

RB38 – IA SANTÉ

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
ET SYSTÈMES D'INFORMATION HOSPITALIERS

23/03/2023

ANTOINE RICHARD, CHARGÉ DES APPLICATIONS IA, DSN HCL

HCL
HOSPICES CIVILS
DE LYON

www.chu-lyon.fr



PARTIE 1

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

UN PROBLÈME DE TRADUCTION

En anglais, deux définitions de « intelligence » ¹:

- The ability to understand and learn well, and to form judgments and opinions based on reason.

<=> "Intelligence" en français

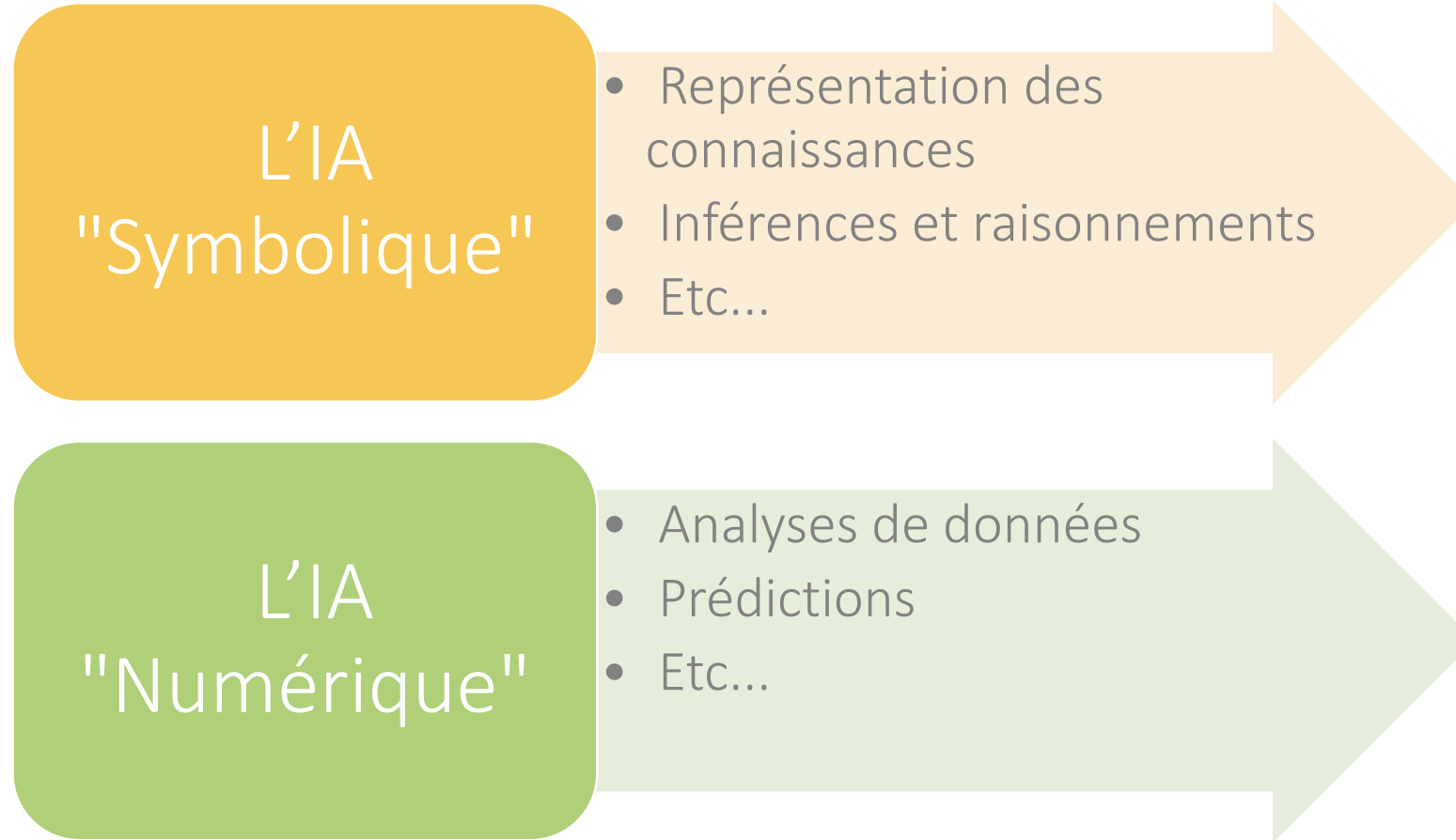
- A government department or other group that gathers information about other countries or enemies, or the information that is gathered.

<=> "Renseignement" en français

1. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/intelligence>

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

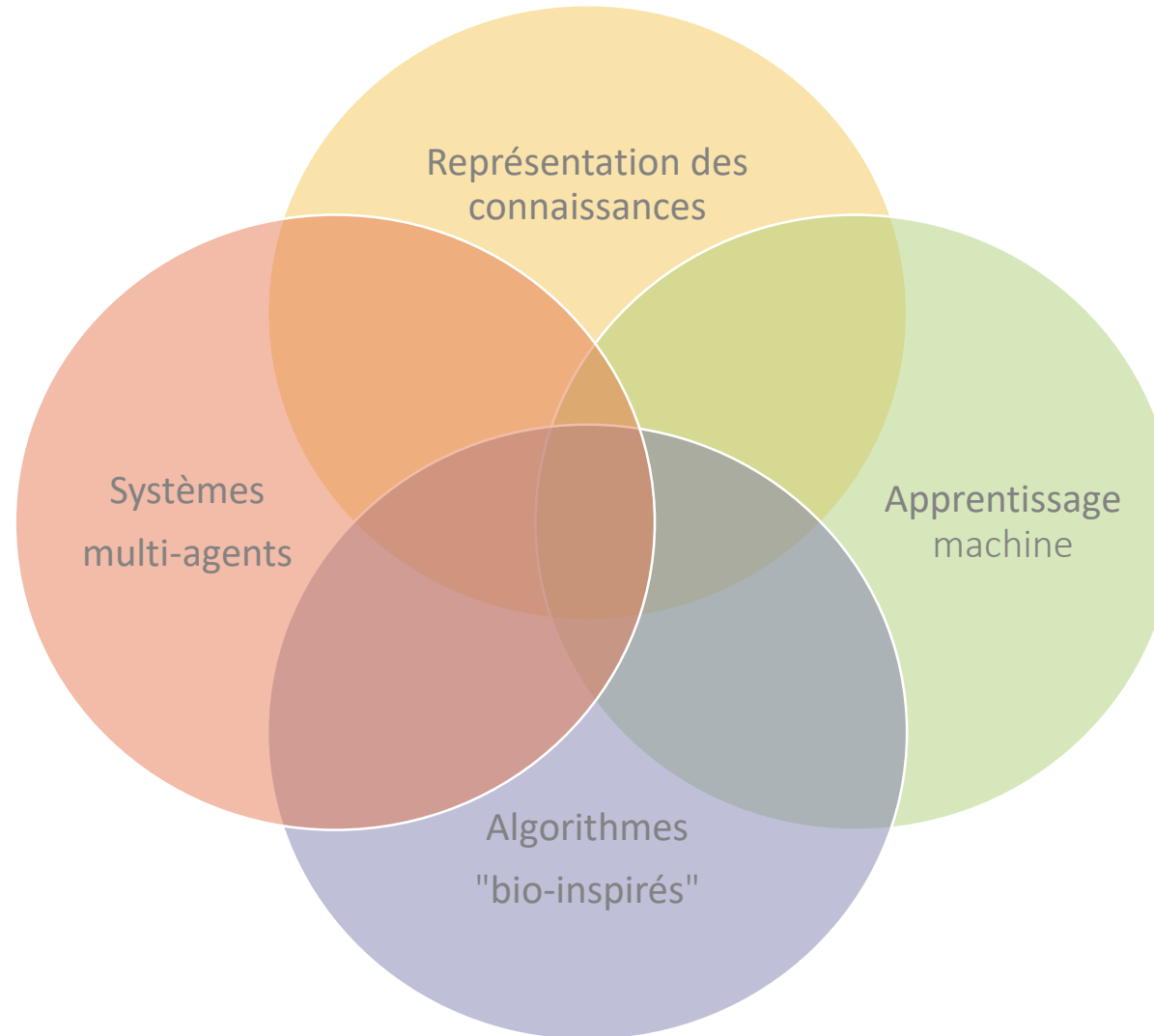
DEUX COURANTS



UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

5

UN VASTE DOMAINE DE RECHERCHE ¹

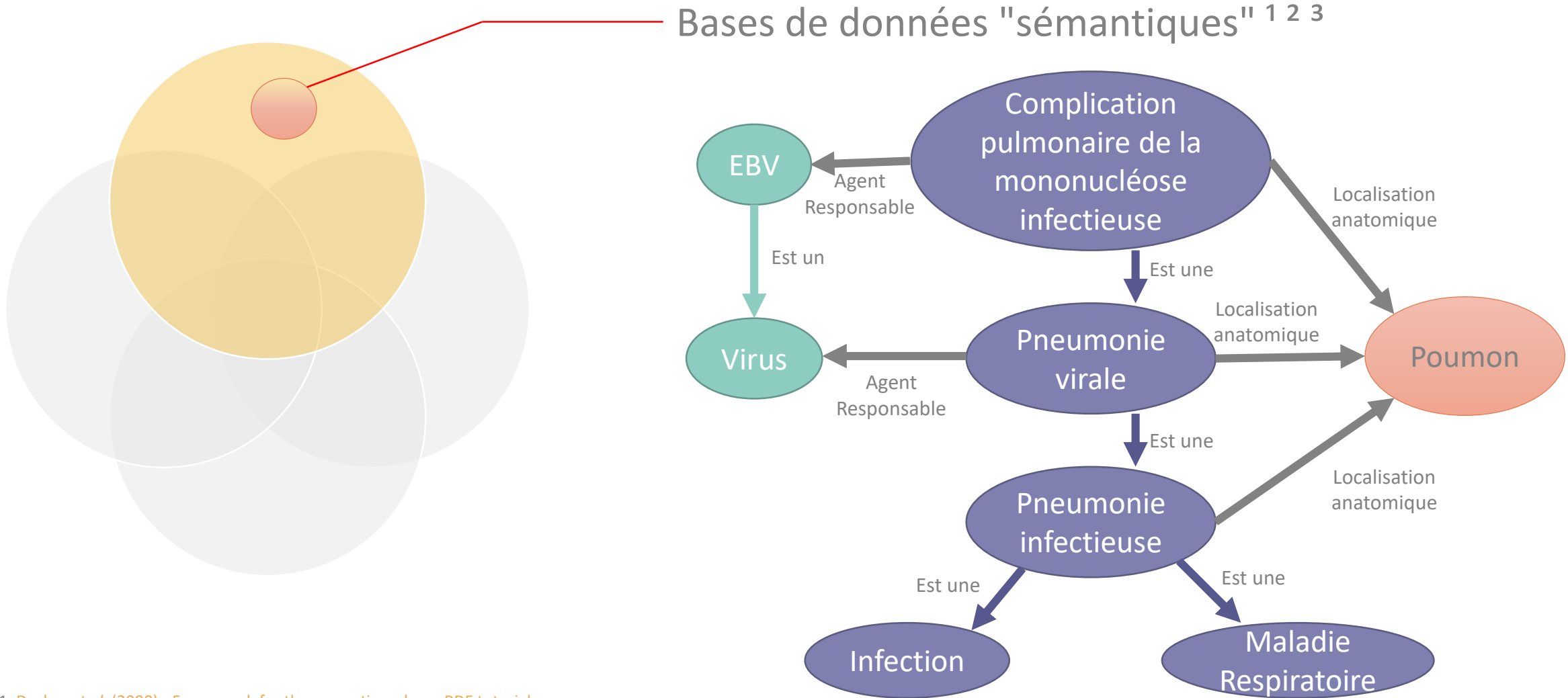


○ Sous-domaine de recherche

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

6

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES

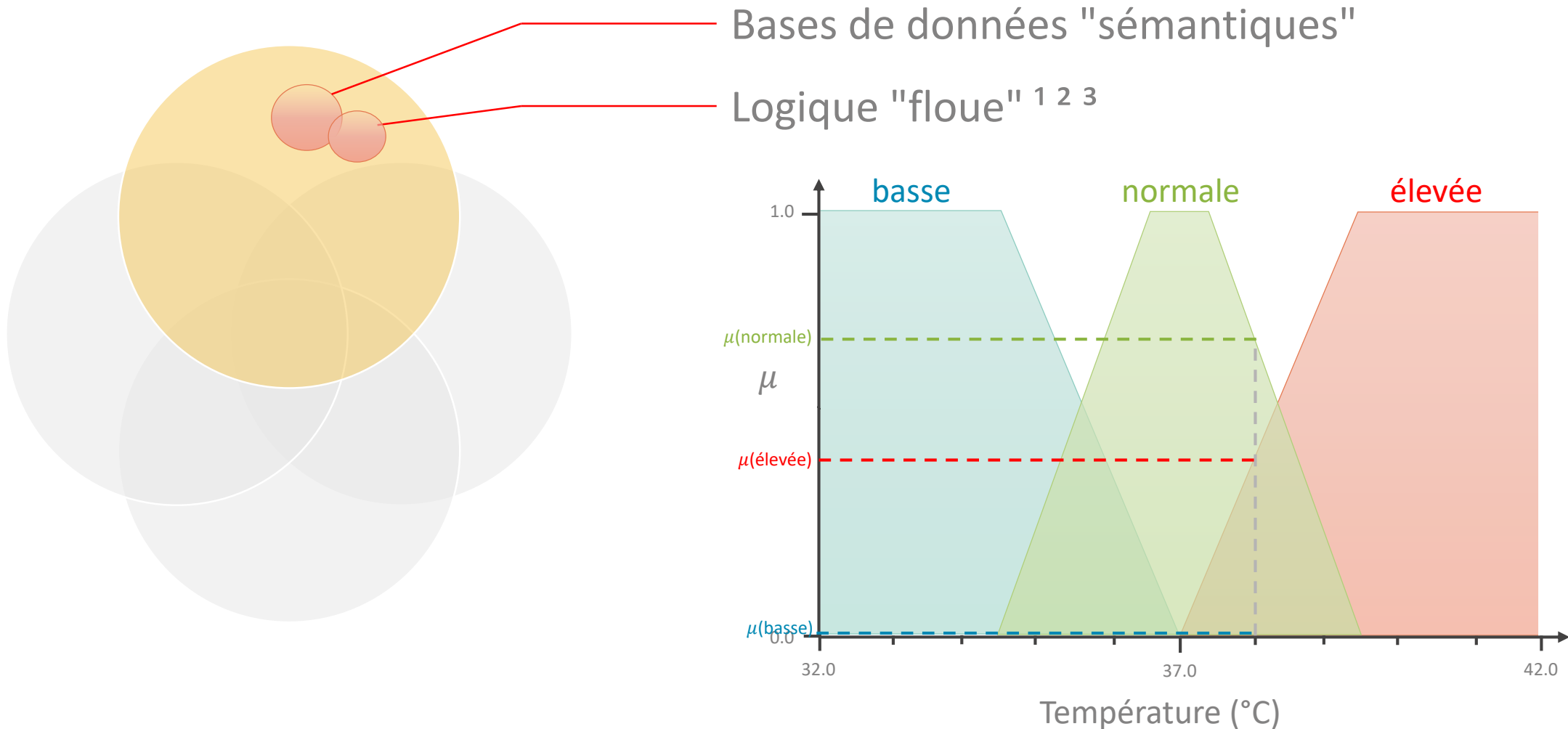


1. [Decker et al. \(2000\)](#) - Framework for the semantic web: an RDF tutorial
2. [Dimitrieski et al. \(2016\)](#) - A survey of ontologies and ontology alignment approaches in healthcare
3. Schéma inspiré de: <https://www.phast.fr/snomed-ct/>

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

7

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES

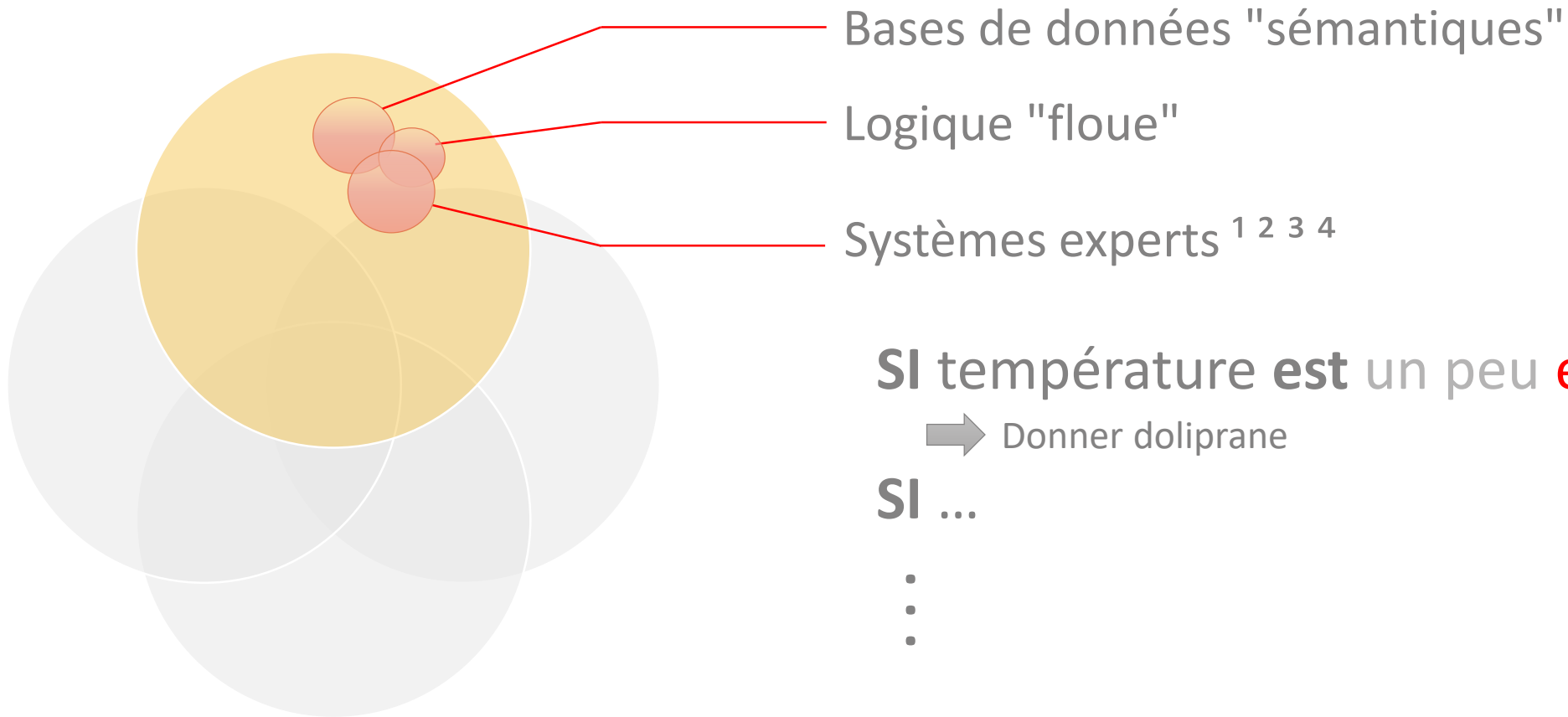


1. [L. A. Zadeh \(1965\) - Fuzzy sets](#)
2. [L. A. Zadeh \(1977\) - Fuzzy Logic](#)
3. [Lv, Ma and Yan \(2008\) - Fuzzy RDF: A data model to represent fuzzy metadata](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

8

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES



SI température **est** un peu **élevée**:

➡ Donner doliprane

SI ...

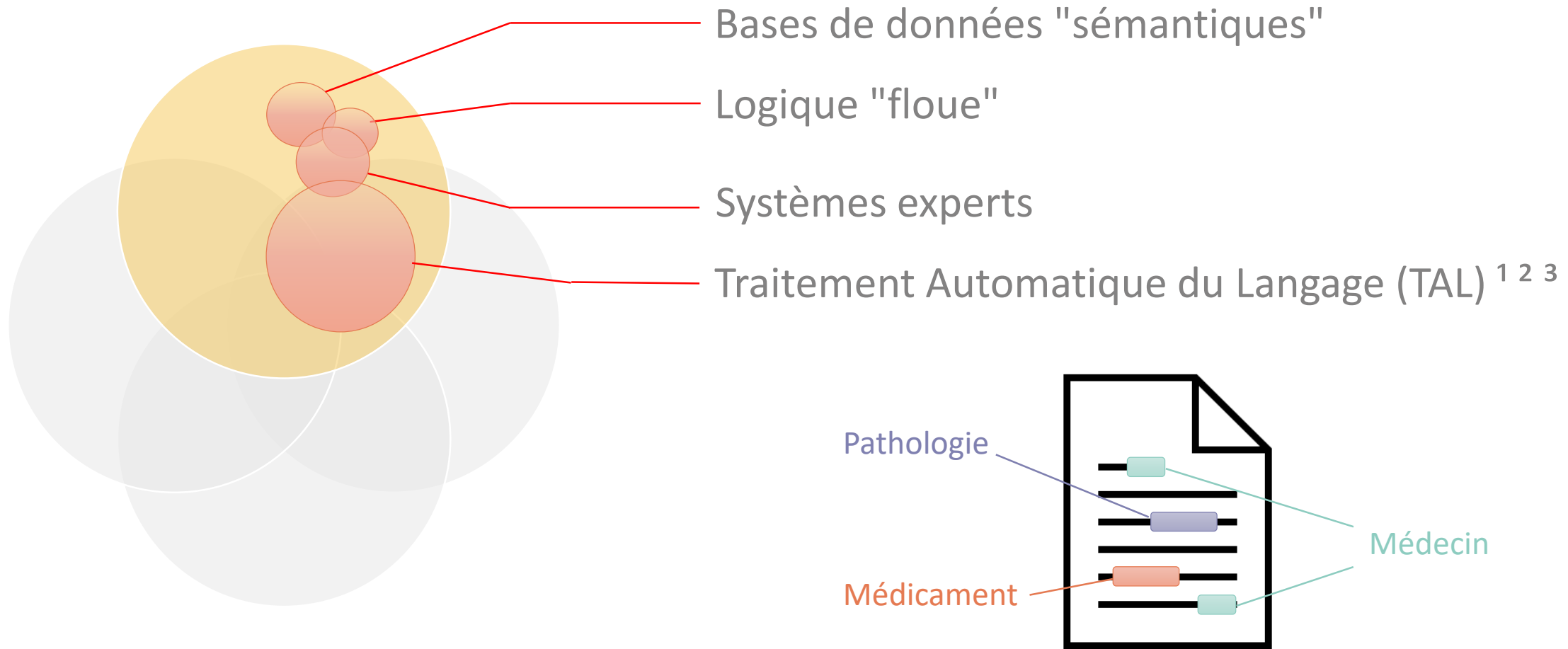
⋮

1. [Jackson \(1986\): Introduction to expert systems](#)
2. [Saibene, Assale and Giltri \(2021\): Expert systems: Definitions, advantages and issues in medical field applications](#)
3. [Tavana and Hajipour \(2019\): A practical review and taxonomy of fuzzy expert systems: methods and applications](#)
4. [Shortliffe \(1974\): MYCIN – A Rule-Based Computer Program for Advising Physicians Regarding Antimicrobial Therapy Selection](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

9

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES



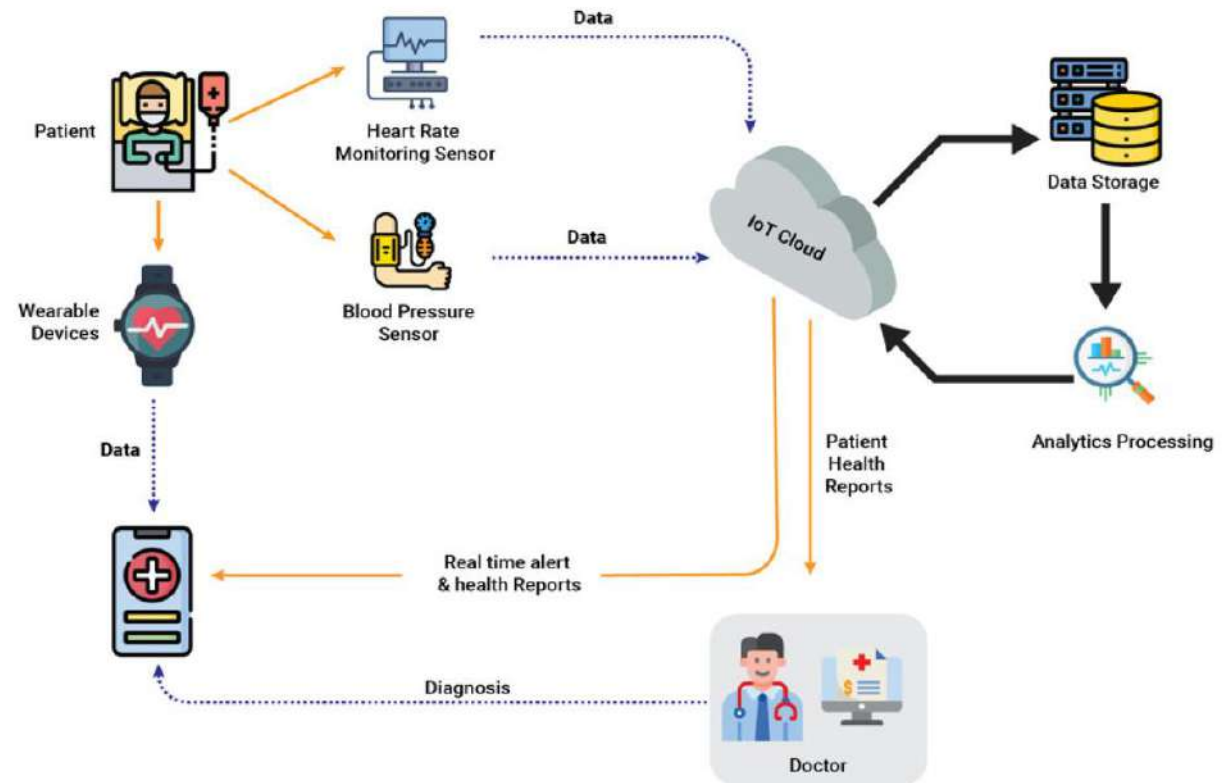
1. [Chowdhary \(2020\) - Natural Language Processing](#)
2. [Nadkarni, Ohno-Machado and Chapman \(2011\) - Natural language processing: an introduction](#)
3. [Iroju and Olaleke \(2015\) - A Systematic Review of Natural Language Processing in Healthcare](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

10

SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Objets connectés (IoT/WoT/Aml) ^{1 2 3 4}

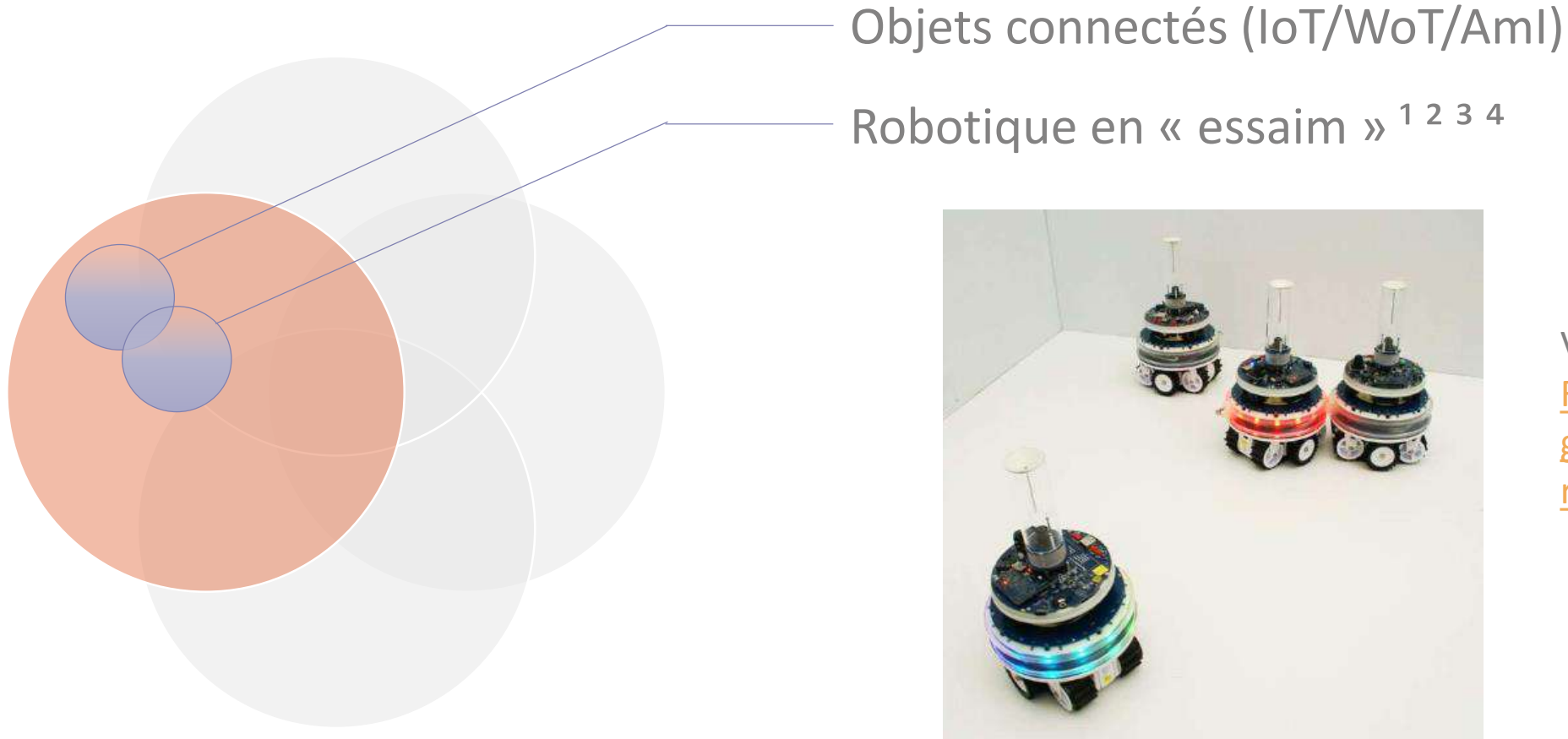


1. [Guinard et al. \(2011\) - From the Internet of Things to the Web of Things: Resource-oriented Architecture and Best Practices](#)
2. [Darshan and Anandakumar \(2015\) - A comprehensive review on usage of Internet of Things \(IoT\) in healthcare system](#)
3. [Aarts and Wicherts \(2009\) - Ambient Intelligence](#)
4. source image: <https://embeddedcomputing.com/application/healthcare/telehealth-healthcare-iot/how-iot-is-transforming-the-healthcare-industry>

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

11

SYSTÈMES MULTI-AGENTS



Voir aussi:

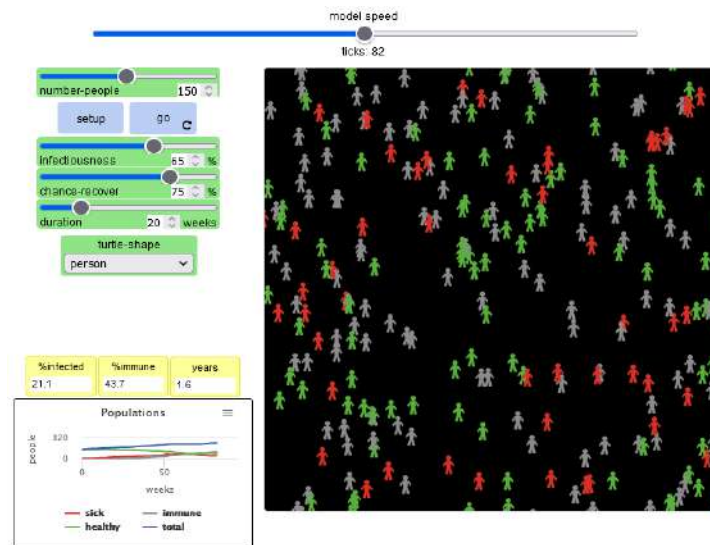
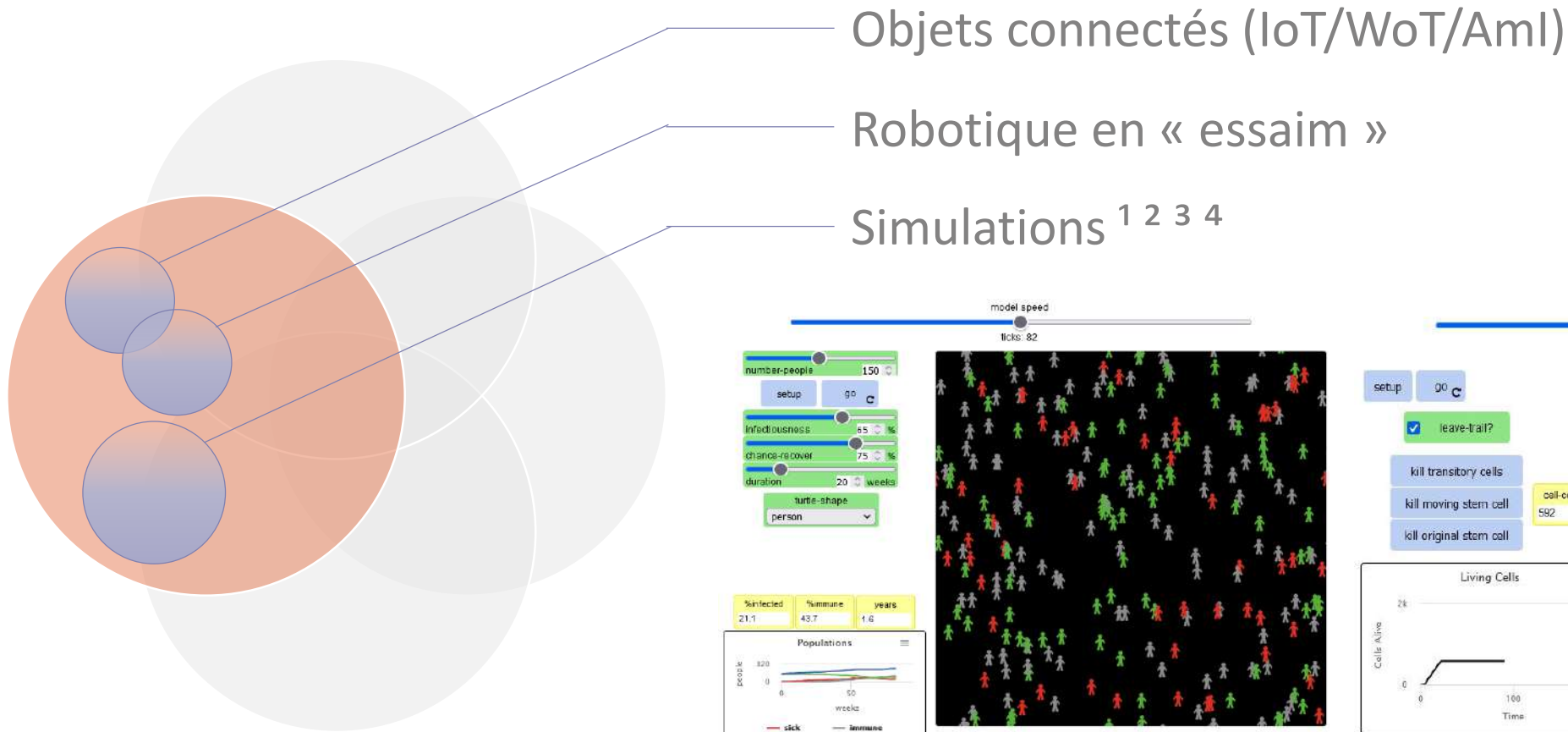
[Fouloscopie – Le grand tournois de robotique collective](#)

1. source image: [Dorigo et al. \(2013\) - Swarmanoid: a novel concept for the study of heterogeneous robotic swarm](#)
2. [Senanayake et al. \(2016\) - Search and tracking algorithms for swarms of robots: a survey](#)
3. [Wan, Gu and Ni \(2019\) - Cognitive computing and wireless communications on the edge for healthcare service robots](#)
4. [Gasteiger and Broadbent \(2021\) - AI, robotics, medicine and health sciences](#)

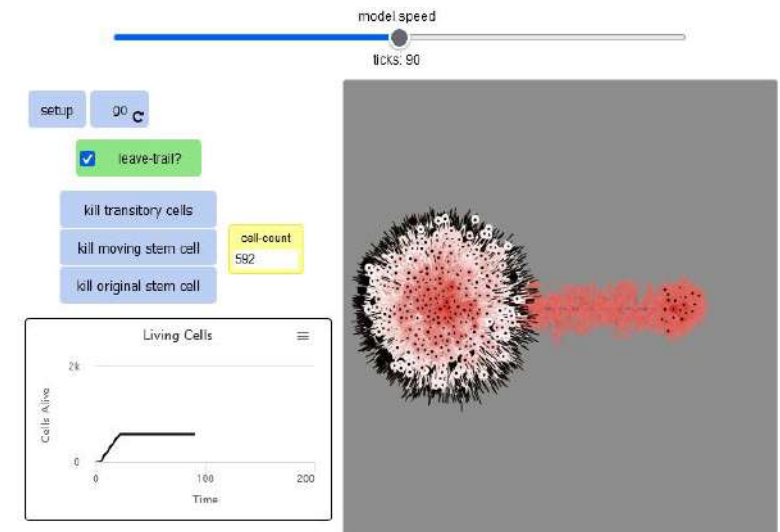
UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

12

SYSTÈMES MULTI-AGENTS



Virus



Tumor

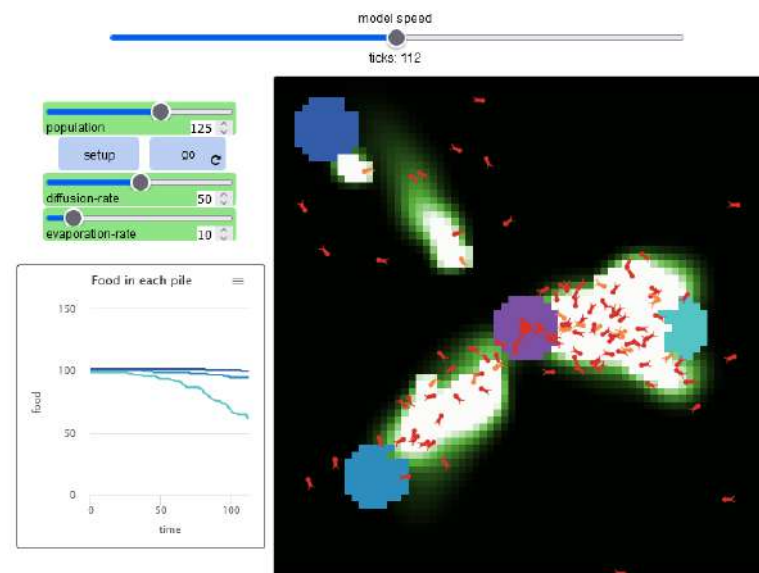
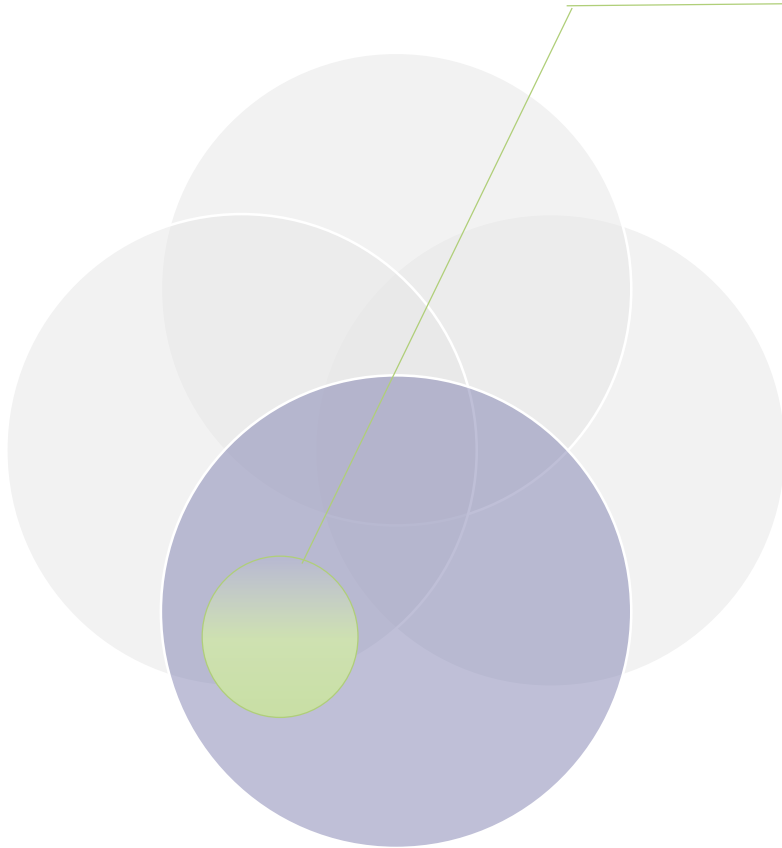
1. [Wilensky \(1998\) - NetLogo Virus model](#)
2. [Zacijek and Wilensky \(1998\) - NetLogo Tumor model](#)
3. [Varenne and Silberstein \(2013\) - Modéliser & simuler \(tome 1\)](#)
4. [Vykylyuk et al. \(2021\) - Modeling and analysis of different scenarios for the spread of COVID-19 by using the modified multi-agent systems – Evidence from the selected countries](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

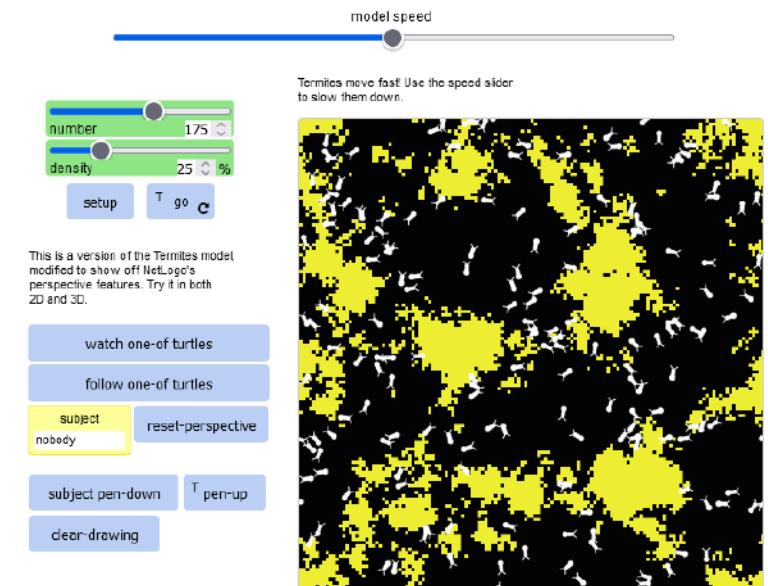
13

ALGORITHMES "BIO-INSPIRÉS"

Colonies de fourmis (termites, abeilles, etc.) ^{1 2 3 4}



Ants



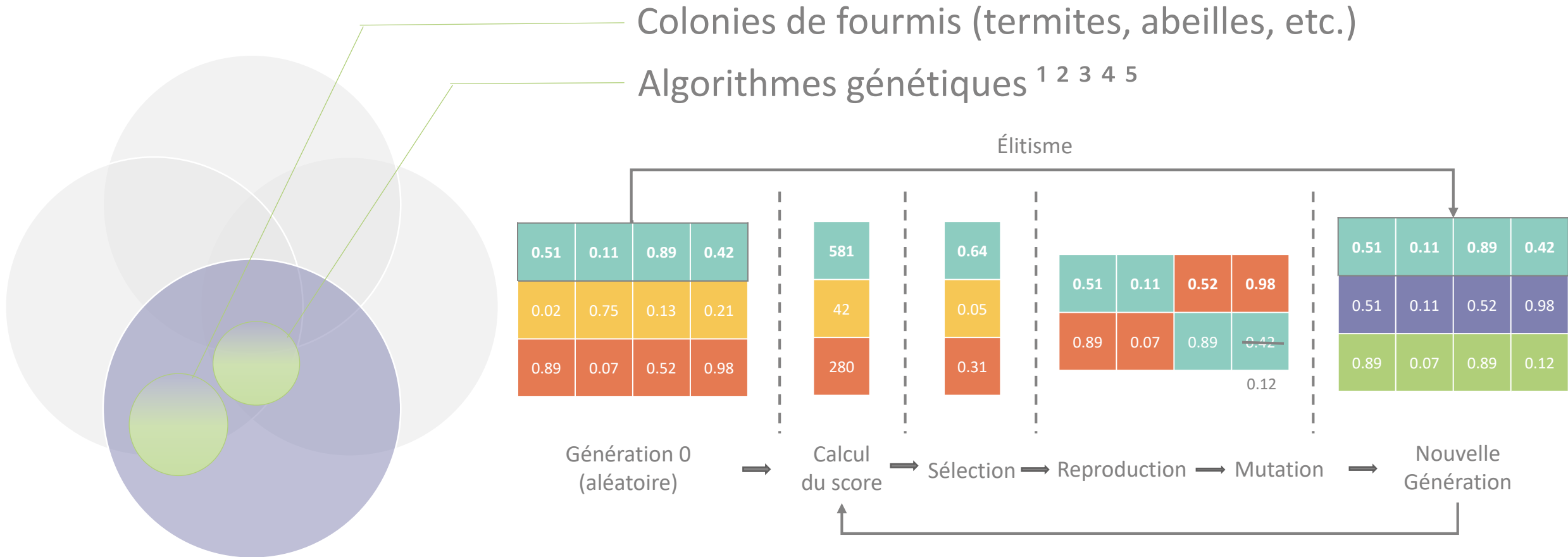
Termites

1. [Wilensky \(1997\) - NetLogo Ants model](#)
2. [Wilensky \(1997\) - NetLogo Termites model](#)
3. [Dorigo and Stützle \(2018\) - Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances](#)
4. [Behmanesh et al. \(2020\) - Advanced Ant Colony Optimization in Healthcare Scheduling](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

14

ALGORITHMES "BIO-INSPIRÉS"

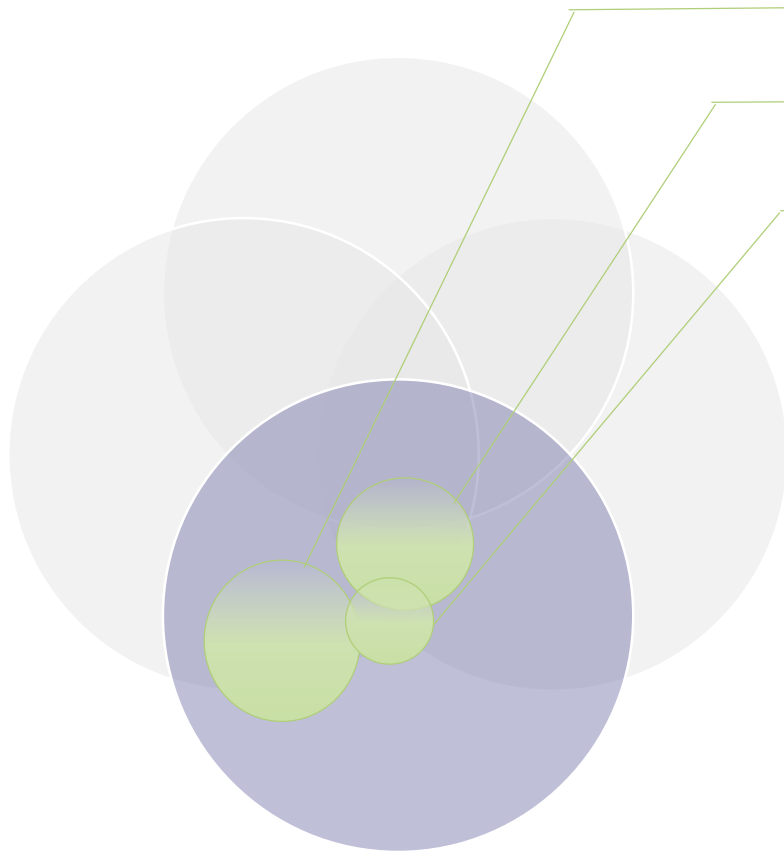


1. Exemple: <https://math.hws.edu/eck/js/genetic-algorithm/GA.html>
2. [Katoch, Chauhan and Kumar \(2021\) - A review on genetic algorithm: past, present, and future](#)
3. [Sharma and Kumar \(2022\) - Application of Genetic Algorithms in Healthcare: A Review](#)
4. [Koza and Poli \(2005\) - Genetic Programming](#)
5. Schéma inspiré de: [Woodward and Kelleher \(2016\) - Towards "smart lasers": Self-optimisation of an ultrafast pulse source using a genetic algorithm](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

15

ALGORITHMES "BIO-INSPIRÉS"



Colonies de fourmis (termiles, abeilles, etc.)

Algorithmes génétiques

« Vie artificielle »^{1 2 3 4}



Game of Life

1. [Wilensky \(1998\) - NetLogo Life Model](#)
2. [Wilensky \(1998\) - NetLogo Flocking Model](#)
3. [Sarkar \(2000\) - A brief history of cellular automata](#)
4. [García-Morales, Manzanares and Cervera \(2022\) - Modeling Tumour Growth with a Modulated Game of Life Cellular Automaton Under Global Coupling](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

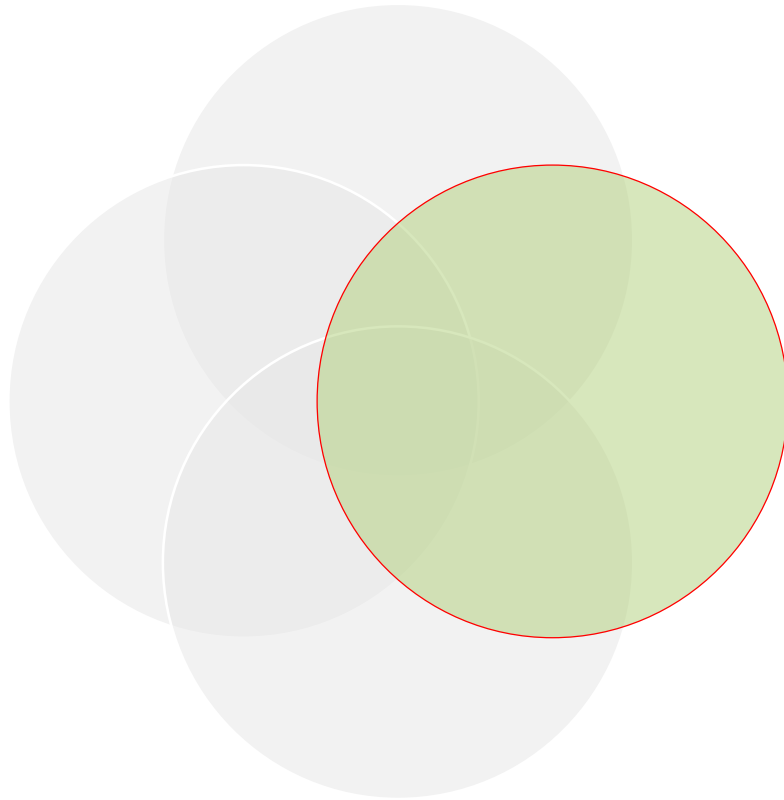
16

APPRENTISSAGE MACHINE ^{1 2 3}

On a des données
X et (parfois) Y

Apprentissage

On cherche à approximer
 $F: X \rightarrow Y$



supervisé

(Y connu)

non-supervisé

(Y inconnu)

régression

(Y continu)

classification

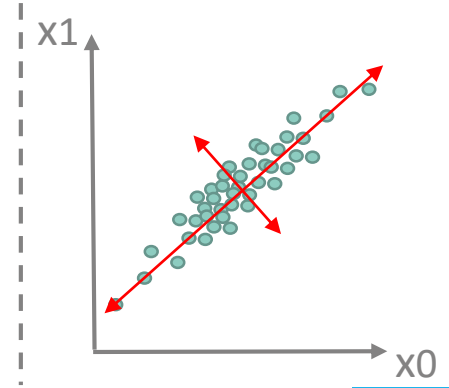
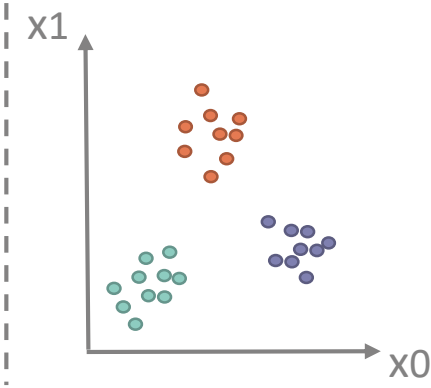
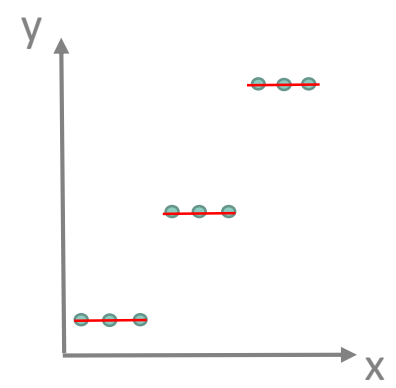
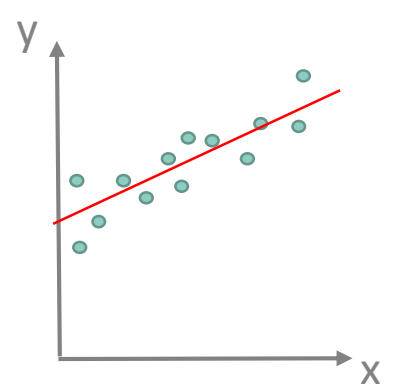
(Y discret)

clustering

(cherche Y discret)

réduction de
dimensions

(cherche Y continu)

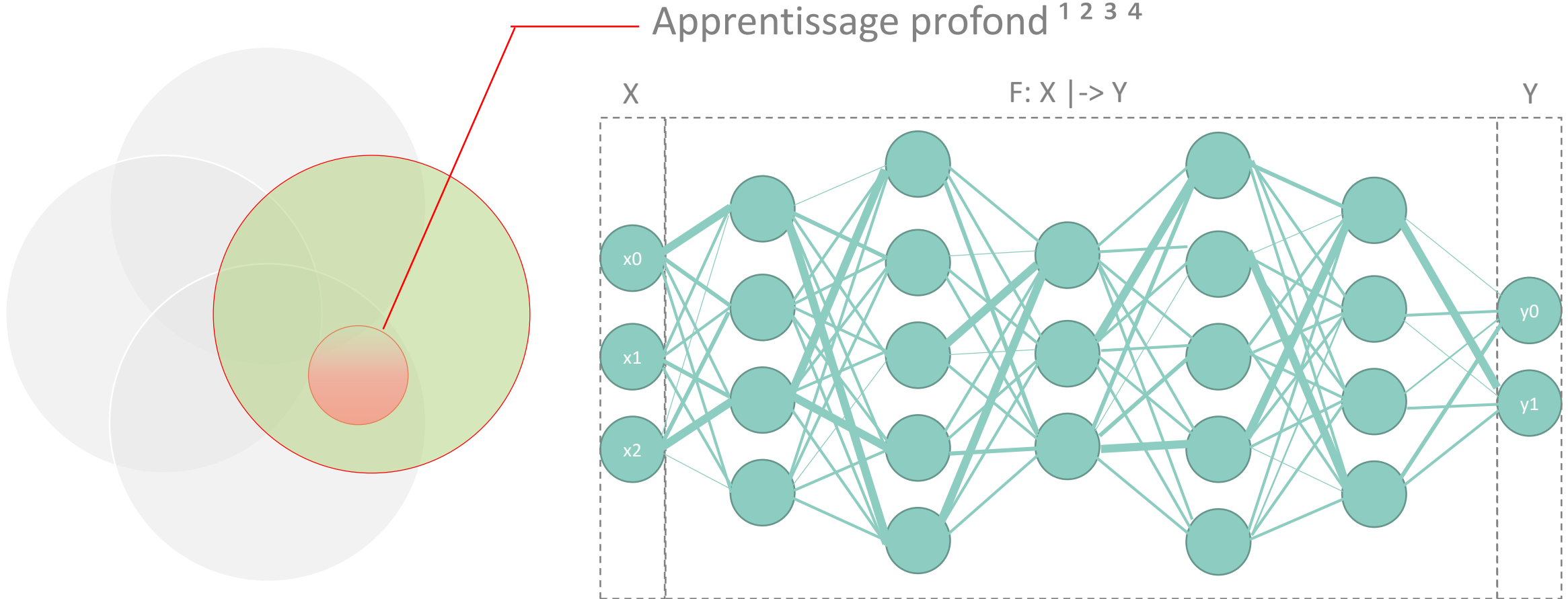


1. [Alloghani et al. \(2019\) - A Systematic Review on Supervised and Unsupervised Machine Learning Algorithms for Data Science](#)
2. [Shailaja, Seetharamulu and Jabbar \(2018\) - Machine Learning in Healthcare: A Review](#)
3. [Dhillon and Singh \(2019\) - Machine Learning in Healthcare Data Analysis: A Survey](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

17

APPRENTISSAGE MACHINE

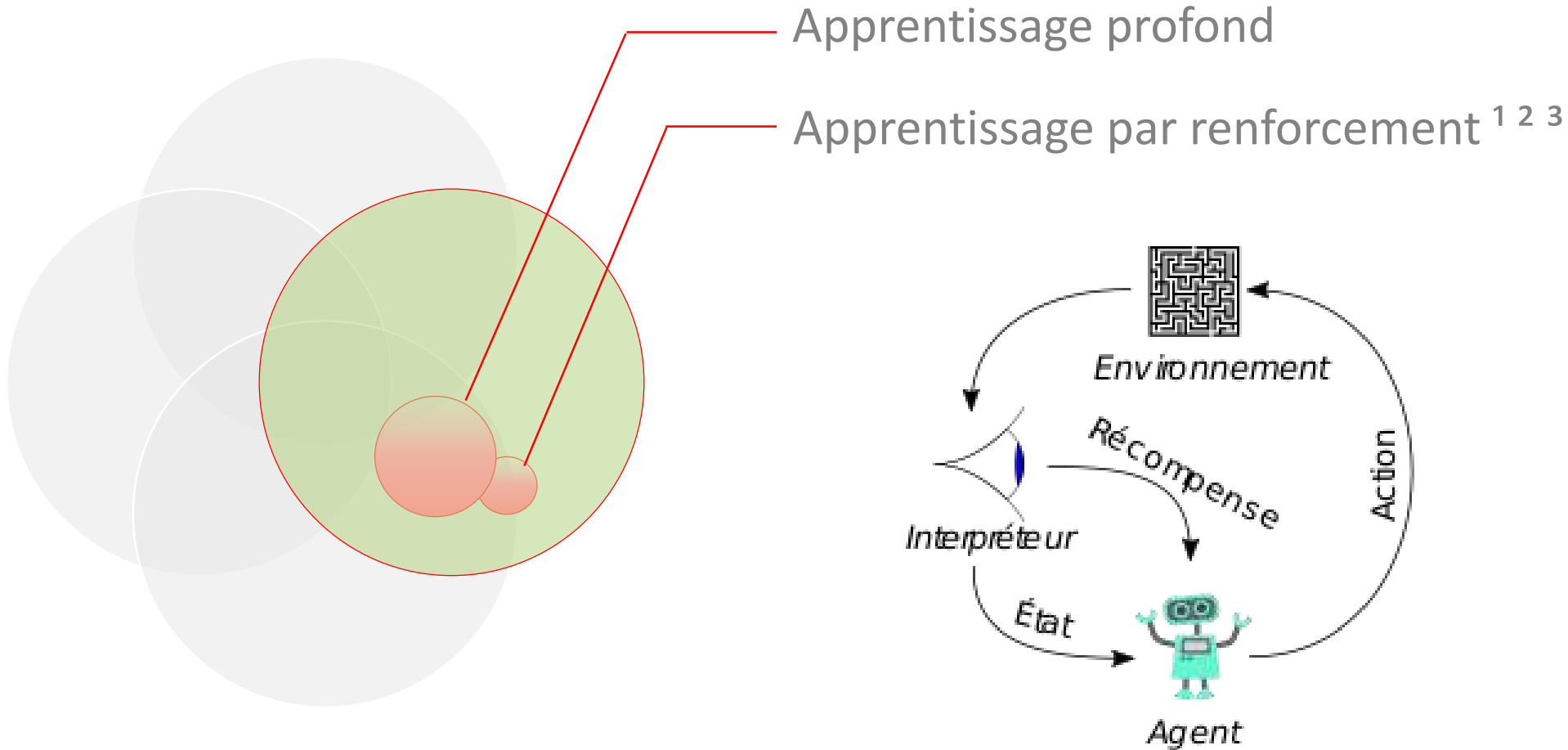


1. [LeCun, Bengio and Hinton \(2015\) - Deep Learning](#)
2. [Esteva et al. \(2019\) - A guide to deep learning in healthcare](#)
3. [Scarselli and Tsoi \(1998\) - Universal Approximation Using Feedforward Neural Networks: A Survey of Some Existing Methods, and Some New Results](#)
4. Pour aller plus loin: [Formation Fidle au Deep Learning](#)

UNE DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

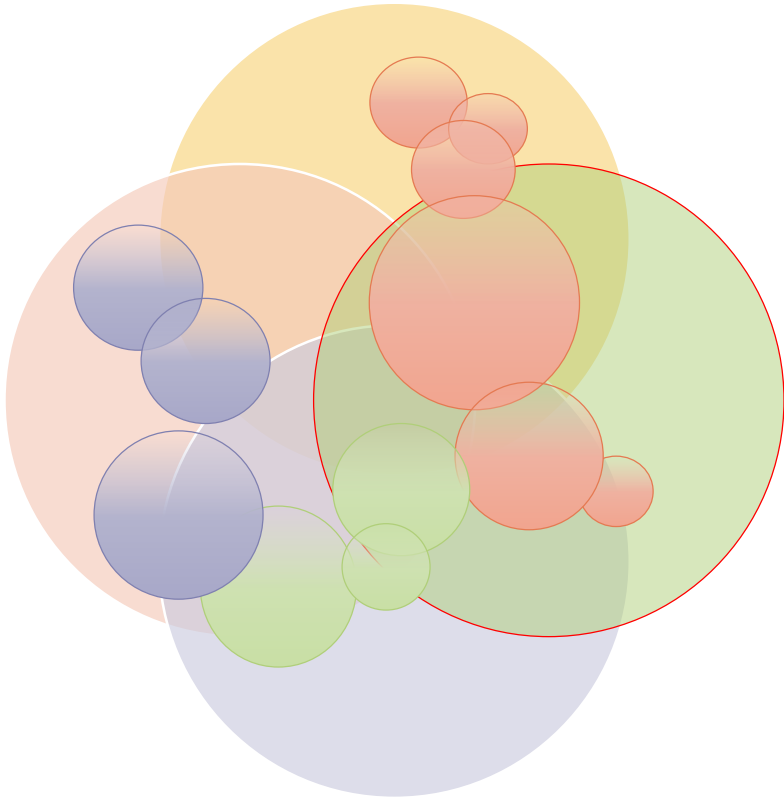
18

APPRENTISSAGE MACHINE



1. [Sutton and Barto \(2018\) - Reinforcement Learning: An Introduction](#)
2. [Yu et al. \(2021\) Reinforcement Learning in Healthcare: A Survey](#)
3. source image : https://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage_par_renforcement

SYNTHÈSE



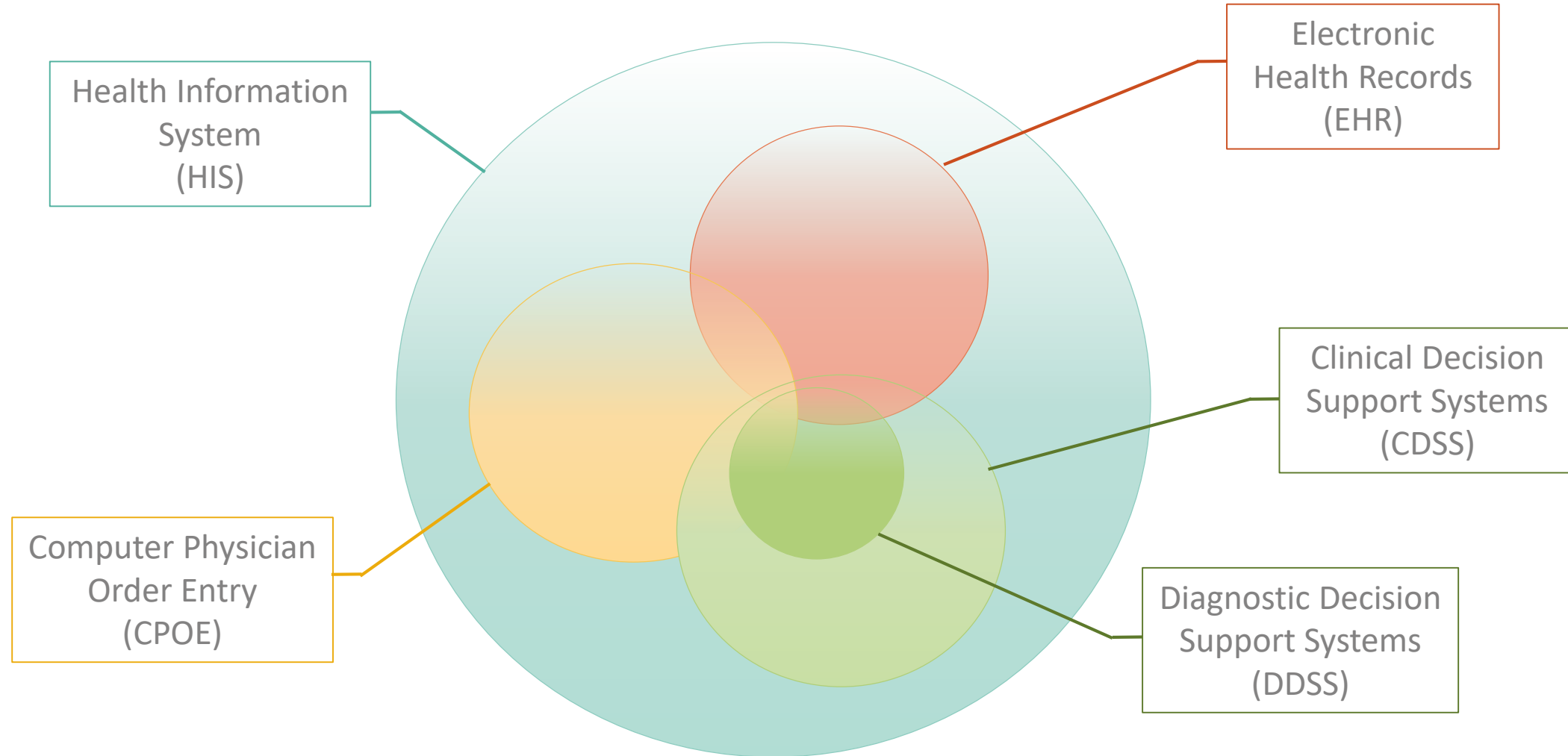
- L'Intelligence Artificielle est un domaine de recherche très vaste avec une multitude de sous-domaine ¹
- Le Deep Learning est un sous-domaine du Machine Learning qui est un sous-domaine de l'Intelligence Artificielle
- De multiple domaines d'application, dont celui de la santé

A decorative graphic in the top right corner consisting of several squares of varying sizes and shades of blue. Some squares have a fine diagonal line pattern, while others are solid. They are arranged in a sparse, overlapping manner.

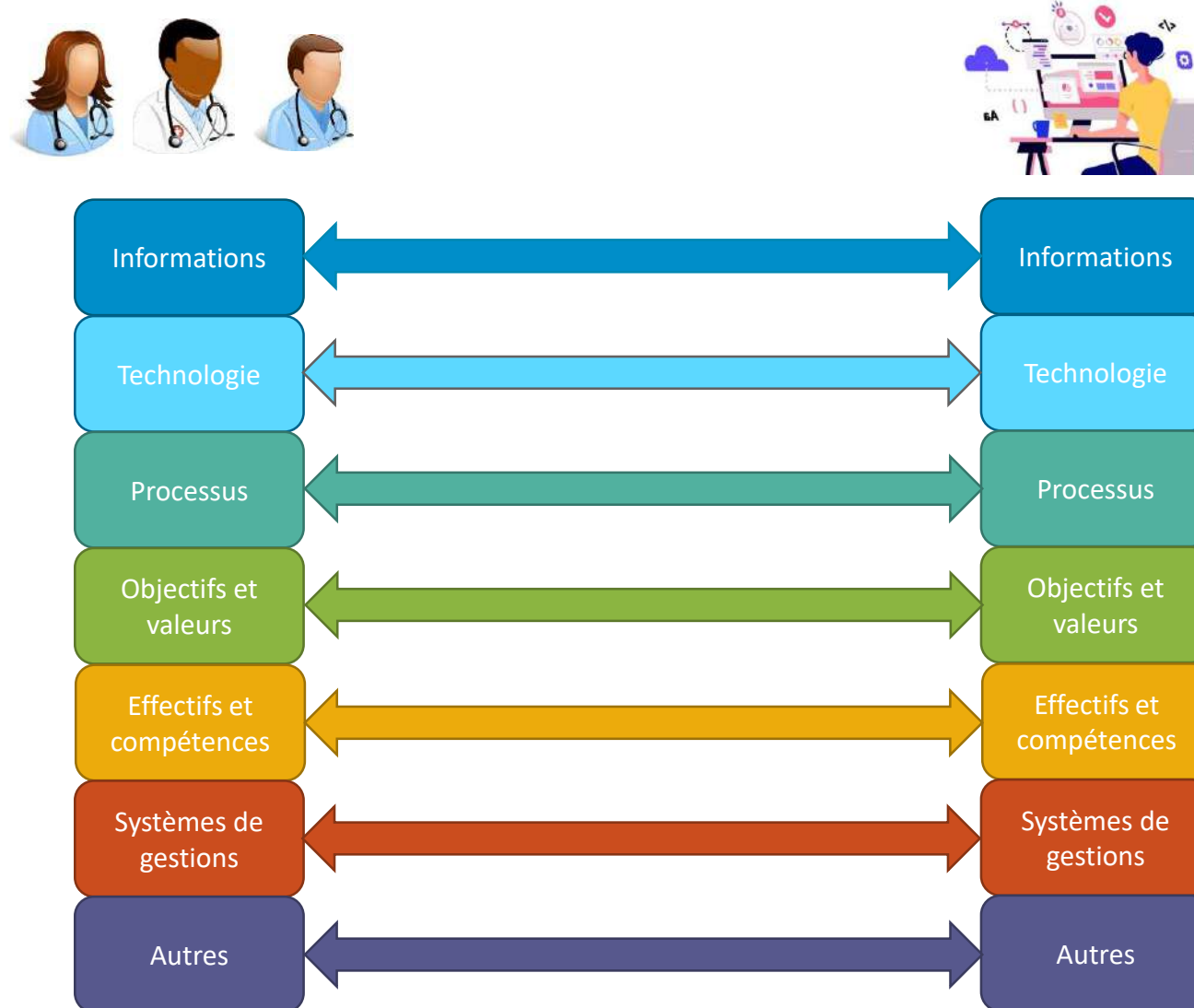
PARTIE 2

CONCEVOIR UN SYSTÈME D'INFORMATION HOSPITALIER INTÉGRANT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

DÉFINITIONS¹



RAISONS D'ÉCHECS: ÉCARTS CONCEPTION-RÉALITÉ ^{1 2}

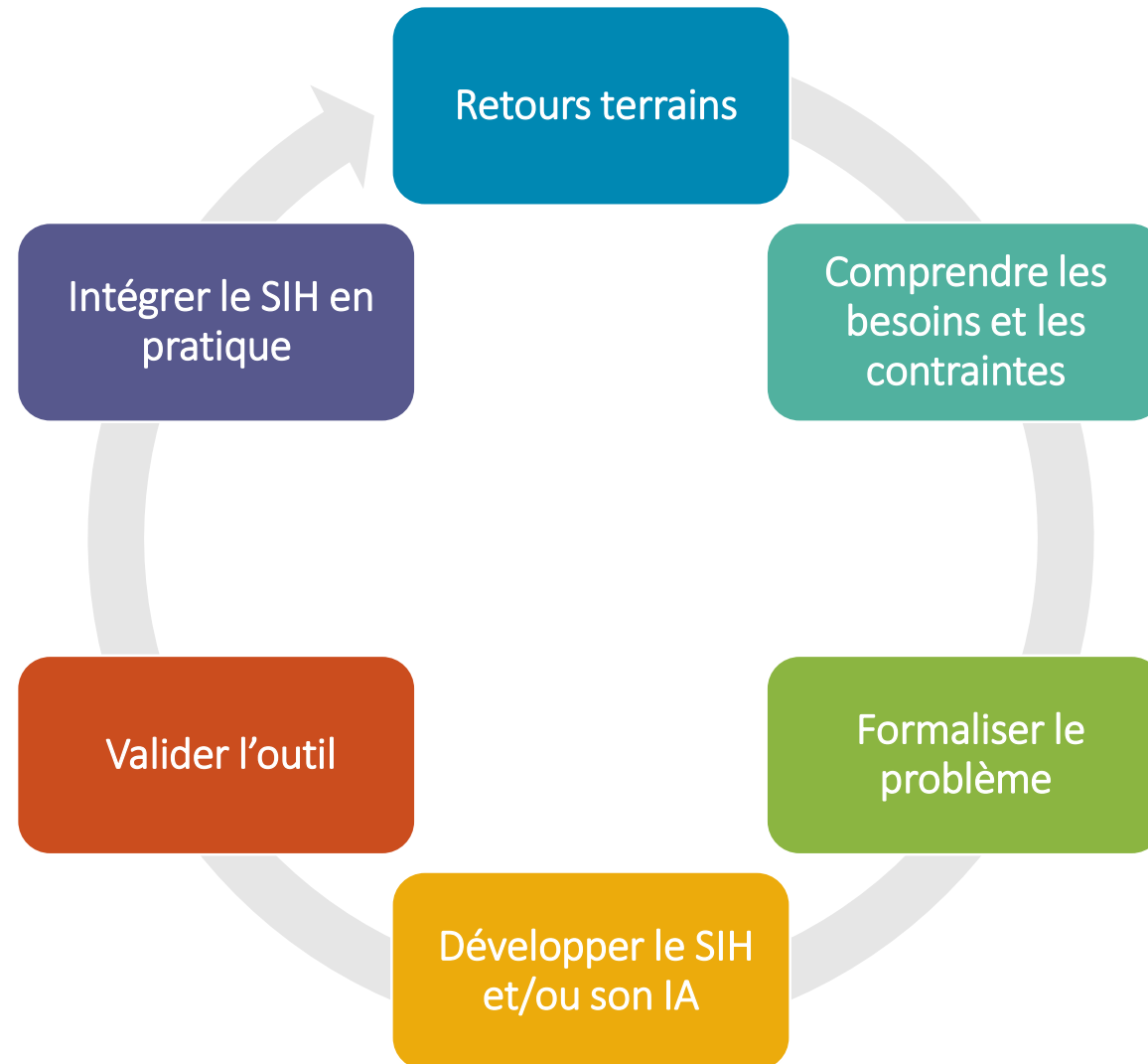


1. [Heeks \(2006\) – Health Information Systems:: Failure, success and improvisation](#)
2. [Masiero \(2016\) – The Origins of Failure: Seeking the Causes of Design-Reality Gaps](#)

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

23

UN PROCESSUS D'INTÉGRATION CONTINU



RETOURS TERRAINS



- Problématiques cliniques:
 - Améliorer un processus
 - Développer un test basé sur des données
 - Etc.
- Intégrer un outil déjà développé:
 - Par une entreprise/start-up
 - Par un médecin et/ou un interne
 - Par nous pour un autre service
- Curiosité/intérêt scientifique

RETOURS TERRAINS – EXEMPLES



HAS

HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ

Mise en place de nouvelles directives pour la prise en charge de maladie rare¹



Intégration d'une méthode de calcul basée sur des marqueurs biologiques²



Évaluer la gravité de plaies de pieds diabétiques³



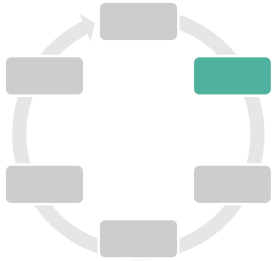
Aider à la décision médicale en consultation⁴

1. [Pavan et al. \(2017\) - Clinical Practice Guidelines for Rare Diseases: The Orphanet Database](#)
2. [Dekeister et al. \(2020\) – Validation of an online tool for early prediction of the failure-risk in gestational trophoblastic neoplasia patients treated with methotrexate](#)
3. [Yap et al. \(2021\) – Deep learning in diabetic foot ulcers detection: A comprehensive evaluation](#)
4. [Richard \(2021\) - Proposition d'un outil d'aide à la décision adapté aux contraintes et aux enjeux d'un soutien informatique aux consultations médicales coutumières](#)

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

26

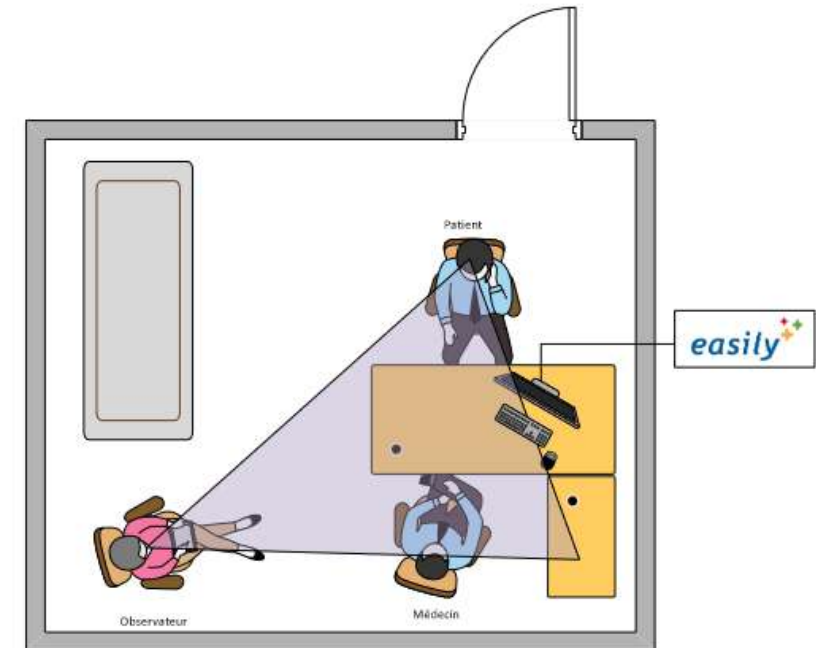
COMPRENDRE LES BESOINS



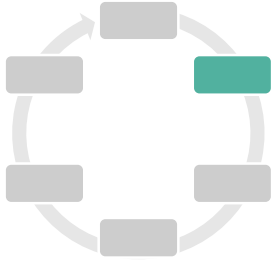
Interviews



Analyses terrain¹



COMPRENDRE LES CONTRAINTES ^{1 2}



Contrainte principale

Les décisions doivent se **conformer** à des directives non révocables venant de hautes autorités

Les décisions doivent se baser sur des faits et des théories **objectives**

Les décisions doivent **s'ajuster** au contexte et dépendent du savoir-faire des soignants



Approche adaptée

Conformiste:

L'outil doit aider l'utilisateur à être **conforme** à ces directives

Objectiviste:

L'outil doit se baser sur ces faits et théories pour fournir des résultats **objectivement** pertinents

Ajustive:

L'outil doit **s'ajuster** aux besoins des soignants et ne pas interférer avec leur processus de travail ou leur capacité d'initiative

1. [Meinard and Tsoukias \(2019\) – On the rationality of decision aiding processes](#)

2. [Richard \(2021\) - Proposition d'un outil d'aide à la décision adapté aux contraintes et aux enjeux d'un soutien informatique aux consultations médicales coutumières](#)

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

28

COMPRENDRE LES CONTRAINTES – EXEMPLES



Contrainte principale

Les décisions doivent se **conformer** à des directives non révocables



Approche adaptée

L'outil doit aider l'utilisateur à être **conforme** à ces directives

Les décisions doivent se baser sur des faits biologiques et des calculs **objectifs**



L'outil doit intégrer ces calculs et ces faits biologiques pour fournir des résultats **objectivement** pertinents

Les décisions doivent se baser sur des faits (images) et des calculs **objectifs**



L'outil doit intégrer ces calculs et ces faits pour fournir des résultats **objectivement** pertinents

Les décisions doivent s'**ajuster** au contexte et dépendent du savoir-faire des soignants

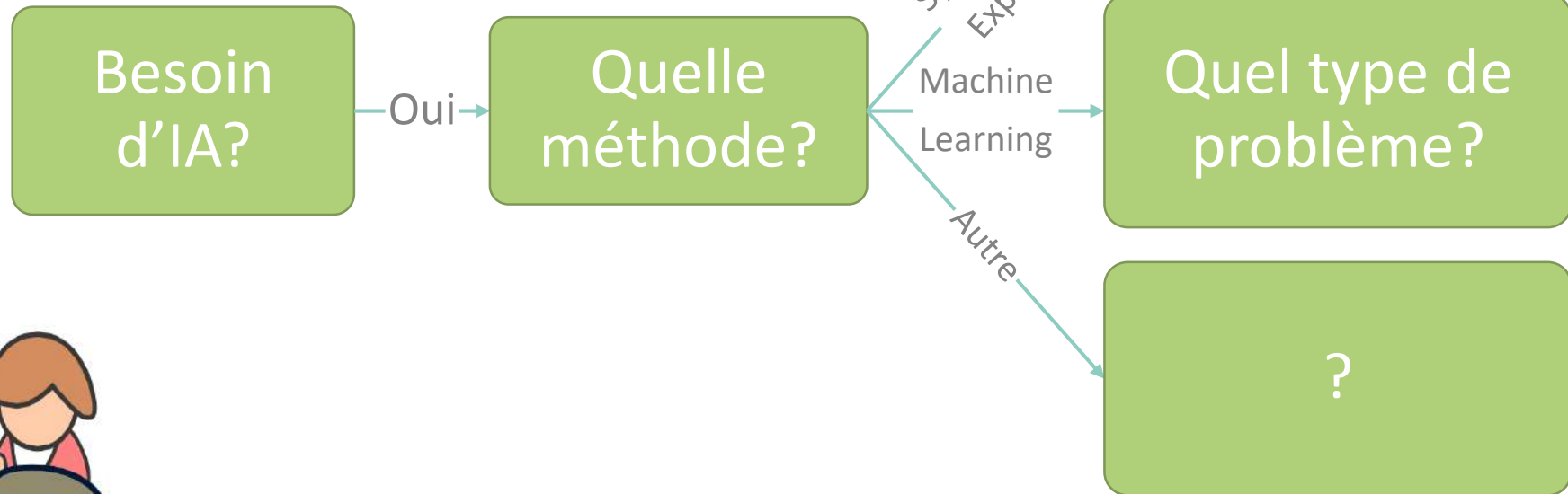


L'outil doit s'**ajuster** aux besoins des soignants et ne pas interférer avec leur processus de travail ou leur capacité d'initiative

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

29

FORMALISER LE PROBLÈME



FORMALISER LE PROBLÈME – EXEMPLES



- **Besoin d'IA?**
 - oui
- **Quelle méthode?**
 - Système Expert
- **Quelle représentation?**
 - Règles



- **Besoin d'IA?**
 - non



- **Besoin d'IA?**
 - oui
- **Quelle méthode?**
 - Machine Learning
- **Quel problème?**
 - Classification
 - Régression

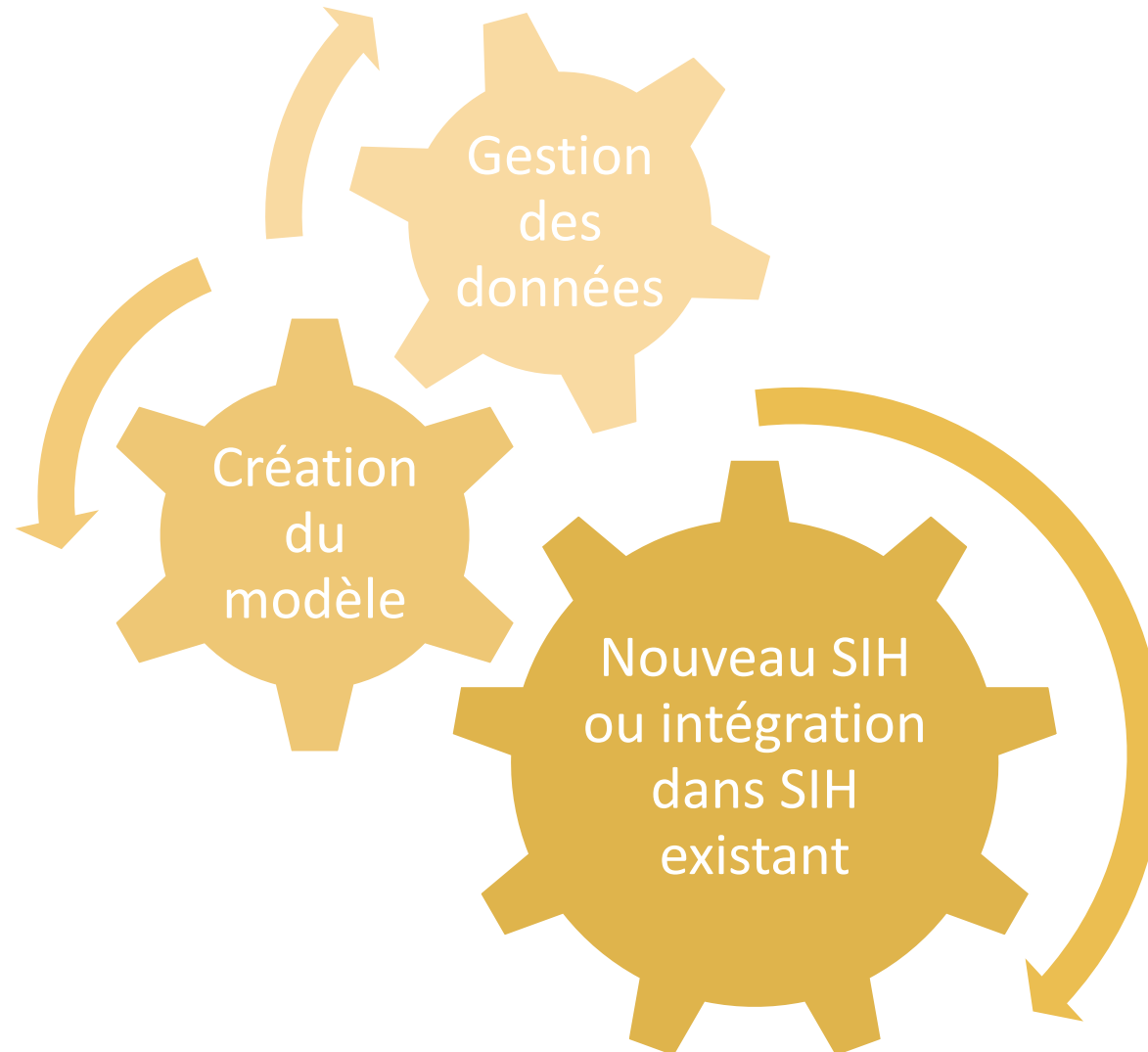


- **Besoin d'IA?**
 - oui
- **Quelle méthode?**
 - Machine Learning
 - Système Expert
- **Quel problème?**
 - Classification
- **Quelle représentation?**
 - Règles

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

31

DÉVELOPPER LE SIH ET/OU SON IA



CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

32

DÉVELOPPER LE SIH ET/OU SON IA – EXEMPLES



1. Récupération des données nécessaires
2. Création du moteur de règles
3. Création d'un système d'alerte



1. Récupération des marqueurs biologiques
2. Implémentation du calcul
3. Intégration dans fiches de consultation



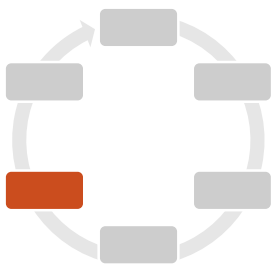
1. Labélisation des données par des médecins
2. Entrainement d'un réseau de neurones
3. Création d'une application mobile



1. Récupération de données de consultation
2. Rédaction de règles par des médecins
3. Entrainement d'un modèle et création du système de règles
4. Création d'une nouvelle interface

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

VALIDER L'OUTIL



Validation du modèle					
Sensibilité / Rappel	Spécificité	Précision	F-Score	AUC	Etc.

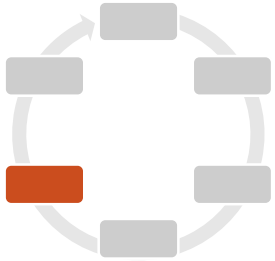


Validation clinique		
Prise en main	Transparence	Impact

Validation éthique & légale	
Comité éthique	Respect des normes



VALIDER L'OUTIL – EXEMPLES



● Validation modèle

- Résultats conformes aux attentes?
- Performances satisfaisantes?

● Validation clinique

- Outil compréhensible?
- Facile à prendre en main?
- Impact sur le processus clinique?

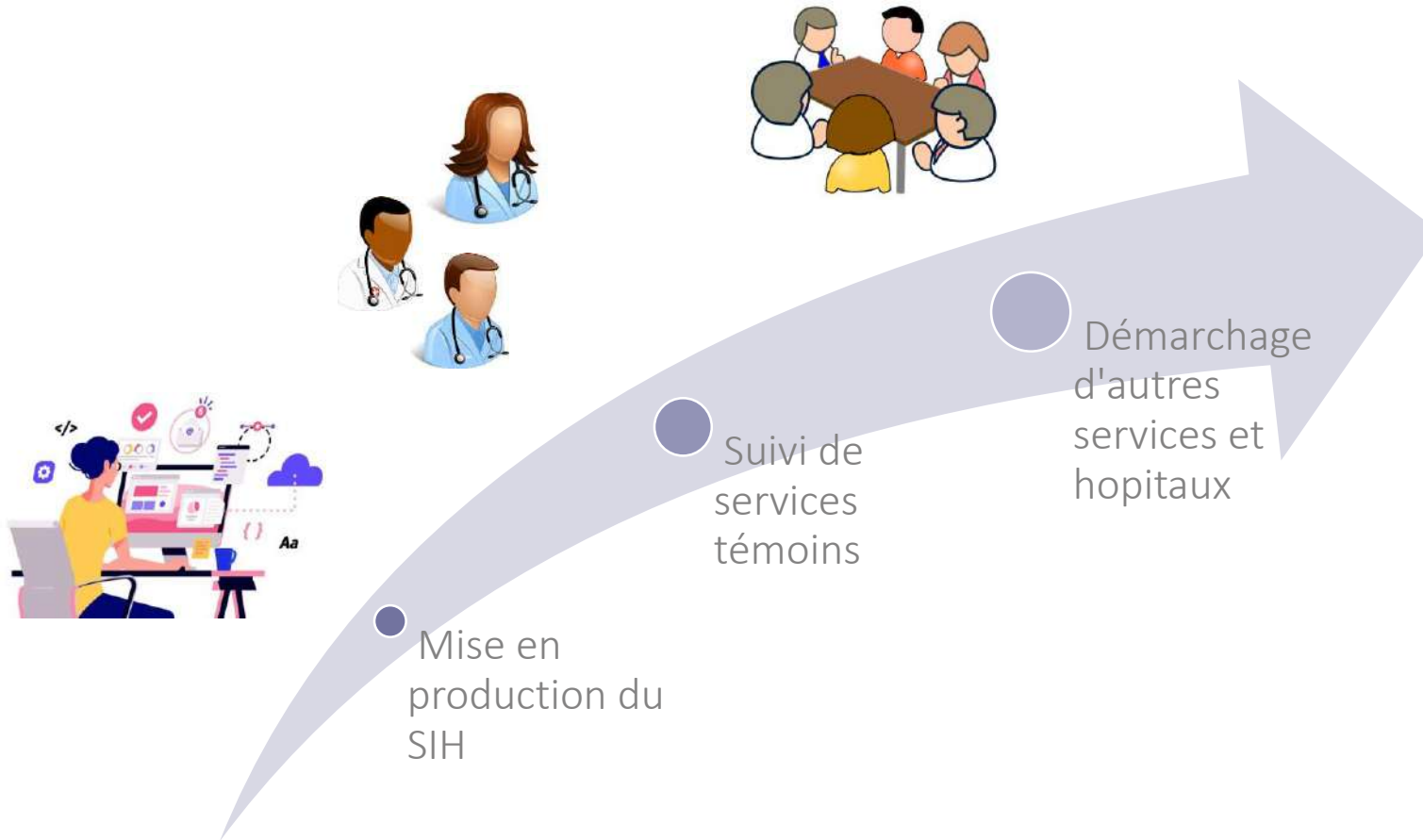
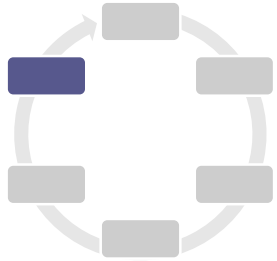
● Validation éthique & légale

- Dispositif médicale?
- Conformes aux normes?

CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

35

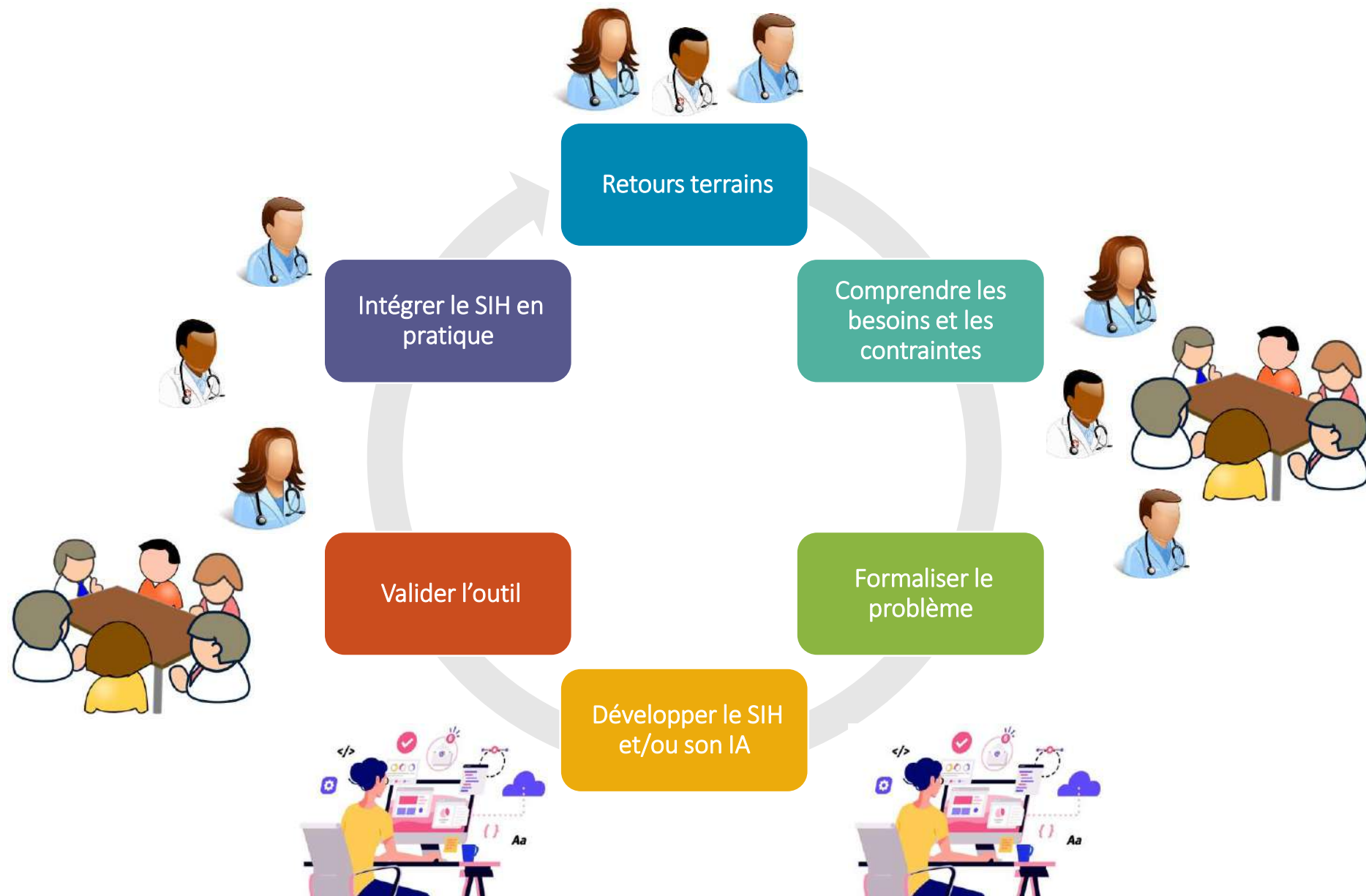
INTÉGRER LE SIH EN PRATIQUE



CONCEVOIR UN SIH BASÉ SUR DE L'IA

36

SYNTHÈSE

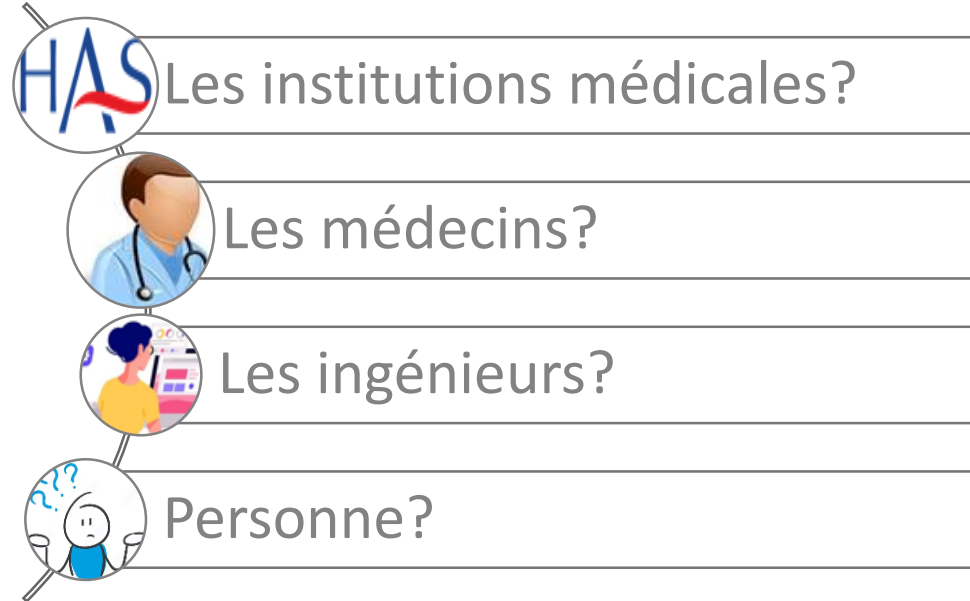


PARTIE 3

LIMITES, IMPACTS ET ENJEUX

RESPONSABILITÉ DES ALGORITHMES

Si un médecin utilise un SIH basé sur de l'IA, et que l'utilisation de ce SIH conduit à une erreur médicale, qui est responsable ?



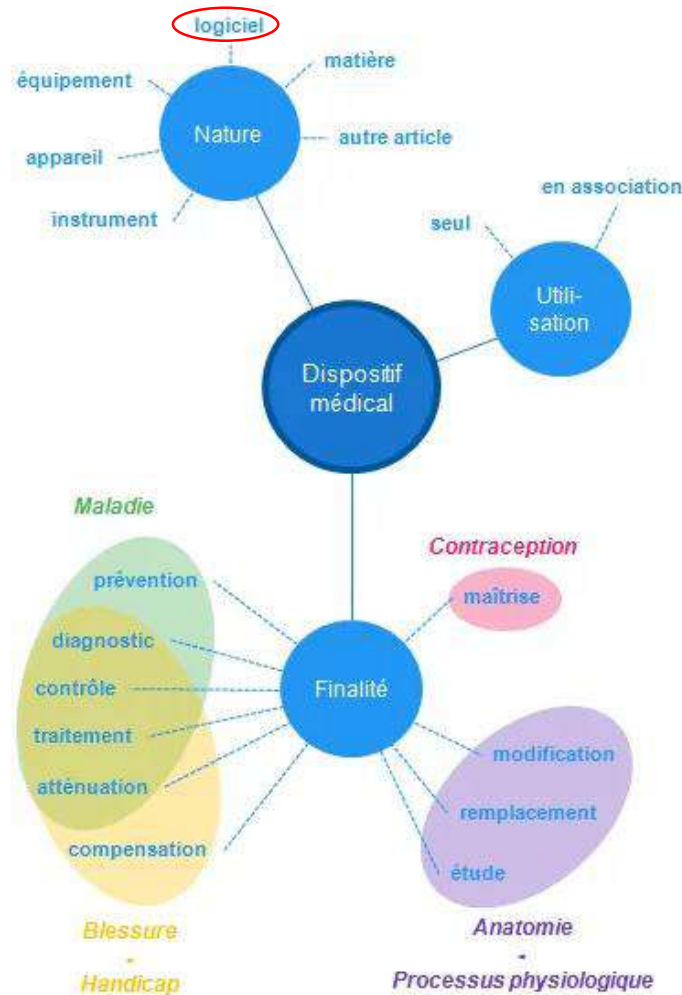
Socialement, il y a une pression envers les médecins ¹



Légalement, les institutions sont tenues responsables et des normes sont à prendre en comptes par les ingénieurs ^{2 3}

1. [Itani, Lecron and Fortemps \(2019\) – Specifics of medical data mining for diagnosis aid: A survey](#)
2. [Norme ISO 13485:2016 – Dispositifs médicaux – Systèmes de management de la qualité – Exigences à des fins réglementaires](#)
3. [Norme ISO 62304:2006 – Logiciels de dispositifs médicaux – Processus du cycle de vie du logiciel](#)

NORMES ISO POUR DISPOSITIFS MÉDICAUX NUMÉRIQUES ^{1 2}



ISO 13485:

Systèmes de management de la qualité & Exigences à des fins réglementaires

<https://www.iso.org/fr/standard/59752.html>



Pour les fabricants



ISO 62304:

Logiciels de dispositifs médicaux & Processus du cycle de vie du logiciel

<https://www.iso.org/fr/standard/38421.html>



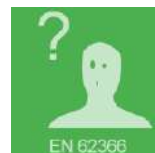
Applicable à l'IA? ³



ISO 14971:

Application de la gestion des risques aux dispositifs médicaux

<https://www.iso.org/fr/standard/72704.html>



ISO 62366:

Application de l'ingénierie de l'aptitude à l'utilisation aux dispositifs médicaux

<https://www.iso.org/fr/standard/63179.html>

1. Source images: <https://www.qualitiso.com/dispositif-medical-definition/>

2. Code de la santé publique : [Article L5211-1 à L5214-2](#)

3. [Promé \(2017\) - L'intelligence Artificielle en contexte Médical](#)

ÉTHIQUES DES ALGORITHMES ¹



Le Serment
Holberton-turing ²

- Principe de Loyauté
- Principe de vigilance/réflexivité
- Principe d'autonomie
- Principe de justice
- Principe de transparence

1. <https://www.cnil.fr/fr/ethique-et-intelligence-artificielle>

2. <https://www.holbertonturingoath.org/accueil>

EXPLICABILITE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ^{1 2 3 4}



- Pourquoi ce résultat et pas un autre ?
- Quel degrés de confiance mettre dans l'outil et ses résultats ?
- Dans quel situation l'outil est bon et quand est-il mauvais ?
- Comment corriger une erreur de l'outil ?

Compréhensibilité

Se baser sur des notions connus des médecins

Interprétabilité

S'assurer que les médecins puisse interpréter les résultats sans biais

Retraçabilité

S'assurer de la capacité à remonter le contexte et les actions ayant conduit à un résultat

Révisabilité

S'assurer de la capacité à prendre en compte les retours des médecins

1. [Gunning and Aha \(2019\) – DARPA's Explainable Artificial Intelligence \(XAI\) Program](#)
2. [Berredo-Arrieta et al. \(2020\) - Explainable Artificial Intelligence \(XAI\): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI](#)
3. [Mueller et al. \(2019\) - Explanation in Humain-AI Systems: A Literature Meta-Review, Synopsis of Key Ideas and Publications, and Bibliography for Explainable AI](#)
4. [Richard et al. \(2020\) – Transparency of Classification Systems for Clinical Decision Support](#)

RISQUES À COURT, MOYEN ET LONG TERMES



Reproduction et
accentuation de
comportements
discriminants ¹

Perte de savoir-
faire des
médecins ^{2 3}

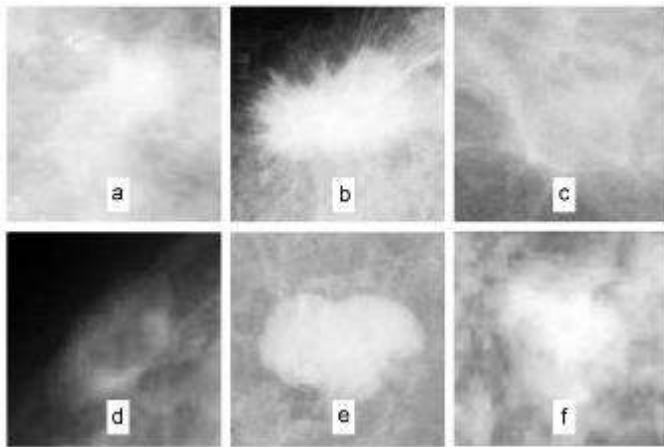
« Effet rebond »
négatif pour les
médecins et/ou
les patients ⁴

1. [Zuiderveen Borgesius \(2018\) – Discrimination, artificial intelligence, and algorithmic decision-making](#)
2. [Tsai, Fridsma and Gatti \(2003\) - Computer decision support as a source of interpretation error: the case of electrocardiograms](#)
3. [Povyakalo *et al.* \(2013\) – How to discriminate between Computer-Aided and Computer-Hindered Decisions: A Case study in Mammography](#)
4. [Bertillot \(2016\) – Comment l'évaluation de la qualité transforme l'hôpital. Les deux visages de la rationalisation par les indicateurs](#)

ET LA PLACE DU MÉDECIN DANS TOUT ÇA?

Exemple:

Détection de nodule cancéreux



L'IA rivalise avec, voir supprime, les performances des médecins¹, mais:

- Ne « conscientise » pas ce qu'est un nodule, ni un cancer, comme un humain ^{2 3}
- Ne sait pas comment traiter un cancer
- Ne sait pas ce que cela représente pour un·e patient·e ou sa famille
- Il peut seulement en donner l'illusion ^{4 5}

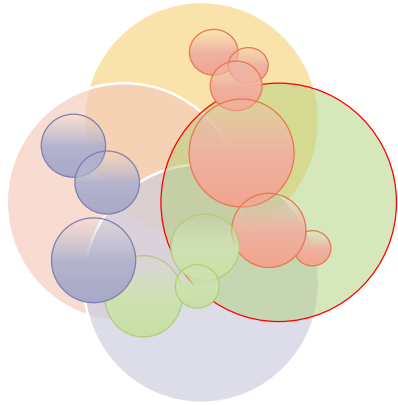


La « place » du médecin est peut-être à chercher dans la relation humaine

1. [Rodriguez-Ruiz et al. \(2019\) – Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists](#)
2. [Nagel \(1974\) – What Is It Like to Be a Bat?](#)
3. [Richard \(2022\) – Can AI be conscious?](#)
4. [Monsieur Phi \(janv. 2023\) – De quoi ChatGPT est-il vraiment capable?](#)
5. [Monsieur Phi \(févr. 2023\) – ChatGPT: la philosophie du baratin](#)

CONCLUSIONS

TAKE-HOME MESSAGES



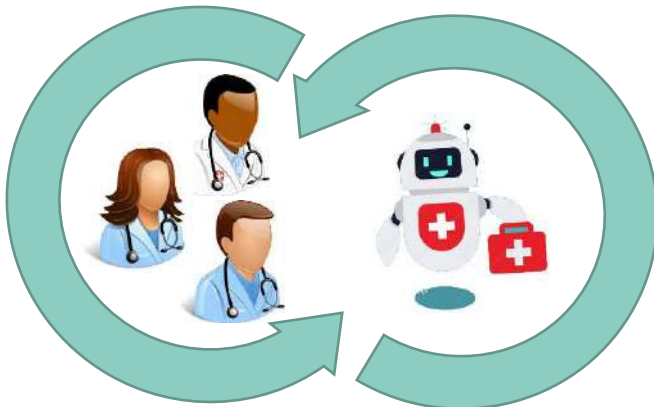
L'IA est un domaine de recherche très vaste



Les besoins des soignants et/ou des patients sont au centre du processus développement



L'IA en santé nécessite d'être encadré



Une synergie doit être recherchée entre les professionnels de la santé et les SIH basé sur de l'IA pour apporter les meilleurs soins possibles

MERCI

Contact:

antoine.richard@chu-lyon.fr

www.chu-lyon.fr



HCL
HOSPICES CIVILS
DE LYON