthésie Réanimation  
Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Générale  
Oto-Rhino-Laryngologie  
Cardiologie - *Directeur HMI Med V*  
Urologie  
Ophtalmologie  
Génétique  
Réanimation Médicale

Radiologie  
Chirurgie Pédiatrie  
Ophtalmologie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Radiologie  
Traumatologie-Orthopédie  
Néphrologie



Pr. ZBIR EL Mehdi\*

**Novembre 1997**

Pr. ALAMI Mohamed Hassan  
Pr. BEN SLIMANE Lounis  
Pr. BIROUK Nazha  
Pr. ERREIMI Naima  
Pr. FELLAT Nadia  
Pr. HAIMEUR Charki\*  
Pr. KADDOURI Nouredine  
Pr. KOUTANI Abdellatif  
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid  
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ  
Pr. TAOUFIQ Jallal  
Pr. YOUSFI MALKI Mounia

**Novembre 1998**

Pr. AFIFI RAJAA  
Pr. BENOMAR ALI  
Pr. BOUGTAB Abdesslam  
Pr. ER RIHANI Hassan  
Pr. BENKIRANE Majid\*  
Pr. KHATOURI ALI\*

**Janvier 2000**

Pr. ABID Ahmed\*  
Pr. AIT OUMAR Hassan  
Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr.Sououd  
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine  
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer  
Pr. ECHARRAB El Mahjoub  
Pr. EL FTOUH Mustapha  
Pr. EL MOSTARCHID Brahim\*  
Pr. ISMAILI Hassane\*  
Pr. MAHMOUDI Abdelkrim\*  
Pr. TACHINANTE Rajae  
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

**Novembre 2000**

Pr. AIDI Saadia  
Pr. AJANA Fatima Zohra  
Pr. BENAMR Said  
Pr. CHERTI Mohammed  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma  
Pr. EL HASSANI Amine  
Pr. EL KHADER Khalid  
Pr. EL MAGHRAOUI Abdellah\*  
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan  
Pr. MAHASSINI Najat  
Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae  
Pr. ROUIMI Abdelhadi\*

Cardiologie

Gynécologie-Obstétrique  
Urologie  
Neurologie  
Pédiatrie  
Cardiologie  
Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Pédiatrique  
Urologie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Psychiatrie  
Gynécologie Obstétrique

Gastro-Entérologie

Neurologie – **Doyen de la FMP Abulcassis**  
Chirurgie Générale  
Oncologie Médicale  
Hématologie  
Cardiologie

Pneumophtisiologie  
Pédiatrie  
Pédiatrie  
Pneumo-phtisiologie  
Chirurgie Générale  
Chirurgie Générale  
Pneumo-phtisiologie  
Neurochirurgie  
Traumatologie Orthopédie- **Dir. Hop. Av. Marr.**  
Anesthésie-Réanimation **Inspecteur du SSM**  
Anesthésie-Réanimation  
Médecine Interne



Neurologie  
Gastro-Entérologie  
Chirurgie Générale  
Cardiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Pédiatrie **Directeur Hop. Chekikh Zaied**  
Urologie  
Rhumatologie  
Endocrinologie et Maladies Métaboliques  
Anatomie Pathologique  
Pédiatrie  
Neurologie

### Décembre 2000

Pr. ZOHAIR ABDELAH\*

ORL

### Décembre 2001

Pr. BALKHI Hicham\*  
Pr. BENABDELJLIL Maria  
Pr. BENAMAR Loubna  
Pr. BENAMOR Jouda  
Pr. BENELBARHDADI Imane  
Pr. BENNANI Rajae  
Pr. BENOACHANE Thami  
Pr. BEZZA Ahmed\*  
Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi  
Pr. BOUMDIN El Hassane\*  
Pr. CHAT Latifa  
Pr. DAALI Mustapha\*  
Pr. DRISSE Sidi Mourad\*  
Pr. EL HIJRI Ahmed  
Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid  
Pr. EL MADHI Tarik  
Pr. EL OUNANI Mohamed  
Pr. ETTAIR Said  
Pr. GAZZAZ Miloudi\*  
Pr. HRORA Abdelmalek  
Pr. KABBAJ Saad  
Pr. KABIRI EL Hassane\*  
Pr. LAMRANI Moulay Omar  
Pr. LEKEHAL Brahim  
Pr. MAHASSIN Fattouma\*  
Pr. MEDARHRI Jalil  
Pr. MIKDAME Mohammed\*  
Pr. MOHSINE Raouf  
Pr. NOUINI Yassine  
Pr. SABBAH Farid  
Pr. SEFIANI Yasser  
Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

Anesthésie-Réanimation  
Neurologie  
Néphrologie  
Pneumo-phtisiologie  
Gastro-Entérologie  
Cardiologie  
Pédiatrie  
Rhumatologie  
Anatomie  
Radiologie  
Radiologie  
Chirurgie Générale  
Radiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Neuro-Chirurgie  
Chirurgie-Pédiatrique  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie **Directeur. Hop.d'Enfants**  
Neuro-Chirurgie  
Chirurgie Générale  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Thoracique  
Traumatologie Orthopédie  
Chirurgie Vasculaire Périphérique  
Médecine Interne  
Chirurgie Générale  
Hématologie Clinique  
Chirurgie Générale  
Urologie **Directeur Hôpital Ibn Sina**  
Chirurgie Générale  
Chirurgie Vasculaire Périphérique  
Pédiatrie



### Décembre 2002

Pr. AL BOUZIDI Abderrahmane\*  
Pr. AMEUR Ahmed \*  
Pr. AMRI Rachida  
Pr. AOURARH Aziz\*  
Pr. BAMOU Youssef \*  
Pr. BELMEJDOUB Ghizlene\*  
Pr. BENZEKRI Laila  
Pr. BENZZOUBEIR Nadia  
Pr. BERNOUSSI Zakiya  
Pr. BICHRA Mohamed Zakariya\*  
Pr. CHOHO Abdelkrim \*  
Pr. CHKIRATE Bouchra

Anatomie Pathologique  
Urologie  
Cardiologie  
Gastro-Entérologie  
Biochimie-Chimie  
Endocrinologie et Maladies Métaboliques  
Dermatologie  
Gastro-Entérologie  
Anatomie Pathologique  
Psychiatrie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie

Pr. EL ALAMI EL FELLOUS Sidi Zouhair  
 Pr. EL HAOURI Mohamed \*  
 Pr. FILALI ADIB Abdelhai  
 Pr. HAJJI Zakia  
 Pr. IKEN Ali  
 Pr. JAAFAR Abdeloihab\*  
 Pr. KRIOUILE Yamina  
 Pr. LAGHMARI Mina  
 Pr. MABROUK Hfid\*  
 Pr. MOUSSAOUI RAHALI Driss\*  
 Pr. OUJILAL Abdelilah  
 Pr. RACHID Khalid \*  
 Pr. RAISS Mohamed  
 Pr. RGUIBI IDRISSE Sidi Mustapha\*  
 Pr. RHOU Hakima  
 Pr. SIAH Samir \*  
 Pr. THIMOU Amal  
 Pr. ZENTAR Aziz\*

### **Janvier 2004**

Pr. ABDELLAH El Hassan  
 Pr. AMRANI Mariam  
 Pr. BENBOUZID Mohammed Anas  
 Pr. BENKIRANE Ahmed\*  
 Pr. BOUGHALEM Mohamed\*  
 Pr. BOULAADAS Malik  
 Pr. BOURAZZA Ahmed\*  
 Pr. CHAGAR Belkacem\*  
 Pr. CHERRADI Nadia  
 Pr. EL FENNI Jamal\*  
 Pr. EL HANCHI ZAKI  
 Pr. EL KHORASSANI Mohamed  
 Pr. EL YOUNASSI Badreddine\*  
 Pr. HACHI Hafid  
 Pr. JABOUIRIK Fatima  
 Pr. KHARMAZ Mohamed  
 Pr. MOUGHIL Said  
 Pr. OUBAAZ Abdelbarre\*  
 Pr. TARIB Abdelilah\*  
 Pr. TIJAMI Fouad  
 Pr. ZARZUR Jamila

### **Janvier 2005**

Pr. ABBASSI Abdellah  
 Pr. AL KANDRY Sif Eddine\*  
 Pr. ALLALI Fadoua  
 Pr. AMAZOUZI Abdellah  
 Pr. AZIZ Nouredine\*  
 Pr. BAHIRI Rachid  
 Pr. BARKAT Amina  
 Pr. BENYASS Aatif  
 Pr. BERNOUSSI Abdelghani

Chirurgie Pédiatrique  
 Dermatologie  
 Gynécologie Obstétrique  
 Ophtalmologie  
 Urologie  
 Traumatologie Orthopédie  
 Pédiatrie  
 Ophtalmologie  
 Traumatologie Orthopédie  
 Gynécologie Obstétrique  
 Oto-Rhino-Laryngologie  
 Traumatologie Orthopédie  
 Chirurgie Générale  
 Pneumophtisiologie  
 Néphrologie  
 Anesthésie Réanimation  
 Pédiatrie  
 Chirurgie Générale

Ophtalmologie  
 Anatomie Pathologique  
 Oto-Rhino-Laryngologie  
 Gastro-Entérologie  
 Anesthésie Réanimation  
 Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale  
 Neurologie  
 Traumatologie Orthopédie  
 Anatomie Pathologique  
 Radiologie  
 Gynécologie Obstétrique  
 Pédiatrie  
 Cardiologie  
 Chirurgie Générale  
 Pédiatrie  
 Traumatologie Orthopédie  
 Chirurgie Cardio-Vasculaire  
 Ophtalmologie  
 Pharmacie Clinique  
 Chirurgie Générale  
 Cardiologie



Chirurgie Réparatrice et Plastique  
 Chirurgie Générale  
 Rhumatologie  
 Ophtalmologie  
 Radiologie  
 Rhumatologie  
 Pédiatrie  
 Cardiologie  
 Ophtalmologie

Pr. DOUDOUH Abderrahim\*  
Pr. EL HAMZAOUI Sakina\*  
Pr. HAJJI Leila  
Pr. HESSISSEN Leila  
Pr. JIDAL Mohamed\*  
Pr. LAAROUSSI Mohamed  
Pr. LYAGOUBI Mohammed  
Pr. NIAMANE Radouane\*  
Pr. RAGALA Abdelhak  
Pr. SBIHI Souad  
Pr. ZERAIDI Najia

### Décembre 2005

Pr. CHANI Mohamed

### Avril 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen\*  
Pr. AKJOUJ Said\*  
Pr. BELMEKKI Abdelkader\*  
Pr. BENCHEIKH Razika  
Pr. BIYI Abdelhamid\*  
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine  
Pr. BOULAHYA Abdellatif\*  
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas  
Pr. DOGHMI Nawal  
Pr. FELLAT Ibtissam  
Pr. FAROUDY Mamoun  
Pr. HARMOUCHE Hicham  
Pr. HANAFI Sidi Mohamed\*  
Pr. IDRIS LAHLOU Amine\*  
Pr. JROUNDI Laila  
Pr. KARMOUNI Tariq  
Pr. KILI Amina  
Pr. KISRA Hassan  
Pr. KISRA Mounir  
Pr. LAATIRIS Abdelkader\*  
Pr. LMIMOUNI Badreddine\*  
Pr. MANSOURI Hamid\*  
Pr. OUANASS Abderrazzak  
Pr. SAFI Soumaya\*  
Pr. SEKKAT Fatima Zahra  
Pr. SOUALHI Mouna  
Pr. TELLAL Saida\*  
Pr. ZAHRAOUI Rachida

### Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid  
Pr. ACHACHI Leila  
Pr. ACHOUR Abdessamad\*  
Pr. AIT HOUSSA Mahdi\*  
Pr. AMHAJJI Larbi\*  
Pr. AOUI Sarra

Biophysique  
Microbiologie  
Cardiologie (mise en disponibilité)  
Pédiatrie  
Radiologie  
Chirurgie Cardio-vasculaire  
Parasitologie  
Rhumatologie  
Gynécologie Obstétrique  
Histo-Embryologie Cytogénétique  
Gynécologie Obstétrique

Anesthésie Réanimation

Rhumatologie  
Radiologie  
Hématologie  
O.R.L  
Biophysique  
Chirurgie - Pédiatrique  
Chirurgie Cardio - Vasculaire  
Gynécologie Obstétrique  
Cardiologie  
Cardiologie  
Anesthésie Réanimation  
Médecine Interne  
Anesthésie Réanimation  
Microbiologie  
Radiologie  
Urologie  
Pédiatrie  
Psychiatrie  
Chirurgie – Pédiatrique  
Pharmacie Galénique  
Parasitologie  
Radiothérapie  
Psychiatrie  
Endocrinologie  
Psychiatrie  
Pneumo – Phtisiologie  
Biochimie  
Pneumo – Phtisiologie



Pr. BAITE Abdelouahed\*  
 Pr. BALOUCH Lhousaine\*  
 Pr. BENZIANE Hamid\*  
 Pr. BOUTIMZINE Nourdine  
 Pr. CHARKAOUI Naoual\*  
 Pr. EHIRCHIOU Abdelkader\*  
 Pr. ELABSI Mohamed  
 Pr. EL MOUSSAOUI Rachid  
 Pr. EL OMARI Fatima  
 Pr. GHARIB Nouredine  
 Pr. HADADI Khalid\*  
 Pr. ICHOU Mohamed\*  
 Pr. ISMAILI Nadia  
 Pr. KEBDANI Tayeb  
 Pr. LALAOUI SALIM Jaafar\*  
 Pr. LOUZI Lhoussain\*  
 Pr. MADANI Naoufel  
 Pr. MAHI Mohamed\*  
 Pr. MARC Karima  
 Pr. MASRAR Azlarab  
 Pr. MRABET Mustapha\*  
 Pr. MRANI Saad\*  
 Pr. OUZZIF Ez zohra\*  
 Pr. RABHI Monsef\*  
 Pr. RADOUANE Bouchaib\*  
 Pr. SEFFAR Myriame  
 Pr. SEKHSOKH Yessine\*  
 Pr. SIFAT Hassan\*  
 Pr. TABERKANET Mustafa\*  
 Pr. TACHFOUTI Samira  
 Pr. TAJDINE Mohammed Tariq\*  
 Pr. TANANE Mansour\*  
 Pr. TLIGUI Houssain  
 Pr. TOUATI Zakia

### **Décembre 2007**

Pr. DOUHAL ABDERRAHMAN

### **Décembre 2008**

Pr ZOUBIR Mohamed\*  
 Pr TAHIRI My El Hassan\*

### **Mars 2009**

Pr. ABOUZAHIR Ali\*  
 Pr. AGDR Aomar\*  
 Pr. AIT ALI Abdelmounaim\*  
 Pr. AIT BENHADDOU El hachmia

Anesthésie réanimation **Directeur ERSM**  
 Biochimie-chimie  
 Pharmacie clinique  
 Ophtalmologie  
 Pharmacie galénique  
 Chirurgie générale  
 Chirurgie générale  
 Anesthésie réanimation  
 Psychiatrie  
 Chirurgie plastique et réparatrice  
 Radiothérapie  
 Oncologie médicale  
 Dermatologie  
 Radiothérapie  
 Anesthésie réanimation  
 Microbiologie  
 Réanimation médicale  
 Radiologie  
 Pneumo phtisiologie  
 Hématologie biologique  
 Médecine préventive santé publique et hygiène  
 Virologie  
 Biochimie-chimie  
 Médecine interne  
 Radiologie  
 Microbiologie  
 Microbiologie  
 Radiothérapie  
 Chirurgie vasculaire périphérique  
 Ophtalmologie  
 Chirurgie générale  
 Traumatologie orthopédie  
 Parasitologie  
 Cardiologie



Ophtalmologie

Anesthésie Réanimation  
 Chirurgie Générale

Médecine interne  
 Pédiatre  
 Chirurgie Générale  
 Neurologie

Pr. AKHADDAR Ali\*  
 Pr. ALLALI Nazik  
 Pr. AMINE Bouchra  
 Pr. ARKHA Yassir  
 Pr. BELYAMANI Lahcen\*  
 Pr. BJIJOU Younes  
 Pr. BOUHSAIN Sanae\*  
 Pr. BOUI Mohammed\*  
 Pr. BOUNAIM Ahmed\*  
 Pr. BOUSSOUGA Mostapha\*  
 Pr. CHAKOUR Mohammed \*  
 Pr. CHTATA Hassan Toufik\*  
 Pr. DOGHMI Kamal\*  
 Pr. EL MALKI Hadj Omar  
 Pr. EL OUENNASS Mostapha\*  
 Pr. ENNIBI Khalid\*  
 Pr. FATHI Khalid  
 Pr. HASSIKOU Hasna \*  
 Pr. KABBAJ Nawal  
 Pr. KABIRI Meryem  
 Pr. KARBOUBI Lamya  
 Pr. L'KASSIMI Hachemi\*  
 Pr. LAMSAOURI Jamal\*  
 Pr. MARMADE Lahcen  
 Pr. MESKINI Toufik  
 Pr. MESSAOUDI Nezha \*  
 Pr. MSSROURI Rahal  
 Pr. NASSAR Ittimade  
 Pr. OUKERRAJ Latifa  
 Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani \*

**PROFESSEURS AGREGES :**

**Octobre 2010**

Pr. ALILOU Mustapha  
 Pr. AMEZIANE Taoufiq\*  
 Pr. BELAGUID Abdelaziz  
 Pr. BOUAITY Brahim\*  
 Pr. CHADLI Mariama\*  
 Pr. CHEMSI Mohamed\*  
 Pr. DAMI Abdellah\*  
 Pr. DARBI Abdellatif\*  
 Pr. DENDANE Mohammed Anouar  
 Pr. EL HAFIDI Naima  
 Pr. EL KHARRAS Abdennasser\*  
 Pr. EL MAZOUZ Samir  
 Pr. EL SAYEGH Hachem  
 Pr. ERRABIH Ikram  
 Pr. LAMALMI Najat  
 Pr. MOSADIK Ahlam  
 Pr. MOUJAHID Mountassir\*  
 Pr. NAZIH Mouna\*

Neuro-chirurgie  
 Radiologie  
 Rhumatologie  
 Neuro-chirurgie  
 Anesthésie Réanimation  
 Anatomie  
 Biochimie-chimie  
 Dermatologie  
 Chirurgie Générale  
 Traumatologie orthopédique  
 Hématologie biologique  
 Chirurgie vasculaire périphérique  
 Hématologie clinique  
 Chirurgie Générale  
 Microbiologie  
 Médecine interne  
 Gynécologie obstétrique  
 Rhumatologie  
 Gastro-entérologie  
 Pédiatrie  
 Pédiatrie  
 Microbiologie **Directeur Hôpital My Ismail**  
 Chimie Thérapeutique  
 Chirurgie Cardio-vasculaire  
 Pédiatrie  
 Hématologie biologique  
 Chirurgie Générale  
 Radiologie  
 Cardiologie  
 Pneumo-phtisiologie



Anesthésie réanimation  
 Médecine interne  
 Physiologie  
 ORL  
 Microbiologie  
 Médecine aéronautique  
 Biochimie chimie  
 Radiologie  
 Chirurgie pédiatrique  
 Pédiatrie  
 Radiologie  
 Chirurgie plastique et réparatrice  
 Urologie  
 Gastro entérologie  
 Anatomie pathologique  
 Anesthésie Réanimation  
 Chirurgie générale  
 Hématologie biologique

Pr. ZOUAIDIA Fouad

Anatomie pathologique

### Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed  
Pr. ABOUELALAA Khalil\*  
Pr. BELAIZI Mohamed\*  
Pr. BENCHEBBA Driss\*  
Pr. DRISSI Mohamed\*  
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna  
Pr. EL KHATTABI Abdessadek\*  
Pr. EL OUAZZANI Hanane\*  
Pr. ER-RAJI Mounir  
Pr. JAHID Ahmed  
Pr. MEHSSANI Jamal\*  
Pr. RAISSOUNI Maha\*

Chirurgie Pédiatrique  
Anesthésie Réanimation  
Psychiatrie  
Traumatologie Orthopédique  
Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Générale  
Médecine Interne  
Pneumophtisiologie  
Chirurgie Pédiatrique  
Anatomie pathologique  
Psychiatrie  
Cardiologie

### Février 2013

Pr. AHID Samir  
Pr. AIT EL CADI Mina  
Pr. AMRANI HANCHI Laila  
Pr. AMOUR Mourad  
Pr. AWAB Almahdi  
Pr. BELAYACHI Jihane  
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain  
Pr. BENCHEKROUN Laila  
Pr. BENKIRANE Souad  
Pr. BENNANA Ahmed\*  
0.  
Pr. BENSGHIR Mustapha\*  
Pr. BENYAHIA Mohammed\*  
Pr. BOUATIA Mustapha  
Pr. BOUABID Ahmed Salim\*  
Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba  
Pr. CHAIB Ali\*  
Pr. DENDANE Tarek  
Pr. DINI Nouzha\*  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa  
Pr. ELFATEMI Nizare  
Pr. EL GUERROUJ Hasnae  
Pr. EL HARTI Jaouad  
Pr. EL JOUDI Rachid\*  
Pr. EL KABABRI Maria  
Pr. EL KHANNOUSSI Basma  
Pr. EL KHLOUFI Samir  
Pr. EL KORAICHI Alae  
Pr. EN-NOUALI Hassane\*  
Pr. ERRGUIG Laila

Pharmacologie – Chimie  
Toxicologie  
Gastro-Entérologie  
Anesthésie Réanimation  
Anesthésie Réanimation  
Réanimation Médicale  
Anesthésie Réanimation  
Biochimie-Chimie  
Hématologie biologique  
Informatique Pharmaceutique  
  
Anesthésie Réanimation  
Néphrologie  
Chimie Analytique  
Traumatologie Orthopédie  
Anatomie  
Cardiologie  
Réanimation Médicale  
Pédiatrie  
Anesthésie Réanimation  
Radiologie  
Neuro-Chirurgie  
Médecine Nucléaire  
Chimie Thérapeutique  
Toxicologie  
Pédiatrie  
Anatomie Pathologie  
Anatomie  
Anesthésie Réanimation  
Radiologie  
Physiologie



Pr. FIKRI Meryim  
Pr. GHFIR Imade  
Pr. IMANE Zineb  
Pr. IRAQI Hind  
Pr. KABBAJ Hakima  
Pr. KADIRI Mohamed\*  
Pr. LATIB Rachida  
Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra  
Pr. MEDDAH Bouchra  
Pr. MELHAOUI Adyl  
Pr. MRABTI Hind  
Pr. NEJJARI Rachid  
Pr. OUBEJJA Houda  
Pr. OUKABLI Mohamed\*  
Pr. RAHALI Younes  
Pr. RATBI Ilham  
Pr. RAHMANI Mounia  
Pr. REDA Karim\*  
Pr. REGRAGUI Wafa  
Pr. RKAIN Hanan  
Pr. ROSTOM Samira  
Pr. ROUAS Lamiaa  
Pr. ROUIBAA Fedoua\*  
Pr. SALIHOUN Mouna  
Pr. SAYAH Rochde  
Pr. SEDDIK Hassan\*  
Pr. ZERHOUNI Hicham  
Pr. ZINE Ali\*

Radiologie  
Médecine Nucléaire  
Pédiatrie  
Endocrinologie et maladies métaboliques  
Microbiologie  
Psychiatrie  
Radiologie  
Médecine Interne  
Pharmacologie  
Neuro-chirurgie  
Oncologie Médicale  
Pharmacognosie  
Chirurgie Pédiatrique  
Anatomie Pathologique  
Pharmacie Galénique  
Génétique  
Neurologie  
Ophtalmologie  
Neurologie  
Physiologie  
Rhumatologie  
Anatomie Pathologique  
Gastro-Entérologie  
Gastro-Entérologie  
Chirurgie Cardio-Vasculaire  
Gastro-Entérologie  
Chirurgie Pédiatrique  
Traumatologie Orthopédie

**Avril 2013**

Pr. EL KHATIB Mohamed Karim\*  
Pr. GHOUNDALE Omar\*  
Pr. ZYANI Mohammad\*

Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale  
Urologie  
Médecine Interne

**\*Enseignants Militaires**



Chef de Service des Ressources  
Humaines  
Abdellah KHALID

## MARS 2014

ACHIR ABDELLAH  
BENCHAKROUN MOHAMMED  
BOUCHIKH MOHAMMED  
EL KABBAJ DRISS  
EL MACHTANI IDRISSE SAMIRA  
HARDIZI HOUYAM  
HASSANI AMALE  
HERRAK LAILA  
JANANE ABDELLA TIF  
JEAIDI ANASS  
KOUACH JAOUAD  
LEMNOUER ABDELHAY  
MAKRAM SANAA  
OULAHYANE RACHID  
RHISSASSI MOHAMED JMFAR  
SABRY MOHAMED  
SEKKACH YOUSSEF  
TAZL MOUKBA. :LA.KLA.

### **\*Enseignants Militaires**

## DECEMBRE 2014

ABILKACEM RACHID'  
AIT BOUGHIMA FADILA  
BEKKALI HICHAM  
BENAZZOU SALMA  
BOUABDELLAH MOUNYA  
BOUCHRIK MOURAD  
DERRAJI SOUFIANE  
DOBLALI TAOUFIK  
EL AYOUBI EL IDRISSE ALI  
EL GHADBANE ABDEDAIM HATIM  
EL MARJANY MOHAMMED  
FEJJAL NAWFAL  
JAHIDI MOHAMED  
LAKHAL ZOUHAIR  
OUDGHIRI NEZHA  
Rami Mohamed  
SABIR MARIA  
SBAI IDRISSE KARIM

### **\*Enseignants Militaires**

Chirurgie Thoracique  
Traumatologie- Orthopédie  
Chirurgie Thoracique  
Néphrologie  
Biochimie-Chimie  
Histologie- Embryologie-Cytogénétique  
Pédiatrie  
Pneumologie  
Urologie  
Hématologie Biologique  
Génécologie-Obstétrique  
Microbiologie  
Pharmacologie  
Chirurgie Pédiatrique  
CCV  
Cardiologie  
Médecine Interne  
Génécologie-Obstétrique

Pédiatrie  
Médecine Légale  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Maxillo-Faciale  
Biochimie-Chimie  
Parasitologie  
Pharmacie Clinique  
Microbiologie  
Anatomie  
Anesthésie-Réanimation  
Radiothérapie  
Chirurgie Réparatrice et Plastique  
O.R.L  
Cardiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Pédiatrique  
Psychiatrie  
Médecine préventive, santé publique et Hyg.



## AOUT 2015

Meziane meryem  
Tahri latifa

Dermatologie  
Rhumatologie

## JANVIER 2016

BENKABBOU AMINE  
EL ASRI FOUAD  
ERRAMI NOUREDDINE  
NITASSI SOPHIA

Chirurgie Générale  
Ophtalmologie  
O.R.L  
O.R.L

## **2- ENSEIGNANTS – CHERCHEURS SCIENTIFIQUES**

### PROFESSEURS / PRs. HABILITES

Pr. ABOUDRAR Saadia	Physiologie
Pr. ALAMI OUHABI Naïma	Biochimie – chimie
Pr. ALAOUI KATIM	Pharmacologie
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma	Histologie-Embryologie
Pr. ANSAR M'hammed	Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Pr. BOUHOUCHE Ahmed	Génétique Humaine
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz	Applications Pharmaceutiques
Pr. BOURJOUANE Mohamed	Microbiologie
Pr. CHAHED OUAZZANI Lalla Chadia	Biochimie – chimie
Pr. DAKKA Taoufiq	Physiologie
Pr. DRAOUI Mustapha	Chimie Analytique
Pr. EL GUESSABI Lahcen	Pharmacognosie
Pr. ETTAIB Abdelkader	Zootéchnie
Pr. FAOUZI Moulay El Abbes	Pharmacologie
Pr. HAMZAOUI Laila	Biophysique
Pr. HMAMOUCHE Mohamed	Chimie Organique
Pr. IBRAHIMI Azeddine	Biologie moléculaire
Pr. KHANFRI Jamal Eddine	Biologie
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSE Med	Chimie Organique
Pr. REDHA Ahlam	Chimie
Pr. TOUATI Driss	Pharmacognosie
Pr. ZAHIDI Ahmed	Pharmacologie
Pr. ZELLOU Amina	Chimie Organique

Mise à jour le 14/12/2016 par le  
Service des Ressources Humaines





# *Dédicaces*



*À ma chère mère Malika et mon cher père Ahmed*

*Merci pour votre amour, pour tout l'enseignement  
que vous m'avez transmis, pour avoir toujours cru en moi  
et m'avoir toujours soutenu, pour vos sacrifices, vos prières et pour  
l'encouragement sans limites que vous ne cessez de m'offrir...*

*Mes chers parents, aucun mot ne pourra exprimer  
mon amour pour vous et mon immense reconnaissance.*

*Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression  
de mes sentiments les plus forts, mon profond respect  
et ma plus grande gratitude.*

*Que Dieu vous bénisse et vous prête bonne santé  
et longue vie.*





*A mon cher époux Amine*

*Tu m'as toujours soutenue et encouragée, par ton amour infini,  
ton aide indispensable et ta constante disponibilité  
à diverses occasions.*

*Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements  
ce travail n'aurait pas vu le jour.*

*Que Dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein,  
et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance  
et de mon amour sincère et fidèle.*

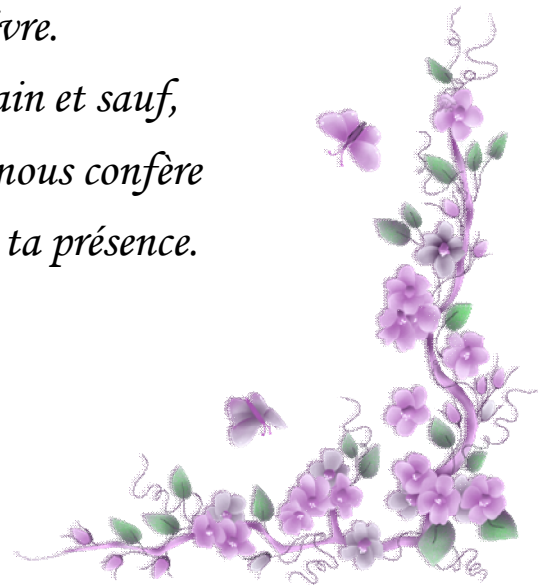
*A notre cher bébé*

*Tu ne portes toujours pas de prénom mais tu portes  
déjà notre amour, notre espoir dans la vie, mais aussi nos gènes.*

*Tu es le fruit de notre belle union.*

*Tu es et tu resteras par ton existence une lueur illuminant  
notre vie et la raison de la vivre.*

*Que Dieu te fasse venir au monde sain et sauf,  
te protège et nous aide à te protéger, nous confère  
ton amour et nous ne prive jamais de ta présence.*





*A mes chers frères Haitam et Ayman*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de l'amour  
et la fraternité qui nous unit.*

*Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection  
et mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis,  
votre aide et votre générosité extrêmes ont  
été pour moi une source de courage et de patience.  
Je vous souhaite une longue vie pleine de bonheur,  
de santé et de succès.*





*À mon grand-père*

*Tes prières ont été pour moi d'un grand soutien  
tout au long de mes études.*

*Avec mes souhaits de santé, de bonheur et longévité.*

*À la mémoire de mes Grand-mères et mon grand-père*

*J'ai tant aimé que vous soyez présents.*

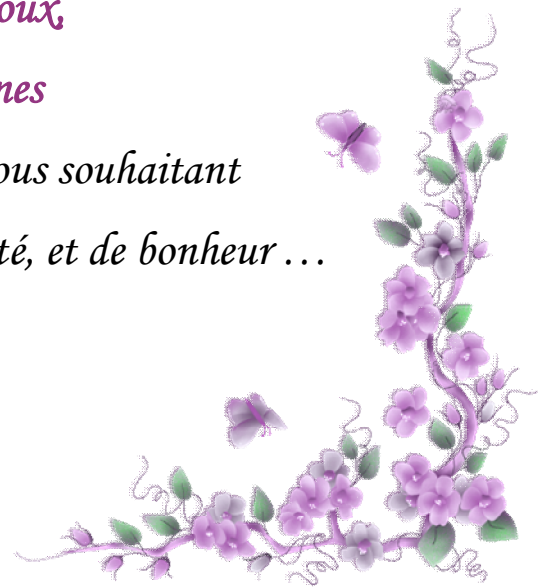
*Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.*

*À mon oncle et son épouse,*

*À mes tantes et leurs époux,*

*À mes cousins et cousines*

*Je vous dédie cette thèse tout en vous souhaitant  
une longue vie pleine de réussite, de santé, et de bonheur ...*





*A ma belle famille*

*Vous m'avez tous soutenue et encouragée.*

*Que ce travail soit le témoin de ma profonde affection,  
en vous souhaitant santé et beaucoup de bonheur.*

*À mes chères amies :*

*Hanae To., Rabab F., Ikram F., Salma E., Manal B., Imane B.,  
Yasmine E., Fatima-Zahra A., Hanae Ta., Yousra M. ...*

*En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les  
moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail.*

*Un grand merci pour votre soutien, vos encouragements, votre aide.*

*Avec toute mon affection et estime, je vous souhaite beaucoup de  
réussite et de bonheur, autant dans votre vie professionnelle que privée.*





*A tous mes maitres de l'enseignement primaire,  
secondaire et supérieur,  
A mes maitres, professeurs de la faculté de médecine  
et de pharmacie de Rabat.*

*Je vous serai éternellement reconnaissante.*

*A tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.*

*A tous ceux connus ou inconnus qui vont feuilleter  
un jour ce travail.*

*A tous ceux à qui je pense et que j'ai omis  
de citer involontairement.*





# Remerciements

*À notre maître et président de thèse*

*Monsieur Mimoun ZOUHDI*

*Professeur de Microbiologie*

*Pour le très grand honneur que vous nous faites  
en acceptant de juger et de présider notre thèse.*

*Nous vous conservons toujours notre profonde reconnaissance  
en souvenir de votre modestie de savoir.*

*Veillez trouver ici, cher maître, le témoignage de notre  
profonde gratitude et grand respect.*

*Permettez-moi de vous exprimer mes sincères remerciements.*

*À notre maître et rapporteur de thèse*

*Monsieur Yassine SEKHSOKH*

*Professeur de Microbiologie à l'H.M.I. Med V Rabat*

*Ce fût un grand honneur pour moi d'être encadrée par vous,  
Nous avons été très touchés par la confiance que vous nous  
avez témoignée en nous confiant ce travail.*

*Je vous remercie profondément pour votre accueil et votre  
sympathie.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de notre respectueuse  
considération et nos admirations pour vos grandes qualités  
professionnelles et humaines, nous espérons avoir mérité  
votre confiance.*

*À notre maître et juge de thèse*  
*Monsieur Khalid HADADI*  
*Professeur de Radiothérapie-Oncologie*

*Vous nous faites l'honneur d'accepter d'être dans le jury  
de cette thèse. Nous vous en sommes très reconnaissants.  
Votre grand savoir et votre sagesse suscitent notre admiration.  
Qu'il nous soit permis de vous exprimer notre profond respect et  
notre grande considération.*

*À notre maître et juge de thèse*  
*Monsieur Anass JEALDI*  
*Professeur d'Hématologie Biologie C.T.S*

*Vous nous faites un grand honneur en acceptant  
de siéger parmi les membres de mon jury.*

*Je vous présente mes plus vifs remerciements pour l'intérêt  
que vous avez bien voulu porter à ce travail en acceptant  
de le juger.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre profonde  
reconnaissance.*

*À notre maître et juge de thèse  
Monsieur Radouane BOUCHAIB  
Professeur de Radiologie*

*Nous sommes particulièrement touchés  
par la spontanéité et la gentillesse avec laquelle  
vous avez bien voulu accepter de juger ce travail.  
Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect,  
de notre sincère gratitude et de nos vifs remerciements.*

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ACMG</b>	: Collège Américain de Génétique et de Génomique Médicale
<b>ADM</b>	: Aide au diagnostic médical
<b>AFC</b>	: Association française de chirurgie
<b>AGI</b>	: Artificial general intelligence ou intelligence artificielle forte
<b>ANI</b>	: Artificial narrow intelligence ou intelligence artificielle faible
<b>APHM</b>	: Assistance publique-Hôpitaux de Marseille
<b>ASI</b>	: Artificial super intelligence ou super intelligence artificielle
<b>AVC</b>	: Accidents vasculaires cérébraux
<b>CERVO</b>	: Chirurgie éveillée sous réalité virtuelle dans le bloc opératoire
<b>Clom</b>	: Cours en ligne ouvert et massif
<b>CMRR</b>	: Coordonnateur du centre mémoire de ressources et de recherche
<b>CNAM</b>	: Caisse nationale d'assurance-maladie
<b>DPC</b>	: Développement professionnel continu
<b>ECG</b>	: Electrocardiogramme
<b>FDA</b>	: Food and Drug Administration
<b>GAFA</b>	: Google, Apple, Facebook, Amazon
<b>GPU</b>	: Graphics processing unit ou cartes graphiques
<b>HAS</b>	: Haute autorité de santé
<b>IA</b>	: Intelligence artificielle

<b>IBM</b>	: International Business Machines
<b>ICI</b>	: Institut de chirurgie guidée par l'image
<b>ICM</b>	: Institut de cerveau et de la moelle épinière
<b>INSH</b>	: Laboratoire Interactions numériques santé handicap
<b>IoT</b>	: Internet of Things
<b>IRCAD</b>	: Institut de recherche contre les cancers de l'appareil digestif
<b>IRM</b>	: Imagerie par résonance magnétique
<b>IRMf</b>	: Imagerie par résonance magnétique
<b>JAMA</b>	: The Journal of the American Medical Association
<b>LISP</b>	: List processing ou traitement de listes
<b>MIT</b>	: Massachusetts Institute of Technology
<b>Mooc</b>	: Massive Open On - line Course
<b>NBIC</b>	: Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique et sciences cognitives
<b>NHS</b>	: National Health Service
<b>PROLO</b>	: PROgrammation en LOGique
<b>SoFraSimS</b>	: Société francophone de simulation en santé
<b>TEP</b>	: Tomographie par émissions de positons
<b>UMVF</b>	: Université médicale virtuelle francophone
<b>UNESS</b>	: Université numérique de la santé et du sport
<b>UNF3S</b>	: Université Numérique Francophone des Sciences de la Santé et du Sport

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Hiroshi Ishiguro et son dual robotique.....	13
<b>Figure 2</b> : Exemple de données de la base ImageNet .....	19
<b>Figure 3</b> : Trump versus Macron dans une requête Google .....	21
<b>Figure 4</b> : Requêtes associées .....	22
<b>Figure 5</b> : Requêtes Trump contre Macron selon les pays .....	23
<b>Figure 6</b> : Salto arriere d'un robot .....	27
<b>Figure 7</b> : Les trois niveaux de l'intelligence artificielle .....	28
<b>Figure 8</b> : Evolution du cout du séquençage génomique .....	35
<b>Figure 9</b> : Evolution du nombre de données de séquences d'ADN .....	36
<b>Figure 10</b> : Progrès Majeur en Imagerie Médicale : reconnaissance de Divers types de Lésions .....	53
<b>Figure 11</b> : Segmentation de métastases hépatiques par IA .....	53
<b>Figure 12</b> : Détermination de la nature maligne de polypes du colon en temps réel par apprentissage profond .....	54
<b>Figure 13</b> : Robot chirurgical Da Vinci.....	58
<b>Figure 14</b> : Robot chirurgical Rosa.....	63
<b>Figure 15</b> : Carcinome épidermoïde. Un système d'IA distingue les lésions cutanées malignes des lésions bénignes.....	65

<b>Figure 16</b> : Etude des performances de GoogleNet Inception dans la classification des cancers de la peau. Résultats : les détections sont plus fiables que celles des medecins.....	65
<b>Figure 17</b> : Traitement chirurgical du cancer de la prostate. Un algorithme a été développé pour diagnostiquer cette condition aussi précisément qu'un pathologiste .....	66
<b>Figure 18</b> : Un logiciel a été développé pour contourner avec précision les tumeurs de la tête et du cou .....	68
<b>Figure 19</b> : Cancer du côlon - la détection précoce est cruciale.....	69
<b>Figure 20</b> : Cellules du cancer du sein: les techniques basées sur l'IA visent à réduire le surdiagnostic et les faux positifs .....	70
<b>Figure 21</b> : Harvard Medical School, MIT, and EXB Research .....	71
<b>Figure 22</b> : Medtronic MiniMed 670G system .....	75

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Premier chapitre : Introduction à l'intelligence artificielle</b> .....	4
1- Omniprésence de l'intelligence artificielle .....	5
2- Intelligence artificielle, de quoi s'agit-il ? .....	8
3- Brève histoire de l'intelligence artificielle et de ses acteurs principaux .....	11
3-1) Histoire ancienne.....	11
3-2) Des années 1950 à aujourd'hui.....	12
3-3) Différentes écoles du développement de l'intelligence artificielle .....	13
3-3-1) Approche humaine .....	13
3-3-2) Analyse factorielle et des données.....	14
3-3-3) Imitation de la nature .....	15
3-3-4) Recherche d'un algorithme unique.....	15
4- Grandes ruptures de 2011 .....	17
5- Du big data au data mining .....	20
6- Importance de l'apprentissage.....	26
7- Grands acteurs de l'intelligence artificielle .....	29
7-1) Google .....	29
7-2) Amazon.....	29
7-3) Facebook.....	30
7-4) Apple .....	30
<b>Deuxième chapitre : Médecine à l'heure de l'intelligence artificielle</b> .....	32
1- Impact sur les professions intellectuelles et menaces .....	33
2- Impact sur la médecine .....	35
3- Médecine du future est déjà là .....	38
3-1) Sous l'angle technologique.....	39
3-2) Bref rappel historique.....	39

<b>Troisième chapitre : Applications de l'intelligence artificielle en médecine</b> .....	41
1- Diagnostic .....	42
1-1) Your.MD, chatbot de prédiagnostic.....	42
1-2) Clustaar.....	43
1-3) Syllabs .....	43
1-4) DreamQuark.....	43
1-5) Lifen .....	43
1-6) Cardiologs.....	44
1-7) Implicity.....	44
1-8) WinterLight Labs .....	44
2- Recherche.....	45
2-1) IBM Watson.....	45
2-2) Caisse nationale d'assurance-maladie et École polytechnique .....	46
2-3) Inato.....	46
3- Imagerie médicale .....	48
3-1) Transformation du rôle du radiologue .....	48
3-2) Logiciels de post-traitement avancé.....	48
3-3) Interprétation automatisée des examens par recherche de contenus prédéfinis.....	49
3-4) Mieux qu'un médecin radiologue .....	49
3-5) Rôles de l'IA.....	50
3-6) Robots et chatbots en radiologie interventionnelle.....	50
3-7) Programmes mis en terrain .....	51
4- Chirurgie .....	55
4-1) Da Vinci.....	55
4-3) Rosa.....	60
5- Oncologie .....	64
5-1) Plus précis que les dermatologues .....	64
5-2) Algorithme pour le cancer de la prostate .....	66
5-3) Tumeurs de la tête et du cou.....	67

5-4) Cancer colorectal.....	69
5-5) Cancer du sein.....	70
5-6) Aide au Diagnostic pour les Pathologistes .....	71
6- Diabétologie .....	72
6-1) Medtronic.....	72
6-2) MiniMed 670G.....	74
7- Cardiologie.....	76
7-1) Prédiction et prévention des maladies cardiovasculaires .....	77
7-2) Plus précis que les cardiologues ?.....	77
8- Psychiatrie .....	79
8-1) Prédiction de la démence avant son apparition .....	79
8-2) Amélioration du diagnostic de la schizophrénie.....	80
8-3) Prévention du suicide .....	81
<b>Quatrième chapitre : Exercice de la médecine à l'ère numérique .....</b>	<b>86</b>
1- Rêve ? Cauchemar ? Un enjeu en tout cas.....	87
2- Médecin intelligence artificielle ou Médecin + intelligence artificielle ?.....	89
2-1) Rivalité médecin - intelligence artificielle .....	89
2-2) Start-up .....	90
2-3) Évaluation et formation .....	92
3- Patient modélisé .....	93
3-1) Technologies de l'image numérique .....	93
3-2) Bilan de ces évolutions.....	94
4- Thérapies numériques.....	95
4-1) Amélioration des soins par les jeux sérieux .....	95
4-2) Soins par la réalité virtuelle ? .....	96
4-3) Chirurgie éveillée sous réalité virtuelle dans le bloc opératoire .....	97

<b>Cinquième chapitre : Quelle formation pour les étudiants en médecine et les médecins ?</b> .....	99
1- Importance de la formation .....	100
2- Enjeux de la formation.....	102
2-1) Nouveaux métiers ? .....	102
2-2) Ouverture et pluridisciplinarité des enseignements et formations .....	103
3- Formation avec le numérique.....	105
3-1) Apport indiscutable .....	105
3-2) Jamais la première fois sur le patient.....	106
3-3) Exemples de simulation en santé.....	107
3-4) E-learning aux Mooc .....	108
4. Formation au numérique .....	109
4-1) Littératie numérique .....	109
4-2) Ses compétences .....	109
<b>Sixième chapitre : Risques, enjeux et challenges de l'intelligence artificielle ...</b>	111
1- Limitations technologiques .....	113
2- Limitations médicales .....	114
3- Qualité des données .....	114
4- Défis éthiques .....	116
5- Meilleures réglementations .....	117
6- Fausses idées .....	117
7- Rejet humain .....	118
<b>Conclusion</b> .....	119
<b>Résumés</b> .....	122
<b>BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE</b> .....	126

# *Introduction*

Nous entendons chaque jour ce terme d'intelligence artificielle (IA), parfois employé à mauvais escient. Il peut effrayer car il accole les termes d' « intelligence », c'est-à-dire une capacité mentale et cognitive à évoluer dans son environnement, au terme « artificielle » qui renvoie, certes, à ce qui n'émane pas de la nature mais du travail de l'Homme, mais peut aussi évoquer l'idée de factice. D'où, peut-être, certaines réticences à l'égard de ce nouveau concept.

Nouveau ? Pas tant que cela. Le terme existe depuis les années 50. Bien plus complexe qu'il n'y paraît, il a beaucoup évolué au cours des années, au rythme des nouvelles méthodes d'apprentissage (machine learning, deep learning), et nul doute qu'il évoluera encore ces prochaines années.

Autrefois, la définition de l'IA se résumait à celle de l'algorithme. Aujourd'hui, l'IA peut être définie, plus généralement, comme la capacité d'une machine (c'est-à-dire un objet capable d'agir, par lui-même ou sous le contrôle de l'homme) à reproduire des actions ou des fonctions qui sont habituellement celles des êtres humains.

A cet égard, le développement du deep learning a beaucoup contribué à faire évoluer la machine d'un comportement d'imitation et de reproduction d'actions vers un comportement de plus en plus « intelligent ».

On est donc bien loin de la simple « robotique » utilisée parfois, à tort, comme un synonyme de l'IA.

On précisera enfin que les spécialistes distinguent deux types d'IA :

- l'IA faible ou Artificial Narrow Intelligence (ANI), qui s'entend de l'exécution d'un programme préalablement défini et réalisé par l'homme ;

- l'IA forte ou Artificial General Intelligence (AGI), qui va beaucoup plus loin puisque la machine est alors capable de produire, mais aussi de comprendre, un comportement intelligent, voire à en tirer de nouvelles compétences.
- Les super IA ou Artificial Super Intelligence (ASI), définies comme celles ayant des capacités supérieures à l'homme, sont aujourd'hui surtout évoquées par ceux qui alertent sur les dangers de l'IA.

Ces avancées représentent de grandes opportunités pour l'amélioration de notre système de santé, de la recherche fondamentale aux applications en cliniques.

Ce travail d'introduction à l'IA appliquée en santé permettra aux professionnels, industriels, chercheurs et étudiants du domaine de la santé de s'approprier les concepts de base permettant de mieux aborder ces opportunités. Plus particulièrement, nous aborderons les thèmes suivants :

- Définition et histoire de l'IA,
- Ses grands acteurs principaux
- L'état actuel et l'impact de l'IA sur le domaine de la santé,
- Ses applications aux différentes spécialités
- Les grandes approches en IA et les éléments requis pour les mettre en œuvre
- Les différents défis que l'IA affronte

*Premier chapitre :*  
*Introduction*  
*à l'intelligence artificielle*

## **1- Omniprésence de l'intelligence artificielle**

Déjà, un premier élément rassurant : l'intelligence artificielle est présente partout, et ce depuis longtemps. Quiconque a eu la chance de rentrer dans un cockpit d'Airbus A380 a probablement été surpris de la présence d'un objet assez inhabituel dans ce lieu : un clavier d'ordinateur entre le pilote et le tableau de bord. Dans cet avion, beaucoup de phases de vol sont programmées en rentrant des données. Le pilote programme ainsi la bretelle de sortie de la piste d'atterrissage, et l'avion n'a plus qu'à calculer la trajectoire, le point de toucher, le freinage et, in fine, la bretelle de sortie. Le gain premier est l'accroissement de la capacité d'accueil des avions atterrissant à l'aéroport, tout cela sans engendrer de stress supplémentaire pour les pilotes, l'ordinateur les soulageant de tâches très complexes. Deux enseignements sont à tirer de cette observation. Tout d'abord, cela ne serait pas possible sans la capacité croissante de calcul des ordinateurs, sans la possibilité d'avoir des commandes de vol entièrement électriques, sans des langages de programmation puissants permettant d'élaborer des programmes parfaits, et surtout sans une approche systémique de gestion de projets rendant opérable un avion de 800 passagers muni de 530 kilomètres de câbles comme système nerveux de vol. Mais, surtout, le pilote n'a pas été remplacé : il reste toujours le maître à bord et peut brancher ou débrancher tel ou tel niveau d'automatisation car il sait effectuer aussi la même manœuvre manuellement. Le système ordinateur et les commandes de vol sont le support technologique du pilotage.

En revanche, le métier de pilote a considérablement changé. Pour les pionniers de l'aviation, un avion se pilotait aux fesses, c'est-à-dire par les sensations physiques ; aujourd'hui, les pilotes sont des ingénieurs qui allient une vision

systemique de la machine à une capacité de manœuvrer l'engin dans un environnement très hostile.

Cette évolution traduit une véritable mutation du métier. Il n'y a pas de séparation franchement nette entre ce qui est de l'IA et ce qui ne l'est pas ; il y a de fait un continuum entre les ordinateurs qui réalisent des tâches simples et ceux qui réalisent des tâches complexes.

Le monde est vaste mais continu, depuis le distributeur de billets de banque dont le rôle est de vérifier le code du client et de délivrer le nombre de billets nécessaires pour atteindre le montant désiré, au système de reconnaissance facial de Facebook qui tague toutes les photos de votre mur et retrouve automatiquement toutes les personnes qui ont déjà un profil Facebook. Dans le cas du distributeur de billets, l'« intelligence » se résume à des règles simples, qui sont des inférences logiques de type « si-alors » : si le code rentré est faux, alors le signaler ; si c'est la troisième fois, alors avaler la carte, etc. Mais la logique étant une forme d'intelligence, il est alors facile d'argumenter que tout programme informatique relève, quelque part, de l'IA.

John McCarthy, l'un des fondateurs de l'IA et inventeur du nom, disait : « Dès que ça fonctionne, ce n'est plus de l'intelligence artificielle. » Le terme « IA » serait donc consacré uniquement à ce qui relève de la recherche. Ceci est devenu moins vrai depuis l'avènement du big data.

Si vous avez un compte Gmail, vous avez certainement remarqué que certains courriels sont automatiquement redirigés vers la valise des spams, avec parfois de faux positifs, mais rarement de faux négatifs. Si vous avez un compte Amazon, vous avez constaté qu'Amazon vous propose des produits en lien avec vos achats, mais aussi avec votre historique de navigation, et ce de manière très pertinente. Si vous avez un iPhone, vous avez peut-être parlé à Siri, vous lui

avez peut-être même, par amusement, donné des ordres dans un langage grossier : c'est efficace et aussi très drôle. Si vous avez une carte American Express, vous avez eu la surprise d'avoir une alerte vous informant d'une dépense incongrue.

Le point commun entre tous ces exemples est un moteur d'IA. Bien entendu, il est totalement différent d'un produit à l'autre, plus ou moins sophistiqué, mais dans tous les cas il s'agit d'algorithmes censés reproduire ce qu'un être humain aurait fait, mais justement ici sans intervention humaine, avec une qualité très proche et sur de grands ensembles. À part le fait d'être artificielle, où se situe donc l'intelligence dans ces programmes ?

## 2- Intelligence artificielle, de quoi s'agit-il ?

Il n'existe pas vraiment de consensus sur la définition du terme « IA » (il n'y en a même pas sur le terme « intelligence ») [1]. Commençons donc par citer quelques définitions (ou tentatives de définitions) que l'on peut trouver dans la littérature :

*“L'étude des facultés mentales à l'aide des modèles de type calculatoires”  
(Charniak et McDermott, 1985)*

*“L'automatisation des activités associées au raisonnement humain, telles que la décision, la résolution de problèmes, l'apprentissage, ...” (Bellman, 1978)*

*“Discipline étudiant la possibilité de faire exécuter par l'ordinateur des tâches pour lesquelles l'homme est aujourd'hui meilleur que la machine” (Rich et Knight, 1990)*

*“L'étude des mécanismes permettant à un agent de percevoir, raisonner, et agir” (Winston, 1992)*

*“Conception d'agents intelligents” (Poole et al., 1998)*

*“L'étude des entités ayant un comportement intelligent” (Nilsson, 1998)*

Comme vous pouvez remarquer, ces définitions s'accordent sur le fait que l'objectif de l'IA est de créer des systèmes intelligents, mais elles diffèrent significativement dans leur façon de définir l'intelligence. Certaines se focalisent sur le comportement du système, tandis que d'autres considèrent que c'est le fonctionnement interne (le raisonnement) du système qui importe.

Une deuxième distinction peut être faite entre celles qui définissent l'intelligence à partir de l'être humain et celles qui ne font pas référence aux

humains mais à un standard de rationalité plus général. On peut donc décliner quatre façons de voir l'IA :

- Créer des systèmes qui se comportent comme les êtres humains – cette définition opérationnelle de l'IA fut promue par Alan Turing, qui introduisit son fameux “test de Turing” selon lequel une machine est considérée comme intelligente si elle peut converser de telle manière que les interrogateurs (humains) ne peuvent la distinguer d'un être humain.
- Créer des systèmes qui pensent comme des êtres humains – si l'on adhère à cette deuxième définition, cela implique que l'IA est une science expérimentale, car il faut comprendre au préalable la façon dont pensent les humains (sinon, comment savoir si une machine pense comme un homme ?) et ensuite évaluer les systèmes par rapport à leurs similarités avec le raisonnement humain.
- Créer des systèmes qui pensent rationnellement – selon cette définition, les systèmes doivent raisonner d'une manière rationnelle, c'est à dire en suivant les lois de la logique. Cette approche peut être critiquée car il semble que certaines capacités (la perception, par exemple) ne sont pas facilement exprimables en logique.
- Créer des systèmes qui possèdent des comportements rationnels – cette dernière définition de l'IA concerne le développement des agents qui agissent pour mieux satisfaire leurs objectifs. On remarque que cette définition est plus générale que la précédente car raisonner logiquement peut être une façon d'agir rationnellement mais n'est pas la seule (par exemple, le réflexe de retirer sa main d'un objet brûlant est rationnel mais n'est pas le résultat d'une inférence logique).

Ajoutons que dans la réalité, ces distinctions n'ont pas forcément une influence aussi grande que l'on pourrait imaginer sur la façon dont la recherche en IA est menée. Les chercheurs n'ont pas tous un avis très précis sur ce que doit être l'objectif ultime de l'IA, mais trouvent tout simplement que les questions soulevées par ce domaine sont intéressantes et méritent d'être étudiées.

### **3- Brève histoire de l'intelligence artificielle et de ses acteurs principaux**

De tout temps, les humains ont créé des technologies pour se soulager des tâches quotidiennes. Le point d'évolution de l'humanité se produit lorsque l'humain maîtrise le feu : les aliments cuits sont plus faciles à digérer. Il y a besoin de moins de neurones dans notre cerveau bas, celui qui gère la digestion, et donc l'énergie disponible permet d'accroître notre cerveau haut. Ainsi l'être humain se trouve en haut de la chaîne alimentaire et devient libre de créer. Pour rester en haut de cette chaîne alimentaire, l'humain construit des outils qui ont un impact sur le développement de l'humanité. « La main forge l'outil et l'outil change l'homme », résumait ainsi l'ethnologue et historien André Leroi-Gourhan.

#### **3-1) Histoire ancienne**

L'humain a bien sûr fabriqué des outils pour multiplier la puissance de la force humaine. Dans l'Antiquité, les ingénieuses machines d'Archimède surpassaient tout ce que le muscle humain pouvait accomplir et, en l'an 150 de notre ère, à Alexandrie, une machine à vapeur ouvrait seule la porte d'un temple.

Par ailleurs, l'humain a aussi très tôt développé des outils pour se soulager des tâches intellectuelles. Ainsi, la machine d'Anticythère, deux siècles environ avant Jésus-Christ [2], permettait de faire des calculs astronomiques sophistiqués, incluant des prédictions d'éclipses, tandis qu'au premier siècle de notre ère Héron d'Alexandrie inventait la première « machine à sous », qui distribuait une quantité précise d'eau bénite lorsqu'on y introduisait une pièce et fonctionnait grâce à une mécanique mue par l'eau selon le principe des boucles de rétroaction.

Ces exemples montrent qu'il y a plus de deux mille ans, les principes de l'automatisme et de la systémique, qui sont les bases de l'informatique et de l'IA, étaient non seulement posés, mais donnaient lieu à la fabrication de leurs objets.

Les premiers ordinateurs n'étaient pas si éloignés des machines de l'Antiquité. La grande différence est la capacité de réaliser des opérations logiques intégrant le « et » et le « ou », grâce aux transistors. Ensuite, la miniaturisation a permis d'augmenter le nombre de composants élémentaires par surface, donc de passer à des calculs plus complexes. Si la technologie change, le désir de reproduire, voire de surpasser le raisonnement humain reste une constante dans l'histoire de l'humanité.

### **3-2) Des années 1950 à aujourd'hui**

En 1952, Alan Turing, l'un des fondateurs de l'informatique, avait déjà réalisé un programme de jeu d'échecs, proche des systèmes experts actuels. Il fallait une demi-heure pour que la machine propose chaque coup.

En 1956, le séminaire de Darmouth a réuni pendant dix semaines des scientifiques de très haut rang pour définir l'IA. Parmi eux se trouvaient John McCarthy, Marvin Minsky (cofondateur du laboratoire d'IA au Massachusetts Institute of Technology (MIT), père des réseaux de neurones), Herbert Simon (prix Nobel d'économie 1978, inventeur de la rationalité limitée) et Claude Shannon (inventeur de la théorie de l'information) [3]. L'un des objectifs fondamentaux de ce séminaire était de comprendre ce qu'était l'intelligence, au travers d'outils informatiques, avec un autre langage que celui des êtres humains. Il fut la base de nombreux travaux théoriques et pratiques, comme l'invention de langages de programmation orientés vers l'IA. Cette

compréhension de l'intelligence que souhaitaient appréhender les participants du séminaire se retrouve dans les mots de Hiroshi Ishiguro en 2015 (Figure 1), l'un des grands chercheurs sur les robots humanoïdes à l'université d'Osaka : « Je construis des robots pour comprendre ce qu'est la conscience » [4]. D'ailleurs, il est encore plus difficile de définir la conscience que l'intelligence, d'où l'idée intéressante de construire des machines encore plus perfectionnées que les ordinateurs pour interroger la conscience.



---

*Figure 1 : Hiroshi Ishiguro et son dual robotique. [5]*

---

### **3-3) Différentes écoles du développement de l'intelligence artificielle**

#### **3-3-1) Approche humaine**

La première école a tenté d'imiter le raisonnement d'un être humain. Un nouveau métier était né : le cogniticien, dont le rôle consistait à discuter avec un expert de ses méthodes de résolution de problèmes, puis à projeter son expertise dans un langage logique compréhensible par un ordinateur, par exemple, en réalisant des outils d'aide à la décision sous forme de graphiques, d'arbres de décision. Cette méthode se heurtait à plusieurs problèmes. D'abord, les experts pouvaient se sentir dépossédés s'ils dévoilaient leur expertise ; le cogniticien

devait alors faire tout un travail d'approche psychologique pour ne pas heurter leur sensibilité. Ensuite, les langages informatiques traditionnels étaient procéduraux, et ainsi mal adaptés à une logique de règles. On a donc inventé des langages tels list processing ou traitement de listes (LISP) ou programmation en logique (PROLOG), dont la syntaxe est celle d'un moteur de règles. Ces langages sont aujourd'hui tombés en désuétude. De plus, un moteur de règles n'apparaît pas logiquement rigoureux, en fonction de l'antécédence d'une règle par rapport à une autre.

Dans les années 1990, les factures des opérateurs de téléphone mobile pouvaient varier de quelques pourcents en fonction du chemin emprunté pour calculer le prix, c'est-à-dire de la manière dont le système informatique choisit l'ordre de ses règles de calcul.

### **3-3-2) Analyse factorielle et des données**

La deuxième école, qui s'est souvent confrontée à la première, utilisait des outils statistiques et, surtout, rejetait tout ce qui était modélisation de l'humain, en d'autres mots, tout ce qui était moteur de règles. La palette des outils était large, allant de méthodes de classification traditionnelles, comme les analyses factorielles, à des modélisations sophistiquées, comme les chaînes de Markov qui ont été longtemps la base des logiciels de dictée automatique. Ce fut l'occasion d'un conflit supplémentaire entre « sciences molles », celles qui privilégiaient une approche plutôt inductive basée sur les modélisations de l'humain, et « sciences dures », qui, à l'inverse, partaient des données et refusaient tout anthropomorphisme. Comme le déclare le statisticien Jean Paul Benzécri, le fondateur de l'analyse des données, « le modèle doit suivre les données, et non l'inverse » [6]

### **3-3-3) Imitation de la nature**

La troisième école a souhaité modéliser la nature et le cerveau humain. Ce fut le début des réseaux de neurones, une catégorie d'algorithmes utilisant le paradigme du cerveau pour résoudre des problèmes. Les réseaux de neurones sont actuellement dominants dans toutes les applications liées à la reconnaissance des formes : compréhension du langage, traduction automatique, analyse d'image, etc. Ils sont, par exemple, à la base des voitures autonomes.

### **3-3-4) Recherche d'un algorithme unique**

Le professeur Pedro Domingos, de l'université de Washington, va plus loin en partant de cinq formes d'apprentissage : l'inférence humaine fondée sur la philosophie et la logique ; la compréhension du cerveau sur les neurosciences ; la simulation de l'évolution sur la génétique ; l'inférence bayésienne sur les probabilités ; la recherche d'analogies sur l'optimisation mathématique croisée avec la psychologie [7].

Pedro Domingos énonce que tous ces algorithmes vont finalement converger vers un algorithme unique « the master algorithm ». Mélanger les chercheurs des sciences dures avec ceux des sciences molles constitue néanmoins un exercice à très haut risque. Cette distinction entre plusieurs types de modélisation reste importante. Elle illustre le rôle fondamental de l'apprentissage. La grande différence entre l'IA et les programmes traditionnels est l'importance de la capacité d'apprentissage du programme lui-même. Un programme classique ne change que lorsque l'humain le reprogramme ; un programme d'IA va évoluer en fonction de la validité des résultats qu'il génère : s'il se trompe souvent, il va automatiquement s'améliorer, en partant des données et pas d'une modélisation du comportement humain.

Mais, surtout, cette distinction pose la question de l'autoréflexion : est-il possible de comprendre l'intelligence en essayant de la modéliser avec ses

propres paradigmes ? Le cerveau humain n'utilise pas d'outils informatiques stricto sensu. Il n'a pas d'additionneur ni de porte logique. La vitesse de transmission entre les neurones est de l'ordre du centième de seconde ; notre cerveau est un processeur fonctionnant à 100 Hz, soit trente mille fois plus lent qu'une puce Intel de 2017. Les ingénieurs savent bien qu'il faut s'inspirer de la nature mais pas la reproduire. Un avion n'a pas de plumes et ne bat pas des ailes. La même idée fonctionne pour le numérique : il faut s'inspirer du comportement du cerveau mais pas le copier.

Les méthodes statistiques se sont finalement révélées plus performantes que la modélisation de l'expertise lorsque la complexité du problème augmentait, surtout lorsque la quantité de données disponibles pour l'apprentissage des algorithmes a explosé. Les sciences dures, plus efficaces en ce qui concerne l'apprentissage en continu, ont pris le pas sur les sciences molles sur toute une catégorie de problèmes complexes.

## 4- Grandes ruptures de 2011

Aux alentours de 2011, trois grandes ruptures quasi concomitantes ont permis à l'IA de franchir une grande étape :

- tout d'abord, l'introduction d'une catégorie d'algorithmes bien plus sophistiqués : les réseaux de neurones convolutifs ;
- ensuite, l'arrivée sur le marché de processeurs graphiques à bas coût capables d'effectuer d'énormes quantités de calculs ;
- enfin, la disponibilité de très grandes bases de données correctement annotées permettant un apprentissage plus fin.

Les premiers réseaux de neurones modélisaient le comportement des synapses. Ils partaient de données numériques, qui pouvaient être une image, et essayaient de transformer ces données en une information, par exemple « c'est l'image d'un chien », via des algorithmes qui s'inspiraient du fonctionnement des neurones du cerveau. L'apprentissage consistait à calculer les paramètres de ces réseaux de neurones sur des jeux de tests, tels que des couples image-animal.

Les neurosciences faisant d'énormes progrès en parallèle, les chercheurs purent améliorer l'architecture de ces réseaux de neurones. Entre autres, l'idée de s'inspirer du cortex visuel a permis de définir une nouvelle classe d'algorithmes, les réseaux de neurones convolutifs. Ce sont ces algorithmes qui sont aujourd'hui utilisés dans les grandes applications de l'IA, comme la reconnaissance de la parole de Siri, la voiture autonome de Google ou bien la reconnaissance d'images de Facebook. Ces réseaux de neurones ont besoin d'énormes puissances de calcul pour pouvoir fonctionner, tout comme un autre champ d'application, le minage des bitcoins [8]. La solution pour ce dernier a

été d'utiliser les cartes graphiques des ordinateurs, qui devaient créer en temps réel des images animées pour les jeux vidéo.

Ces cartes graphiques (en anglais graphics processing unit (GPU)) ont vu d'un seul coup leurs usages aller bien au-delà de leur premier rôle, permettant d'ailleurs à la société Nvidia, leader sur ce marché, de voir son action en Bourse multipliée par trente en neuf ans. Par ailleurs, tous les statisticiens savent que la qualité et la quantité de données à utiliser pour l'apprentissage sont fondamentales. Plus il y a de données qualifiées, plus l'apprentissage sera fin, et plus l'algorithme sera fiable et précis.

L'année 2011 a vu la création d'ImageNet, la première grande base de données d'images annotées (Figure 2). Créée par Fei-Fei Li, professeure à l'université de l'Illinois, la base a très vite atteint 1 million d'images annotées selon un arbre sémantique, Wordnet, mis au point en 1980 par George Miller, professeur à Princeton [10].

En 2017, ImageNet propose 14 millions d'images indexées selon plus de 21 000 catégories. Il s'agit d'une base de données ouverte et, chaque année, est organisé un concours des meilleurs algorithmes de détection d'éléments dans les images [11].



## **5- Du big data au data mining**

Le big data est la grande rupture de notre époque, qui a permis à l'IA de faire des bonds énormes. Nous sommes dans un monde de production de données en masse. Certaines sont publiques, d'autres sont privées.

En 2017, lors d'une seule journée, on a pu observer 96 millions de messages sur Instagram, 200 millions de nouvelles photos et 456 millions de mises à jour de statuts dans Facebook, 645 millions de tweets, 5,5 milliards de requêtes sur Google, 417 milliards de messages sur WhatsApp [12].

La possession de ces données donne un pouvoir énorme aux Google, Apple, Facebook, Amazon (GAFA) et à leurs équivalents chinois. Néanmoins, Google nous offre des interfaces de programmation permettant d'interroger les siennes. Google Maps, par exemple, autorise l'accès à la cartographie de la planète entière. Google propose un site où nous pouvons comparer les tendances sur plusieurs mots clés, avec possibilité de zoomer sur des zones géographiques, sur des échelles de temps, ou bien de filtrer sur des catégories.

À titre d'exemple, nous pouvons ainsi comparer l'évolution de l'intérêt pour la recherche « Macron » versus « Trump » entre novembre 2016 et novembre 2017 (Figure 3)



Figure 3 : Trump versus Macron dans une requête Google [13]

On voit que les recherches « Macron » ont dépassé les recherches « Trump » début mai 2017. Que s'est-il passé à ce moment ? Pour le savoir, il suffit de regarder quelles sont les requêtes associées (Figure 4). En position 3 et 4, nous trouvons la fameuse poignée de main entre Emmanuel Macron et Donald Trump qui a enthousiasmé le monde entier ! Nous savions que cette poignée de main était hautement symbolique. Google l'a quantifiée.

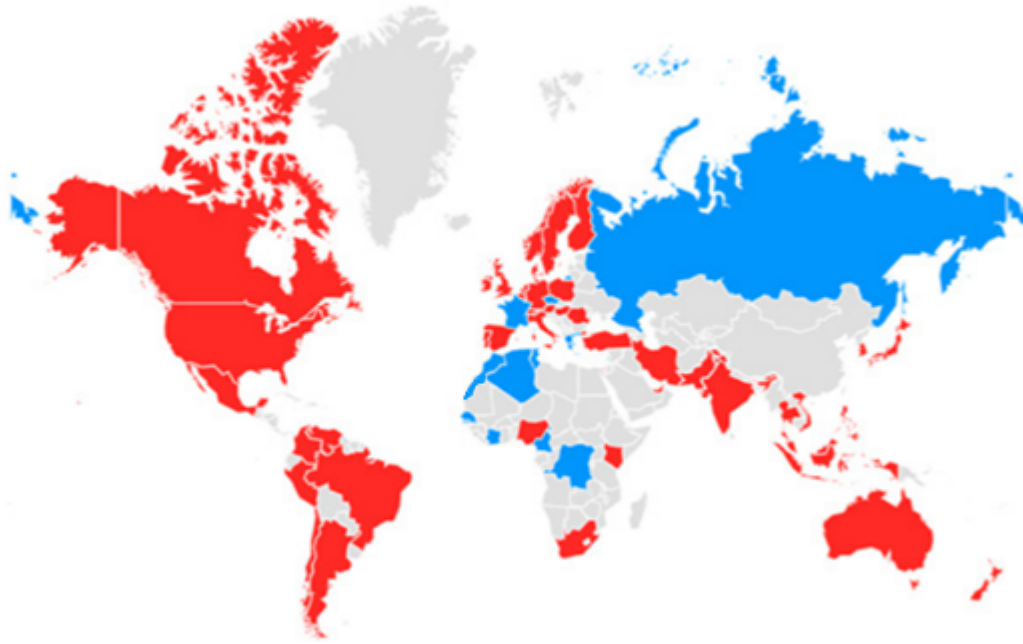
Requêtes associées <span>?</span>		En progression <span>▼</span>	<span>↓</span>	<span>&lt;&gt;</span>	<span>↗</span>
1	debat le pen macron				Record
2	le debat macron le pen				Record
3	macron handshake				Record
4	macron trump handshake				Record
5	débat le pen macron				Record

---

*Figure 4 : Requêtes associées [13]*

---

Il est également possible de faire des zooms par région sur la même requête (Figure 5). Le président des États-Unis retient l'attention du continent américain, mais en Russie, en France et dans certains pays africains, c'est le président Macron qui l'emporte.



---

*Figure 5 : Requêtes Trump contre Macron selon les pays [14]*

---

Cette méthode fonctionne pour une pluralité de recherches. Par exemple, la comparaison entre Démence et Alzheimer a permis de montrer que le premier terme est utilisé dans le monde anglo-saxon, tandis que le second l'est en Europe et en Amérique latine.

Cette facilité de faire du zoom in, c'est-à-dire d'aller du général au particulier, est l'un des plus puissants apports du big data. Il existe aussi des jeux de données qui sont publics, ImageNet en est un exemple, mais nous avons aussi la carte du monde entier disponible grâce à OpenStreetMap. Certains sites comme Amazon ou Kaggle [15] permettent de savoir quelles sont les données publiques disponibles.

Ces données sont importantes pour la compréhension de notre monde. Le statisticien Seth Stephens-Davidowitz, qui a accès aux données de Google, fait le constat que nous mentons tout le temps : aux sondages d'opinion, à nos amis sur Facebook et dans tous les lieux de partage [16]. Le seul endroit où nous sommes sincères est lorsque nous posons une question à Google, qui est en quelque sorte devenu le psychanalyste de toute la planète. L'auteur montre ainsi, en analysant les requêtes contenant le mot « nègre », que, contrairement à ce que prétendent nombre de sociologues, l'Amérique est toujours très raciste.

Dans un monde de plus en plus chaotique, les grandes tendances ne suffisent plus. Avant le big data, nous savions que tel État des États-Unis votait plutôt démocrate ou plutôt républicain. Avec le big data, nous pouvons le savoir à l'échelle d'un quartier ou d'une rue. Ce phénomène change radicalement une campagne : les actions à entreprendre pour convaincre les électeurs potentiels sont bien plus ciblées. Ainsi, des chercheurs de Stanford ont réalisé un moteur d'IA qui, en analysant les voitures stationnées sur Google Street View, en déduisent la couleur politique du voisinage [17].

Dans les exemples exposés ci-dessus, les données sont essentiellement utilisées pour essayer de comprendre des phénomènes. C'est ce que le monde anglosaxon appelle le data mining, la capacité d'aller chercher des réponses dans des bases de données de plus en plus riches, croisées avec des outils de plus en plus sophistiqués. Néanmoins, l'humain est encore irremplaçable lorsqu'il s'agit de prendre des décisions à partir des résultats de ces méthodes statistiques. On a vu qu'Emmanuel Macron a devancé Donald Trump en mai 2017 et que la machine peut faire la corrélation entre ce phénomène et l'émergence du mot handshake, mais la mise en contexte politique et l'interprétation de ce que cela signifie pour

les relations diplomatiques entre la France et les États-Unis reste encore de l'ordre de la créativité et de l'esprit humain. Le temps n'est pas encore arrivé où, à partir de ces données, un ordinateur en conclurait que le président Macron doit inviter le président Trump au défilé du 14 Juillet de la même année.

D'une certaine manière, si le data mining est basé sur des méthodes scientifiques, l'interprétation des données a encore besoin des sciences molles.

## **6- Importance de l'apprentissage**

Le meilleur moteur d'IA n'est rien sans apprentissage. Investir dans un système d'IA signifie en premier lieu avoir des jeux de données permettant de décrire des cas déjà rencontrés. Il y a deux grandes catégories d'apprentissage : l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé.

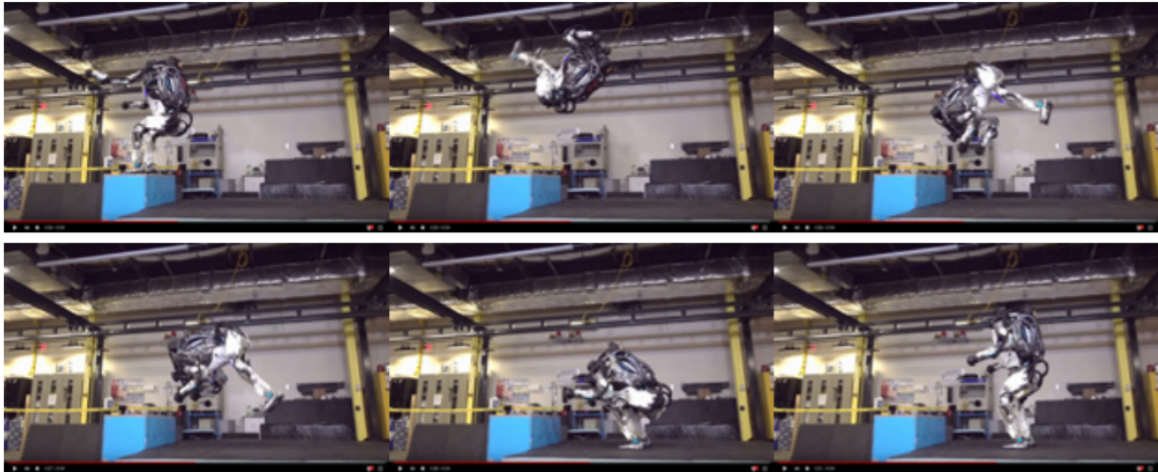
Dans le premier cas, l'algorithme est nourri d'exemples : des bases de données annotées lui sont fournies et le système en déduit le programme qui sera utilisé par la suite. Ce programme pourra s'améliorer continuellement si on lui fournit les résultats de ses décisions. Si une image reconnaît un chien alors qu'il s'agissait d'un chat, le fait de lui indiquer que le résultat est mauvais permet d'améliorer l'algorithme.

En revanche, dans l'apprentissage non supervisé, on cherche à construire un système qui apprend à partir de rien. Il est possible d'utiliser des méthodes statistiques pour obtenir des séparations automatiques entre plusieurs groupes, par exemple des images de chiens d'un côté et des images de chats d'un autre. Cet apprentissage non supervisé fait actuellement l'objet d'intenses recherches.

La grande rupture de 2011 a permis l'essor de l'apprentissage profond (deep learning). C'est le début de cette nouvelle classe de réseaux de neurones qui permet de faire des systèmes de reconnaissance d'image, de parole, de vidéo, bien plus puissants que ce qui avait été conçu jusqu'à cette époque, et ce grâce à de gigantesques bases de données.

L'IA a un autre objectif : nous permettre de résoudre des problèmes ou de prendre des décisions, même au niveau individuel. La voiture autonome possède la carte routière dans sa mémoire, a accès aux informations de trafic. Elle les

croise avec les informations qu'elle tire de ses divers capteurs, et doit prendre en permanence des décisions sur la conduite à tenir. Comme le robot qui fait un salto arrière possède des algorithmes neuronaux qui interprètent ses capteurs en permanence, et en déduit les actions à mener sur ses moteurs (Figure 6).



*Figure 6 : Salto arrière d'un robot [18]*

Pour arriver à ces résultats, l'algorithme a dû passer par une phase d'apprentissage, qui n'est jamais vraiment terminée.

Il y a trois grandes époques de l'IA. La Figure 7 l'illustre bien : la machine commence à jouer aux échecs, l'apprentissage lui permet de faire la distinction entre spam et courriel normal, et l'apprentissage profond lui permet de dire qu'une image contient un chat.

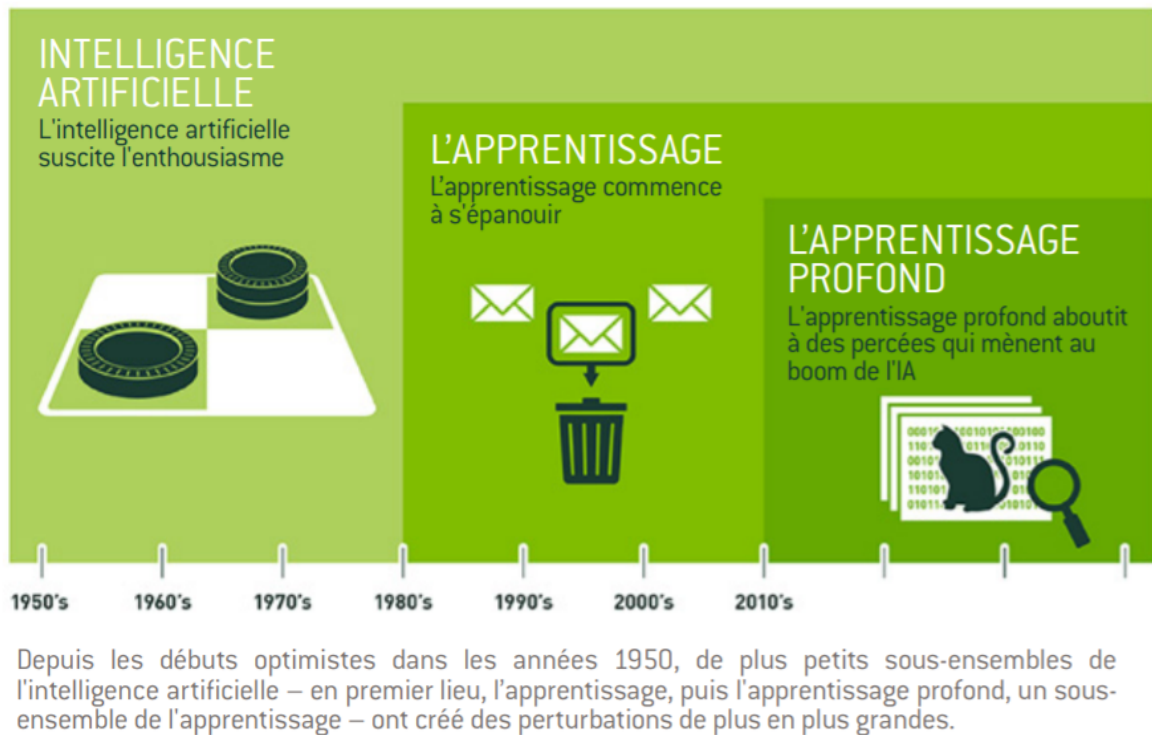


Figure 7 : Les trois niveaux de l'intelligence artificielle [19]

Il faut néanmoins considérer le fait que l'IA n'est pas que la reconnaissance des formes. À lire le Web, on pourrait penser que les réseaux de neurones sont la solution ultime à tous les problèmes. C'est de fait un excellent paradigme lorsque le contexte est mathématisable.

Le robot qui fait un salto arrière, le jeu d'échecs ou la reconnaissance de visage sont des catégories de problèmes scientifiques. Pour l'instant, les sciences dures ont dominé les sciences molles, surtout dans tout ce qui est modélisable rationnellement.

La question est finalement de savoir quels sont les domaines de la vie courante qui ne seront jamais mathématisables...

## **7- Grands acteurs de l'intelligence artificielle**

Google, Apple, Facebook et Amazon ne pouvaient pas ne pas s'investir fortement dans l'IA alors qu'ils possèdent des données en énorme quantité. En voici quelques exemples.

### **7-1) Google**

Très impliqué dans l'IA, procède habituellement par rachat. En 2014, Google a acheté la société anglaise DeepMind, qui avait développé des réseaux de neurones pour jouer aux jeux vidéo. Mais l'objectif avoué de DeepMind est actuellement de « comprendre ce qu'est l'intelligence ».

DeepMind est célèbre pour son programme AlphaGo, qui a battu le champion du monde de go. En octobre 2017, le programme a franchi une étape supplémentaire : en jouant contre lui-même, non seulement son apprentissage a été plus court, mais surtout il est devenu plus fort que la version précédente [20]. Nous avons ici un premier exemple d'apprentissage non supervisé, facilité par le fait que le contexte, à savoir les règles du jeu de go, est parfaitement mathématisable.

Google a aussi son propre moteur de recommandation nommé Google Home, un haut-parleur et un assistant vocal disponible en trois versions différentes.

### **7-2) Amazon**

Amazon utilise de l'IA dans son moteur de recommandation, nommé Echo, et dans ses assistants basés sur son système de reconnaissance vocale, Alexa, disponible en sept versions différentes. Via son offre de services dans le cloud, Amazon propose également des services fondés sur l'IA, comme la reconnaissance de la parole ou des robots de discussion, les fameux chatbot [21].

### **7-3) Facebook**

Facebook est un énorme utilisateur d'IA. Il choisit les messages qu'il affiche en utilisant un moteur de type moteur de recommandation. Récemment, Facebook a mis en place un moteur d'IA pour détecter les tendances suicidaires [22]. Comme le dit Joaquin Candela, directeur du département d'intelligence artificielle appliquée, « Facebook n'existerait pas sans intelligence artificielle » [23].

### **7-4) Apple**

Apple investit énormément dans l'IA et propose même un blog où sont expliquées ses recherches [24]. Siri en est l'expression la plus évidente : ce système de reconnaissance de la parole très performant utilise des réseaux de neurones de dernière génération qui permettent de comprendre des commandes même dans des environnements très bruyants, comme dans la rue. Apple va également bientôt lancer son propre moteur de recommandation, nommé HomePod, un haut-parleur connecté avec Apple Music.

IBM a créé Watson, un système d'IA pour jouer, à ses débuts, au jeu Jeopardy, l'équivalent américain de l'émission française Questions pour un champion. Watson a analysé 200 millions de pages [25] pour finalement battre les anciens champions et ainsi gagner le premier prix.

Maintenant, Watson est proposé par IBM dans d'autres domaines, comme la médecine. IBM présente aussi un blog sur le sujet de l'IA [26].

La question majeure est le degré d'ouverture de ces systèmes. IBM propose des interfaces de programmation à Watson qui sont ouvertes [27], tout comme Amazon propose des interfaces sur son système d'apprentissage profond [28].

Donc tout le monde peut, à peu de frais, se connecter à ces systèmes et en bénéficier. Facebook, en revanche, ne partage pas la plupart de ses recherches, ne propose pas encore d'interfaces de programmation permettant de les utiliser [29], mais a récemment mis en accès libre son environnement d'apprentissage, Caffè2 [30].

Cette apparente simplicité de connexion n'est pas suffisante : il faut insister sur le fait que ce ne sont pas les algorithmes qui détiennent la valeur principale, mais les données d'apprentissage. Ces systèmes d'IA sont d'autant plus performants qu'ils sont contextualisés et ont donc besoin de données ciblées pour profiter d'un apprentissage efficace.

En 1988, le chercheur en informatique indien Raj Reddy définissait ainsi les grands challenges de l'IA : le téléphone qui traduit (en cours de développement), le champion de jeu d'échecs (réalisé), la résolution de théorèmes mathématiques (certains théorèmes le sont déjà), les voitures autonomes (réalisé), les systèmes auto-organisés (en cours) et les systèmes autorépliquants (en cours) [31].

*Deuxième chapitre :  
Médecine à l'heure  
de l'intelligence artificielle*

## **1-Impact sur les professions intellectuelles et menaces**

L'IA est-elle une menace pour les professions, notamment pour les professions intellectuelles ? Une des réponses les plus argumentées a été fournie par Richard et Daniel Susskind [32], qui ont analysé l'impact du numérique sur nombre de professions, dont celles de médecins, avocat, enseignant, architecte, comptable, et même celles du clergé.

Six menaces semblent peser sur les professions intellectuelles :

- la première est économique : les prix des experts sont très élevés et sont donc inaccessibles au plus grand nombre ;
- la deuxième est technologique : les professions reposent encore sur des méthodes et des outils du passé, et n'utilisent pas assez les technologies modernes ;
- la troisième est psychologique : les professionnels n'autorisent pas assez l'auto résolution des problèmes par les clients eux-mêmes, en refusant de partager leur savoir ;
- la quatrième est d'ordre moral et est une conséquence des menaces précédentes : les professionnels, indispensables à la société et pourtant inaccessibles, voient leur image se dégrader ;
- la cinquième est qualitative : la qualité des services n'est plus au rendez-vous, excepté parmi la classe supérieure des quelques experts mondialement reconnus ;

- la sixième menace est l’opacité des professionnels, qui refusent souvent d’être évalués et préfèrent entretenir une couche de mystère autour de leurs réelles compétences.

Ce sévère constat explique pourquoi l’IA représente un véritable challenge pour les professionnels. Les systèmes d’IA apportent des solutions à chacun de ces problèmes. Ils sont de moins en moins chers, à la pointe de la technologie ; de plus en plus accessibles, ils autorisent l’apprentissage, ils sont plus performants que beaucoup d’experts et ils peuvent être transparents.

Comme l’analyse Idriss Aberkane, nous résoudrons les graves problèmes qui pèsent sur notre planète par le développement de l’économie de la connaissance [33]. Or celle-ci ne peut pas fonctionner si la connaissance reste une rareté. Le grand challenge des « cols blancs » d’aujourd’hui est de passer à une économie d’abondance pour ce qui concerne l’expertise. C’est justement ce que l’IA est en train de permettre. Il ne reste plus aux professionnels qu’à entreprendre le douloureux travail de remise en cause de leurs processus et de leurs méthodes pour tirer parti de la technologie. Ce ne sera pas la première fois dans l’histoire de l’humanité.

## 2-Impact sur la médecine

La médecine est basée sur une tradition hippocratique de soins a posteriori. La prévention n'est pas dans les gènes de l'école de médecine. Or c'est justement dans le domaine de la prévision que les plus grands progrès ont été effectués grâce à l'IA, avec surtout une grande disruption, les techniques génomiques.

Le séquençage génomique a vu son coût passer de 100 millions de dollars à moins de 100 dollars entre 2001 et 2017 (Figure 8). C'est beaucoup mieux que la loi de Moore sur les microprocesseurs.

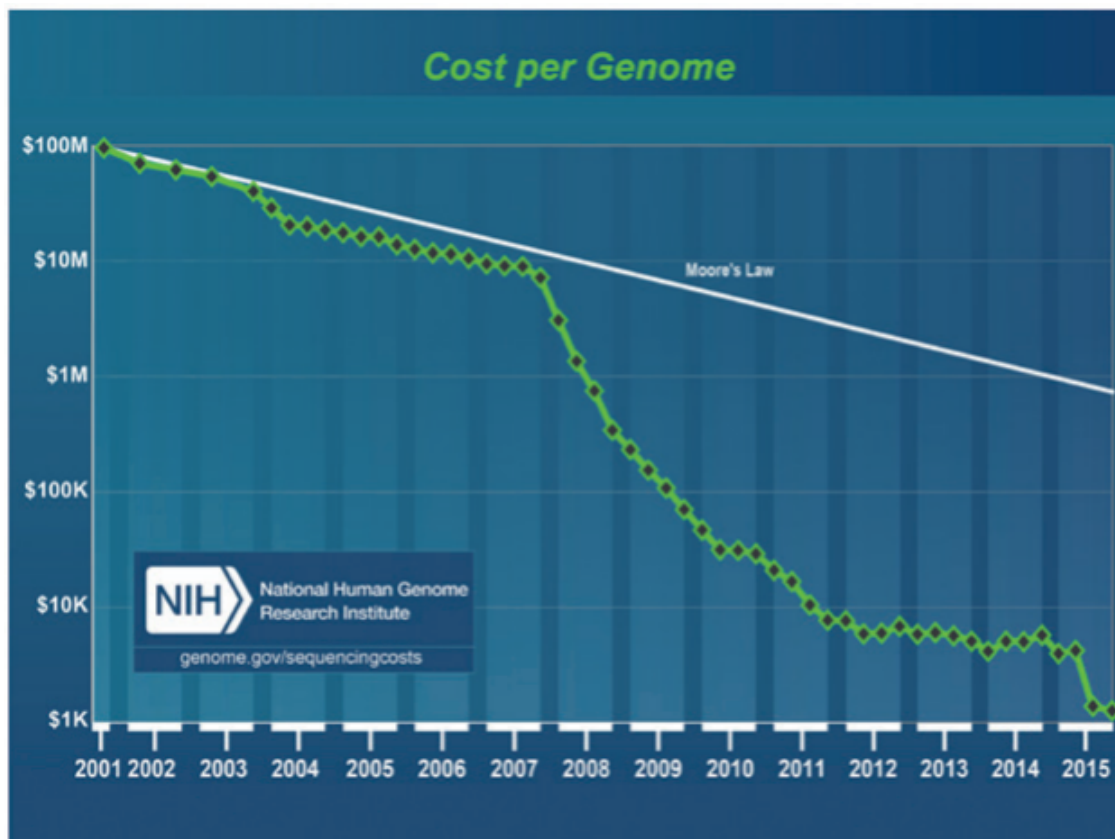


Figure 8 : Evolution du coût du séquençage génomique [34]

Aux États-Unis, la société 23andMe propose votre séquençage ADN pour la modique somme de 99 dollars si vous souhaitez juste savoir qui sont vos ancêtres, et de 199 dollars si vous voulez savoir quelles sont les maladies génétiques dont vous êtes porteur [35]. Ce séquençage génétique devient surtout utile lorsqu'il est croisé avec des bases de données. C'est donc, une fois de plus, dans la constitution de ces bases et leur interprétation par des moteurs d'IA que se situe la valeur. La plus grande base est Genbank, qui contient près de 200 millions de séquences ADN en accès libre (Figure 9).

Notre compréhension de la base génétique de la vie (et de nombreuses maladies) a explosé au cours des dernières années – tout comme la quantité de données connexes.

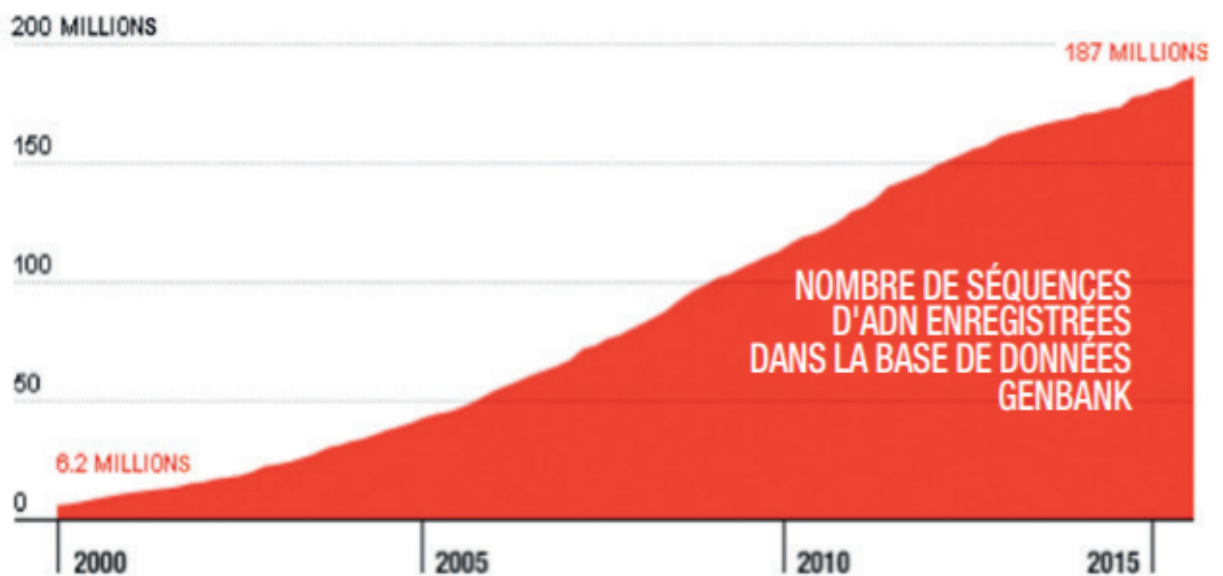


Figure 9 : Evolution du nombre de données de séquences d'ADN [36]

Mais il n'y a pas que la génétique qui est bouleversée par l'IA et le big data. L'exemple des radiologues est illustratif. Aux États-Unis, il y a chaque année environ 800 millions d'examens radiologiques effectués, générant 60 milliards d'images [37], soit une énorme banque d'informations permettant de faire des diagnostics plus précis. IBM Watson, entre autres, a su ainsi mieux que des médecins détecter des cas de pneumonie. Et l'on pourrait multiplier les exemples à l'infini. Les systèmes d'IA dans le monde médical ont accès à des millions de dossiers médicaux et permettent des diagnostics bien plus individualisés que ce qu'un médecin peut faire. Aucun médecin, généraliste ou spécialiste, ne serait en mesure d'ingurgiter un tel nombre de données. Pour le cas français, l'IA aura du mal à pénétrer les hôpitaux, peu sensibles au numérique au sens traditionnel comme l'ont déjà souligné Nicolas Bouzou et Christophe Marques [38]. Et si le numérique est en retard dans les hôpitaux, alors Qu'en est-il de l'IA ! [39]

### **3-Médecine du future est déjà là**

La médecine du future est déjà là mais elle n'est pas encore largement partagée... Les premiers algorithmes informatisés d'aide au diagnostic sont validés, les chirurgiens pilotent des robots, tandis que leurs confrères anesthésistes testent l'impact de la réalité virtuelle sur l'anxiété des patients... L'analogie avec le secteur des transports – qui partage l'espace médiatique avec la « watsonisation » de la santé – est éclairante. Les premiers véhicules autonomes circulent en effet sur nos routes, les premiers tests d'avions sans pilote sont prévus pour cette année , mais nous avons encore quelques années devant nous avant de pouvoir leur confier nos déplacements quotidiens. Le temps d'adapter règles, compétences, habitudes, infrastructures, modèles économiques, etc. à cette évolution.

La médecine telle qu'elle a été exercée jusqu'à présent comporte une grande part d'humanisme fort heureusement, en même temps que ses avancées ont été la conséquence de la pensée scientifique dans son exercice avec l'« Evidence Based Medicine ». Cela fait partie du patrimoine culturel des médecins et de celui de la société. Les précurseurs sont bien en piste, mais il faut généralement une vingtaine d'années – au moins – pour qu'un progrès se diffuse massivement. Certes, nous voyons aujourd'hui ces délais se réduire de façon considérable et tout va beaucoup plus vite qu'au siècle précédent. Mais ce qui est exact pour ce qui concerne la dimension technologique du progrès l'est déjà beaucoup moins quand il s'agit de son acceptabilité sociale.

### **3-1) Sous l'angle technologique**

La transformation numérique de la médecine et la vision de la médecine du futur recouvrent des concepts et des avancées scientifiques et techniques aussi diverses que le traitement, l'analyse et le stockage des données de santé (sous les termes grand public de big data et de cloud), les algorithmes, l'IA et l'apprentissage machine, la génomique (et autres données omiques), les objets connectés (Internet of Things ou (IoT)), la robotique, la réalité virtuelle, augmentée, l'impression 3D... On les résume aussi parfois sous l'acronyme Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique et sciences Cognitives (NBIC). Mais la tendance actuelle consiste à désigner, parfois abusivement, sous le terme d'IA la production ou l'émergence de toute solution assimilée à la « révolution numérique ».

### **3-2) Bref rappel historique**

L'intérêt des médecins pour des systèmes experts comme aides au diagnostic remonte aux années 1960-1970. Les premières solutions apparaissent à cette époque – Mycin, Interniste aux États-Unis, aide au diagnostic médical (ADM) en France – mais ne réussissent pourtant pas à s'imposer.

À la fin des années 1990, les premiers outils permettant de générer des alertes vers les médecins en cas d'aggravation de l'état de santé de leurs malades voient le jour, puis sont validés cliniquement (à l'instar de Diatelic pour la télésurveillance des dialysés).

Au début des années 2000, c'est au tour des patients eux-mêmes de commencer à bénéficier de logiciels d'aide à l'auto surveillance (à l'instar de Diabeo ; Le système a évolué depuis et bénéficie désormais

d'un avis favorable de la haute autorité de santé (HAS) pour une prise en charge par l'Assurance maladie.

Mais, ces dix dernières années, tout a changé de dimension : les capacités de calcul et de stockage informatique ont été démultipliées, facilitant l'accumulation et l'analyse de données dématérialisées, tandis que les capteurs se sont répandus, permettant de tout mesurer, et ouvrant la voie au développement de la m-santé (ou santé mobile) [40].

*Troisième chapitre :  
Applications de  
l'intelligence artificielle  
en médecine*

L'apprentissage de plus en plus poussé des systèmes suggère à ce jour que des IA, dans les domaines médicaux de l'imagerie, la chirurgie, de l'aide au diagnostic ou encore de la recherche, sont d'ores et déjà capables de se substituer à l'intelligence humaine pour l'exécution de certaines tâches. Elles soulèvent ainsi la question de la frontière entre l'activité des machines et celle des professionnels.

## **1-Diagnostic**

L'analyse, à un moment « t » ou de façon constante, de données de santé facilite l'émergence d'alertes en temps réel aux fins d'établir des diagnostics de plus en plus précis ou d'assurer un suivi exhaustif des patients, notamment ceux qui souffrent de pathologies chroniques. En voici quelques applications :

### **1-1) Your.MD, chatbot de prédiagnostic**

Cette application, développée en collaboration avec le NHS (National Health Service) au Royaume-Uni, utilise l'IA pour fournir des conseils médicaux sous forme de chatbot (Un chatbot est un outil de conversation automatisée avec l'utilisateur).

De même qu'un médecin pose des questions pour établir un diagnostic, Your.MD pose des questions pour obtenir des informations sur les symptômes. En fonction de la réponse, des questions complémentaires sont posées jusqu'à aboutir à un pré-diagnostic.

## **1-2) Clustaar**

Experte sémantique, cette startup développe un outil qui permet d'analyser les mots-clés dans les requêtes pour déceler l'intention de l'utilisateur ou améliorer le langage des assistants virtuels. On peut imaginer son application à la compréhension de rapports médicaux, des symptômes recherchés sur des plateformes en libre-service tels que Doctissimo ou encore l'amélioration du diagnostic par bot.

## **1-3) Syllabs**

Cette startup propose de rédiger certains documents à la place du praticien grâce à une IA. Son application permettrait de rédiger des fiches produits de médicaments ou des compte rendus médicaux, voire des ordonnances médicales ; ordonnances que les professionnels de santé, en particulier les médecins, resteraient libres de prescrire, une machine ne pouvant pas endosser le rôle de prescripteur au sens du Code de la santé publique.

## **1-4) DreamQuark**

Solutions d'analyse de données, la startup développe des algorithmes pour détecter des phénomènes rares et invisibles pour l'homme, dans une grande variété de types de données (images, textes, audio, etc.).

## **1-5) Lifen**

Plateforme globale de gestion des données de santé, cette plateforme est capable de faciliter la collaboration entre praticiens et de permettre le partage et l'analyse des données grâce à une IA, tout en protégeant les données personnelles des patients.

## **1-6) Cardiologs**

Solution web de lecture des électrocardiogrammes (ECG), en récupérant un signal d'ECG, il est possible, en le poussant sur la plateforme Cardiologs, d'obtenir un rapport personnalisé en temps réel.

Cette startup travaille notamment avec Bioserenity, qui conçoit des vêtements connectés permettant notamment de surveiller les personnes épileptiques avec plus d'efficacité.

## **1-7) Implicity**

Solution de télécardiologie, la startup veut permettre de gérer à distance les pacemakers afin de gagner du temps sur le contrôle et de pouvoir ainsi se concentrer sur les problématiques de fond de façon rapide.

## **1-8) WinterLight Labs**

Diagnostic de maladies mentales et cognitives, en analysant des extraits de conversation de patients, le programme permet de réaliser un diagnostic sur certaines maladies mentales et cognitives, notamment la maladie d'Alzheimer.

Dans le même type d'expérience, nous pouvons noter celle d'Andrew G. Reece et Christopher M. Danforth, qui ont créé un algorithme relatif à l'analyse des photos Instagram, afin de mettre en évidence des signes précurseurs éventuels de cas de dépression et participer ainsi à l'accompagnement des professionnels [41].

## **2-Recherche**

Deuxième champ identifié d'impact direct des IA existantes dans le monde de la santé : la recherche. Si l'on a accès à la totalité de la littérature scientifique, aux résultats des centaines de milliers de recherches existantes, aux comptes rendus cliniques mais aussi aux données génétiques des patients... Il ne faut que quelques jours, voire quelques heures à des IA pour mettre en évidence de premiers résultats, détecter une pathologie, proposer une molécule utile ou sortir des médicaments du circuit au regard de leurs dangers potentiels ou avérés, etc.

### **2-1) IBM Watson**

Grâce à ses incroyables performances, Watson a montré qu'il pouvait comprendre le langage naturel (celui qui nous permet de communiquer entre humains), émettre des hypothèses et les faire valider.

Ses capacités analytiques lui ont permis d'apprendre de ses erreurs, de décoder les ambiguïtés, les jeux de mots et l'ironie de certaines propositions, mais aussi d'argumenter ses réponses.

Cette IA a notamment été orientée vers le diagnostic médical et la recherche en oncologie, en croisant les données personnelles du patient avec un immense corpus d'articles de recherches constamment mis à jour. Il a également été utilisé aux mêmes fins dans le domaine de la génomique.

Capable de reconnaissance de langage, Watson peut en effet analyser un corpus, des statistiques et scanner toute information utile sur Internet. Il s'est, par exemple, illustré en diagnostiquant en dix minutes un cas rare de leucémie, les équipes médicales considérant par la suite qu'il leur aurait fallu au minimum deux semaines pour poser le même diagnostic. La rapidité et la puissance de Watson en font l'une des IA les plus avancées dans le champ de la santé.

## **2-2) Caisse nationale d'assurance-maladie et École polytechnique**

Les deux institutions se sont alliées dans l'objectif de développer, d'ici à 3 ans, des technologies autour du Big Data dans le champ de la santé. Parmi les axes de travail, on peut noter : la détection de signaux ou anomalies en pharmaco-épidémiologie, les abus et la fraude, etc.

Leurs recherches mettent aussi en évidence les possibilités induites par le Big Data pour construire des études épidémiologiques de grande ampleur et permettre ainsi de construire des politiques de santé publique et de prévention, voire d'en renforcer la portée et l'efficacité.

## **2-3) Inato**

Recherche de partenaires dans le cadre du lancement d'essais cliniques.

Cette plateforme tire profit des bases de données publiques sur les essais cliniques dans le monde et des données disponibles au sein des industries de santé, pour identifier de potentiels partenaires pour les essais, interroger ceux qui paraissent le plus pertinents, critiquer et réévaluer leur capacité de recrutement.

En mettant en contact différentes sources et jeux de données sur les investigateurs, la startup parvient à avoir suffisamment de critères explicatifs pour aider à la prise de décision.

Elle couvre aujourd'hui plus de 200 000 services hospitaliers dans le monde, 1,2 million de médecins investigateurs ayant participé à un historique d'environ 900 000 essais.

L'IA intervient donc à trois niveaux : l'automatisation de la collecte et de la structuration des données, le croisement des sources pour améliorer la fiabilité des données, et la mesure des signaux prédictifs qui vont déterminer la propension d'un professionnel de santé à intégrer un essai clinique et à le mener jusqu'au bout [42].

## **3-Imagerie médicale**

### **3-1) Transformation du rôle du radiologue**

L'IA telle que proposée actuellement par IBM devrait permettre une évolution du métier du radiologue vers un rôle de « manager de l'information », capable de classer des sous-populations de patients afin de poser un diagnostic plus fiable et plus rapide, et de prédire l'évolution d'une pathologie avec la personnalisation des traitements. La boîte à outils de l'IA représente ainsi une opportunité pour améliorer la prise en charge des patients, à condition d'être supervisée et analysée par le radiologue, qui, à tout moment pourra reprendre le contrôle et décider in fine des soins à mettre en œuvre.

Comme le souligne le Professeur Guy Frija, Vice-Président du Domaine d'Activité Stratégique Imagerie diagnostique et interventionnelle du pôle Medicen Paris Region, qui a conclu le colloque : « Les radiologues doivent déjà utiliser l'imagerie au quotidien, donc la question qui se pose n'est pas quand l'IA va-t-elle impacter l'imagerie médicale ; c'est plutôt comment elle va révolutionner cette discipline et comment les radiologues vont s'adapter aux transformations de leur métier ? » [43].

### **3-2) Logiciels de post-traitement avancé**

Parmi ces logiciels de post-traitement avancé : cartes de relaxométrie pour détecter précocement des remaniements du cartilage articulaire, analyse multiparamétrique qualitative et quantitative de cartes de perfusion en imagerie par résonance magnétique (IRM) cérébrale, automatisation de bilan cardiaque avec analyse volumétrique, calcul de la fraction d'éjection...

Ce sont enfin des logiciels d'aide à la décision qui permettent la planification d'actes thérapeutiques, comme des logiciels de simulation 3D et de modélisation in silico d'une occlusion endovasculaire d'un anévrisme ou la prévision du résultat anatomique d'un geste de chirurgie orthopédique [44].

### **3-3) Interprétation automatisée des examens par recherche de contenus prédéfinis**

Les progrès fulgurants de l'IA permettront bientôt de l'utiliser en imagerie médicale. Le premier usage auquel on pense est l'interprétation automatisée des examens par recherche de contenus prédéfinis dans les images [45], [46].

Mais l'IA ira plus loin. En intégrant les antécédents du patient, l'histoire de sa maladie, le contexte clinique, les paramètres biologiques, les données d'autres examens paracliniques, en comparant avec les examens antérieurs du patient, l'IA raisonnera comme un médecin radiologue.

### **3-4) Mieux qu'un médecin radiologue**

L'IA pourra également faire mieux qu'un médecin radiologue [47], en accumulant les expériences diagnostiques (deep learning) et en constituant d'immenses bases de données, en échangeant avec d'autres ordinateurs en réseau (deep learning networks), en tenant compte des données actualisées de la littérature médicale... L'ordinateur distingue plus de 200 niveaux de gris (contre 16 à 20 pour l'œil humain). Il pourra voir des anomalies invisibles à l'œil humain.

### **3-5) Rôles de l'IA**

L'IA rédigera le compte rendu, proposera les éléments du suivi, la nature et la fréquence des examens.

Elle permettra également d'identifier des critères de risques d'évolution d'une pathologie, par exemple des arguments en faveur d'une rupture imminente d'un anévrisme ou de migration d'un thrombus veineux périphérique.

En intégrant des éléments prédictifs en corrélant les données de l'imagerie avec les données génomiques du patient (ce qu'on appelle les radiomics), l'IA établira le pronostic de la pathologie qu'elle a diagnostiquée.

De plus, elle proposera une décision clinique qui tiendra compte de la sensibilité individuelle et elle anticipera les résultats du traitement.

### **3-6) Robots et chatbots en radiologie interventionnelle**

En radiologie interventionnelle [48], des robots et des chatbots sont développés. La robotisation de la radiologie interventionnelle facilitera le rôle du radiologue opérateur et rendra son geste plus sûr et plus précis. Par exemple, grâce à un mapping vasculaire préalable et au guidage du cathéter jusqu'à la cible, les thrombectomies mécaniques percutanées seront automatisées, la navigation endovasculaire et endocanalaire sera plus rapide et plus sûre, les biopsies, le ciblage transparenchymateux et de nombreux autres gestes thérapeutiques seront robotisés et fiabilisés.

### **3-7) Programmes mis en terrain**

l'IA permettra d'améliorer les diagnostics grâce aux robots déjà construits et en cours conception. Elle permettra de donner des diagnostics fiables, précis et ainsi proposer des traitements. Diverses entreprises ont mis en place des machines qui évoluent dans ce sens :

#### **3-7-1) Aidoc Medical**

Programme généraliste, l'IA permet de détecter des anomalies sur les radiographies. Elle combine les scanners avec les données du patient et oriente l'action du radiologue. L'idée est d'utiliser les nouvelles technologies pour intégrer tous les diagnostics et les données cliniques jusqu'à construire une vision complète et holistique du patient, présentée dans une interface intuitive et simple d'utilisation par le professionnel.

#### **3-7-2) Zebra Medical Vision**

Programme généraliste, face à la hausse continue des besoins de radiographies, Zebra veut proposer une solution qui facilite le travail des radiologues et leur fait gagner du temps et de la précision dans les diagnostics.

#### **3-7-3) Therapixel**

Programme généraliste, il s'agit d'un outil de lecture automatique d'image de radiologie basée sur une IA. Cette dernière est associée à un cloud permettant l'accès à des millions d'images qui contribuent à renforcer les connaissances de l'IA.

### **3-7-4) MedyMatch**

Programme dédié aux traumatismes crâniens, les outils comparent des millions de points spécifiques dans les images scannées et identifient immédiatement les plus pertinents, y compris des anomalies invisibles aux yeux des médecins (pour rappel, l'œil humain voit en moyenne 17 nuances de gris, contre déjà plus de 200 pour certaines machines).

### **3-7-5) Google**

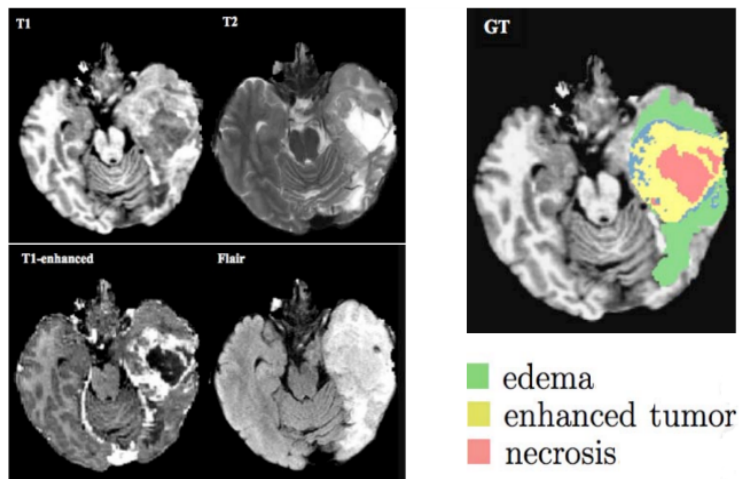
Programme dédié aux diabétiques, le groupe a conçu un algorithme capable de détecter une maladie de l'œil qui touche – à des stades différents – environ 50% des diabétiques.

### **3-7-6) DreamUp Vision**

Ce programme s'intéresse aux rétinopathies diabétiques.

### **3-7-7) Tilak Healthcare**

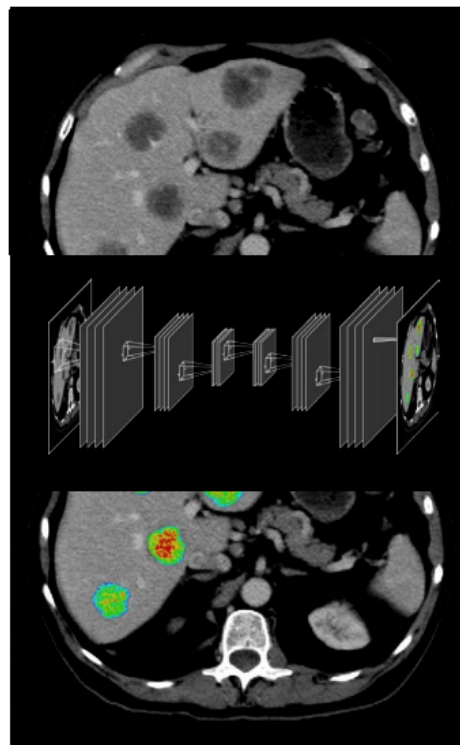
Cette startup qui propose de détecter et de suivre la rétinopathie diabétique ou les maculopathies, avec des jeux sur ordinateur et smartphone. Les irrégularités sont décelées en analysant les comportements adoptés par les joueurs [49].




---

*Figure 10 : Progrès Majeur en Imagerie Médicale : reconnaissance de Divers types de Lésions [50]*

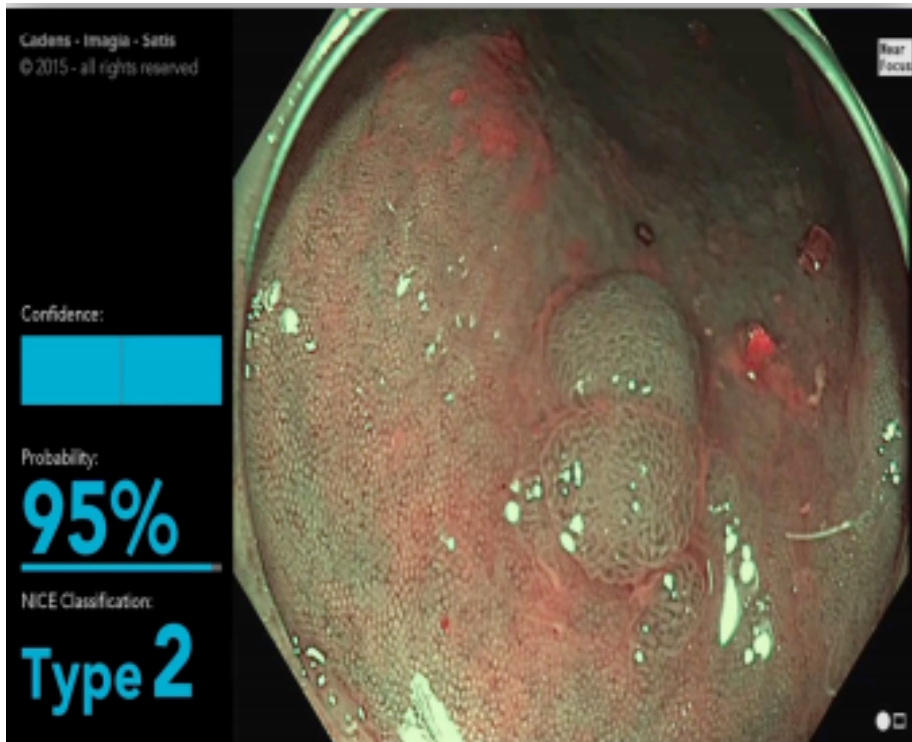
---




---

*Figure 11 : Segmentation de métastases hépatiques par IA [50]*

---



---

*Figure 12 : Détermination de la nature maligne de polypes du colon en temps réel par apprentissage profond [50]*

---

## **4- Chirurgie**

### **4-1) Da Vinci**

Le Da Vinci est un robot fabriqué par l'entreprise américaine Intuitive Surgical pour aider les médecins au cours des chirurgies, notamment abdominales. Ce robot pour la chirurgie médicale est un outil de grande précision manipulé par un chirurgien pour les opérations.

Ce dispositif est équipé d'une caméra endoscopique et composé de trois bras qui servent à utiliser les instruments de chirurgie. Il est constitué de deux grandes parties.

La première se trouve au dessus du patient et est doté de trois ou quatre bras manipulateurs (en fonction du modèle). Un est équipé d'une caméra endoscopique et les autres d'instruments de chirurgie, en l'occurrence le bistouri ou l'électrobistouri qui fonctionne au courant électrique.

La seconde partie se trouve à proximité de la première. Elle est composée d'un siège destiné au chirurgien, de deux écrans qui diffusent en direct la vue en 3D de la caméra endoscopique et de deux manchettes qui permettent de manipuler les instruments chirurgicaux.

Notons que les deux parties communiquent par le biais de nombreux câbles qui véhiculent les informations de contrôle et de vision. Il fait environ deux mètres de haut pour un de profondeur.

Ce robot est équipé de nombreux dispositifs de sécurité. En effet, les bras manipulateurs restent immobiles lorsque la tête du chirurgien ne touche pas le dispositif (lunettes) qui permet de visionner le champ opératoire. Un système de protection permet également d'empêcher les bras de la machine de détruire les

tissus du trou par lequel il entre dans le corps. Enfin, une batterie de secours lui permet de bénéficier d'une autonomie de 20 minutes en cas de coupure d'électricité.

Le modèle Da Vinci S-HD diffuse des images 3D de très haute définition. Par ailleurs, l'optique de l'endoscope permet au médecin de bénéficier d'une image de haute résolution en 3 dimensions qui lui permettent de mieux contrôler le champ opératoire.

Le système envoie de nombreuses informations concernant l'emplacement de l'optique à l'ordinateur en vue d'éliminer les mouvements inappropriés. L'endoscope est également doté d'un système qui permet de régler la température de son extrémité pour ne pas créer de buées.

Ce dispositif chirurgical permet aux médecins de faire les opérations par le biais de petites incisions. Il fait partie des dernières technologies chirurgicales et robotiques. Son rôle est de transformer les gestes du chirurgien en de petits mouvements précis. Il a permis jusqu'à ce jour de faire plus de trois millions d'opérations à travers le monde.

Durant l'opération, le chirurgien est assis derrière la console et aperçoit, à travers des lunettes binoculaires, l'image tridimensionnelle de la partie à opérer. Le praticien utilise son pouce et son index pour manipuler les différents outils grâce à un joystick. Il a la possibilité de zoomer à n'importe quel moment les zones malades. Une option de démultiplication de mouvement permet d'ajuster avec précision ses gestes.

Ce robot renferme de nombreux avantages dans la mesure où il permet une plus grande liberté d'action. Les experts estiment que ses bras sont dotés de sept degrés de liberté.

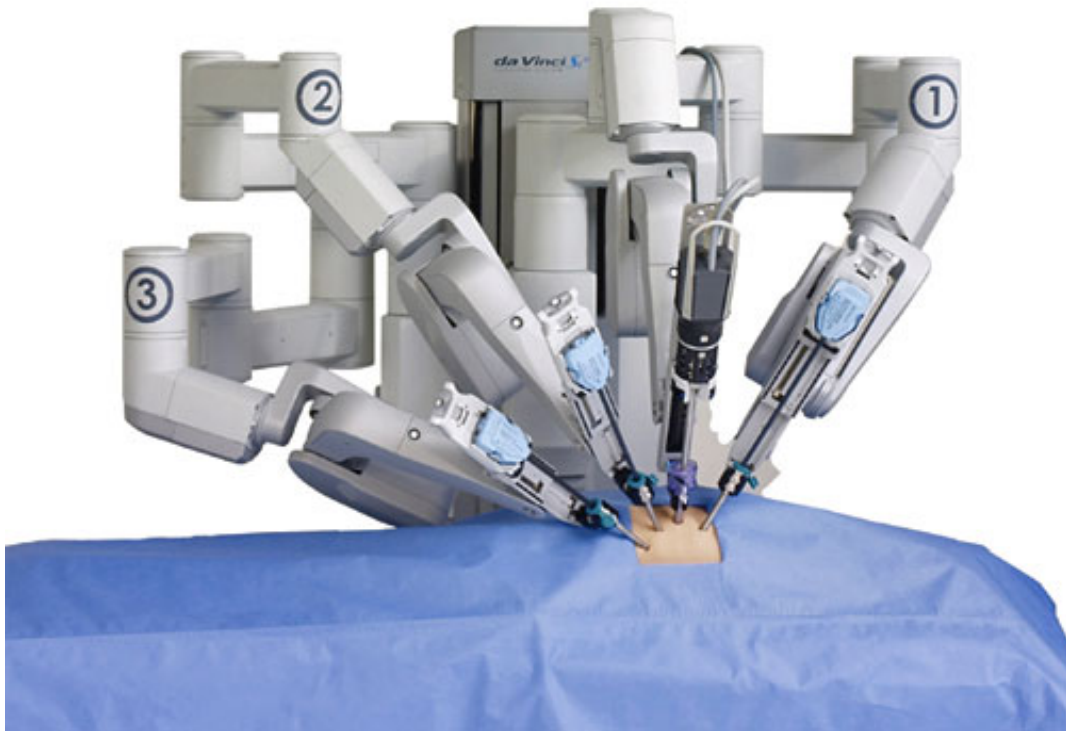
De plus, il favorise une grande précision dans les gestes grâce un système qui filtre les tremblements.

Le médecin bénéficie également d'un grand confort, se fatigue peu et est préservé de certains problèmes musculo-squelettiques tels que la tendinite. Quant au patient, il ressent peu de douleurs après son opération. Notons également que les risques d'infection sont très réduits et le rétablissement est rapide.

Il coûte deux millions d'euros auxquels il faut ajouter 150 000 euros de maintenance par an.

Da Vinci a été utilisé en urologie, en chirurgie digestive, cardiaque et pédiatrique [51].





---

*Figure 13 : Robot chirurgical Da Vinci [52]*

---

### **4-3) Rosa**

Rosa est un robot créé par la société Medtech pour aider les médecins dans l'opération du cerveau et de la colonne vertébrale. Ce robot qui fait partie des cinq autorisés à opérer dans le monde fonctionne comme un GPS et a pour but d'assister le chirurgien dans des opérations très complexes.

Ce dispositif est utilisé aux Etats-Unis, en Chine, au Canada et en Europe. On retrouve ce dispositif d'assistance et de guidage dans une soixantaine d'hôpitaux. Il a permis la réalisation de trois milles opérations.

Il n'est pas un robot de télé-opération qui permet de faire directement la chirurgie. Il permet juste de placer des guides au niveau de la zone à traiter et le médecin se charge ensuite de faire l'opération de manière classique. Il positionne juste les tâches à effectuer sur des images préopératoires et le dispositif l'accompagne dans les gestes.

Ce robot reconnu comme un GPS permet d'intervenir dans de nombreux problèmes relatifs à la boîte crânienne et dans diverses indications médicales telles que les biopsies, les implantations d'électrode pour des processus fonctionnels, d'opération du crâne qui nécessite un système de navigation d'interventions endoscopiques et pour toutes les tâches de type trou de serrure.

La chirurgie débute le plus souvent par un scanner ou une IRM qui permet de faire un diagnostic du malade. Un programme permet ensuite de reproduire son visage en 3D grâce à diverses coupes effectuées par l'imagerie médicale. Cette étape permet de mettre en place un ensemble de trajectoires rectilignes pour lesquelles le praticien va mentionner un point d'entrée et un point cible.

On prend par exemple le cas d'une biopsie pour la détection d'une tumeur, le point d'entrée est le trou qui se trouve sur la tête et le point cible est le bout de l'aiguille qui se trouve à l'intérieur de la tumeur qui permettra de faire des prélèvements.

Le guidage du robot sur des trajectoires définies nécessite l'utilisation d'un télémètre laser. Il servira à calculer le recalage entre l'imagerie et la réalité, car la machine ignore le positionnement du patient. Le praticien prend de nombreux points au niveau de la tête, du front, du visage, puis fait ensuite les gestes appropriés avec une très grande précision.

Cette machine a la capacité de manipuler une multitude d'outils. On peut par exemple adapter un canon pour se servir des aiguilles et d'une caméra endoscopique. Il est équipé de différents modes, dont le mode navigation qui lui donne la possibilité de pointer les structures atomiques qui se trouvent au cœur du cerveau. Un autre mode lui permet de déplacer l'endoscope autour d'un axe rectiligne défini.

L'utilisation du robot Rosa renferme de nombreux avantages. En effet, il permet de faciliter le processus de chirurgie grâce à des techniques avancées. Il permet également de favoriser le bien-être du malade par le biais des interventions peu invasives. Il simplifie aussi l'accessibilité à la tête grâce à ses six bras qui engendrent plus de liberté de mouvement.

Cette machine améliore le guidage des instruments en raison de l'agilité de ses bras robotisés. Par ailleurs, elle permet au médecin d'avoir une vision plus nette du champ d'opération grâce à la location en temps réel des instruments sur les images préopératoires et les capacités haptiques.

Elle limite ensuite le temps d'intervention en raison de la mise en œuvre facile du système et facilite de nombreuses indications en neurochirurgie.

Le praticien a aussi la possibilité de déterminer une zone de sécurité et empêcher l'appareil d'y sortir. Cette méthode lui permet de se concentrer sur l'image de la vidéo qui reste immobile tout au long de l'opération. Enfin, il améliore le processus chirurgical grâce à sa précision [51].



---

*Figure 14 : Robot chirurgical Rosa [53]*

---

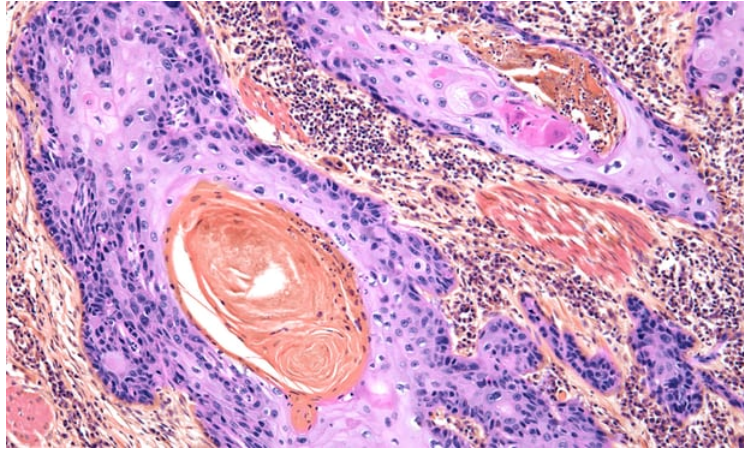
Toutes ces évolutions - représentation plus précise des structures anatomiques, réalité augmentée, simulation des opérations, IA- conduiront-elles à une automatisation de la chirurgie ? Le Pr Marescaux en est persuadé : "Un jour, le chirurgien programmera son opération, et laissera le robot agir à sa place. Ce n'est pas pour demain, mais cela finira par arriver."

## **5- Oncologie**

Les chercheurs suggèrent que l'IA est maintenant meilleure et plus rapide pour détecter le cancer que les cliniciens, elle constitue un outil d'aide à la décision puissant, tant au niveau du diagnostic que de la recommandation thérapeutique.

### **5-1) Plus précis que les dermatologues**

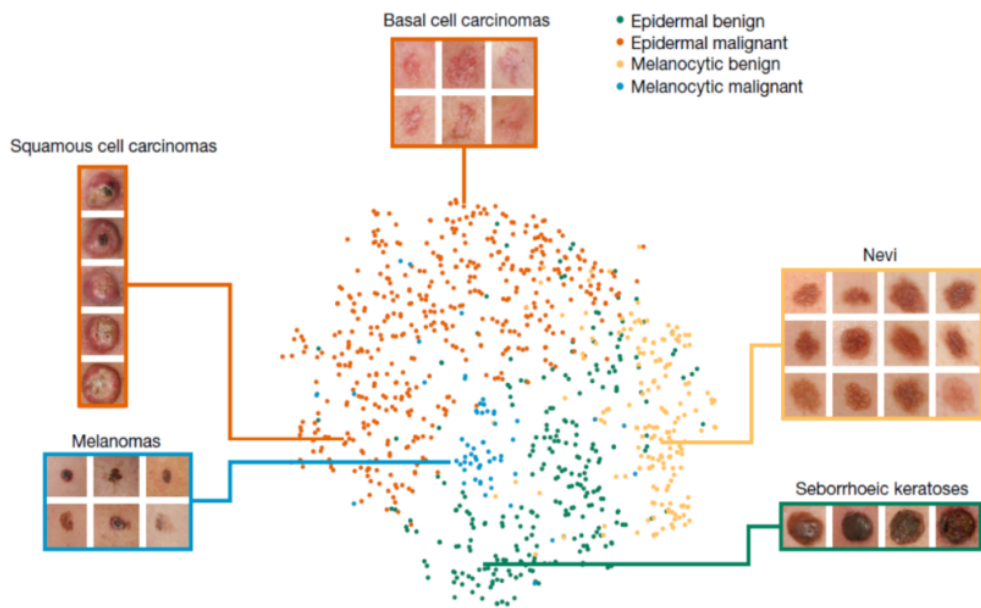
Un système d'IA mis au point par une équipe allemande, française et américaine permet de diagnostiquer plus précisément le cancer de la peau que les dermatologues. Dans l'étude, le logiciel était capable de détecter avec précision la tumeur dans 95% des images de grains de beauté cancéreux et des taches bénignes, alors qu'une équipe de 58 dermatologues était précise 87% du temps [54].



---

Figure 15 : Carcinome épidermoïde. Un système d'IA distingue les lésions cutanées malignes des lésions bénignes [55]

---



---

Figure 16 : Etude des performances de GoogleNet Inception dans la classification des cancers de la peau. Résultats : les détections sont plus fiables que celles des médecins [56]

---

## 5-2) Algorithme pour le cancer de la prostate

Des chercheurs chinois ont mis au point un algorithme permettant de diagnostiquer le cancer de la prostate avec autant de précision qu'un pathologiste. Hongqian Guo, responsable de la recherche à l'Université de Nanjing, a déclaré : "Cela aidera les pathologistes à faire de meilleurs diagnostics plus rapidement, tout en éliminant la variation quotidienne du jugement qui peut s'infiltrer dans les évaluations humaines [57]."



---

*Figure 17 : Traitement chirurgical du cancer de la prostate. Un algorithme a été développé pour diagnostiquer cette condition aussi précisément qu'un pathologiste [58].*

---

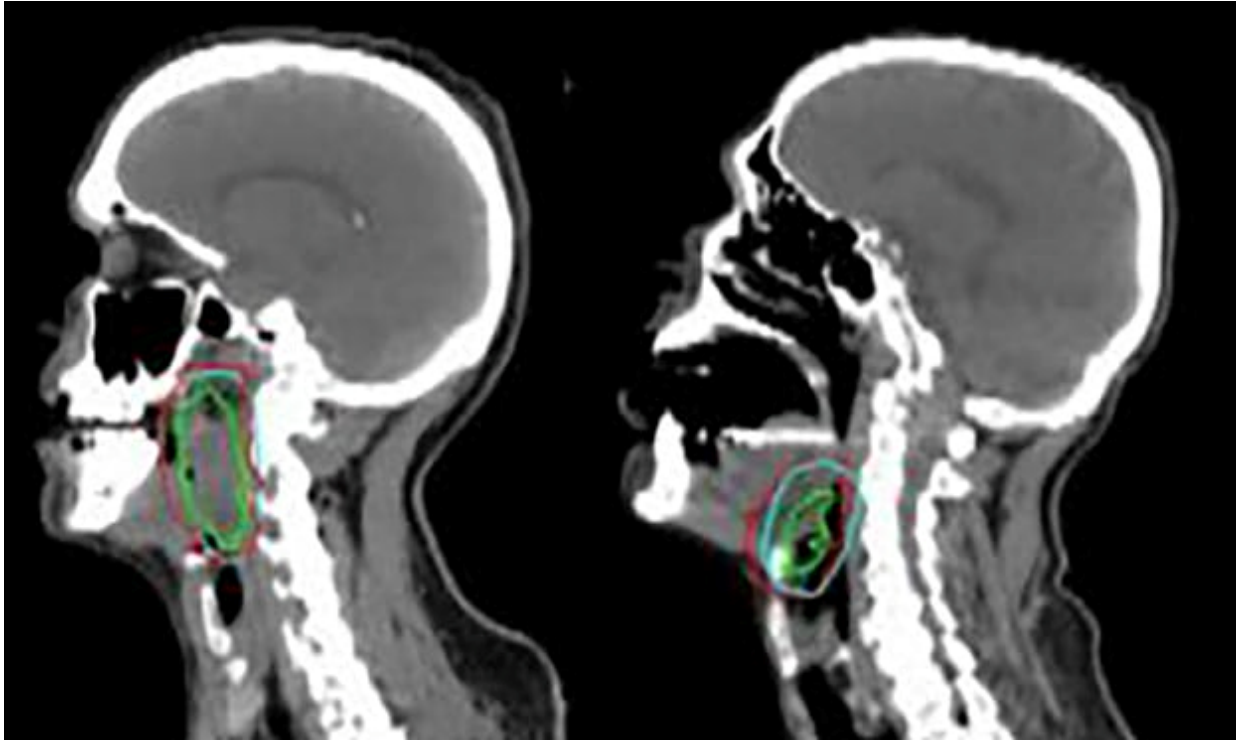
### **5-3) Tumeurs de la tête et du cou**

Des chercheurs de l'Université du Texas, à Houston, ont mis au point un logiciel permettant de définir avec précision la forme des tumeurs cancéreuses de la tête et du cou. Dans les études, il a été démontré que les médecins formés effectuent des évaluations très variables du volume de la tumeur. Ce logiciel permet aux radio-oncologues de cibler plus précisément leur traitement, particulièrement critique dans ces types de cancers en raison d'autres tissus vulnérables situés à proximité [59], [60].

Les nouvelles techniques d'irradiation permettent de mieux conformer la dose aux contours de la tumeur. Afin de pouvoir faire profiter pleinement des bénéfices des évolutions de l'IA dans ce domaine au plus grand nombre de patients, certains centres commencent à faire le choix de passer par des programmes de contournage automatique des organes sains pour gagner du temps et de l'efficacité.

Ces programmes, grâce à l'augmentation de la rapidité des calculs informatiques et à une recherche accrue au niveau des algorithmes, deviennent de plus en plus fiables et s'insèrent de mieux en mieux dans la routine clinique.

L'apport des atlas de segmentation automatique pour la planification de radiothérapie est certain pour la phase initiale du traitement mais aussi pour la radiothérapie adaptative. Ces méthodes automatiques ne se substituent pas au travail du clinicien. Une vérification systématique des contours automatiques s'impose et ces atlas doivent être rigoureusement validés sur des séries de patients indépendantes.



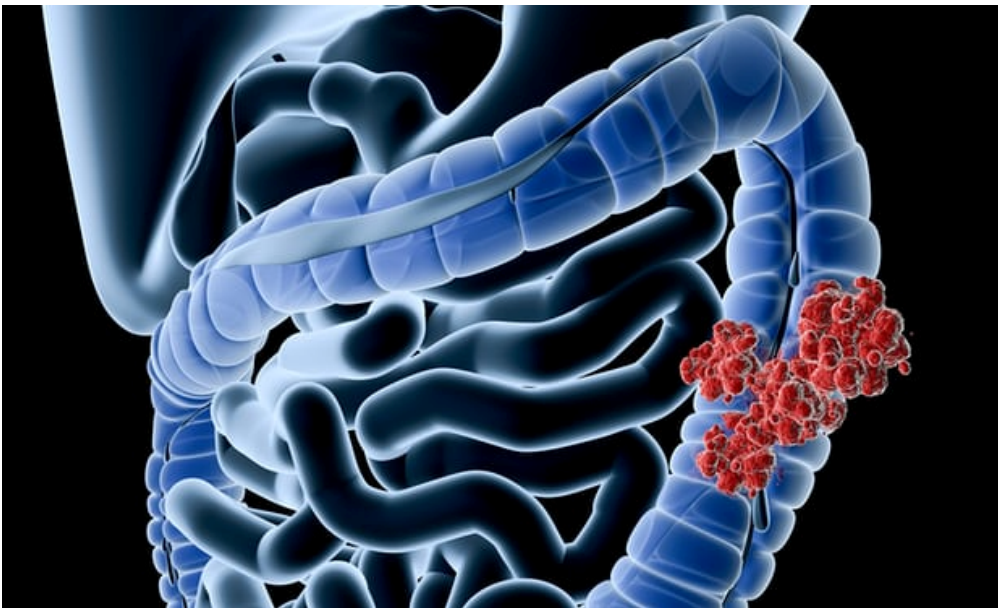
---

*Figure 18 : Un logiciel a été développé pour contourner avec précision les tumeurs de la tête et du cou. [61]*

---

#### 5-4) Cancer colorectal

Des scientifiques de Yokohama, au Japon, ont mis au point un logiciel capable de détecter le cancer colorectal à ses débuts avec une précision de 86%. Ce type de cancer est souvent difficile à localiser avant que les tumeurs deviennent malignes et mortelles, car les cellules cancéreuses pénètrent dans la circulation sanguine, de sorte qu'une détection précoce est essentielle [62].



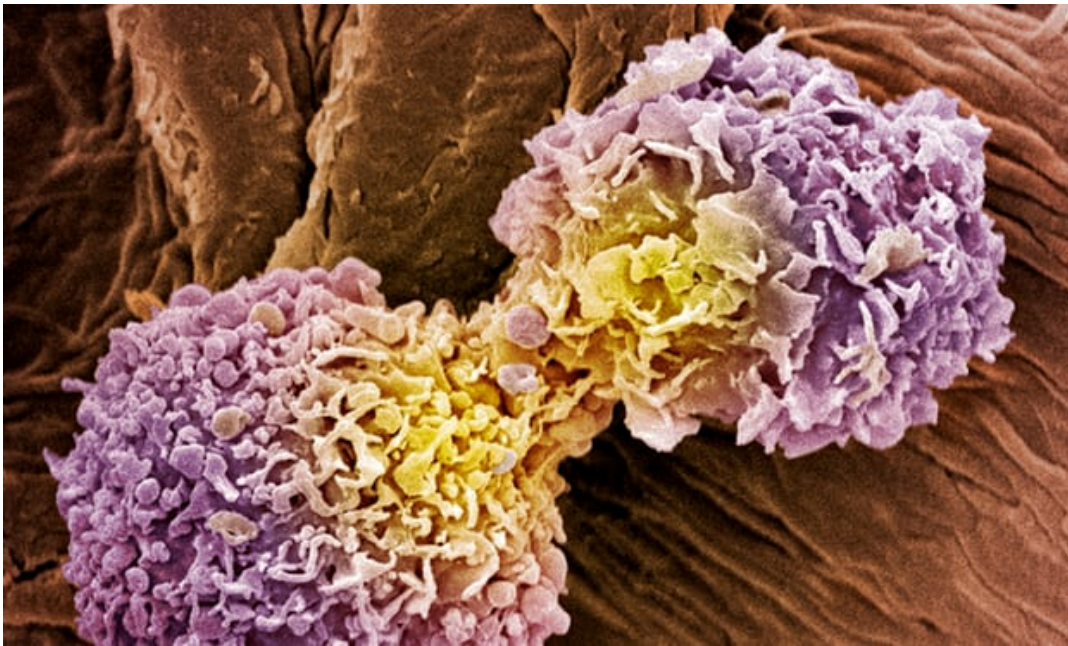
---

*Figure 19 : Cancer du côlon - la détection précoce est cruciale [63]*

---

## 5-5) Cancer du sein

Des chercheurs de l'Imperial College London collaborent avec DeepMind Health pour développer des techniques basées sur l'IA afin d'améliorer la précision du dépistage du cancer du sein. En étudiant 7 500 mammographies anonymisées, ils espèrent créer un logiciel qui réduira le surdiagnostic et les faux positifs. Ils visent à rapporter leurs résultats plus tard cette année [64].



---

*Figure 20 : Cellules du cancer du sein: les techniques basées sur l'IA visent à réduire le surdiagnostic et les faux positifs. [65]*

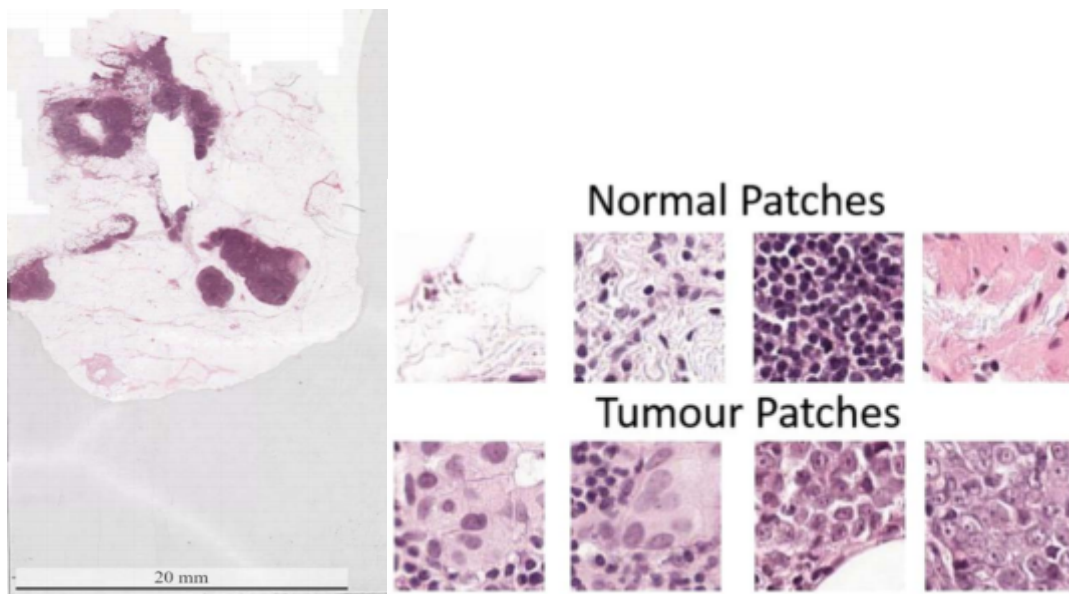
---

## 5-6) Aide au Diagnostic pour les Pathologistes

Détection automatique de métastases dans des coupes histologiques de ganglions lymphatiques colorées à l'hématoxyline et à l'éosine. L'IA réduit le travail des pathologistes et la subjectivité du diagnostic final [66] !

L'évaluation de la probabilité qu'une partie de l'image est une tumeur peut se faire avec l'apprentissage profond.

Données de coupes : 160 normales 110 avec tumeurs.



---

*Figure 21: Harvard Medical School, MIT, and EXB Research [67]*

---

## **6-Diabétologie**

Le diabète, qui est une maladie de premier plan, touche environ 30,3 millions d'Américains. Il est causé par un taux élevé de glucose sanguin, qui est la principale source d'énergie de la consommation d'aliments. Normalement, l'insuline qui est une hormone produite par le pancréas facilite le transfert du glucose dans les cellules du corps pour générer de l'énergie. Si l'insuline manque ou est insuffisamment traitée dans le corps, les niveaux de glucose dans le sang ne peuvent pas être correctement contrôlés.

### **6-1) Medtronic**

Il fait partie des entreprises de dispositifs médicaux qui se lancent dans l'IA et qui visent à aider les diabétiques à gérer leur condition de manière plus efficace pour une meilleure qualité de vie.

En septembre 2016, Medtronic a annoncé que son application Sugar.IQ, un assistant personnel mobile développé en collaboration avec IBM Watson, serait testée par ses premiers utilisateurs.

La société décrit les trois principales caractéristiques suivantes de l'application Sugar.IQ:

- Messages - À mesure que l'application découvre les comportements associés aux schémas de glucose, des messages personnalisés seront fournis en temps réel pour aider les personnes atteintes de diabète à comprendre comment les actions et les habitudes spécifiques affectent leurs niveaux de glucose
- Aide glycémique - Les personnes atteintes de diabète peuvent demander à l'application de suivre des actions et des événements spécifiques liés à

l'alimentation ou à la thérapie. En suivant les éléments, Sugar.IQ aidera à découvrir l'impact de ces éléments sur leurs niveaux de glucose personnels.

- Enregistrement des aliments - L'application suivra rapidement et facilement la nourriture dans un journal pour fournir des informations liées aux repas qui illustrent comment les aliments spécifiques impactent les niveaux de glucose d'un individu.

La société affirme que l'application surveille en permanence les niveaux de glucose dans le sang en analysant les données générées par les capteurs de glucose et les pompes à insuline Medtronic. Ces dispositifs seraient attachés au corps de l'utilisateur. Les modèles, ou algorithmes, initialement construits sur les données de 10 000 diabétiques sont améliorés pour prédire quand les niveaux de glucose dans le sang tomberont en dehors des plages saines. L'apprentissage automatique serait utilisé pour effectuer l'analyse prédictive [68].

Dans la citation suivante d'une étude de cas IBM sur la collaboration, Huzefa Neemuchwala, responsable de l'innovation informatique et données dans le service et les solutions de diabète chez Medtronic, explique les objectifs et les défis associés à cet effort:

"Traditionnellement, Medtronic a fourni des systèmes tels que des glucomètres continus et des pompes à insuline, qui sont des dispositifs physiques utilisés principalement par des personnes sous insulinothérapie pour surveiller les niveaux de glucose et administrer l'insuline directement au corps. Si nous pouvons exploiter ces dispositifs et fournir une rétroaction continue sur les niveaux de glucose des individus, le potentiel existe pour soutenir des millions de personnes dans la gestion quotidienne de leur condition.

La popularité croissante de la technologie portable signifie également que les données biométriques essentielles sur l'alimentation, l'exercice, le sommeil et les médicaments deviennent de plus en plus faciles à saisir. Le défi consiste à obtenir un aperçu concret de cet important volume de données et à le transmettre aux utilisateurs assez rapidement pour qu'ils puissent prendre les décisions appropriées."

## **6-2) MiniMed 670G**

En juin 2017, Medtronic a annoncé le lancement américain de son système MiniMed 670G, une pompe à insuline approuvée par la Food and Drug Administration (FDA).

C'est la première technologie de ce genre approuvée par la FDA, a indiqué la compagnie. Le fabricant d'appareils médicaux affirme que le système automatise l'administration d'un niveau d'insuline de base pour stabiliser la glycémie tout au long de la journée et de la nuit.

Semblable aux algorithmes utilisés dans l'application Sugar.IQ, l'entreprise prétend que le système MiniMed 670G est entraîné sur des algorithmes pour «ajuster automatiquement l'administration d'insuline basale (baseline) toutes les cinq minutes» en fonction de la quantité d'insuline nécessaire à un moment donné [69].



---

*Figure 22 : Medtronic MiniMed 670G system [70]*

---

## 7-Cardiologie

Les développements de technologies numériques pour mieux prévenir les maladies se multiplient, notamment dans le domaine cardiovasculaire. Ainsi, les lancements d'algorithmes et des IA capables de diagnostiquer ou prédire les pathologies liées au cœur font florès depuis le début de l'année.

En juillet 2017, la FDA (Agence américaine des médicaments) a donné le feu vert aux Cardiologues pour commercialiser sa plateforme d'analyse de l'ECG des patients, censée déceler la fibrillation atriale, une maladie cardiaque provoquant l'accélération du rythme du cœur et le faisant battre de manière irrégulière.

Dans le mois même, l'université de Stanford a annoncé avoir mis au point un algorithme capable de détecter 14 types d'arythmies cardiaques, après avoir recueilli les données de 30 000 personnes à risque. L'algorithme analyse des données d'ECG mesurées à partir d'un objet connecté ; un patch porté par les patients pendant deux semaines [71].

Une autre université, celle de Nottingham au Royaume-Uni, s'est faite remarquer, en avril, assurant être capable de prédire quelles personnes sont les plus susceptibles de subir des attaques cardiaques. Les chercheurs de l'institution ont analysé les données de 378 256 patients afin de trouver des modèles de cause à effets dans le développement de problèmes cardiovasculaires. Ils ont utilisé des données utilisées en 2005 et prédit quelles personnes seraient susceptibles d'avoir des problèmes cardiaques dix années plus tard.

## **7-1) Prédiction et prévention des maladies cardiovasculaires**

Les enjeux de la prédiction et de la prévention des maladies cardiovasculaire sont autant sanitaires qu'économiques. Les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde.

Aux Etats-Unis, pays le plus touché par ces pathologies, les dépenses de santé les plus élevées sont consacrées aux maladies cardiovasculaires, et dépassent les 230 milliards de dollars par an.

Or, ces algorithmes pourraient permettre de traiter plus tôt certains patients, d'éviter de nombreux morts et de générer des économies, notamment dans les pays développés qui connaissent une forte prévalence dans les maladies cardiovasculaires.

Un géant informatique comme IBM a pris conscience de ces enjeux. En février, il s'est lui aussi lancé dans la détection de maladies cardiovasculaires. Son IA Watson est désormais capable d'identifier des sténoses aortiques, en analysant des rapports médicaux, et des données d'ECG. Il l'espère l'étendre prochainement à neuf autres troubles cardiovasculaires, dont les attaques cardiaques [72].

## **7-2) Plus précis que les cardiologues ?**

Par ailleurs, ces algorithmes lancés depuis le début de l'année seraient plus efficaces que les diagnostics des cardiologues, si l'on en croit les chiffres mis en avant par leurs concepteurs.

Ainsi, les chercheurs de Stanford assurent que leur plateforme a dépassé les performances moyennes de six experts cardiologues dans la précision du

diagnostic des arythmies cardiaques, grâce à une analyse fine des données à partir des ECG [73].

La société Cardiologs assure, quant à elle, que sa technologie est précise à 91% en comparaison à des données publiée dans l'European Journal of Preventive Cardiology qui évoquent une fiabilité de 59% pour les médecins.

Enfin, l'université de Nottingham a prédit avec justesse 7,6% de problèmes cardiaques de plus que les professionnels de santé, tout en diminuant les fausses alertes de 1,6%.

Si l'IA "dépassé le médecin", c'est parce qu'elle est capable de prendre en compte "des interactions du système biologique", et pas seulement de "l'âge, le cholestérol, les facteurs de risques, la pression sanguine", comme le font la plupart des professionnels en suivant les recommandations des société savantes, avance Stephen Weng, épidémiologiste à l'université de Nottingham [74].

IBM, quant à lui, préfère être plus diplomate et évoque un outil d'aide à la décision dédié aux médecins et les hôpitaux. Le rôle du médecin dans le diagnostic du patient est-il amené à décroître brutalement ? Il faudra certainement de nombreuses autres études et preuves de concept avant de s'orienter vers un tel scénario [75].

## **8-Psychiatrie**

### **8-1) Prédiction de la démence avant son apparition**

Des chercheurs, dont les travaux sont publiés dans la revue *Neurobiology of Aging*, ont développé un logiciel d'IA qui prédit la démence, dont la maladie d'Alzheimer est la forme la plus fréquente, avant l'apparition des premiers symptômes [76].

Pedro Rosa-Neto et Sulantha Mathotaarachchi de l'Université McGill ont, avec leurs collègues, développé un algorithme pouvant détecter les signes distinctifs de la démence deux ans avant l'apparition des premiers symptômes.

L'algorithme détecte les signes au moyen d'une seule tomographie par émissions de positons - amyloïde (TEP-amyloïde) du cerveau chez des patients qui présentent des facteurs de risque de la maladie d'Alzheimer.

Les scientifiques savent depuis longtemps que la protéine bêta-amyloïde s'accumule dans le cerveau des personnes atteintes d'un déficit cognitif léger, lequel conduit souvent à la démence. L'accumulation de bêta-amyloïde commence plusieurs dizaines d'années avant l'apparition des symptômes de démence.

Sulantha Mathotaarachchi, informaticien de l'équipe, s'est servi des résultats de centaines de TEP-amyloïde effectuées chez des patients atteints de déficit cognitif léger pour élaborer l'algorithme [77].

Celui-ci prédit, avec une précision de 84 %, quels patients seront atteints de démence, avant l'apparition des premiers symptômes. La recherche se poursuit sur d'autres biomarqueurs qui pourraient être intégrés à l'algorithme afin d'améliorer ses capacités prévisionnelles.

Les chercheurs mènent actuellement des essais visant à valider l'algorithme auprès de différentes cohortes de patients qui présentent un risque élevé d'être atteints de démence au cours de l'étude, explique Serge Gauthier, coauteur principal [78].

## **8-2) Amélioration du diagnostic de la schizophrénie**

L'IA d'IBM peut diagnostiquer la schizophrénie à partir d'images cérébrales. Ces travaux sont publiés dans la revue *Schizophrenia* (du groupe Nature).

Ces résultats permettent d'avancer les connaissances sur des marqueurs biologiques plus fiables et objectifs que les critères diagnostiques actuels, souligne le communiqué d'IBM et de l'Université de l'Alberta (Canada).

Cette étude fait également progresser la compréhension de la neurobiologie de la maladie, ce qui devrait mener à l'amélioration du traitement et de la gestion de la maladie, souligne Serdar Dursun, professeur de psychiatrie et de neurosciences à l'Université de l'Alberta. Un nombre important de connexions anormales, qui peuvent être explorées dans des études futures, a été découvert, explique-t-il [79].

Les chercheurs ont analysé des données anonymisées d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle de personnes atteintes de schizophrénie ou de troubles schizo-affectifs et de personnes en santé.

Les images d'IRM fonctionnelle (IRMf) mesuraient l'activité des réseaux cérébraux alors que les participants effectuaient un test auditif commun. Des techniques d'IA d'apprentissage automatique ont été utilisées afin de déterminer les connexions les plus souvent associées à la maladie.

L'algorithme différencie les participants atteints de schizophrénie et ceux du groupe témoin avec une précision de 74 % et pouvait déterminer la sévérité de plusieurs symptômes tels que l'inattention, les comportements bizarres et les troubles de la pensée, de même que l'alogie et le manque de motivation [80].

La détermination de la sévérité des symptômes peut mener à une caractérisation de la maladie axée sur des mesures, ce qui permettrait de considérer la maladie sur un spectre, plutôt qu'au moyen d'une étiquette binaire d'un diagnostic ou d'une absence de diagnostic, soulignent les chercheurs. Cette approche pourrait aider les cliniciens à définir des plans de traitement personnalisés.

« L'objectif ultime de ces travaux est d'élaborer des mesures objectives afin de définir les états mentaux et de les appliquer à des troubles psychiatriques et neurologiques », explique Ajay Royyuru, vice-président, Santé et sciences de la vie, groupe Recherche IBM.

Dans le cadre du partenariat en cours, les chercheurs continueront d'étudier les régions et les connexions du cerveau qui sont en lien avec la schizophrénie. Ils continueront aussi à améliorer les algorithmes au moyen d'ensembles de données plus vastes et d'explorer des moyens d'élargir ces techniques vers d'autres troubles psychiatriques comme la dépression ou de trouble de stress post-traumatique [81].

### **8-3) Prévention du suicide**

Des logiciels brassant des milliers de données médicales font émerger des informations invisibles à l'œil humain. Le machine learning ouvre de nouvelles voies de prévention ou de prédiction de maladies psychiatriques.

C'est un fléau contre lequel la prévention patine : chaque année en France, on dénombre 12 000 morts par suicide et 200 000 hospitalisations liées à des tentatives. Comment détecter les signes d'une intention suicidaire ? Si de multiples facteurs de risque – dépression, addictions, aspects sociaux et génétiques, etc. – entrent en jeu, la science peine à identifier de nouvelles clés pour prévenir le passage à l'acte. Avec l'IA, des perspectives prometteuses s'ouvrent. En compilant des milliers de données médicales, ces logiciels puissants et capables d'auto-apprentissage (machine learning) pourraient éclairer ces troubles psychiatriques d'un jour nouveau [82].

C'est le cas d'une étude menée aux Etats-Unis par Marcel Just (Carnegie Mellon University) et David Brent (University of Pittsburgh), publiée fin octobre 2017 dans *Nature Human Behavior*. Elle porte sur 34 patients de 18 à 30 ans, la moitié ayant eu des pensées suicidaires, l'autre étant des sujets "contrôle". L'étude montre d'abord que les personnes suicidaires n'ont pas la même représentation émotionnelle de certains concepts que les autres.

En leur soumettant 30 mots les uns à la suite des autres. Certains mots étaient positifs (insouciance, vitalité, gentillesse, confort...), d'autres négatifs (cruauté, inquiet, obscurité, problème...) et 10 mots étaient spécifiquement associés au suicide et à la mort (sans espoir, funèbre, désespéré, mort..), les chercheurs ont par exemple relevé que, chez eux, le concept de "mort" évoque plus de honte et de tristesse. Chaque émotion ayant sa "signature cérébrale", les chercheurs ont ensuite cartographié l'activité du cerveau de ces sujets face à ces 30 concepts, grâce à l'IRMf. A partir de ces images, un algorithme a discriminé les zones qui s'activent différemment selon les sujets pour les classer en deux groupes : ceux qui ont déjà eu l'envie de mettre fin à leurs jours et les autres [83].

Résultat : le programme a su repérer 15 des 17 suicidaires et 16 des 17 non-suicidaires ; soit une précision de 91%, le concept le plus efficace pour trier les cas étant celui de "mort".

Plus bluffant, le logiciel a su différencier, parmi les suicidaires, ceux qui étaient déjà passés à l'acte avec 94% de précision. "Attention, précise le pédopsychiatre et directeur de recherche Inserm Jean-Luc Martinot, il ne s'agit pas de prédire les tendances suicidaires", ces chercheurs connaissant dès le départ le passé des patients. Néanmoins, "c'est la première étude qui parvient à discriminer, avec un taux d'exactitude très important, des sujets ayant ou non commis des tentatives de suicide, sur la base de l'imagerie et de la performance à la reconnaissance de mots".

Les auteurs soulignent la nécessité d'étendre cet essai à un vaste échantillon de patients pour "déterminer si cette approche est généralisable, et si elle permet de prédire le futur comportement suicidaire". Pour Jean-Luc Martinot, également spécialiste de l'imagerie en psychiatrie, le fait que le logiciel soit capable de classer individuellement les sujets constitue un progrès majeur : "En les stratifiant par petits groupes, l'IA peut ouvrir de nouvelles pistes pour développer des stratégies de prévention innovantes, quasiment personnalisées, dans la lutte contre les addictions, ou pour la prédiction d'autres maladies. Or plus de la moitié des troubles mentaux apparaissent avant 20 ans, à un moment où le cerveau est en développement, avant de devenir chroniques." [84]

Les recherches en psychiatrie utilisant le machine learning se développent. Elles intéressent de près Facebook, avec l'espoir de détecter d'éventuelles idées suicidaires dans les publications des abonnés.

Dans une étude réalisée sur 379 patients du Cincinnati Children's Hospital, publiée en 2016, l'algorithme avait réussi à les classer (à 93%) en trois groupes : suicidaires, malades psychiatriques mais non suicidaires, patients témoins. Pour cela, il disposait des réponses à un test comportemental et d'enregistrements audio dans lesquels les patients répondaient à cinq questions ("Avez-vous de l'espoir ?", "Etes-vous en colère?", etc.). Le logiciel avait analysé le vocabulaire, le phrasé et les silences pour détecter des motifs communs. Outre l'âge, le sexe, les prescriptions, l'imagerie, les prélèvements de sang ou de microbiote, d'autres données pourraient nourrir ces algorithmes, estime Philippe Fossati, professeur de psychiatrie à la Pitié-Salpêtrière et à l'université Pierre-et-Marie-Curie [85].

"Par exemple, des données d'auto-évaluation envoyées par des applications pour Smartphone ou des objets connectés." Pour ce psychiatre, chercheur à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, le machine learning pourra permettre de définir par des marqueurs biologiques des affections actuellement définies par un entretien avec le patient : "Les algorithmes pourront valider ou invalider la classification des troubles psychiatriques, peut-être créer de nouvelles catégories plus pertinentes et aboutir à de meilleurs pronostics ou à des traitements plus personnalisés."

Ces exemples montrent à quel point les IA semblent déjà supérieures à la capacité technique humaine ou tendent à la dépasser dans certains domaines spécifiques. Les professions médicales basées avant tout sur l'analyse de signaux, telles que la radiologie, les images microscopiques, les données génétiques, voire les symptômes dermatologiques, pourraient être, à l'avenir, largement automatisées.

Par ailleurs, si les outils d'accompagnement des professionnels ne se substituent pas encore au médecin pour établir le diagnostic et définir la prescription, leurs capacités s'étendent et se consolident.

Assistera-t-on d'ici peu à un tri entre les « petites » affections, qui seront traitées de façon toujours plus automatisée, et les cas plus complexes qui mobiliseront l'avis de spécialistes, avec les risques que présenterait cette dichotomie ? Dans tous les cas, la question de l'articulation du médecin avec les machines, d'une part, et les autres professionnels, d'autre part, est dès aujourd'hui posée.

*Quatrième chapitre :*  
*Exercice de la médecine*  
*à l'ère numérique*

## **1- Rêve ? Cauchemar ? Un enjeu en tout cas**

Rêve pour les uns, cauchemar pour d'autres, le scénario ci-dessous met-il en scène une fiction ou un des enjeux de la médecine du futur ?

Comme chaque matin, le Dr François se connecte à son assistante virtuelle, Galiena.

Ces dernières 24 heures, la machine a récolté et analysé les données de l'ensemble des patients qui nécessitent actuellement un suivi : leurs communications et demandes de rendez-vous arrivées par mail, téléphone, SMS, leurs résultats d'examens biologiques et d'imagerie, et bien sûr tous les indicateurs physiologiques collectés par capteurs. Les logiciels ont tourné toute la nuit et sont prêts à livrer leurs résultats.

« Quelles priorités aujourd'hui Galiena ? » interroge le médecin. L'assistante allume le tableau électronique où s'affiche le planning de visites, consultations et téléconsultations préparé grâce aux algorithmes de traitement de données sur la base des contextes patients, des derniers indicateurs reçus et de la mise à jour de la bibliothèque scientifique.

Le Dr François active tour à tour les bulles de texte qui résument la nature de chaque intervention programmée par l'assistante numérique, il les examine avec soin et apporte à ce planning les modifications qu'il juge nécessaires.

Le traitement de Mme Nicole doit être sensiblement modifié et il préfère lui rendre visite, afin d'évaluer en face-à-face son adhésion au nouveau programme d'éducation thérapeutique, plutôt que d'organiser la téléconsultation prévue par Galiena. Il ira également voir M. Simon, qui supporte toujours aussi mal son masque contre l'apnée du sommeil. Mais il remplace la consultation

hebdomadaire de M. Guy par un simple chat au cours duquel il prévoit de lui transmettre une documentation qu'il charge l'assistante de rassembler sur son wiki. Cela lui donnera plus de temps pour examiner cette jeune patiente qui vient au cabinet pour la première fois.

Galiena réagence le planning en quelques secondes. La base de données est mise à jour suite aux indications dictées par le médecin. Le moteur de recherche lance les requêtes destinées à alimenter la base de connaissances du Dr François avec les résumés des dernières publications relatives aux pathologies et traitements de ses patients.

Galiena l'informe qu'elle a réservé son déplacement pour le 5<sup>e</sup> congrès Recherche e-santé la semaine suivante. Elle a aussi lancé la commande semestrielle de matériel médical.

Nous ne sommes, à certains égards, pas si éloignés des fonctionnalités et services les plus basiques évoqués ci-dessus. Les progrès continus de l'informatique appliqués à l'exercice médical permettent, depuis 50 ans, d'étendre peu à peu le champ de la e-gestion (ou gestion électronique) de la médecine. L'émergence d'une médecine numérique ou d'une « médecine NBIC », née de la convergence des nanotechnologies, biotechnologies, informatique et sciences cognitives, est en revanche plus récente.

Dans ce tourbillon technologique en marche accélérée, nous devons nous proposer de réussir à organiser et à assurer la complémentarité entre l'homme et la machine, le premier conservant la capacité éthique de garder toujours le dernier mot.

## **2- Médecin intelligence artificielle ou Médecin + intelligence artificielle ?**

L'automatisation du dépistage et des diagnostics ? Bien qu'apparus il y a une cinquantaine d'années, les systèmes informatisés d'aide au diagnostic et à la décision médicale ont longtemps vu leur usage freiné pour des raisons à la fois scientifiques, sociologiques et technologiques. Les frontières technologiques sont désormais repoussées... apparemment sans limites.

Les études et publications scientifiques se succèdent désormais, qui comparent les performances respectives des médecins et des algorithmes dans leurs capacités de diagnostic.

L'enjeu actuel consiste à établir la meilleure alliance possible entre l'humain et la machine (Docteur + IA), à augmenter le potentiel du médecin grâce à l'usage de la technologie.

L'IA a en effet la capacité de travailler considérablement plus vite et sur des volumes de données incommensurablement supérieurs, mais sur une tâche bien précise, bien délimitée, alors que le cerveau humain conserve la suprématie quand il s'agit de raisonner, d'analyser son environnement, de communiquer.

### **2-1) Rivalité médecin - intelligence artificielle**

Elle se joue le plus souvent sur les données d'imagerie. Fin 2016, The Journal of the American Medical Association (JAMA) publiait une étude portant sur le test d'un algorithme de machine learning pour la détection des rétinopathies diabétiques... signée des ingénieurs de Google. Après avoir appris à reconnaître les fonds d'œil pathologiques sur une base de 128 000 images, l'algorithme a

produit un diagnostic correct avec des résultats comparables à ceux obtenus par des ophtalmologistes bien entraînés.

Quelques mois plus tard, la revue Nature faisait sa une sur les résultats d'une équipe américaine ayant réussi à rendre un algorithme aussi performant qu'un dermatologue expérimenté pour distinguer grains de beauté et mélanomes, cela après l'avoir entraîné sur une banque de plus de 100 000 images de lésions cutanées associées à quelque 2 000 pathologies.

Challengés par une plateforme d'analyse de symptômes, les médecins restent cependant deux fois plus capables de poser d'emblée le bon diagnostic, selon une étude menée à Harvard Medical School [86]. Les chercheurs ont en outre noté que l'écart entre les performances humaines et celles des logiciels est moins important lorsqu'il s'agit de pathologies courantes, alors que les médecins font mieux face à des signes peu communs et sévères. Sachant que ces derniers sont toutefois susceptibles de commettre des erreurs (dans 15 % des cas), les scientifiques concluent... que les professionnels seraient encore plus performants en s'adjoignant les services des algorithmes.

## **2-2) Start-up**

Les start-up sont en effet de plus en plus nombreuses à explorer le potentiel de l'IA en médecine ; le plus souvent, elles rassemblent autour des projets médecins, informaticiens et ingénieurs, ou tissent les liens les plus étroits possibles avec les centres de recherche clinique implantés en milieu hospitalier.

En plus des applications citées dans le chapitre précédant, on rajoute :

Ainsi une jeune société issue de la plateforme de neuro-imagerie Cati [87] a l'ambition d'utiliser l'IA pour aider au diagnostic, prédire l'évolution clinique et

mesurer l'efficacité des traitements des maladies du système nerveux central. Elle déploie actuellement dans les hôpitaux un premier outil qui permet aux radiologues et aux neurologues d'affiner leur diagnostic dès le début de la maladie : elle exploite les données IRM du patient afin de mesurer automatiquement des biomarqueurs, paramètres ensuite comparés aux informations des bases de données hospitalières. Un second outil, en cours de développement, visera à prédire l'évolution du patient.

Une autre start-up, incubée à l'Institut de la vision, développe une solution de diagnostic automatisé de la rétinopathie diabétique grâce à un algorithme de deep learning entraîné sur un échantillon d'un million d'images. Elle envisage de le décliner par la suite pour détecter d'autres pathologies oculaires et travaille également sur un nouvel algorithme avec le projet d'expliquer les mécanismes conduisant son modèle mathématique à poser tel ou tel diagnostic [88].

À l'hôpital Necker, les médecins commencent à utiliser un moteur de raisonnement créé par une jeune pousse parisienne pour améliorer le suivi des patients atteints d'insuffisance rénale chronique. La solution fonctionne sur un principe similaire à celui du Watson d'IBM.

À Bordeaux, un jeune médecin de santé publique du CHU, chercheur à l'Inserm et titulaire d'un master en informatique, peaufine un assistant virtuel d'aide à la prescription : « Nous visons des outils intégrant toutes les sources d'information sur les médicaments (recommandations des sociétés savantes, rapports, articles scientifiques...), traçables et mises à jour », déclarait-il.

### **2-3) Évaluation et formation**

En juillet 2017, le cardiologue et prospectiviste américain Eric Topol [89] a résumé dans le Lancet [90] les avancées et limites actuelles de l'IA en matière d'aide au diagnostic. « Imaginez un individu communiquant avec un médecin virtuel », raconte-t-il, décrivant la capacité des futures applications à réaliser un diagnostic sur la seule base d'une voix, d'un enregistrement vidéo, de la transmission de photos... « Les professionnels de santé resteront au cœur de la prise en charge médicale, assure-t-il. L'IA augmentera leurs capacités de diagnostic en leur faisant gagner du temps sur l'observation fastidieuse des images ».

« Plusieurs obstacles ralentissent l'adoption de l'IA, poursuit-il cependant. Le premier réside dans la disponibilité des données nécessaires pour nourrir les algorithmes de deep learning et la collecte du volume indispensable d'images validées par les spécialistes de chaque pathologie spécifique. Il faudra ensuite mettre en œuvre les essais cliniques permettant d'évaluer l'efficacité diagnostique des algorithmes d'apprentissage. » Sans oublier, « pour réussir cette révolution, de former les futurs professionnels aux bases du machine learning » si l'on veut qu'ils intègrent effectivement ces technologies dans leur pratique.

Enfin, « l'IA n'est pas près de remplacer les médecins rapidement », ajoute Eric Topol, tant qu'elle ne fournit aucune capacité d'explication des causes de ce qu'elle observe. « Dans les années à venir, cependant, l'IA pourrait devenir le complément infatigable et rentable des médecins en leur donnant plus de temps pour se concentrer sur la complexité de chaque patient pris individuellement »

### **3- Patient modélisé**

Des interventions personnalisées grâce au jumeau numérique du patient ? Avec le développement de la robotique, les chirurgiens ont d'abord bénéficié, depuis le début des années 2000, d'une assistance au geste.

Aujourd'hui, ce sont les progrès de l'imagerie qui transforment le plus radicalement les pratiques chirurgicales. Tandis que l'impression 3D promet déjà de repousser encore les limites.

#### **3-1) Technologies de l'image numérique**

Elles contribuent à l'apparition d'une chirurgie personnalisée, où chaque patient sera doté de son avatar virtuel, de son jumeau numérique. En facilitant la modélisation des organes en trois dimensions, elles aident le chirurgien à planifier la stratégie opératoire, à se préparer en répétant son geste sur une maquette 3D ou un clone virtuel de l'organe. Bientôt, la combinaison 3D, robotique et réalité augmentée permettra aussi de modifier cette stratégie en temps réel si nécessaire [91].

Ces évolutions doivent beaucoup aux travaux menés à l'Institut de recherche contre les cancers de l'appareil digestif (IRCAD), créé en 1994 par le Pr Jacques Marescaux et maintenant étroitement lié à l'Institut de chirurgie guidée par l'image (ICI) à l'IHU de Strasbourg. Elles reposent également sur les recherches menées par Nicolas Ayache et son équipe.

Depuis, une société spin-off de l'IRCAD a vu le jour qui propose un service de modélisation et de cartographie 3D en ligne à partir d'images de scanner ou d'IRM. La chirurgie digestive a été pionnière dans l'utilisation de la réalité augmentée et le congrès 2016 de l'Association française de chirurgie (AFC)

dénombrerait quelque 150 interventions de ce type en trois ans, plaçant la France parmi les acteurs de pointe dans le monde [92].

Les principales pistes d'amélioration sont d'ores et déjà explorées, notamment l'intégration de la déformation des organes dans les modélisations et la mise au point d'un standard mondial de la vidéo chirurgicale afin de surmonter les problèmes d'interopérabilité des équipements d'imagerie, qui freinent le développement de la chirurgie hybride.

### **3-2) Bilan de ces évolutions**

Des interventions complexes facilitées, avec des gestes techniques plus précis, plus sûrs et moins invasifs, des complications et douleurs post-opératoires réduites... L'équipe chirurgicale est toujours présente mais dans une dimension tout autre que ce qu'elle est dans une activité chirurgicale plus traditionnelle, quand bien même cette dernière conserve encore toutes ses qualités.

Dernière révolution en cours : l'impression 3D de dispositifs médicaux sur mesure, à laquelle plusieurs équipes françaises ont déjà fait appel ces cinq dernières années, particulièrement pour la chirurgie maxillo-faciale.

Le développement du patient modélisé ou virtuel ne joue pas seulement sur le geste chirurgical ou en radiologie interventionnelle, il impacte bien sûr la formation mais aussi la recherche clinique [93].

## **4- Thérapies numériques**

### **4-1) Amélioration des soins par les jeux sérieux**

Les jeux sérieux entrent dans l'arsenal thérapeutique. Parmi les études cliniques en cours, à Nice, le Pr Philippe Robert, coordonnateur du Centre mémoire de ressources et de recherche (CMRR) du CHU, est un précurseur de la conception de « jeux sérieux » (serious games) destinés à stimuler les personnes atteintes de troubles cognitifs à un stade léger.

L'un de ces jeux est aujourd'hui reconnu dispositif médical : il installe le patient aux commandes d'un sous-marin et l'entraîne dans une bataille navale où il doit déployer ses capacités cognitives et physiques. Il présente aussi l'intérêt de faciliter la mesure de l'évolution de la pathologie et aide au maintien du lien social via le développement des interactions entre joueurs et avec le thérapeute. Il constitue donc d'ores et déjà un véritable complément aux traitements traditionnels [94].

« Les jeux vidéo ne guériront jamais la maladie d'Alzheimer, avertit le Pr Robert. Mais ils peuvent avoir un impact important en améliorant l'autonomie dans certaines activités de vie quotidienne ainsi que la qualité de vie. »

La société éditrice du jeu [95] travaille au sein d'un laboratoire commun (Brain e-Novation) avec l'Institut de cerveau et de la moelle épinière (ICM) à la mise au point des thérapies numériques de demain. Elle compte plusieurs études cliniques en cours portant, par exemple, sur un jeu visant à la rééducation du membre supérieur pour les victimes d'accidents vasculaires cérébraux (AVC) et un autre permettant de réduire les troubles de la marche et de l'équilibre des patients souffrant de la maladie de Parkinson [96].

Les serious games en santé se limitent encore le plus souvent à un rôle informatif, de sensibilisation, sur des thèmes de prévention. Ils peuvent aussi aider le patient à gérer sa maladie au quotidien... tout en s'amusant. Le cas du diabète est exemplaire, où l'on a vu les propositions de programmes se multiplier, à l'intention des enfants et adolescents notamment.

Le jeu vidéo a commencé à investir le champ de l'éducation thérapeutique. Apprendre de manière ludique, être encouragé par le fait de gagner une partie, constituent effectivement, pour le patient, un facteur de motivation important.

Ces supports numériques sont certainement appelés à jouer un rôle dans la prise en charge des patients, notamment chroniques. Cependant – et c'est la même limite que celle des applications mobiles en santé – les professionnels n'intégreront pas les jeux sérieux dans le cadre de leur exercice si leur contenu et leur efficacité ne sont pas validés par la communauté médicale et scientifique [97].

#### **4-2) Soins par la réalité virtuelle ?**

Les chercheurs se sont intéressés à la réalité virtuelle dès les années 1990 dans le but de traiter les patients victimes de phobies diverses. Aux États-Unis, par exemple, elle a été mise à contribution pour aider les vétérans à faire face à leurs troubles post-traumatiques.

Les casques de l'époque étaient rudimentaires et surtout très chers. L'explosion du marché des jeux vidéo aidant, ces équipements sont de plus en plus accessibles et entrent dans les services hospitaliers.

Parmi les applications désormais reconnues, en mobilisant le cerveau sur un autre monde, l'immersion dans un scénario de réalité virtuelle permet d'atténuer

(voire totalement soulager) la douleur, celle des patients chroniques, mais aussi celle des grands brûlés, ou en post-opératoire. Mieux, elle est même utilisée en remplacement de l'anesthésie dans certains cas [98]. Elle s'attaque également aux addictions et troubles du comportement alimentaire.

Après avoir adopté les techniques d'hypnose, le chef du service des urgences du groupe hospitalier Saint-Joseph, à Paris, a décidé de proposer un casque de réalité virtuelle, en alternative aux traitements habituels de la douleur, aux patients qui le souhaitent. Il prévoit d'évaluer cette pratique dans les mois qui viennent.

À l'hôpital de La Conception, à l'Assistance publique-Hôpitaux de Marseille (APHM), le pôle psychiatrie coordonne actuellement plusieurs études sur l'efficacité de la réalité virtuelle : dans le sevrage tabagique, sur la claustrophobie et l'acrophobie (peur des hauteurs), sur l'optimisation de la relaxation chez les anxieux chroniques [99].

En l'espace de quatre ans, le Dr Éric Malbos, psychiatre au sein de ce service, a traité environ 700 patients et les résultats varient selon les pathologies traitées : « On observe un taux d'efficacité de 80 à 90 % dans le cas des phobies, 50 % des fumeurs ne rechutent pas et l'on observe environ 80 % de taux de rémission dans le cas du stress post-traumatique », déclarait-il en novembre 2016.

#### **4-3) Chirurgie éveillée sous réalité virtuelle dans le bloc opératoire**

Retirer la tumeur cérébrale d'un patient éveillé plongé dans une réalité virtuelle grâce à des lunettes 3D : cette première mondiale a été réalisée en janvier 2016 au CHU d'Angers dans le cadre d'un projet de recherche intitulé chirurgie éveillée sous réalité virtuelle dans le bloc opératoire (CERVO), mené avec le

laboratoire Interactions numériques santé handicap (INSH) de l'ESIEA (école d'ingénieurs).

En permettant au patient d'interagir très précisément avec le chirurgien, l'instauration de la réalité virtuelle dans la chirurgie éveillée permet de pousser encore plus loin la précision de l'acte et de réaliser des interventions inenvisageables jusque-là [100].

*Cinquième chapitre :*  
*Quelle formation pour*  
*les étudiants en médecine*  
*et les médecins ?*

La formation des étudiants en médecine et des médecins représente un élément clé de l'acceptabilité des technologies et des pratiques qui vont se développer et s'étendre. Elle exige d'anticiper la vision de la place respective qu'occuperont les médecins, les autres professions de santé et les nouveaux outils médico-techniques. Sans sous-estimer le redoutable pouvoir de transformation induit par les avancées de la science et des techniques, tout en affirmant que le principe moteur de toute action : la machine doit servir l'homme, et non l'asservir.

Cela justifiera une vigilance permanente ouverte vers le progrès humain, en identifiant les risques pour les combattre et en soutenant les bénéfiques que ce nouveau monde comporte.

Former, c'est-à-dire enseigner et instruire tout au long de ses études et de son exercice médical, demande d'anticiper un environnement où les « intelligences automatiques » seront partenaires des médecins et des soignants ; elles augmenteront leurs performances. Mais c'est aussi conforter ce qui fait déjà la compétence de l'homme versus la machine et tout particulièrement sa capacité d'empathie et de créativité, voire de « transgression », insiste le Pr Serge Uzan, vice-président santé, Université Pierre-et-Marie-Curie.

## **1- Importance de la formation**

Les scénarios associés aux progrès des technologies d'IA alimentent régulièrement la chronique alarmiste de la destruction des emplois, de la disparition des métiers qui nous sont aujourd'hui familiers. Cette évolution est-elle vraiment inéluctable ? La disparition d'emplois est certes réelle mais pourrait bien être contrebalancée par la création des fonctions, et donc de nouveaux emplois et de nouveaux métiers, nées avec l'émergence de nouvelles activités.

Si numérique, IA, robotique... prendront effectivement plus de place dans la délivrance des soins et la prise en charge des personnes, il faudra aussi plus d'ingénieurs, d'informaticiens, de data scientists, de techniciens, de chercheurs, etc. pour concevoir les nouveaux systèmes, les maintenir, les sécuriser.

Les médecins eux-mêmes devront y prendre toute leur place et doivent dès aujourd'hui s'y préparer.

Sans oublier bien entendu la dimension humaine et relationnelle, hors champ technologique, qu'il sera d'autant plus nécessaire de conforter face à l'avènement d'une médecine qui doit être assistée, et non conduite par des robots intelligents.

Il paraît en outre évident que les métiers de la santé que nous connaissons aujourd'hui ne vont pas disparaître du jour au lendemain, mais cela va exiger des adaptations progressives parfois même rapides, tant les technologies avancent à un rythme soutenu. À terme, ces métiers médicaux seront totalement transformés et renouvelés... Il en a toujours été ainsi du métier de médecin et de l'art de soigner, le médecin de 2017, avec les moyens d'investigation et les thérapeutiques dont il dispose, n'a plus guère de points communs dans son exercice avec le confrère du XIX<sup>e</sup> siècle... et encore moins avec celui que Molière moquait. Surtout ces techniques, loin de l'asservir, peuvent lui permettre de libérer du temps médical humain.

Il est à souligner combien la formation, tant continue qu'initiale, joue un rôle crucial dans l'anticipation et l'accompagnement à la médecine du futur, et combien son adaptation est indispensable. La médecine n'est plus la répétition des savoirs ancestraux comme elle le fut des siècles durant. À chaque époque,

les médecins porteurs d'innovations se sont heurtés aux certitudes rassurantes des savoirs établis.

Aujourd'hui, l'Université est elle-même heureusement porteuse de l'innovation dans ses services et laboratoires de recherche, l'Ordre des médecins lui-même accompagne ces mutations en affirmant que les principes de l'éthique médicale et de la déontologie professionnelle ne sont pas des dogmes qui appartiendraient à un temps dépassé [101].

“Nous observons un très fort contraste entre une médecine qui reste enseignée de façon très traditionnelle, face à des étudiants totalement rompus aux méthodes numériques et qui réfléchissent déjà à ce que va apporter la médecine connectée.” Pr Jean-Luc Dubois-Randé, président de la Conférence des doyens de médecine.

## **2- Enjeux de la formation**

S'il se révèle présomptueux ou en tout cas aventureux de prédire précisément quels métiers médicaux auront changé ou disparu, et de quelle manière, dans les cinq à dix ans qui viennent, la réponse à ce défi tient naturellement dans la formation tout au long de la vie et l'instauration d'un continuum entre formation initiale et formation continue.

### **2-1) Nouveaux métiers ?**

L'Université elle-même doit s'ouvrir pour s'apporter le concours des médecins qu'elle a formés et qui exercent ailleurs qu'en son sein. C'est d'ailleurs déjà le cas des enseignants et chercheurs en médecine générale. Cela devra s'étendre aux autres disciplines. Une véritable articulation et un décroisement complet entre formations de base et développement professionnel continu (DPC)

s'imposent face aux risques d'accélération de l'obsolescence des savoirs et des compétences qui s'annoncent.

C'est à la fois une priorité, garant de la compétence des médecins, et une ambition que les conseils professionnels nationaux de toutes les spécialités doivent y être associés [102].

## **2-2) Ouverture et pluridisciplinarité des enseignements et formations**

L'ouverture et la pluridisciplinarité des enseignements et formations constituent également une exigence accrue. Les raisons en sont nombreuses.

La complexité des prises en charge de malades chroniques et de personnes fragiles conduit à mobiliser des équipes de professionnels d'horizons variés. Leur collaboration sera d'autant plus facile et efficiente qu'ils auront bénéficié d'enseignements communs ou de formations associées. Le numérique peut à la fois en être l'objet et faciliter la mise en place de tels projets [103].

Les frontières qui cloisonnent aujourd'hui l'exercice – et donc la formation – de certaines spécialités sont amenées à s'effacer, avec l'utilisation de nouveaux équipements et de nouvelles techniques. Les plateformes d'ingénierie en santé en sont un exemple. C'est déjà le cas en cancérologie digestive, certaines interventions réclamant une expertise à la fois en radiologie, en chirurgie et en gastroentérologie.

Faudra-t-il former à une nouvelle spécialité « mixte » ? Redéfinir les contours de chaque spécialité ou organiser leur convergence ? Les exemples de ce type risquent de se multiplier à l'avenir, exigeant une bonne adaptabilité de chacun.

Les médecins ne se contentent pas d'utiliser les technologies. Ils sont aussi de plus en plus nombreux à les inspirer, les concevoir, directement ou en collaboration, les tester, les évaluer. Ces activités leur demandent d'acquérir des connaissances et compétences autres que celles de leur cursus principal, dans des sciences dures mais aussi en sciences humaines et sociales, ou au moins de s'y familiariser.

L'Université doit également préparer à l'émergence des nouveaux métiers « d'interface » entre sciences de la vie et ingénierie en facilitant les parcours multidisciplinaires.

Ainsi, la formation aux humanités, à la déontologie et à l'éthique, aux relations humaines doit être renforcée dans un monde qui se technicise de plus en plus. Plus l'enseignement devient scientifique, plus le degré d'empathie doit être renforcé [104].

Le médecin doit se souvenir qu'il soigne une personne qui est malade et qu'il ne combat pas seulement la maladie dont un individu serait atteint. Beaucoup d'études montrent les effets positifs de l'empathie des médecins sur leurs patients. « L'empathie médicale aide à guérir », observe le Pr Sophie Lelorrain, enseignante et chercheuse en psychologie de la santé à l'Université de Lille. « Non seulement les professionnels de santé n'y sont pas, ou à peine, formés, mais ils se retrouvent dans un contexte défavorisant : il a été montré que l'empathie naturelle diminue au long du cursus d'un médecin ou d'un infirmier ! » précise-t-elle à l'issue de ses travaux dans le domaine. Il est maintenant reconnu que c'est une erreur de chercher à éliminer les émotions du cursus médical.

Il faut, au contraire, apprendre à les apprivoiser, à savoir les canaliser. Les formations académiques ne sont peut-être pas appropriées. L'empathie doit s'éprouver, grâce à des jeux de rôle par exemple. « Les solutions numériques de simulation virtuelle et jeux sérieux seraient intéressantes à cet effet » [105]. Dans le même esprit, l'entrée de patients formés et de leur expérience vécue de leur maladie dans le cursus de la formation médicale, comme certaines universités le font, contribuerait très certainement à cette formation aux humanités.

### **3- Formation avec le numérique**

#### **3-1) Apport indiscutable**

Apprentissage plus ludique, continu dans le temps, formation individualisée, développement de pratiques éducatives collaboratives figurent au premier rang des bénéfices reconnus.

Le numérique présente également l'intérêt de modifier les rôles du formateur et de l'apprenant, ce dernier devenant acteur de son processus d'apprentissage, par l'accès aux savoirs en ligne, tandis que l'enseignant se transforme en son accompagnateur, renouvelant ainsi la longue tradition du compagnonnage en médecine.

Pour autant, le numérique ne doit être considéré que comme une solution complémentaire à la formation en présentiel. Il contribue à renouveler des méthodes pédagogiques sur la base d'un apprentissage mixte : cours en ligne diffusés en amont du présentiel, pour alimenter l'interaction avec l'enseignant notamment. Il permet en effet de renforcer des pratiques éducatives collaboratives favorisant le partage d'expérience et d'expertise comme le mentorat inversé, l'apprentissage pair à pair...

Former avec le numérique représente cependant un défi permanent à la fois en raison de l'accélération des innovations technologiques et de l'impact que cela présente sur les organisations, la pédagogie et sur les formateurs eux-mêmes [106].

### **3-2) Jamais la première fois sur le patient**

Les centres de simulation en santé ont connu un essor important ces dernières années et la discipline a atteint une maturité qui s'est traduite par la création d'une société savante, la société francophone de simulation en santé (SoFraSimS), présidée par le Pr Jean-Claude Granry (coauteur d'un rapport à la HAS) [107].

Plus d'une centaine de centres sont aujourd'hui opérationnels et pratiquement toutes les disciplines sont concernées. La santé fait une plus large place à la simulation en matière de formation ; organisation, programmes et évaluation se structurent, notamment à l'aide d'un Guide de bonnes pratiques, publié fin 2012 par la HAS.

Que peut-on en attendre ? La simulation est un moyen efficace de compléter les connaissances par des compétences « pratiques » et des mises en situation (de communication par exemple, de travail en équipe) ; elle facilite l'apprentissage de gestes techniques et permet de reproduire des situations cliniques variées, et surtout des situations à risques [108].

Son développement n'est toutefois pas exempt de difficultés. Les rapporteurs d'une mission sur l'organisation des stages relèvent des problèmes d'encadrement pédagogique et de financement de la formation par simulation et invitent à lancer une réflexion sur le sujet. On peut même créer de véritables avatars de patients permettant d'anticiper une intervention chirurgicale [109].

Les initiatives restent cependant freinées par le fait que les environnements et équipements de réalité virtuelle restent coûteux. Sans oublier que les formateurs eux-mêmes doivent avoir le temps d'acquérir les compétences nécessaires [110].

La plateforme Ilumens (Université Sorbonne Paris Cité) figure parmi les promoteurs actifs de formation par simulation. Elle forme maintenant plus de 5 500 personnes par an, que ce soit en environnement virtuel, sur des mannequins ou avec des acteurs.

### **3-3) Exemples de simulation en santé**

C'est une jeune entreprise installée à Bordeaux qui a ouvert la première plateforme de simulation spécialisée dans la production de cas cliniques virtuels. Son ambition : devenir le « YouTube » du cas clinique et constituer une communauté à l'échelle mondiale. Originalité : les cas peuvent être créés par les professionnels eux-mêmes, qui utilisent alors la boîte à outils mise à leur disposition, à la manière d'un jeu vidéo et sans connaissances informatiques particulières. Sinon, l'enseignant a recours à la bibliothèque de cas développés par l'éditeur de la plateforme en collaboration avec ses partenaires pédagogiques.

Le tout premier cas clinique plongeant l'utilisateur totalement en immersion (à l'aide d'un casque) dans une consultation de médecine vasculaire a été réalisé avec un chirurgien de Stanford Medicine et présenté en avril 2017 [111].

D'autres types de dispositifs ont récemment vu le jour, le plus souvent à l'initiative de start-up. En voici quelques exemples : un jeu multi-joueurs met les étudiants, en réseau, dans un bloc opératoire virtuel autour de cas réels d'événements indésirables ; couplée à un casque de réalité virtuelle, une application fait vivre, dans la situation du chirurgien, des opérations auparavant filmées en bloc opératoire ; un simulateur permet l'apprentissage des gestes de l'accouchement en couplant visualisation 3D immersive et technologie haptique ; un patient numérique en phase de test pourra interagir via des capteurs permettant de prendre en compte toutes les dimensions de la communication, y compris non verbale...

### **3-4) E-learning aux Mooc**

Depuis le début des années 2000, l'Université médicale virtuelle francophone (UMVF), puis l'Université Numérique Francophone des Sciences de la Santé et du Sport (UNF3S) et maintenant l'Université numérique de la santé et du sport (UNESS), représentent le « campus numérique » institutionnel des formations médicales universitaires. Ses plateformes et ressources pédagogiques soutiennent et développent l'essentiel de la formation via e-learning en médecine [112].

Plus récents, les Massive Open On - line Course (Mooc), ou Cours en ligne ouvert et massif (Clom) prennent de l'ampleur. L'apparition du sigle date de 2008, année où l'Université de Stanford met à la disposition du public ses cours de programmation et de sciences de l'ingénieur. Les Mooc se distinguent alors du e-learning par leur ouverture à un nombre illimité de participants, leur gratuité, l'absence de sélection et de prérequis. Ils mettent également en avant la dimension formatrice de l'interaction entre pairs [113].

Le premier Mooc francophone ne date que de 2012 et la création de la plateforme France Université Numérique de 2013. Mais ils semblent avoir servi d'accélérateur pour l'ensemble des formations en ligne en aidant à prendre conscience du potentiel du numérique pour démultiplier les efforts de formation. Constatant l'accélération du déploiement des solutions numériques dans les structures sanitaires et médico-sociales et la carence de formation à l'IA et la e-santé dans les programmes de formation initiale et continue des professionnels, l'association a d'ailleurs ouvert, dès 2015, le premier Mooc Initiation à la e-santé. Renouvelé chaque année, il compte plus de 6 000 participants inscrits depuis, dont environ 20 % ont réussi à terminer le cursus.

## **4. Formation au numérique**

Si l'introduction du numérique dans la formation présente de nombreuses opportunités, la formation « au numérique » des acteurs de santé est une première étape fondamentale pour pouvoir se former ensuite par le numérique. Il s'agit en effet de « développer une compréhension fine des outils numériques, d'adopter un esprit critique quant à leurs usages et de participer à leur construction-élaboration »

### **4-1) Littératie numérique**

Il est maintenant reconnu que l'usage quotidien d'un smartphone ne signifie pas que l'on maîtrise le numérique ! Les étudiants eux-mêmes l'admettent. Cette maîtrise est décrite par la notion de littératie numérique, dont l'objectif est de travailler à l'acquisition d'une véritable culture numérique, qui permette, selon les termes de l'Académie des sciences, de « donner à tous les citoyens les clés du monde du futur, qui sera encore bien plus numérique que ne l'est le monde actuel, afin qu'ils le comprennent et puissent participer en conscience à ses choix et à son évolution plutôt que de le subir en se contentant de consommer ce qui est fait et décidé ailleurs ».

### **4-2) Ses compétences**

Le Centre canadien d'éducation aux médias et de littératie numérique en décrit, efficacement, les compétences clés en trois mots : utiliser, comprendre et créer [114].

Utiliser fait référence aux connaissances techniques permettant d'utiliser aisément l'ordinateur ou l'Internet.

Comprendre, c'est acquérir un ensemble de compétences pour analyser, évaluer et utiliser à bon escient l'information disponible sur le web. Ces compétences participent au développement de l'esprit critique.

Créer, c'est savoir produire des contenus et communiquer efficacement en utilisant divers outils et médias numériques.

*Sixième chapitre :*  
*Risques, enjeux*  
*et challenges*  
*de l'intelligence artificielle*

De surcroît, le risque d'erreur n'est pas nul. Pour preuve, l'échec de Google Flu Trends, un outil développé par la firme américaine destiné à suivre en temps réel l'évolution de l'épidémie de grippe sur la base des requêtes des citoyens dans le moteur de recherches. De nouvelles études ont montré que le taux d'activité grippale était surestimé et que les prédictions de Google n'étaient pas fiables.

«Il est très important de savoir qu'une vérité mathématique n'est qu'une statistique, autrement dit une construction virtuelle de la réalité et non la réalité elle-même» [115], prévient Christian Lovis.

Pour éviter les dégâts, il va falloir apprendre à utiliser ces nouveaux outils, à connaître leurs limites et leurs dangers. Pour l'heure, ils sont encore imparfaits. «Nous ne devons ni être inquiets, ni naïfs, poursuit le spécialiste. Nous devons revoir la notion d'erreur et considérer que les modèles auxquels nous nous fions sont avant tout prédictifs» [116].

Toutefois, précise Antoine Geissbuhler, «on sait depuis plus de 25 ans que les systèmes d'aide à la décision (alertes, prescriptions automatisées) permettent d'améliorer la qualité des décisions médico-soignantes et que, couplés à des systèmes de documentation et de traçabilité, on peut aussi améliorer la sécurité des soins».

Le potentiel de l'IA pour améliorer les soins de santé est indiscutable. La question est de savoir comment l'intégrer avec succès dans nos systèmes de santé. Pour ce faire, nous devons surmonter les limitations techniques et médicales, ainsi que les obstacles réglementaires, apaiser les préoccupations éthiques et atténuer la tendance à la superposition de la technologie. La toute première étape devrait être de se familiariser avec ce que l'IA signifie vraiment car la révolution est en marche, et on ne l'arrêtera pas.

## **1- Limitations technologiques**

Le terme IA peut être trompeur dans de nombreux cas car il implique une technologie beaucoup plus développée qu'elle ne l'est en ce moment. Au mieux, la technologie actuelle - c'est-à-dire diverses méthodes d'apprentissage automatique - est capable d'atteindre l'ANI dans divers domaines. Pourtant, cela se développe à une vitesse incroyable.

Ces programmes étroitement intelligents battent les humains dans des tâches spécifiques, comme le supercalculateur Deep Blue d'IBM, mais ces algorithmes ne sont pas capables de conduire des voitures ou de créer de l'art. La résolution de ces autres tâches nécessite la construction d'autres programmes étroits, ce qui représente un défi immense. Pourtant, il y a une croissance incroyable de la capacité des ordinateurs à comprendre les images et la vidéo ainsi que du texte dans le cadre de traitement du langage naturel. Le premier est largement utilisé maintenant dans les soins de santé, par exemple dans le domaine de l'imagerie médicale.

Michelle Zhou, qui a passé plus d'une décennie et demie chez IBM Research et IBM Watson Group avant de partir pour devenir un co-fondateur de Juji, une start-up d'analyse de sentiment, a classé ANI pour The New Yorker comme intelligence de reconnaissance [117], et la première étape de l'IA.

Cela signifie que les algorithmes qui s'exécutent sur des ordinateurs toujours plus puissants peuvent actuellement reconnaître des motifs et glaner des sujets à partir de blocs de texte ou déduire la signification de documents entiers à partir de quelques phrases. Pourtant, nous ne sommes nulle part proches de l'AGI, ce niveau d'intelligence lorsqu'une machine est capable d'abstraire des concepts à partir d'expériences limitées et de transférer des connaissances entre domaines.

## **2- Limitations médicales**

Pour éviter de surcharger la technologie, les limites médicales de l'ANI actuel doivent également être reconnues. Dans le cas de la reconnaissance d'images et de l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage machine et d'apprentissage profond à des fins de radiologie, il y a le risque d'alimenter l'ordinateur non seulement avec des milliers d'images mais aussi avec des biais sous-jacents.

De plus, les prévisions et capacités prédictives des algorithmes intelligents sont ancrées dans des cas antérieurs - cependant, elles pourraient être inutiles dans de nouveaux cas d'effets secondaires ou de résistance au traitement.

D'un autre côté, la rationalisation et la standardisation des dossiers médicaux de telle sorte que les algorithmes puissent les comprendre signifient une autre énorme limite dans l'introduction de l'ANI dans les services hospitaliers pour les tâches administratives. Il existe de nombreux hôpitaux où les médecins griffonnent encore leurs notes sur les dossiers des patients. Comment l'ordinateur devrait-il donner un sens à ces notes si même la personne qui a écrit cela ne peut pas le lire deux semaines plus tard ?

## **3- Qualité des données**

Ces interrogations soulignent le fait que la valeur provient davantage encore des données nécessaires à l'apprentissage que de l'algorithme lui-même. En conséquence, les entreprises ou les administrations doivent se concentrer sur l'identification des données susceptibles d'être utilisées et sur les modalités concrètes d'exploitation (mise à disposition des données, éventuellement mutualisation, en conservant le contrôle des exploitations qui en sont faites ou en bénéficiant d'un juste retour).

Pour certains, l'atout majeur des données réside dans l'exhaustivité : tout est mesuré, sous tous ses aspects. Cette exhaustivité ferait disparaître de facto toute problématique de biais, sinon de représentativité, d'échantillonnage et de puissance statistique. En réalité, il existe nécessairement tout un pan d'activités n'entrant pas dans l'horizon du Big Data, et plus dangereusement, tout un ensemble de la population [118].

À ce jour, une partie seulement de la population est réellement « mesurée », et cette partie n'est pas nécessairement majoritaire, et encore moins représentative.

Aux inégalités d'accès pourraient alors s'ajouter des inégalités de représentation, ce qui est déjà le cas dans certaines études et sources mobilisées. La culture, les goûts personnels, la liberté de chacun ou encore la littératie sont autant de facteurs jouant probablement sur l'adhésion consciente ou inconsciente à un système de représentation numérique des différentes dimensions de la vie individuelle et sociale. Le Big Data, aussi big soit-il, ne traitera pas d'autres données que celles qui existent et lui sont accessibles.

Plus que la sensibilisation des organisations à la valeur des données en tant que ressources essentielles à l'entraînement des algorithmes d'IA, il est indispensable pour ne pas tomber dans «Un enjeu de souveraineté nationale» d'inciter les acteurs publics et privés à œuvrer pour des conditions optimales de stockage des données et d'améliorer le degré de raffinement des données utilisées car un pays qui ne sera pas ou plus capable d'analyser les données qu'il génère deviendra de facto dépendant de solutions extérieures, sans en avoir la maîtrise, ce qui pose par ailleurs un sujet de souveraineté nationale s'agissant de données de santé [119].

Les données médicales ne sont pas théoriquement aujourd'hui exportables. Chaque pays a donc la nécessité d'acquérir, de traiter et de stocker ses propres données pour éviter que des standards leur soient imposés par l'extérieur.

#### **4- Défis éthiques**

Pourtant, les limites médicales et technologiques de l'IA ainsi que l'ANI sera toujours plus facile à surmonter que les questions éthiques et juridiques.

Qui est à blâmer si un algorithme intelligent fait une erreur et ne repère pas un nodule cancéreux sur une radiographie pulmonaire ? À qui pourrait-on se tourner quand l'IA arrive avec une fausse prédiction ? Qui va construire dans les dispositifs de sécurité si l'IA ne se retournera pas sur les humains ? Quelles seront les règles et les règlements pour décider en sécurité ?

Ces questions éthiques et juridiques complexes devraient être résolues si nous voulons atteindre le stade de l'AGI en toute sécurité [120].

En outre, l'ANI et, à un certain point, l'AGI, devraient être mis en œuvre avec précaution et progressivement afin de donner du temps et de l'espace pour cartographier les risques et les inconvénients potentiels. Les groupes de recherche indépendants en bioéthique, ainsi que les garde-fous médicaux, devraient surveiller le processus de près. C'est exactement ce que fait Open AI Foundation à plus grande échelle. C'est une IA à but non lucratif, entreprise de recherche, découvrant et promouvant le chemin vers une AGI sûre.

Leur travail est inestimable, car ils font des recherches à long terme, et peuvent aider à établir des normes éthiques sur la façon d'utiliser IA aux différents niveaux de la santé [121].

## **5- Meilleures réglementations**

La FDA a approuvé le premier algorithme d'apprentissage en profondeur basé sur le cloud pour l'imagerie cardiaque développé par Arterys en 2017; ce qui est un grand pas vers l'avenir. Cependant, les réglementations autour de l'IA sont généralement à la traîne ou sont littéralement inexistantes [122].

Les décideurs politiques devraient plutôt prendre de l'avance sur les vagues technologiques et guider le processus de mise en œuvre de l'IA dans les soins de santé selon les principes et les normes éthiques qu'ils élaborent avec d'autres intervenants de l'industrie.

De plus, ils devraient inciter les entreprises à mettre à table les solutions de l'IA et en gardant l'accent sur le patient tout le temps. Les gouvernements et les décideurs politiques devraient également aider à établir des normes sur l'utilisation de l'IA car nous avons besoin de directives spécifiques allant des plus petites unités (professionnels de la santé) jusqu'aux plus complexes (systèmes de soins de santé au niveau national).

## **6- Fausses idées**

Commercialiser les capacités de l'IA à travers des tactiques de marketing et des représentations médiatiques trop simplifiées ne fait que détruire une image saine sur la façon dont l'IA pourrait contribuer aux soins de santé. Cela s'ajoute également au brouillard de confusion et aux fausses idées qui doivent être éclaircies lorsqu'on souhaite implémenter la technologie avec succès dans nos systèmes de soins de santé.

Définitions d'apprentissage automatique, d'apprentissage en profondeur, d'algorithmes intelligents, d'ANI, d'AGI ou d'autres termes et concepts autour de l'IA ont besoin d'être traité avec soin.

La même chose vaut pour son impact dans les soins de santé. L'histoire de Facebook fermant une IA expérimentée parce que les chatbots ont développé leur propre langue et ont commencé à converser en excluant les humains du processus [123], a été déformée par de nombreux sites d'information de l'Inde à Hong Kong, aggravant les craintes sur l'IA de devenir consciente et visant à détruire la race humaine.

## **7- Rejet humain**

Les craintes à propos de l'IA sur l'éradication de l'humanité va de pair avec des déclarations exagérées sur l'IA arrivant aux emplois de professionnels de la santé. Même Stephen Hawking a déclaré que le développement de l'IA complète pourrait signifier la fin de la race humaine [124]. Elon Musk l'a confirmé.

De plus, on dit que l'IA prend le travail des radiologistes, que les robots surpassent les compétences des chirurgiens, ou visent à prendre de nombreux emplois dans le secteur pharmaceutique. Pas étonnant que la communauté médicale rejette l'IA.

Les craintes autour de l'IA sont compréhensibles car si peu d'entre nous comprennent réellement comment la technologie fonctionne dans les moindres détails. Et ce que nous ne comprenons pas, nous avons tendance à le rejeter. Plus encore, si les leaders d'opinion ou les médias ont tendance à traiter la question avec exagération et extrémités. Et même si cela prendra du temps pour qu'on s'habitue à la technologie, il est recommandé à tout le monde d'être ouvert d'esprit et de se familiariser avec le concept d'utilisation de l'IA dans la vie de tous les jours.

# *Conclusion*

Le monde de la santé sera confronté à des défis spécifiques liés à l'arrivée des IA. Les impacts humains seront importants et la politique de formation indispensable. Les risques associés à ces bouleversements nourriront certainement des craintes et des comportements de méfiance. Cependant, le pessimisme technologique serait le pire des guides en la matière. Et s'il y a un risque à agir en faveur des applications de l'IA dans le domaine de la santé, il y a aussi un risque à ne pas agir et à être, demain, dépendant de technologies et d'usages qui auront été développés ailleurs et dans un cadre normatif et réglementaire qui ne nous conviendra pas nécessairement. Au contraire, il paraît pertinent d'accompagner ces technologies et de les orienter pour mieux maîtriser les nouveaux usages. Cela implique une grande vigilance aux transformations des métiers, des positionnements, des pratiques.

Mieux anticipés, ces changements seront mieux régulés. Éducation, soutien économique et qualité des données sont autant d'enjeux forts pour la santé dans un monde où l'IA prendra une place croissante.

Avancer sur ces sujets est une question éminemment politique pour le Maroc. Il en va de son positionnement mondial et de sa capacité à faire émerger seul ou dans des coopérations importantes des acteurs concurrents de ceux qui existent d'ores et déjà à l'est ou l'ouest du globe. Mais, actuellement il en est le précurseur en Afrique par l'introduction de SOPHiA.

Sophia Genetics, leader mondial de la médecine basée sur les données, a dévoilé le 24 mars 2017 depuis la Réunion Annuelle du Collège Américain de Génétique et de Génomique Médicale (ACMG) à Phoenix, la liste des hôpitaux et centres africains qui utilisent dès à présent « SOPHiA », l'IA développée par

l'entreprise, dans leurs examens médicaux, afin d'améliorer le diagnostic et les soins des patients sur le continent. A noter que sur les sept institutions médicales qui utilisent déjà SOPHiA en Afrique, cinq sont marocaines.

Il s'agit du Centre d'Oncologie Al Azhar à Rabat, du Centre de Biologie de Riad à Rabat, du Laboratoire d'Analyses Médicales Les Oudayas à Rabat, de PharmaProcess à Casablanca et d'ImmCell à Rabat.

Ces structures ont adopté SOPHiA pour être rapidement en mesure d'analyser des données génomiques, identifier les mutations à l'origine de maladies dans le profil génomique de leurs patients et décider par là des soins les plus appropriés. En tant que nouveaux utilisateurs de SOPHiA, ils rejoignent un vaste réseau de 260 hôpitaux dans 46 pays, qui partagent des observations cliniques alimentant une base de connaissances biomédicales afin d'accélérer les diagnostics et les soins [125].

Enfin, l'IA ne remplacera pas les médecins. Pourtant, les professionnels de la santé qui utilisent l'IA remplaceront ceux qui ne le font pas.

# *Résumés*

## **RESUME**

**Titre** : La médecine à l'ère de l'intelligence artificielle

**Auteur** : Aicha GUELLI

**Mots clés** : Applications - Diagnostic - Enjeux - Intelligence Artificielle - Médecine

L'intelligence artificielle visant à imiter les fonctions cognitives humaines a récemment dépassé les performances humaines dans plusieurs domaines, elle apporte un changement de paradigme en médecine, alimentée par la disponibilité croissante des données des malades/maladies et la progression rapide des techniques d'analyse. Son potentiel d'exploiter les relations dans un ensemble de données peut être utilisé dans le diagnostic, le traitement et la prédiction des résultats dans de nombreux cas cliniques.

Notre travail bibliographique vise à présenter l'évolution de cette nouvelle technologie, introduire les plus grands acteurs mondiaux de l'intelligence artificielle dans le domaine de la santé, aussi à découvrir l'état actuel de l'intelligence artificielle en médecine, puis discuter son développement future et étudier en détail ses applications dans les principales spécialités de la santé : Radiologie, Oncologie, Chirurgie, Cardiologie, Psychiatrie et Diabétologie.

Au cours des prochaines années, l'intelligence artificielle effectuera une part importante des décisions de diagnostic et de traitement des maladies traditionnellement effectuées par un médecin, cette thèse discutera la place du médecin par rapport à ce changement de paradigme et les avantages de cette nouvelle technologie ainsi que les défis auxquels il pourrait faire face et enfin la formation dont il aura besoin pour bien l'utiliser.

L'intelligence artificielle ne remplacera pas les médecins. Pourtant, les professionnels de la santé qui utilisent l'intelligence artificielle remplaceront ceux qui ne le font pas.

# **ABSTRACT**

**Title:** The medicine in the Age of Artificial Intelligence

**Author:** Aicha GUELLI

**Keywords:** Applications - Artificial Intelligence - Diagnostics - Issues - Medicine

Artificial intelligence aiming to mimic human cognitive functions has recently surpassed human performance in several domains; it is bringing a paradigm shift to healthcare, fueled by the increasing availability of healthcare data and rapid progress of analytics techniques. Its potential to exploit meaningful relationships within a data set can be used in the diagnosis, treatment, and prediction of outcomes in many clinical scenarios.

Our bibliographic work aims to present the evolution of this new technology, to introduce the biggest global players in artificial intelligence in the field of health. Also to discover the current state of artificial intelligence in medicine, then discuss its future development and study in detail its applications in the main specialties of health: Radiology, Oncology, Surgery, Cardiology, Psychiatry and Diabetology.

Over the coming years artificial intelligence will perform a significant amount of the diagnostic and treatment decision-making traditionally performed by the doctor, this thesis will discuss the doctor's place in relation to this paradigm shift and the benefits of this new technology. As well as the challenges he might face and the training he will need to make the right use of it.

Artificial intelligence will not replace doctors. Yet, health professionals who use artificial intelligence will replace those who do not.

# المخلص

العنوان: الطب في عصر الذكاء الاصطناعي

المؤلف: عائشة كيلي

الكلمات الأساسية: الذكاء الاصطناعي - الطب - التطبيقات - التشخيص - التحديات

تجاوز الذكاء الاصطناعي الذي يهدف لمحاكات القدرات الذهنية البشرية وأنماط عملها، الأداء البشري في العديد من المجالات. مما أدى إلى تحول جذري في مجال الطب. هذا التحول يغذيه توافر بيانات المرضى و الأمراض في السنين الاخيرة، والتطور السريع للتقنيات التحليلية الذي يمكن من استغلال العلاقات بين قواعد بيانات من أجل تشخيص ومعالجة وتتبا النتائج في العديد من الحالات الطبية. يهدف عملنا البيولوجرافي إلى التعريف بالمؤسسات الرائدة في مجال الذكاء الاصطناعي في العالم، ثم تقييم الوضع الراهن لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجال الطب، مناقشة مستقبله و كذلك التركيز على دور الذكاء الاصطناعي في خلق طفرة في مجموعة من أهم التخصصات الطبية الحيوية: الأشعة ، السرطان ، الجراحة ، الطب النفسي ،امراض السكري وطب القلب. في غضون السنوات القادمة، سيقوم الذكاء الاصطناعي بدور كبير في عملية تشخيص وعلاج المرضى، الدور الذي كان يقوم به الطبيب عادة. ستناقش هذه الرسالة العلاقة بين فوائد هذه التقنية الجديدة والتحديات التي قد يواجهها طبيب الغد.

الذكاء الاصطناعي لن يحل محل الأطباء لكن العاملين في مجال الصحة الذين يستخدمون الذكاء الاصطناعي سيحلون محل أولئك الذين لا يستخدمونه.

# *Bibliographie et Webographie*

- [1] « **Intelligence** », in **Alain Rey (dir.)**, Dictionnaire historique de la langue française, Le Robert, 2016, p. 1164
- [2] « **Machine d'Anticythère** : Google célèbre l'ancêtre des calculateurs », lepoint.fr, 17 mai 2017
- [3] **John McCarthy, Marvin L. Minsky, Nathaniel Rochester et Claude E. Shannon**, « A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. August 31,1955 », AI Magazine, vol. 27, n° 4, hiver 2006, p. 12-14
- [4] Intervention de Hiroshi Ishiguro, « the future life supported by Robotic Avatars », au Global Future 2045 International Congress, New York, 15-16 juin 2013, youtube.com
- [5] **Hiroshi Ishiguro** : Robots like mine will replace pop stars and Hollywood actors, Internation business, Times, 22nd of March, 2015
- [6] **Dominique Desbois**, in « La place de l'a priori dans l'analyse des données économiques ou le programme fort des méthodes inductives au service de l'hétérodoxie », Revue Modulad, n° 39, décembre 2008, p. 176
- [7] **Pedro Domingos**, The Master Algorithm. How the quest for the ultimate learning machine will remake our world, Basic Books, 2015
- [8] **Yves Caseau et Serge Soudoplatov**, La Blockchain, ou la confiance distribuée, Fondation pour l'innovation politique, juin 2016

- [9] **voir** : <http://www.image-net.org/>
- [10] **Dave Gershgorn**, « The data that transformed AI research—and possibly the world », [qz.com](http://qz.com), 26 juillet 2017  
([qz.com/1034972/the-data-that-changed-the-direction-of-ai-research-and-possibly-the-world/](http://qz.com/1034972/the-data-that-changed-the-direction-of-ai-research-and-possibly-the-world/)).
- [11] « **Large Scale Visual Recognition Challenge 2017** » : [image-net.org/challenges/LSVRC/2017/index](http://image-net.org/challenges/LSVRC/2017/index)
- [12] Pour des statistiques en temps réel, voir [www.internetlivestats.com/one-second/](http://www.internetlivestats.com/one-second/)
- [13] Voir [www.trends.google.com/trends/explore?q=Macron,Trump](http://www.trends.google.com/trends/explore?q=Macron,Trump)
- [14] Voir [www.trends.google.fr/trends](http://www.trends.google.fr/trends)
- [15] Voir [www.aws.amazon.com/fr/public-datasets/](http://www.aws.amazon.com/fr/public-datasets/) et [www.kaggle.com/datasets](http://www.kaggle.com/datasets)
- [16] Seth Stephens-Davidowitz, *Everybody Lies. Big Data, New Data, and What the Internet Can Tell Us About Who We Really Are*, Dey Street Books, 2017
- [17] Andrew Myers, « An artificial intelligence algorithm developed by Stanford researchers can determine a neighborhood's political leanings by its cars », [standford.edu](http://standford.edu), 28 novembre 2017
- [18] What's new, Atlas? Boston Dynamics ; Voir [www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I](http://www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I)

- [19] **Michael Copeland**, « What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning? », [nvidia.com](http://nvidia.com), 29 juillet 2016
- [20] **Voir** « AlphaGoZero: Learning from scratch », [www.deepmind.com/blog/alphago-zero-learning-scratch/](http://www.deepmind.com/blog/alphago-zero-learning-scratch/)
- [21] **Voir** « Apprentissage machine sur AWS » : [www.aws.amazon.com/fr/machine-learning/](http://www.aws.amazon.com/fr/machine-learning/).
- [22] **Sam Shrad**, « Facebook is using artificial intelligence to spot suicidal tendencies in its users », [businessinsider.com](http://businessinsider.com), 28 novembre 2017
- [23] « Facebook today cannot exist without AI » (Steven Levy, « Inside Facebook's AI machine », [wired.com](http://wired.com), 23 septembre 2017, [www.wired.com/2017/02/inside-facebooks-ai-machine/](http://www.wired.com/2017/02/inside-facebooks-ai-machine/)).
- [24] « Apple Machine Learning Journal » : [www.machinelearning.apple.com/](http://www.machinelearning.apple.com/).
- [25] « Jeopardy, The IBM Challenge. About IBM Watson Fact Sheet » , ([www.07.ibm.com/systems/hk/power/news/pdf/IBM\\_Watson\\_Fact\\_Sheet.pdf](http://www.07.ibm.com/systems/hk/power/news/pdf/IBM_Watson_Fact_Sheet.pdf))
- [26] « Built with Watson, Stories of how Watson and AI are transforming our world », [ibm.com](http://ibm.com) ([www.ibm.com/blogs/watson/](http://www.ibm.com/blogs/watson/))
- [27] « Build on the AI platform business », [ibm.com](http://ibm.com) ([www.ibm.com/watson/developer/](http://www.ibm.com/watson/developer/))
- [28] « Machine learning in the hands of every developer and data scientist », [amazon.com](http://amazon.com) ([aws.amazon.com/machine-learning/](http://aws.amazon.com/machine-learning/))

- [29] « Facebook AI Research (FAIR) », fb.com  
(research.fb.com/category/facebook-ai-research-fair/)
- [30] « Caffe2, A new lightweight, modular, and scalable deep learning framework », fb.com (research.fb.com/downloads/caffe2/)
- [31] **Raj Reddy**, « Foundations and Grand Challenges of Artificial Intelligence », AI Magazine, vol. 9, n° 4, hiver 1988, p. 9-21
- [32] Richard et Daniel Susskind, The Future of Professions. How technology will transform the work of Human Experts, Oxford University Press, 2015
- [33] **Idriss J. Aberkane**, Économie de la connaissance, Fondation pour l'innovation politique, mai 2015 (www.fondapol.org/etude/idriss-j-aberkan-economie-de-la-connaissance/)
- [34] Voir National Human Genome Research Institute  
(www.genome.gov/sequencingcosts)
- [35] Voir [www.23andme.com/en-int/](http://www.23andme.com/en-int/)
- [36] National center for biotechnology information
- [37] Greg Ip, « How Robots May Make Radiologists' Jobs Easier, Not Redundant », The Wall Street Journal, 22 novembre 2017
- [38] **Nicolas Bouzou et Christophe Marques**, Hôpital : libérer l'innovation, Fondation pour l'innovation politique, février 2017  
(www.fondapol.org/etude/nicolas-bouzou-et-christophe-marques-hopital-liberer-linnovation/)

- [39] « Pourquoi la moitié des hôpitaux vont adopter l'intelligence artificielle d'ici 5 ans », [lespecialiste.be](http://lespecialiste.be), 18 juillet 2017 (article disponible en accès réservé sur [www.lespecialiste.be/fr/actualites/medical/pourquoi-lamoitie-des-hopitaux-vont-adopter-l-rsquo-intelligence-artificielle-d-rsquo-ici-5-ans.html](http://www.lespecialiste.be/fr/actualites/medical/pourquoi-lamoitie-des-hopitaux-vont-adopter-l-rsquo-intelligence-artificielle-d-rsquo-ici-5-ans.html))
- [40] **Livre blanc par le Cnom en janvier 2015**, voir : [www.conseil-national.medecin.fr/sites/default/files/medecins-sante-connectee.pdf](http://www.conseil-national.medecin.fr/sites/default/files/medecins-sante-connectee.pdf)
- [41] Luc, **Pierron** – Antoine, Evennou. La santé à l'heure de l'intelligence artificielle. 5 décembre 2017 , 11-3
- [42] **Luc, Pierron** – Antoine, Evennou. La santé à l'heure de l'intelligence artificielle. 5 décembre 2017 , 13-5
- [43] **Medicen Paris Region**, Intelligence Artificielle au service de l'imagerie médicale et de la médecine de précision, 20 juin 2017 à l'Institut Curie, disponible sur <http://www.thema-radiologie.fr/actualites/1804/comment-l-intelligence-artificielle-modifiera-les-pratiques-des-radiologues.html>
- [44] **Hervé, LECKET**. Quel sera le rôle de l'intelligence artificielle en imagerie médicale ? 2017 , disponible sur [www.santopta.fr/wp-content/.../Prospective-IA-en-Imagerie-Dr-Imago-1](http://www.santopta.fr/wp-content/.../Prospective-IA-en-Imagerie-Dr-Imago-1)
- [45] Voir <https://healthmanagement.org/c/imaging/news/artificial-intelligence-virtual-radiologyconsultant>
- [46] Voir [http://www.eng.tau.ac.il/research/laboratories/mip\\_lab/](http://www.eng.tau.ac.il/research/laboratories/mip_lab/)
- [47] Voir 5. <https://www.ibm.com/watson/health/imaging/>

- [48] Society of Interventional Radiology. « Artificial intelligence virtual consultant helps deliver better patient care : ‘Deep learning’ artificial intelligence provides accurate, timely interventional radiology advice to health care providers. » ScienceDaily, 8 March 2017. [www.sciencedaily.com/releases/2017/03/170308114842.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2017/03/170308114842.htm)
- [49] **Luc, Pierron** – Antoine, Evennou. La santé à l’heure de l’intelligence artificielle. 5 décembre 2017 , 10-1
- [50] **Michel, Bouvier**. Université de Montréal, 24 Novembre 2017. Intelligence Artificielle : Quel Impact pour les Sciences de la Santé et la Pharmacie? 16-8. Disponible sur [http://aqpp.opus3.com/images/2017docs/3CONF\\_Intelligence\\_Bouvier\\_Vend.9h45.pdf](http://aqpp.opus3.com/images/2017docs/3CONF_Intelligence_Bouvier_Vend.9h45.pdf)
- [51] Voir [www.intelligenceartificielle.over-blog.com/3-applications-intelligence-artificielle-medecine.html](http://www.intelligenceartificielle.over-blog.com/3-applications-intelligence-artificielle-medecine.html)
- [52] Robot chirurgical Da Vinci, voir [https://www.google.com.tr/search?q=da+vinci+chirurgie+robotique&biw=1024&bih=662&source=lnms&tbn=isch&tbs=qdr:y&sa=X&ved=0ahUKEwjPvLT6n9bbAhWnK5oKHSmcBz0Q\\_AUICigB](https://www.google.com.tr/search?q=da+vinci+chirurgie+robotique&biw=1024&bih=662&source=lnms&tbn=isch&tbs=qdr:y&sa=X&ved=0ahUKEwjPvLT6n9bbAhWnK5oKHSmcBz0Q_AUICigB)
- [53] Robot chirurgical Rosa, voir [www.google.com.tr/search?q=robot+rosa+chirurgie&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwixweWaoTbbAhXmQpoKHZRKCYcQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=662](http://www.google.com.tr/search?q=robot+rosa+chirurgie&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwixweWaoTbbAhXmQpoKHZRKCYcQ_AUICigB&biw=1024&bih=662)

- [54] **Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. et al**, Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017;542:115–118
- [55] **Steve Gschmeissner**/Getty Images/Science P
- [56] **Photographie**: Steve Gschmeissner/Getty Images/Science P
- [57] **Oishi,Y.Kitta,T**. Automated diagnosis of prostate cancer location by artificial intelligence in multiparametric MRI March 2018, Volume 17, Issue 2, 888-9
- [58] Voir [www.alamyimages.fr/photo-image-traitement-chirurgical-du-cancer-de-la-prostate-la-prostatectomie-radicale-robot-chirurgical-da-vinci-lequipe-de-chirurgiens-de-medecins-madina-azparren-urologie-167631363.html](http://www.alamyimages.fr/photo-image-traitement-chirurgical-du-cancer-de-la-prostate-la-prostatectomie-radicale-robot-chirurgical-da-vinci-lequipe-de-chirurgiens-de-medecins-madina-azparren-urologie-167631363.html)
- [59] **Zuley ML, Jarosz R, Kirk S, et al**. 2016. Radiology Data from The Cancer Genome Atlas Head-Neck Squamous Cell Carcinoma [TCGA-HNSC] collection. The Cancer Imaging Archive.
- [60] **Clark K, Vendt B, Smith K, et al**. 2013. The Cancer Imaging Archive (TCIA): Maintaining and Operating a Public Information Repository. *Journal of Digital Imaging*, 26:6:1045-1057
- [61] **Andrew Wong, Jinzhong Yang, Michalis Aristophanous**. Deep Learning Algorithm for Auto-Delineation of High-Risk Oropharyngeal Clinical Target Volumes With Built-In Dice Similarity Coefficient Parameter Optimization Function. *International Journal of Radiation Oncology\*Biography\*Physics*, 2018; 101 (2): 468

- [62] **Labianca R, Nordlinger B, Beretta GD. et al.** Early colon cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol* 2013; 24 (Suppl. 06) vi64-72
- [63] : Voir  
[www.medicinenet.com/colon\\_cancer/article.htm#colon\\_cancer\\_facts](http://www.medicinenet.com/colon_cancer/article.htm#colon_cancer_facts)
- [64] **Tagliafico, A.S., Calabrese, M., Mariscotti, G., Durando, M., Tosto, S., Monetti, F. et al,** Adjunct screening with tomosynthesis or ultrasound in women with mammography-negative dense breasts: interim report of a prospective comparative trial. *J Clin Oncol.* 2016;34:1882–1888
- [65] **Lower, E., Khan, S., Kennedy, D., and R. Baughman.** Discordance of the Estrogen Receptor and HER-2/neu in Breast Cancer From Primary Lesion to First and Second Metastatic Site. *Breast Cancer* (Dove Medical Press). 2017. 5:515-520
- [66] : **Michel, Bouvier. Université de Montréal,** 24 Novembre 2017. Intelligence Artificielle : Quel Impact pour les Sciences de la Santé et la Pharmacie? 17. Disponible sur  
[http://aqpp.opus3.com/images/2017docs/3CONF\\_Intelligence\\_Bouvier\\_Vend.9h45.pdf](http://aqpp.opus3.com/images/2017docs/3CONF_Intelligence_Bouvier_Vend.9h45.pdf)
- [67] Voir [www.camelyon16.grand-challenge.org](http://www.camelyon16.grand-challenge.org)
- [68] Voir <https://www.mddionline.com/combining-ai-and-cgm-make-bionic-pancreas>

- [69] **Wood MA, Shulman DI, Pinhas-Hamiel O, et al.** Results of MiniMed™ 670G System in-home use: glycemic outcomes of children, adolescents, and adults. Presented at: ENDO 2018: The Endocrine Society Annual Meeting; Chicago, IL; March 17-20, 2018. Abstract SAT-179.
- [70] **Bailey T, et al.** Accuracy, Precision, and User Performance Evaluation of the CONTOUR®NEXT LINK 2.4 Blood Glucose Monitoring System. Poster presented at the 7th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes (ATTD); 2014 February 5–8
- [71] **V. G. Baxt, S. Shofer, F. D. Sites, J. E. Hollander,** "A neural computational aid to the diagnosis of acute myocardial infarction", *Annals of Emergency Medicine*, vol. 39, no. 3, 2002
- [72] **Bos JM, et al.** Abstract B-PO02-168. Presented at: Heart Rhythm Society Annual Scientific Sessions; May 9-12, 2018; Boston
- [73] **N. Ouyang, M. Ikeda, K. Yamauchi,** "Use of an artificial neural network to analyse an ECG with QS complex in VI–2 leads", *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 35, no. 5, 2002
- [74] **Piette JD, List J, Rana GK, Townsend W, Striplin D, Heisler M.** Mobile Health Devices as Tools for Worldwide Cardiovascular Risk Reduction and Disease Management. *Circulation*. 2015;132:2012–27
- [75] **Angraal S, Krumholz HM, Schulz WL.** Blockchain Technology: Applications in Health Care. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2017;10:e003800

- [76] **Neurobiol Aging.** 2017 Nov;59:80-90.  
doi:10.1016/j.neurobiolaging.2017.06.027. Epub 2017 Jul 11
- [77] **SulanthaMathotaarachchiabTharick A.Pascoal** Identifying incipient dementia individuals using machine learning and amyloid imaging. *Neurobiology of Aging* Vol 59, November 2017, 80-90
- [78] **Xiaonan,Liua Kewei,Chen.** Use of multimodality imaging and artificial intelligence for diagnosis and prognosis of early stages of Alzheimer's disease. *Translational Research* April 2018, Vol 194, 56-67
- [79] **Learning stable and predictive** network-based patterns of schizophrenia and its clinical symptoms Mina Gheiratmand, Irina Rish, Guillermo A. Cecchi, Matthew R. G. Brown, Russell Greiner, Pablo I. Polosecki, Pouya Bashivan, Andrew J. Greenshaw, Rajamannar Ramasubbu & Serdar M. Dursun *npj Schizophrenia* 2017 vol 3, Article number: 22
- [80] **Jungsun,Leeab. Myong-Wuk,Chon.** Diagnostic value of structural and diffusion imaging measures in schizophrenia *NeuroImage* 2018 Clinical Vol 18, 467-474
- [81] **A.Fontana.** Is psychosis caused by defective dissociation? An artificial life model for schizophrenia. *European Journal of Trauma & Dissociation* 2018, Vol 2, Issue 1, 11-9
- [82] **AI takes** on suicide. *New scientist* March 2017, Vol 233, Issue 3116, Page 6
- [83] [www.bloginfosuicide.blogspot.com/2017/10/usa-etude-recherche-lapprentissage.html](http://www.bloginfosuicide.blogspot.com/2017/10/usa-etude-recherche-lapprentissage.html)

- [84] **MA et coll.** Machine learning of neural representations of suicide and emotion concepts identifies suicidal youth. *Nat Hum Behav.* 2017; 1: 911–919 doi:10.1038/s41562-017-0234-y
- [85] **Marouane,Birjalia. Abderrahim,Beni-Hssane** Machine Learning and Semantic Sentiment Analysis based Algorithms for Suicide Sentiment Prediction in Social. Networks *Procedia Computer Science* 2017, Vol 113, 65-72
- [86] **Hannah L. Semigran, BA1;** David M. Levine. Comparison of Physician and Computer Diagnostic Accuracy. *JAMA Intern Med.* 2016;176(12):1860-1861
- [87] [www.fondation-alzheimer.org/4-La-recherche-en-France/40-Plateformes-dediees](http://www.fondation-alzheimer.org/4-La-recherche-en-France/40-Plateformes-dediees)
- [88] **Rishab,Gargeya. Theodore,Leng.** Automated Identification of Diabetic Retinopathy Using Deep Learning *Ophthalmology* July 2017 Vol 124, Issue 7, 962-9
- [89] **Eric J. Topol, The Patient Will See You Now:** The Future of Medicine Is in Your Hands October 2016, 155
- [90] Science Institute [www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2817%2931764-6/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2817%2931764-6/fulltext)
- [91] **Chrystian,Pereira Anusha,McNamara.** Personalizing public health: Your health avatar *Journal of the American Pharmacists Association* 2013, Vol 53, Issue 2, 145-151
- [92] **Dan,Azagury Monica,M.** Image-guided surgery *Current Problems in Surgery* December 2015, Vol 52, Issue 12, 476-520

- [93] **Santosh, Kumar Ravi, Kumara** Manufacturing of Patient specific AM medical models for Complex Surgeries Materials Today: Proceedings 2017, Vol 4, Issue 2, Part A, 1134-1139
- [94] **Sonia, Valladares Rodríguez, Roberto Pérez.** Trends on the application of serious games to neuropsychological evaluation: A scoping review. Journal of Biomedical Informatics, December 2016, Vol 64, 296-319
- [95] [www.sites.arte.tv/futuremag/fr/cesmedecins-qui-soignent-grace-la-realite-virtuellefuturemag](http://www.sites.arte.tv/futuremag/fr/cesmedecins-qui-soignent-grace-la-realite-virtuellefuturemag)
- [96] **Tyler Rose, Chang S. Nam, Karen B. Chen.** Immersion of virtual reality for rehabilitation Applied Ergonomics May 2018, Vol 69, 153-161
- [97] **Voravika, Wattanasoontorn Imma, Boada** Serious games for health Entertainment Computing, December 2013, Vol 4, Issue 4, 231-247
- [98] **Gareth, B. Kitchen Joanne, Humphreys.** Serious games in medical education. Do they have a role in anaesthetic training Trends in Anaesthesia and Critical Care, June 2014, Vol 4, Issues 2–3, 63-6
- [99] **Greg M. Reger, Derek Smolenski.** Does Virtual Reality Increase Emotional Engagement During Exposure for PTSD? Subjective Distress During Prolonged and Virtual Reality. Exposure Therapy Journal of Anxiety Disorders, 8 June 2018

- [100] **Edouard Mazerand**, Marc Le Renard, Sophie Hue, Jean-Michel Lemée. Intraoperative Subcortical Electrical Mapping of the Optic Tract in Awake Surgery Using a VirtualReality Headset. World Neurosurgery, January 2017, Vol 97, 424-430
- [101] **Bertrand, Kiefer**. Watson, l'intelligence artificielle médicalisée. Revue médicale suisse 2015; vol 11. 2044-2045
- [102] [www.cadredesante.com/spip/infos/le-mot-de-la-redaction/article/intelligence-artificielle-et-l-humain-dans-tout-ca](http://www.cadredesante.com/spip/infos/le-mot-de-la-redaction/article/intelligence-artificielle-et-l-humain-dans-tout-ca)
- [103] [www.cpformation.com/formation-intelligence-artificielle](http://www.cpformation.com/formation-intelligence-artificielle)
- [104] [www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-intelligence-artificielle-28-mars-2018\\_0.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-intelligence-artificielle-28-mars-2018_0.pdf)
- [105] [www.eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux/cadre-universitaire/medecine-sante](http://www.eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux/cadre-universitaire/medecine-sante)
- [106] [www.casca.fr/webzine/actualites/assurances-de-personnes/la-sante-a-l-ere-du-numerique-et-de-l-intelligence-artificielle](http://www.casca.fr/webzine/actualites/assurances-de-personnes/la-sante-a-l-ere-du-numerique-et-de-l-intelligence-artificielle)
- [107] [www.sofrasims.fr/medias/files/presentation-sofrasims-juin-2017.pdf](http://www.sofrasims.fr/medias/files/presentation-sofrasims-juin-2017.pdf)
- [108] simulation [www.digitalforallnow.com/videoconference-education-charter-schools-texa](http://www.digitalforallnow.com/videoconference-education-charter-schools-texa)
- [109] **Wright B., McKendree J., Morgan L., Allgar V.L., Brown A.** Examiner and simulated patient ratings of empathy in medical student final year clinical examination: are they useful? BMC Med Educ 2014 ; 14 : 199

- [110] **Bridget, M. Kuehn.** Virtual and Augmented Reality Put a Twist on Medical Education. *Medical News & Perspectives*, 2018 MSJ AMA. 2018;319(8):756-758. doi:10.1001/jama.2017.20800
- [111] [www.hitconsultant.net/2016/07/19/virtual-reality-visualization-platform-to-enhance-patient-engagement](http://www.hitconsultant.net/2016/07/19/virtual-reality-visualization-platform-to-enhance-patient-engagement)
- [112] **e-learning : Ellaway R, Masters K. AMEE Guide 32: e-Learning in medical education Part 1: Learning, teaching and assessment.** *Med Teach* 2015;30(5):455-73
- [113] **Mooc : Harder, B.** (2013). Are MOOCs the future of medical education? *BMJ*, 346, f2666. doi:10.1136/bmj. f2666
- [114] littérature numérique [www.habilomedias.ca](http://www.habilomedias.ca)
- [115] [www.transhumanisme.over-blog.com/2018/01/a-permettant-de-vaincre-les-maladies.html](http://www.transhumanisme.over-blog.com/2018/01/a-permettant-de-vaincre-les-maladies.html)
- [116] [www.planetesante.ch/Magazine/Actualites-et-recherche/Technologie/Intelligence-artificielle-la-medecine-en-mutation](http://www.planetesante.ch/Magazine/Actualites-et-recherche/Technologie/Intelligence-artificielle-la-medecine-en-mutation)
- [117] [www.newyorker.com/business/currency/the-hype-and-hope-of-artificial-intelligence](http://www.newyorker.com/business/currency/the-hype-and-hope-of-artificial-intelligence)
- [118] <http://www.dataversity.net/artificial-intelligence-data-management-ai-innovation/>

- [119] **Ekblaw, A., Azaria, A., & Lippman, A.** (2016, August). A Case Study for Blockchain in Healthcare: “MedRec” prototype for electronic health records and medical research data. In Proceedings of IEEE Open & Big Data Conference
- [120] <https://med.stanford.edu/news/all-news/2018/03/researchers-say-use-of-ai-in-medicine-raises-ethical-questions.html>
- [121] <https://www.forbes.com/sites/arleneweintraub/2018/03/16/artificial-intelligence-is-infiltrating-medicine-but-is-it-ethical/#1fa670093a24>
- [122] [www.frenchfounders.com/news/fabien-beckers-founder-ceo-arterys](http://www.frenchfounders.com/news/fabien-beckers-founder-ceo-arterys)
- [123] [www.snopes.com/facebook-ai-developed-own-language/](http://www.snopes.com/facebook-ai-developed-own-language/)
- [124] [www.bbc.com/news/technology-30290540](http://www.bbc.com/news/technology-30290540)
- [125] [www.medecinepratique.ma/intelligence-artificielle-maroc-precurseur-afrique-n-66](http://www.medecinepratique.ma/intelligence-artificielle-maroc-precurseur-afrique-n-66)



## Serment d'Hippocrate

*Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.*

- *Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.*
- *Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.*
- *Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.*
- *Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.*
- *Les médecins seront mes frères.*
- *Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.*
- *Je maintiendrai le respect de la vie humaine dès la conception.*
- *Même sous la menace, je n'userai pas de mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.*
- *Je m'y engage librement et sur mon honneur.*



# قسم أبقراط

بسم الله الرحمان الرحيم

## أقسم بالله العظيم

في هذه اللحظة التي يتم فيها قبولي عضوا في المهنة الطبية أتعهد علانية:

- بأن أكرس حياتي لخدمة الإنسانية.
- وأن أحترم أساتذتي وأعترف لهم بالجميل الذي يستحقونه.
- وأن أمارس مهنتي بواجب من ضميري وشر في جاعلا صحة مريض هدي في الأول.
- وأن لا أفشي الأسرار المعهودة إلي.
- وأن أحافظ بكل ما لدي من وسائل على الشرف والتقاليد النبيلة لمهنة الطب.
- وأن أعتبر سائر الأطباء إخوة لي.
- وأن أقوم بواجبي نحو مرضاي بدون أي اعتبار ديني أو وطني أو عرقي أو سياسي أو اجتماعي.
- وأن أحافظ بكل حزم على احترام الحياة الإنسانية منذ نشأتها.
- وأن لا أستعمل معلوماتي الطبية بطرق يضر بحقوق الإنسان مهما لاقيت من تهديد.
- بكل هذا أتعهد عن كامل اختيار ومقسما بالله.

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

والتي هي على يد الدكتور الشهيد

## الطب في عصر الذكاء الاصطناعي

### أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم: .....

من طرف

**السيدة: عائشة كيالي**

المزادة في: 14 فبراير 1992 بتطوان

### لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية: الذكاء الاصطناعي – الطب – التطبيقات – التشخيص – التحديات.

#### تحت إشراف اللجنة المكونة من الأساتذة

رئيس

السيد: ميمون زوهدي

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

مشرف

السيد: ياسين سخسوخ

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

السيد: خالد الحدادي

أستاذ في المعالجة بالأشعة والأورام

أعضاء

السيد: بوشعيب رضوان

أستاذ في طب الأشعة

السيد: أنس جعيدي

أستاذ في علم الدم البيولوجي