

# **INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SANTÉ**

## **Enjeux, Promesses**

Bernard Nordlinger

Académie Nationale de Médecine

Président du CESREES

## L'intelligence artificielle

- L'ensemble des théories et les techniques qui permettent à des programmes informatiques de résoudre des problèmes et qui peuvent simuler certains traits de l'intelligence humaine.
- Un calcul rapide, logique, objectif,
- Dans un domaine spécifique
- Entraîné par l'expérience du passé

# L'Intelligence

- Capacité à s'adapter à l'environnement
- Intègre une part non mesurable, non consciente dans le cerveau humain
- L'empathie, la conscience, les émotions, le bon sens
- L'expérience dans des domaines voisins
- Les grandes découvertes doivent à l'instinct, l'intuition au hasard.
- Mais la capacité du cerveau à traiter l'information est limitée
- L'IA peut simuler des sentiments qu'on lui a enseignés

# IA: algorithmes et données

- **Algorithme:** une suite d'opérations permettant de résoudre un problème, de classer l'information, de personnaliser la publicité, d'assister la justice, de guider les déplacements, et il y a de nombreuses applications en santé...
- **Données:** les traces que nous laissons: sur internet, les objets connectés, les banques, pharmacies etc... Elles sont stockées dans des entrepôts publics ou privés
- **In Europe,** chacun a le droit de contrôler l'usage de ses données personnelles

# Les données 1.

- Les traces que nous laissons partout : internet, objets connectés, banques, pharmacies, hôpitaux, assurances, ...
- Données de numérisation des dossiers médicaux, des images radiologiques, histologiques, des analyses du génome...
- Chacun a droit au contrôle de l'usage de ses données personnelles

## Les données; un sujet géopolitique

- Le pouvoir est à ceux qui ont les données
- Les géants d'internet sont américains et chinois et détiennent ensemble environ 60% des données du monde.
- Quelle place pour l'Europe?
  - Plans nationaux :Estonie, Finlande, Allemagne,France....
  - Plan de l'UE
  - RGPD: priorité à la protection de la vie privée

# Protection des données

- **Aspects géopolitiques :**
  - L'UE privilégie la protection des données personnelles: RGPD (2018); condition d'accès au marché unique.
  - Les États Unis les considèrent comme une marchandise régulée par les lois des marchés
  - Certains régimes les utilisent pour contrôler des personnes
- **Les données de santé** doivent être anonymisées pour être ouvertes à la recherche.

# Les données publiques de santé en France

- **Le SNDS** ( Système National des Données de Santé) ouvre l'accès aux données publiques de santé (CNAM, PMSI, registre des décès), à des fins de recherche  
Ces données sont au départ celles de la carte vitale
- **L'Entrepôt national des données de santé ( Health Data Hub)**
  - Guichet unique destiné à faciliter l'accès des chercheurs aux bases de données publiques,
  - SNDS enrichi par les données de registres, cohortes...
- **L'accès aux données de santé est réglementé**
  - 1. Avis du CESREES (Comité éthique et scientifique pour les recherches les études et les évaluations en santé)
  - 2. Autorisation de la CNIL ( Commission nationale informatique et libertés)



**Le cesrees** \* (Comité éthique et scientifique pour les recherches les études et les évaluations en santé)

se prononce sur

L'intérêt scientifique ou sociétal du projet

L'intérêt Public

La méthodologie de la recherche

La conformité à l'éthique

L'information des patients

La protection des données personnelles

L'absence de finalités interdites notamment commerciales

Il examine une cinquantaine de demandes par mois, dont la majorité reçoit un avis favorable, souvent lors d'un deuxième passage, après des améliorations suggérées par le comité

## **Role de la CNIL**

### **(Commission nationale de l'informatique et des libertés)**

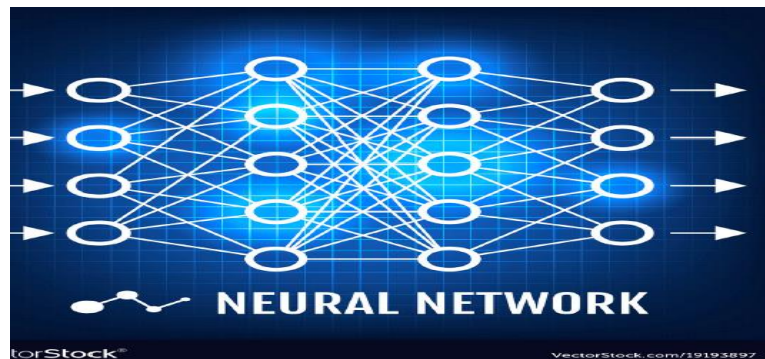
- Protection des données personnelles ; anonymisation et risques éventuels de réidentification ( par exemple lors des appariements de bases)
- Information des personnes; justification des dérogations à l'information individuelle

# Les algorithmes permettent d'analyser les données

- Du nom الخوارزمي Al-Khawarizmi mathématicien arabe du IX<sup>e</sup> siècle
- Suites d'opérations destinées à résoudre un problème
- Classer l'information
- Personnaliser la publicité, cibler les comportements, recommander des produits
- Assister la justice
- Guider les déplacements, GPS...
- en santé...

# Les algorithmes

- Les ingénieurs codent les règles des machines pour résoudre des problèmes
- Les algorithmes s'adaptent aux tâches: apprentissage automatique (machine learning; deep learning)
- L'apprentissage du programme informatique est progressif par feedback à partir des succès et des récompenses
- Les techniques d'apprentissage s'inspirent du fonctionnement du cortex cérébral en simulant des réseaux de neurones



## Applications de l'IA en médecine

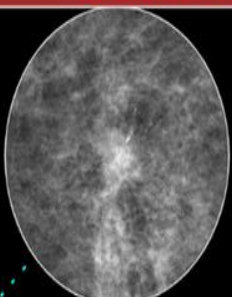
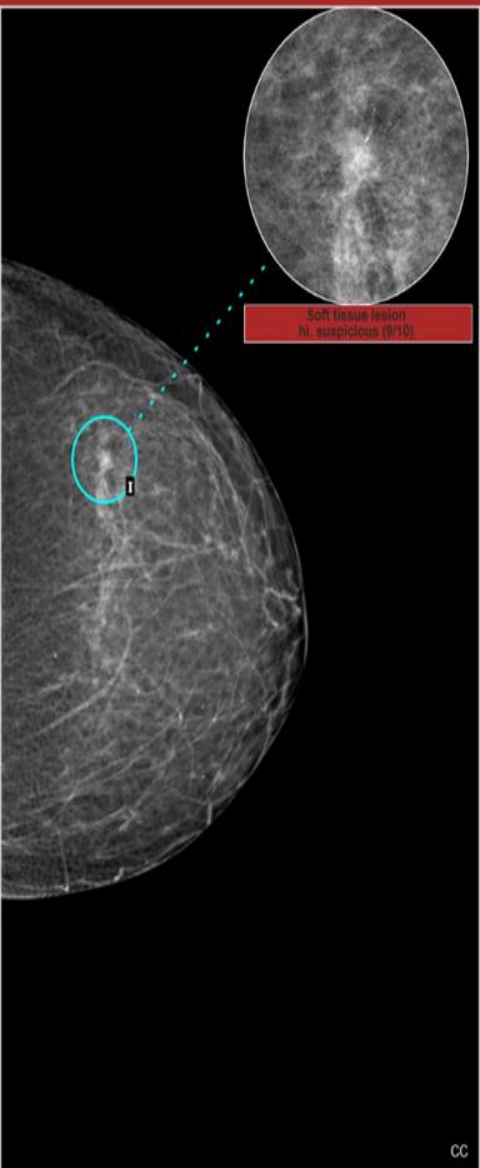
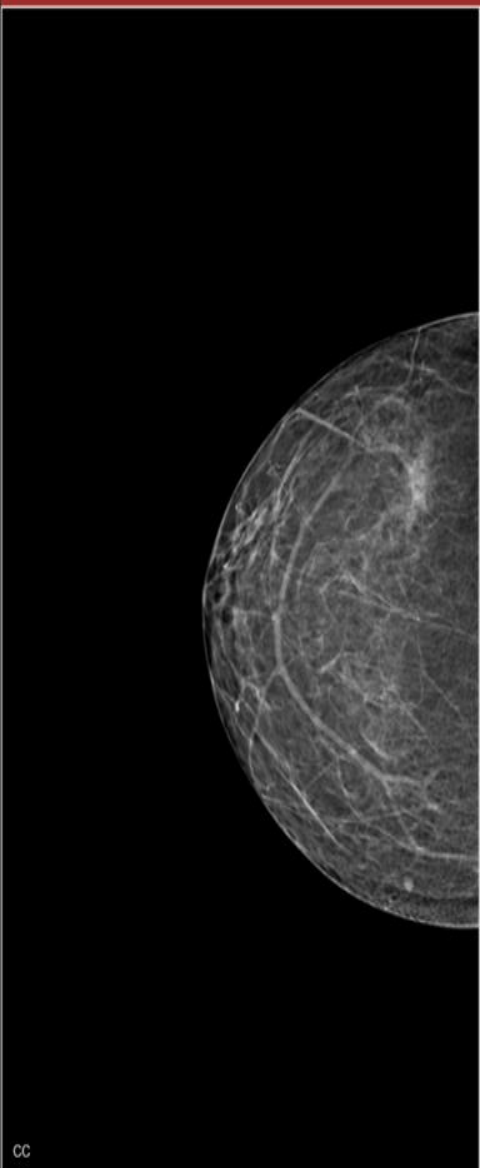
- En premier lieu les spécialités basées sur l'analyse d'images, radiologie, anatomie pathologique, dermatologie, ophtalmologie ...
- Cardiologie, chirurgie, oncologie, psychiatrie, handicap
- Aide au diagnostic et au choix du traitement
- Télémédecine et télédiagnostic
- Dispositifs médicaux
- ...tous les secteurs sont concernés

# Imagerie

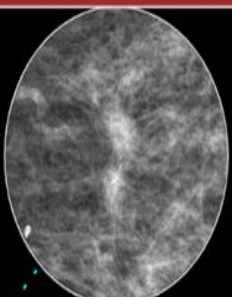
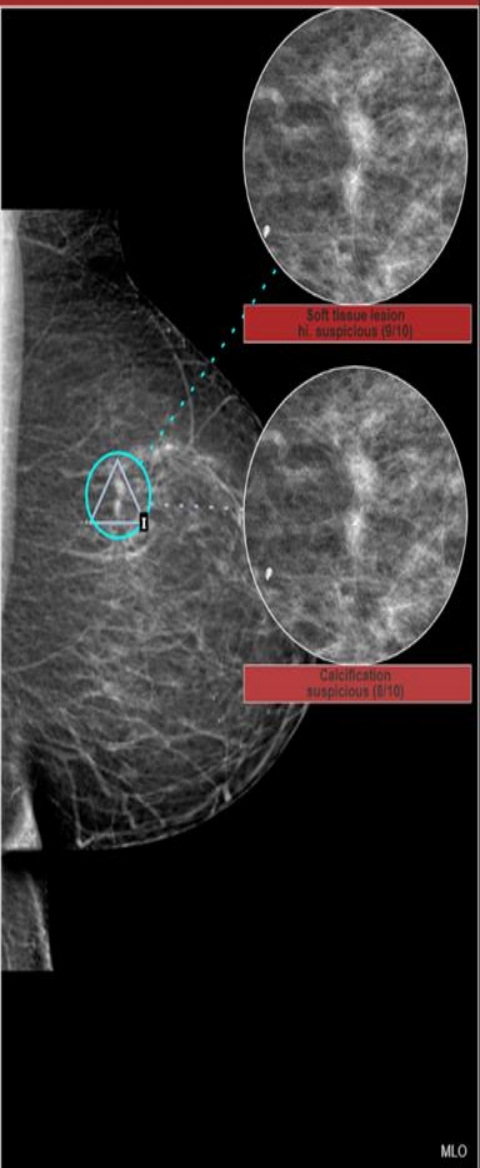
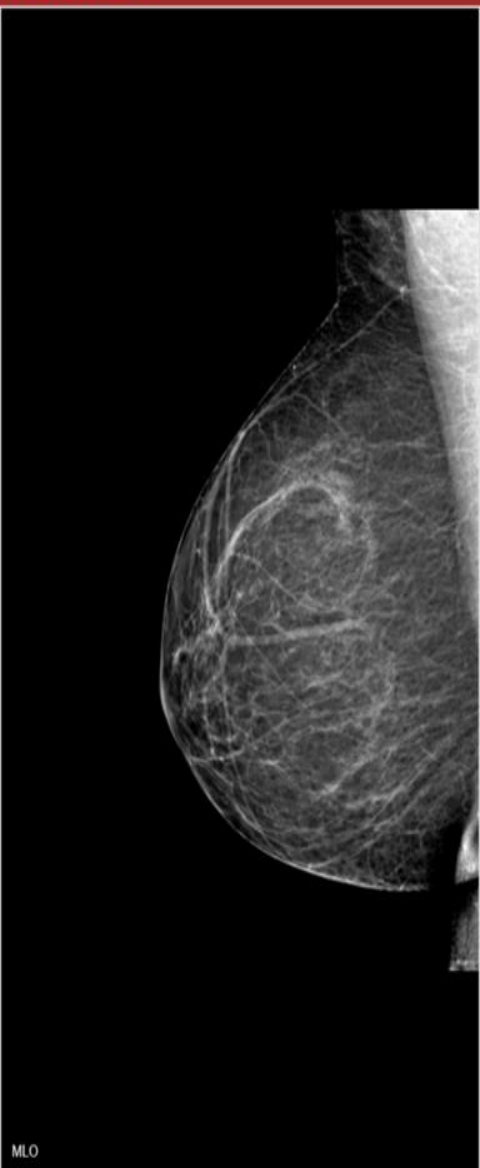
- Le domaine de la santé où l'apport de l'IA est le plus apparent
- La résolution des images descend au pixel (1mm en TDM), informations en partie invisibles par l'oeil humain, mais exploitables grâce aux méthodes d'apprentissage statistique
- Imagerie fonctionnelle: Pet scan ou IRM fonctionnelle
- Imagerie moléculaire couplée à des biomarqueurs marqués
- Modélisation de la progression des tumeurs et des métastases



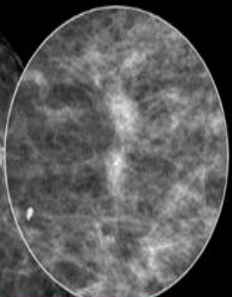
# RECALL - LEFT BREAST



Soft tissue lesion  
BI, suspicious (BI/10)



Soft tissue lesion  
BI, suspicious (BI/10)



Calcification  
suspicious (BI/10)

CC

CC

MLO

MLO

▼ Right breast

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

▲ Left breast

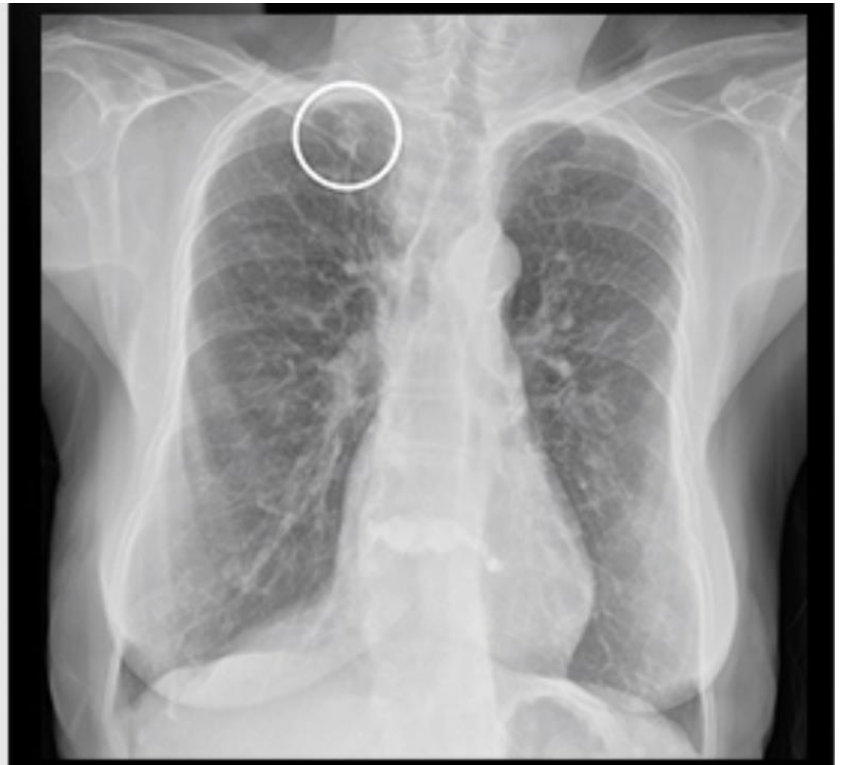
# Therapixel

Export

# Analyse automatique des radiographies



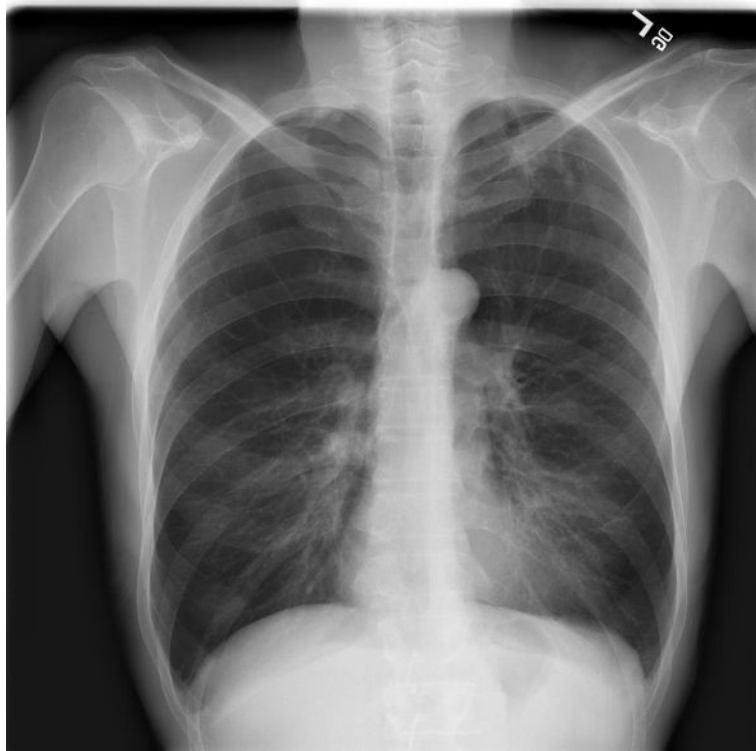
Chest PA without  
Auto Lung Nodule Detection



Chest PA with  
Auto Lung Nodule Detection



# Automatic diagnosis of pneumonia



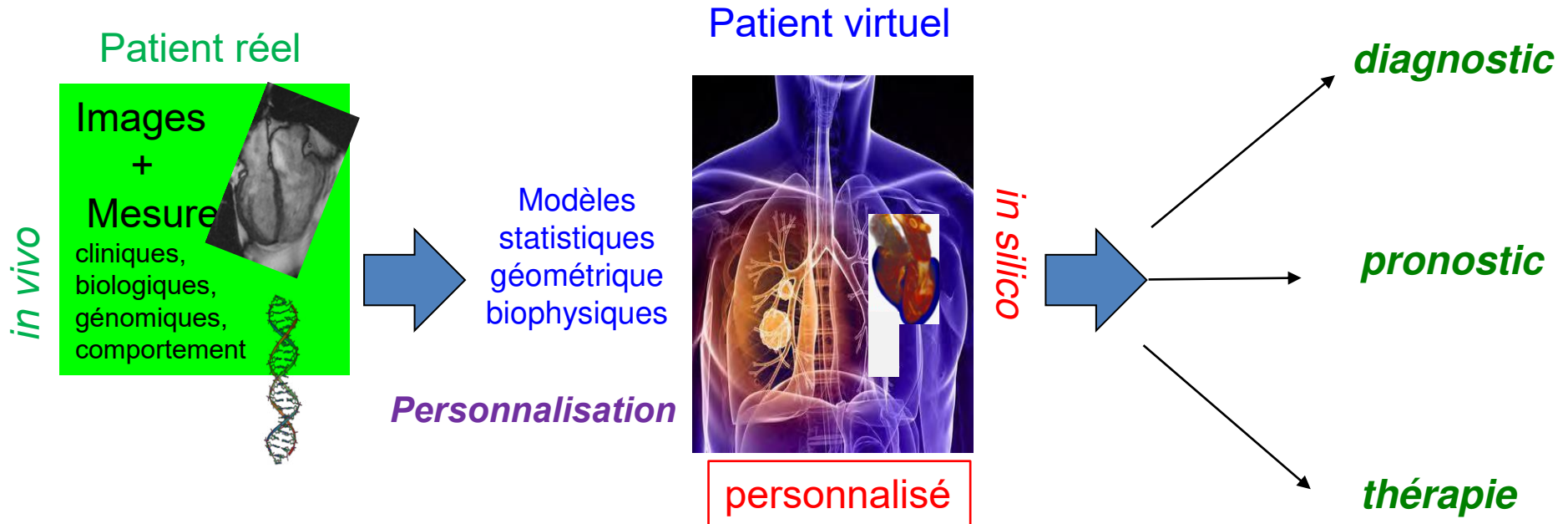
D'après A.Geissbuhler Académie de médecine, 2020,

# La radiomique

- L'image recèle beaucoup plus d'informations que ce que voit l'œil nu
- Ces informations renseignent et sur la morphologie d'une tumeur
- Mais aussi sur sa dynamique ,son évolution et son pronostic

# Jumeau numérique (Inria)

« Médecine numérique »



*N. Ayache* Leçons inaugurales du Collège de France *Fayard*  
2015

# Aide au choix du traitement, au diagnostic

## Prise de rendez-vous

- Tous les géants d'internet s'y sont intéressés, avec plus ou moins de succès, à partir de données collectées sur internet, les objets connectés, ou des contrats avec les hôpitaux
  - États Unis: Google (NHS), IBM Watson for Oncology (Memorial)
  - Chine: Baidu, application qui propose un diagnostic pour pallier le manque de généralistes; Xiaoyi, le robot médecin...
  - UK: Babylon: aide aux rendez-vous, orientation diagnostique
  - et s'y intéressent de plus en plus...
  - Doctolib: prise de rendez-vous, télé-médecine
- Le premier objectif annoncé: aider les médecins à mieux soigner, économiser du temps médical

# Et aider les patients

- Informer
- Orienter
- Ou même, pour certains leur permettre de « prendre le contrôle de leur santé » grâce à internet...



## Aides au diagnostic et au traitement

- L'intérêt reste à confirmer
- Le médecin automatique dépourvu d'empathie n'est pas pour demain et n'est pas souhaitable
- Le médecin «augmenté», sera mieux informé et outillé pour choisir diagnostic et traitement.

## Le numérique en santé: un espoir dans les pays du sud

- Grace aux smartphones: près de 500 M abonnés mobiles en Afrique sub-saharienne 2018
- La tache est immense:
  - Mortalité maternelle et infantile
  - Maladies infectieuses: VIH, paludismes,...
  - Manque de personnel soignant: l'Afrique a moins de 1% des ressources mondiales de santé (OMS)

## Sonde d'échographie connectée à un smartphone



AL Rousseau, ANM, 2019



# Chirurgie

- Les «robots» chirurgicaux sont des télémanipulateurs qui font peu appel à l'IA
- Simulateurs d'interventions pour la formation,
- Organisation de la salle d'opérations

\* N. Padoy,Ircad , Strasbourg

# Psychiatrie/ neurologie

- En psychiatrie
  - Réalité virtuelle comme aide au traitement
  - Analyse d'images vidéo
  - Agents conversationnels
- En neurologie
  - maladies démyélinisantes: évaluation par analyse d'images
  - tumeurs cérébrales
- Stimulation cérébrale: maladie de Parkinson...



# IA et handicap, dépendance

- Personnes âgées, EHPAD: les robots sociaux et affectifs peuvent détecter l'expression et simuler l'émotion mais n'ont pas de conscience\*



PARO réagit aux caresses et aux étreintes

# IA et handicap, dépendance

- L'IA peut être utile pour réparer l'homme malade ou handicapé:
  - exosquelettes
  - interfaces cerveau-machine
  - ...
- Mais pas pour augmenter l'homme sain

# Ecrire par la pensée



Maureen Clerc, INRIA, ANM 2019

# Dermatologie



Navigation menu with categories: Espace, Santé, Nutrition, Nature, Animaux, High-Tech, Archéo, Fondamental, #Sciences. Sub-menu items: Allergies, Cancer, Cerveau & psy, Coeur & cardio, Dermato, Diabète, E-santé, Grossesse, Gynéco. Additional items: Magazine #Sciences Pour les Jeunes, Halloween, Incendie de Rouen, La science de la mort, IA.

SCIENCES ET AVENIR > SANTÉ > DERMATO

 DERMATO

## Une intelligence artificielle capable de reconnaître le mélanome avec 95% d'efficacité

Par Sciences et Avenir avec AFP le 29.05.2018 à 16h47

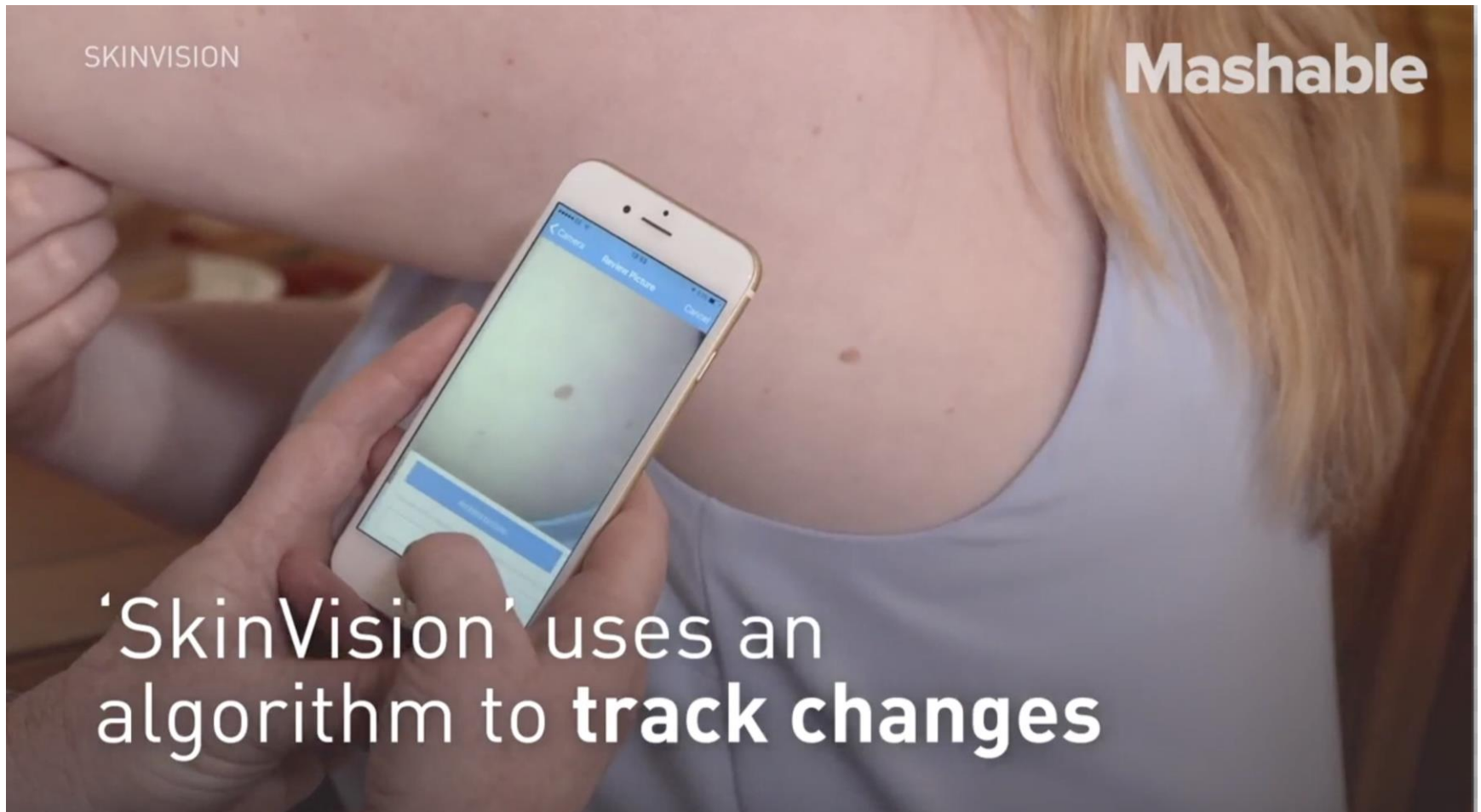
Une équipe de chercheurs allemands, français et américains on conçu un algorithme d'intelligence artificielle pour dépister le cancer de la peau. Ses performances surpassent celles de 58 dermatologues !

SCIENCES ET AVENIR Pour les jeunes

**#Sciences**



# Dermatologie



# Diagnostic de la rétinopathie diabétique par IA

## Diagnostic RD est algorithmique

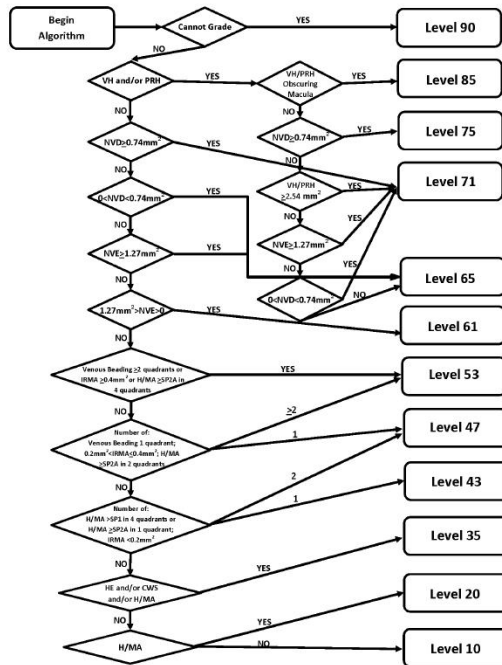


FIGURE 1

ETDRS diabetic severity scoring technique presented as an algorithmic flowchart. The process

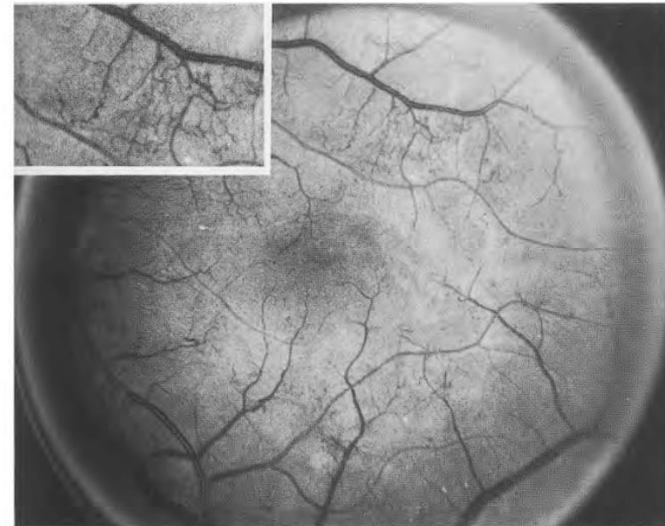


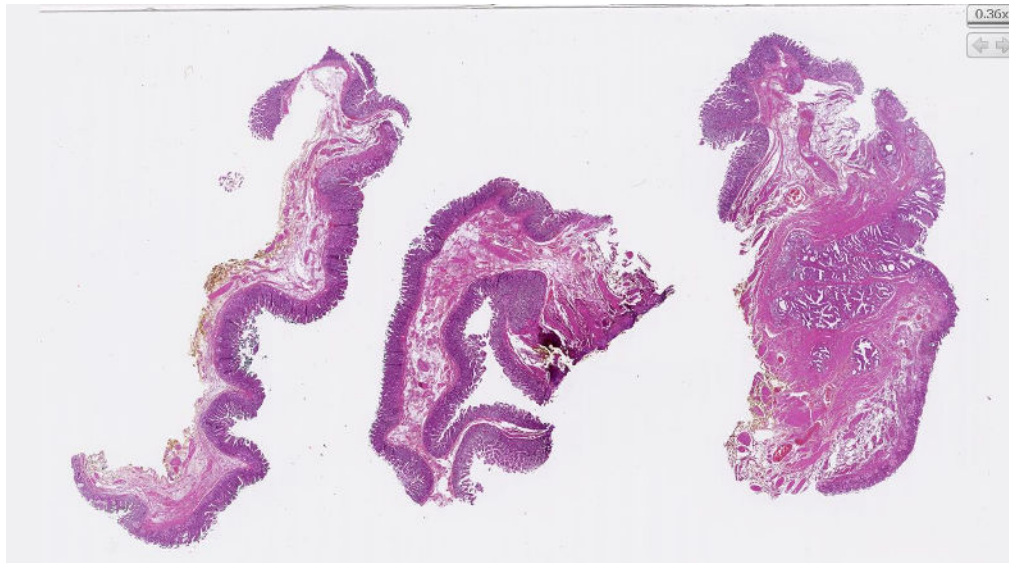
Fig 12. Standard photograph 8B, more severe standard for IRMA, which are present in all quadrants. Inset shows IRMA above and temporal to center of macula.

ETDRS RESEARCH GROUP • GRADING DIABETIC RETINOPATHY

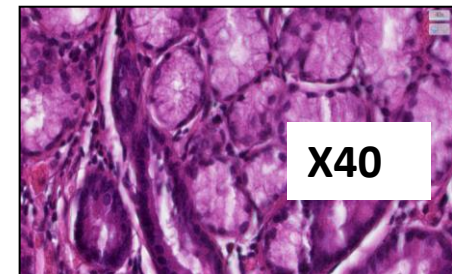
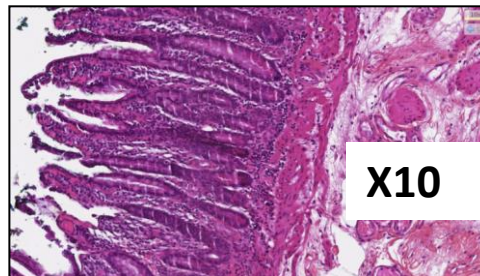
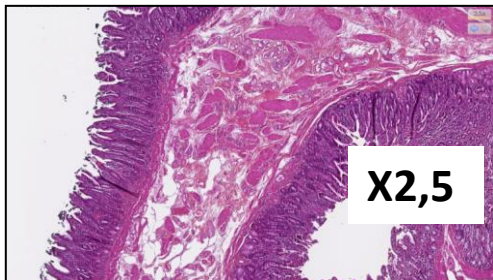
OPHTHALMOLOGY • MAY 1991 • VOLUME 98 • SUPPLEMENT

A.J. Sahel, ANM 2019

# Digital pathology

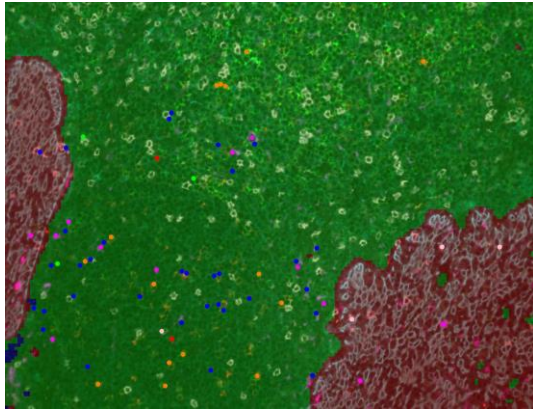


Digital images of colon can be zoomed to different magnifications, and analysed by distant laboratories

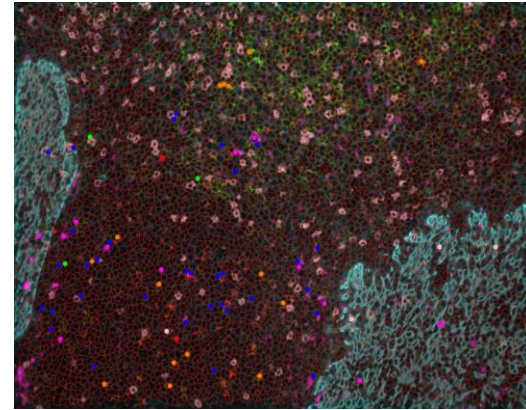


# Automated reading on INFORM software

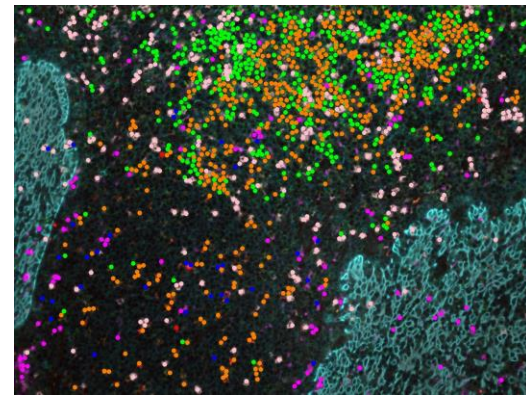
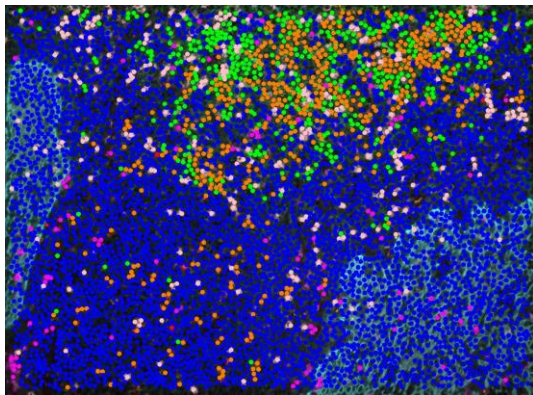
C. Badoual, Paris



A: identification and recognition of the tumor zones (red) or the stroma (green)



B: identification of the different markings and attribution of a color by cellular phenotype.

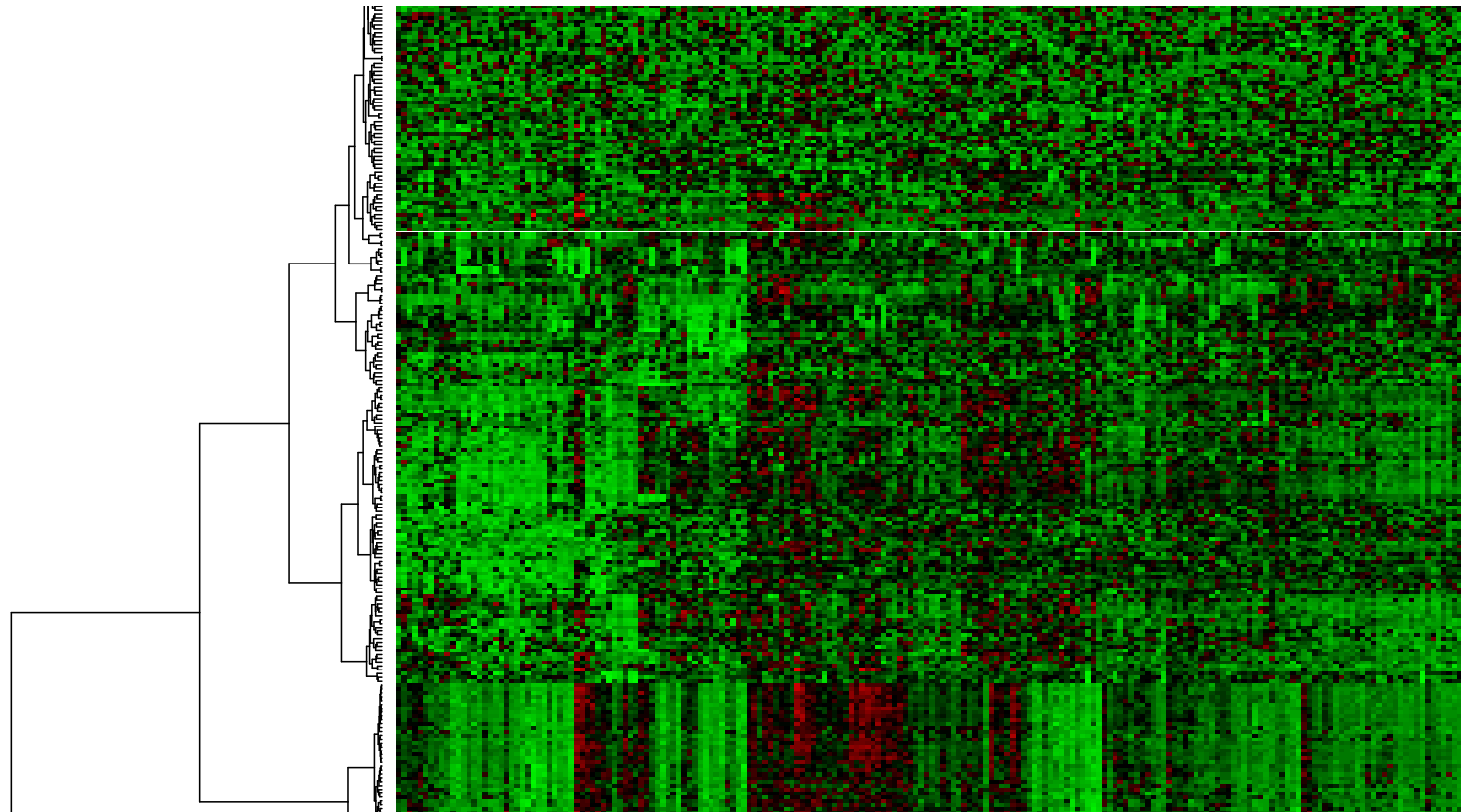


C and D: Search and identification of the cells present on the slide, with their phenotypes, among all the cells of the slide, or among the cells labeled by immunohistochemistry.

# Cancérologie

- L'analyse du génome par séquençage haut débit (RNA seq) et IA permet de trouver l'origine des cancers métastatiques de primitif inconnu (CUP) dans près de 80% des cas

# Classement automatique des cancers du sein selon les gènes exprimés

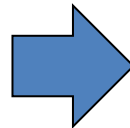
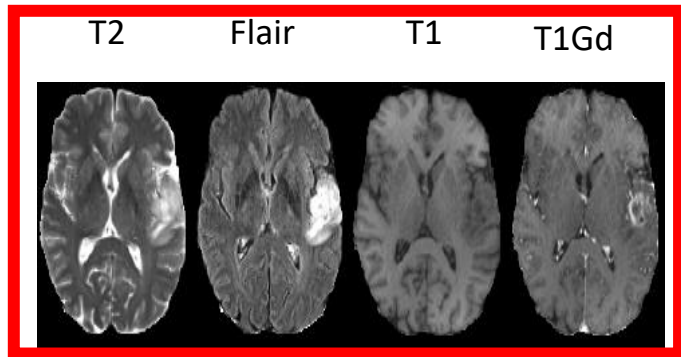


Classification of breast tumors into 5 subclasses, automatically grouping tumors expressing the same gene families. each column represents a breast tumor, and each line represents a gene. J.P. Vert, Paris

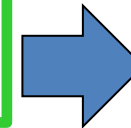
# Tumeurs cérébrales

segmentation

IRM



Réseaux  
de neurones  
2-D et 3-D



Œdème / infiltration

Région proliférante

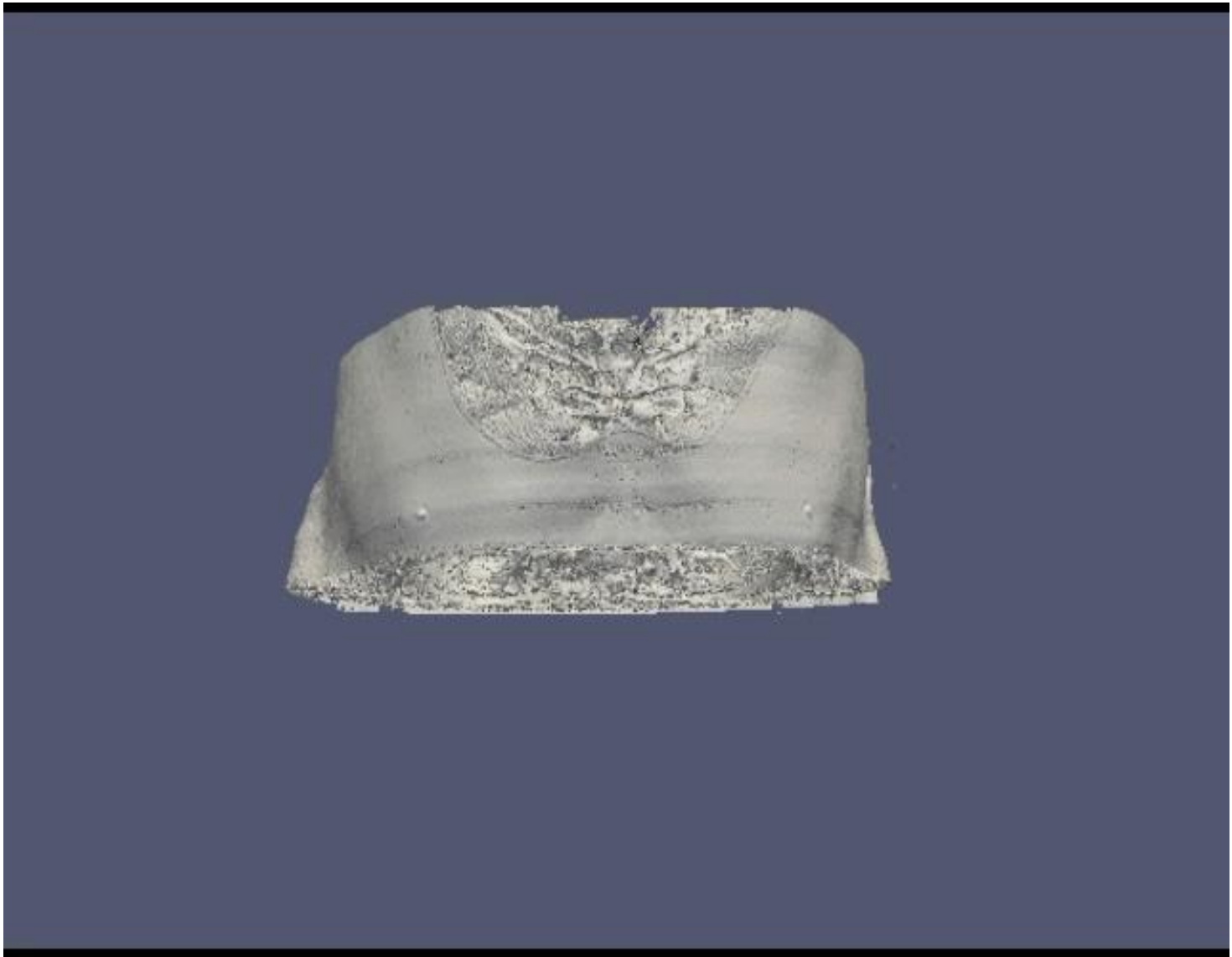
Cœur necrotique

Entraînement : 285 patients

Données : Brats 2017

P. Mlynarski, H Delingette, A Criminisi, and N Ayache. Fusion of 2D and 3D Neural Networks for Tumor Segmentation in Multisequence MR Images. IEEE Tr.. on Medical Imaging, 2019.

# Growth of lung metastasis: 3D aspect.



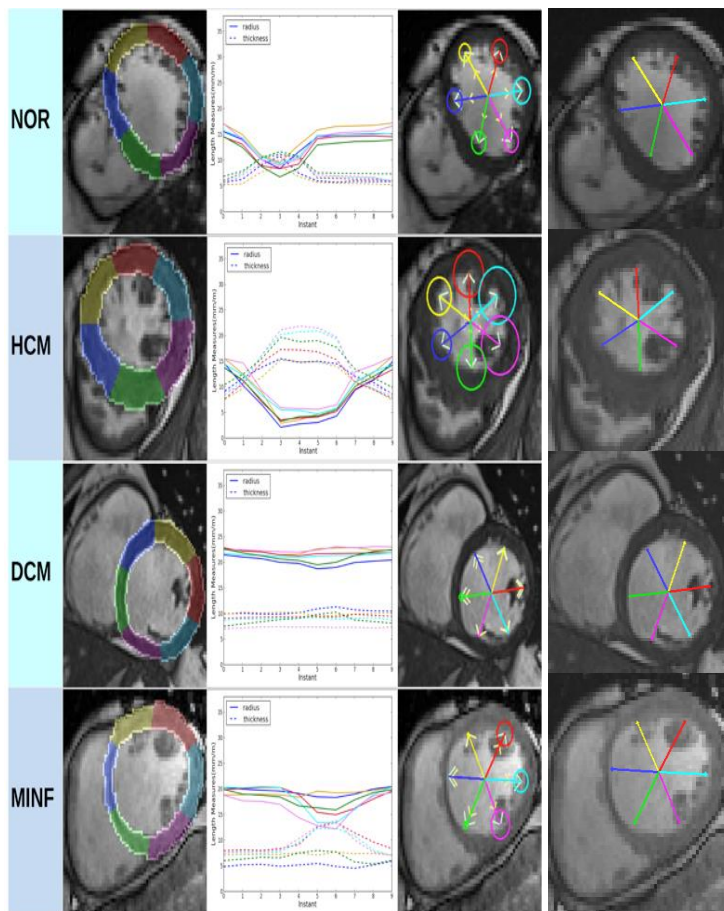


# Cardiologie

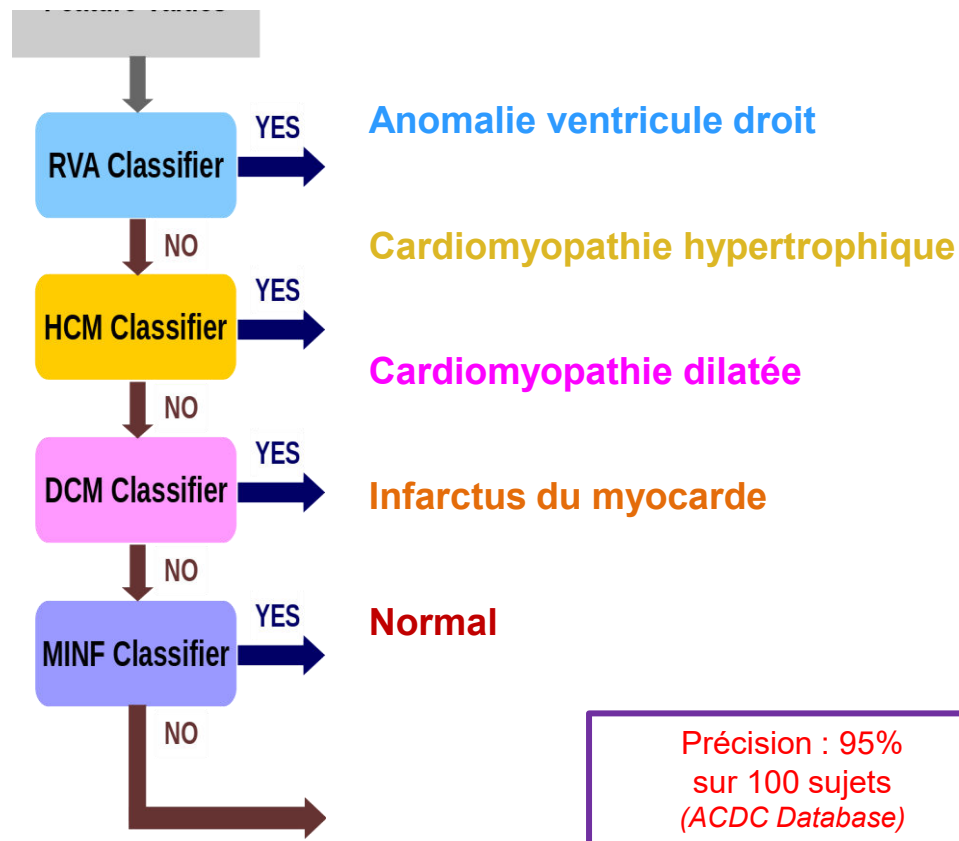
L'apprentissage automatique permet d'analyser les caractéristiques individuelles du cœur pour aider au diagnostic et au traitement

- anatomiques: hypertrophie, séquelles de nécrose
- électriques: troubles du rythme et de la conduction
- mécaniques
- hémodynamiques: insuffisance cardiaque

Réseaux de neurones



Phénotypes  
de **forme** et de  
**mouvement**



Q. Zheng, H Delingette, N Ayache. Explainable Cardiac Pathology Classification by Semi-Supervised Learning...  
Tr. On Medical Imaging 2018 + Medical Image Analysis, 2019

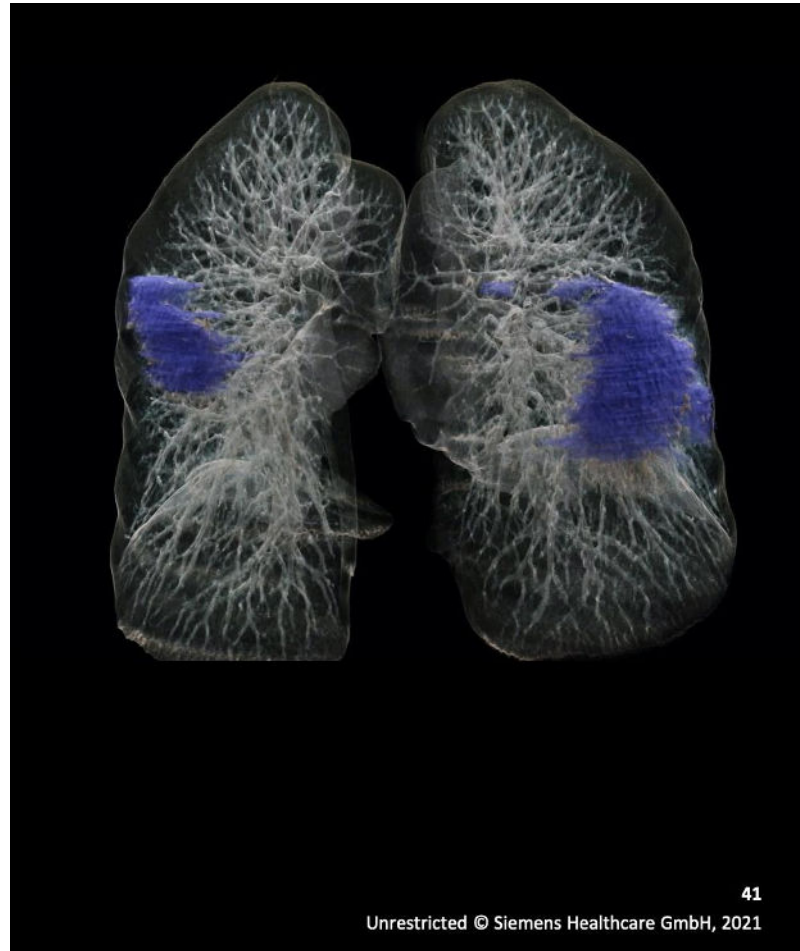
# Numérique et pandémie Covid 19 (1)

- Accélération des applications du numérique
- Télémédecine
- Télé surveillance des dispositifs implantés par exemple pour prédire les risques d'insuffisance cardiaque
- Gestion des appels d'urgence au SAMU
- ...

## Numérique et pandémie Covid 19 (2)

- **Modélisation** de l'évolution de l'épidémie: anticiper les besoins d'hospitalisations et les risques de saturation des réanimations
- **Applications de traçage** StopCovid, TousAntiCovid
- **Gestion des pass** sanitaires
- **Identification des facteurs de gravité**
- Mais l'IA elle même n'a eu qu'un bénéfice modeste dans la connaissance et la gestion de la crise; servira à la prochaine

# Detection automatique de la pneumonie Covid 19



# La cybersécurité, enjeu majeur

- Les établissements de santé sont des cibles fréquentes en raison de la nature des données de santé et de fragilités en matière de sécurité des systèmes d'information
- Les attaques se sont multipliées en 2020
- Les cyberattaques peuvent affecter la confidentialité, l'intégrité ou la disponibilité des systèmes.
- Les rançongiciels chiffrent les données ce qui interrompt le fonctionnement des systèmes d'information visés et les attaquants réclament une rançon en échange de la clé de déchiffrement.
- Les données de santé peuvent aussi être volées à des fins lucratives ou même de renseignement.

# L'hôpital à l'ère du numérique

- Applications nombreuses
- Activités médicales ou la gestion hospitalière
- Dossier médical et prescriptions des médicaments sont informatisés dans 76% des établissements de santé français\*
- Contrôle de l'administration des médicaments
- Orientation des patients par des bornes automatiques ou des agents conversationnels
- ...

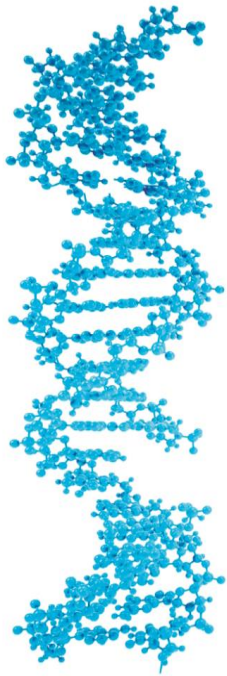
## Impact de l'automatisation sur les métiers de la santé et de l'hôpital

- Difficile à évaluer en général et sur les métiers de la santé en particulier: certains disparaîtront, d'autres seront transformés, de nouveaux emplois seront créés
- Plus d'informaticiens, de data scientists
- Les fonctions de support et d'organisation bénéficient de l'expérience acquise dans d'autres secteurs
- Les spécialités médicales qui utilisent les images doivent être les premières à s'adapter
- Le métier de secrétaire médicale sera modifié
- Les métiers de contact avec les patients ne disparaîtront pas mais devront s'adapter car l'IA n'a pas d'empathie.



# Intelligence artificielle et santé, en résumé

- L'IA est dans nos vies et la santé est au premier rang des secteurs d'impact
- Les professionnels de santé doivent se former à l'usage des nouvelles technologies
- Il faut gagner le défi de la confiance des acteurs et de la population et se garder des fantasmes
- **... artificial intelligence will, for decades to come, be less of a worry than real stupidity.** Martin Rees The Economist Jan 2019



*Sous la direction de*  
**BERNARD NORDLINGER**  
et **CÉDRIC VILLANI**

# Santé et intelligence artificielle

**CNRS EDITIONS**

Bernard Nordlinger  
Cedric Villani  
Daniela Rus *Editors*

# Healthcare and Artificial Intelligence

 Springer