

Quelques applications de l'intelligence artificielle dans le secteur de l'énergie

Ahmed Rebai (1/05/2022)

hackerrank.com/ahmed_rebai2

fr.slideshare.net/ahmed_rebai

github.com/AhmedRebai

ahmedrebai.wixsite.com/scientificpython

<https://tinyurl.com/mr3ru8xf>

linkedin.com/in/ahmed-rebai-phd/



Plan de la présentation

1. Introduction
2. Définitions
3. Situation actuelle de l'AI
4. Transformation digitale en énergie
5. Use case 1: seismic reflection tomography
6. Use case 2: Maintenance préventive
7. Use case 3: Physics Informed Neural Network
8. Use case 4: Contrôle d'un réacteur à fusion nucléaire

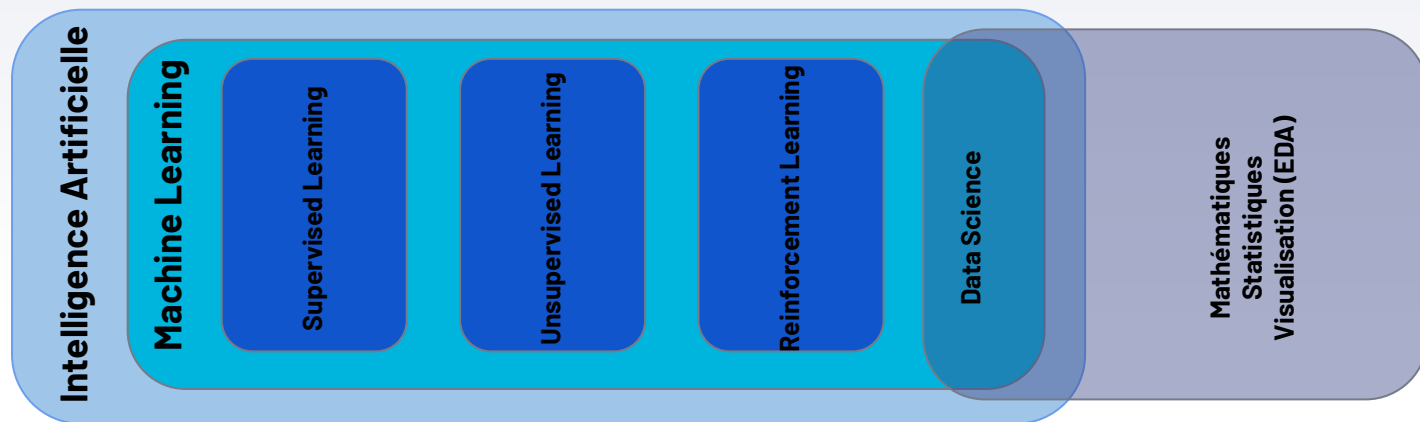


1

Introduction

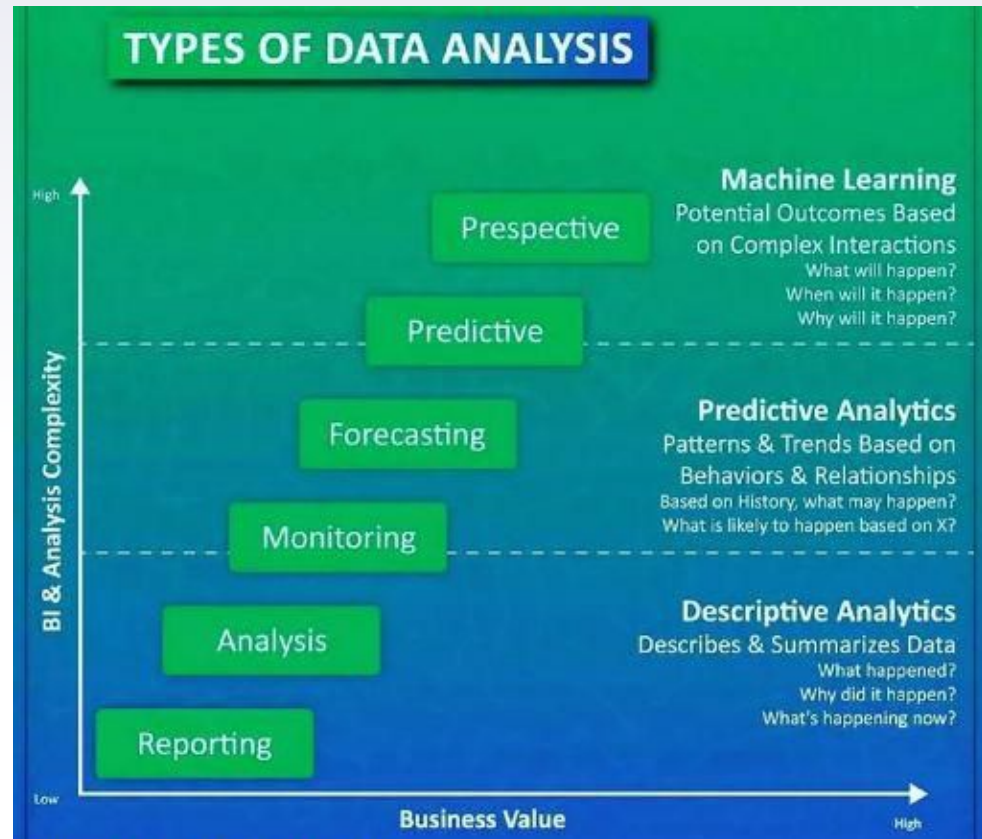
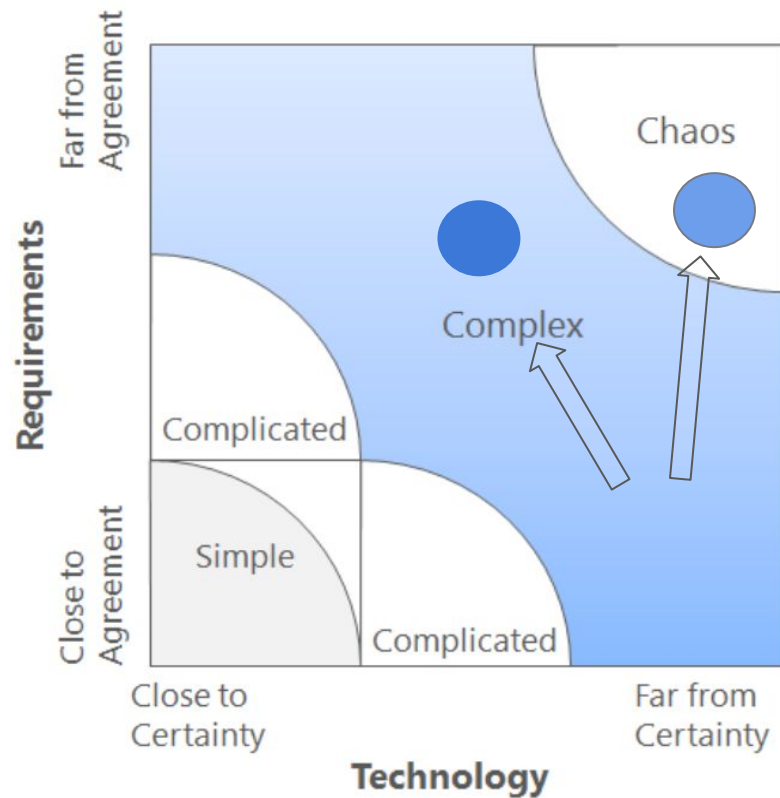


AI, ML, DL, RL, DS... Quelques définitions



- ▶ **L'intelligence artificielle** – permet aux machines d'effectuer des tâches sans programmation préalable.
- ▶ **Le machine learning** – est basé sur l'apprentissage statistique paramétrique ou non-paramétrique à partir des données ainsi il permet de réaliser des prédictions.
- ▶ **Le deep learning** – est une branche du machine learning utilisant des réseaux de neurones.
- ▶ **Le reinforcement learning** – est la seule branche où l'IA pourrait dépasser celle de l'humain.

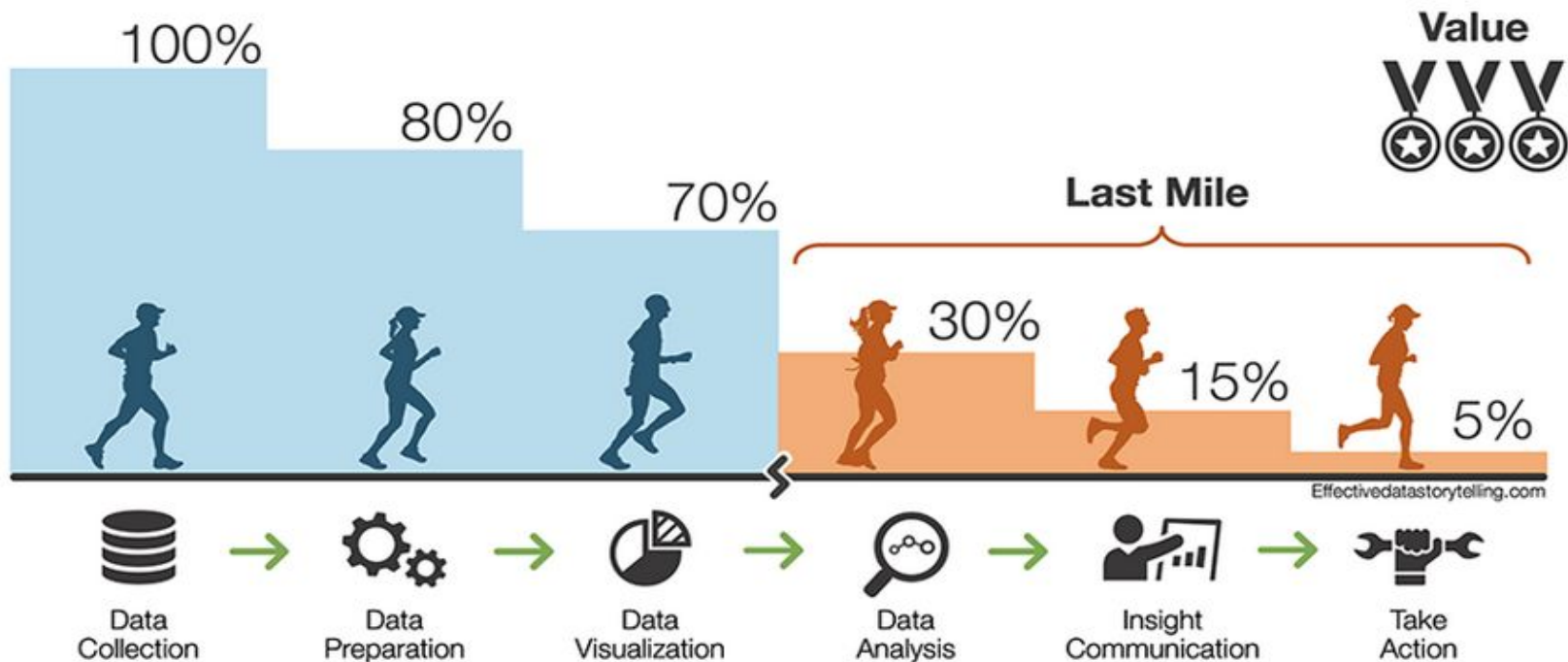
AI: Exigences vs Complexité vs Business Value



D'un point de vue technologique, les projets DS/AI se caractérisent par une certaine complexité relativement élevée allant jusqu'au chaos.

AI: Décisions exploitables apportant de la vraie valeur

Data Analytics Marathon



Source: Forbes, article 12/1/2022 Data Analytics Marathon: Why Your Organization Must Focus On The Finish

L'AI/DS est comme un marathon, où peu d'entreprises atteignent la ligne d'arrivée avec des décisions exploitables. La plupart des entreprises abandonnent après les premières étapes.

Situation actuelle

Selon Gartner, le machine learning, le deep learning, le NLP et le développement des chatbots entrent officiellement dans une zone dangereuse de turbulences souvent connue par "the trough of disillusionment" (مرحلة خيبة الأمل)

Pendant une période comprise entre 2 et 5 ans, les entreprises vont se concentrer plutôt sur la construction d'un socle data solide puisqu'on passe d'une approche "model-centric AI" vers une approche "data-centric AI" selon Andrew Ng (voir les deux conférences sur YouTube 24 mars 2021 et 11 août 2021). Ce qui explique la montée en puissance des offres en data engineering et dataops pendant cette année 2022.

Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2021



gartner.com

Source: Gartner
© 2021 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved. Gartner and Hype Cycle are registered trademarks of Gartner, Inc. and its affiliates in the U.S. 1482644

Gartner

AI vs Energie: Le paradoxe de Jevons

“L'introduction de technologies plus efficaces en matière d'énergie peut, dans l'agrégat, augmenter la consommation totale de l'énergie.”

Les progrès technologiques qui ont permis l'utilisation du charbon durant la Révolution industrielle ont augmenté de manière substantielle la consommation de ce combustible.

Les manufactures alimentées au charbon de Manchester au XIXe siècle.



“Will AI replace humans? Is it capable of eliminating jobs? The answers to these questions may surprise.

According to the Jevons paradox, when a new technology is convenient and simplifies daily tasks, its utilization does not replace jobs, but creates many new jobs instead, all utilizing this new invention. In finance, all previous Fintech innovations fit the bill: Bloomberg's terminals paved the way for the era of quants trained to work on structured data; the Internet brought in millions of individual investors. Similarly, advances in AI and proliferation of all kinds of data will usher in a generation of new finance practitioners.”

2

La transformation digitale dans le secteur de l'énergie:

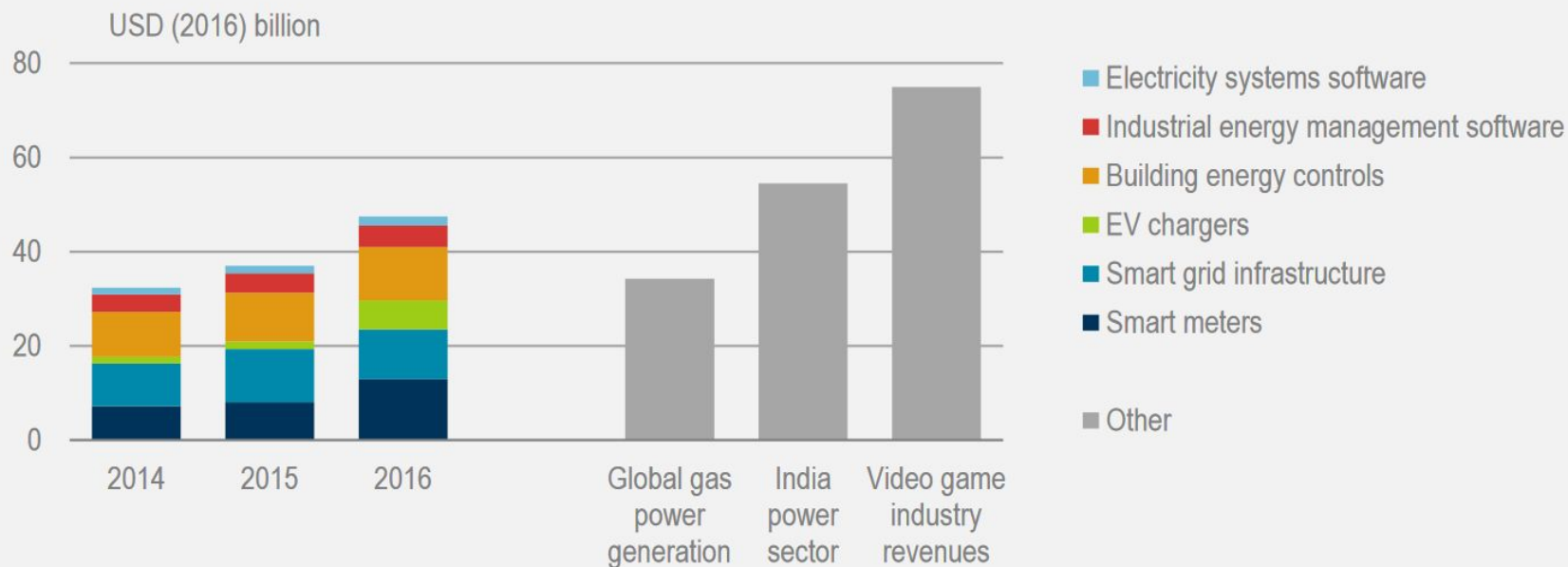
- Digitalisation
- Intelligence artificielle
- IoT...





Le secteur de l'énergie un early adopter des technologies digitales

Les investissements en transformation digitale dans le secteur de l'énergie explosent



Key message: Investment in digital electricity infrastructure and software grew over 20% annually between 2014 and 2016, overtaking global investment in gas-fired power generation.

La transformation digitale dans le secteur de l'énergie:

- Digitalisation
- Intelligence artificielle

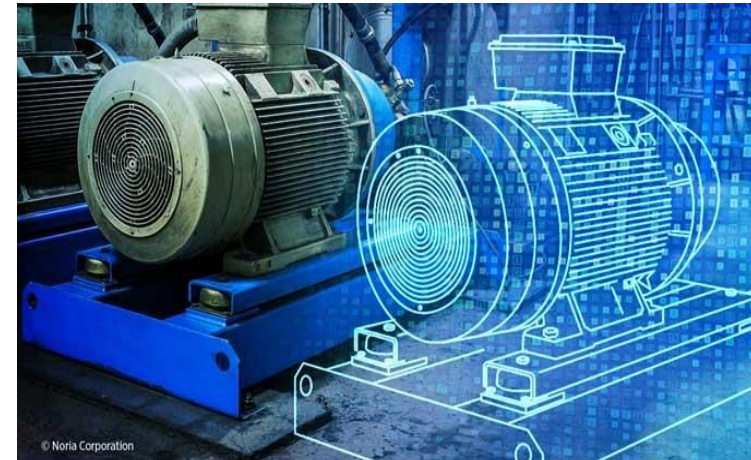


Selon le document publié par l'agence internationale de l'énergie en 2017 www.iea.org



Transformation digitale dans le secteur de l'énergie

- ▶ **Early adopters**
- ▶ - depuis les années 70, les compagnies d'électricité étaient les pionniers dans l'inclusion du digital dans la gestion et l'opération des réseaux.
- ▶ - Les compagnies de pétrole et gaz ont utilisé les technologies digitales pour modéliser l'exploration et la production
- ▶ Ces compagnies ont acquis des ordinateurs puissants pour modéliser les gisements (digital twins)
- ▶ Les jumeaux numériques intègrent l'AI des données pour créer des modèles de simulation numérique qui se mettent à jour et changent à mesure que leurs contreparties physiques changent. Un jumeau numérique apprend en permanence et se met à jour en utilisant de multiples sources pour représenter son statut, sa condition de travail ou sa position en temps quasi réel.



Transformation digitale dans les opérations pétrolières

- ▶ **Opérations difficiles et complexes**
- ▶ Difficile accès aux installations: désert, froid, mer profonde
- ▶ Complexité des opérations (exploration, développement, production) avec des millions d'informations toutes les secondes.
- ▶ Opérations en continues 24 heures * 7 jours * 52 semaines
- ▶ Accidents graves souvent liés à des facteurs humains
- ▶ Maintenance préventive mieux que la maintenance curative: détection des incidents de fonctionnement avant qu'ils ne se produisent
- ▶ Amélioration du taux de succès dans l'exploration des hydrocarbures certaines compagnies atteignent les 100%
- ▶ Cybersécurité
- ▶ Optimisation des coûts/optimisation du taux de récupérations d'hydrocarbures



Transformation digitale dans les opérations pétrolières

En exploration:

- ▶ Généralisation de données sismiques en 3 dimensions (contre 2 dimensions auparavant), et 4 dimensions (en utilisant le temps comme 4ème variable).
- ▶ Amélioration de la qualité et de la définition des informations
- ▶ Augmentation importante de la quantité des informations à traiter

En forage/développement:

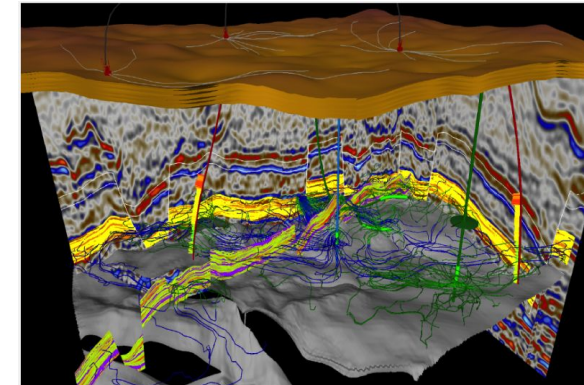
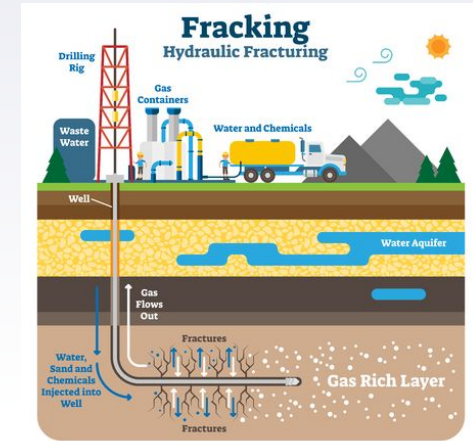
- ▶ Complexité croissante des puits: Horizontaux, multilatéraux
- ▶ Données acquises pendant le forage et transmises en temps réel

En production:

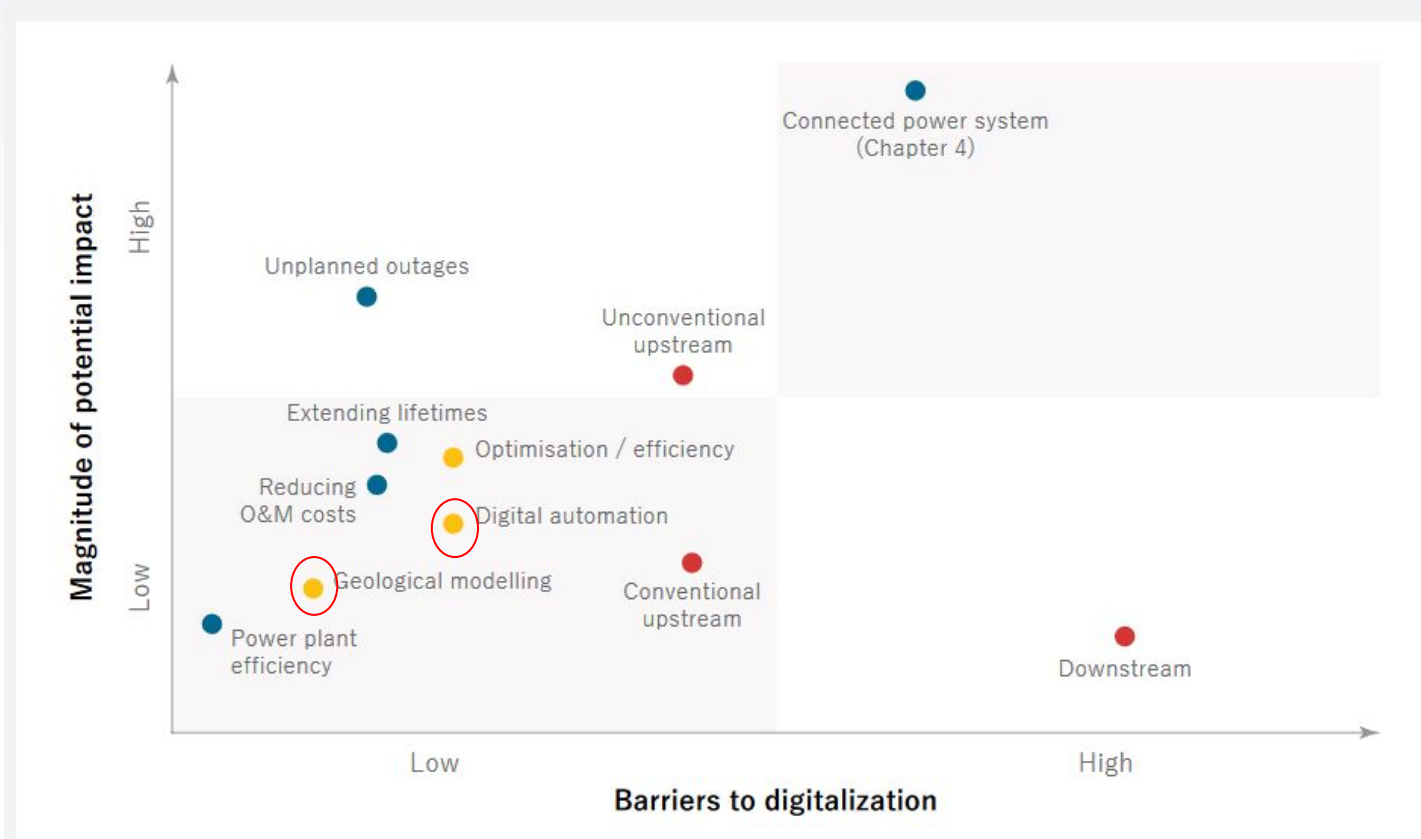
- ▶ Informations en surfaces et souterraines: Données de capteurs transmises en temps réel

En R&D

- ▶ Modélisation de gisements: digital twin du champ avec parfois des milliards de cellules



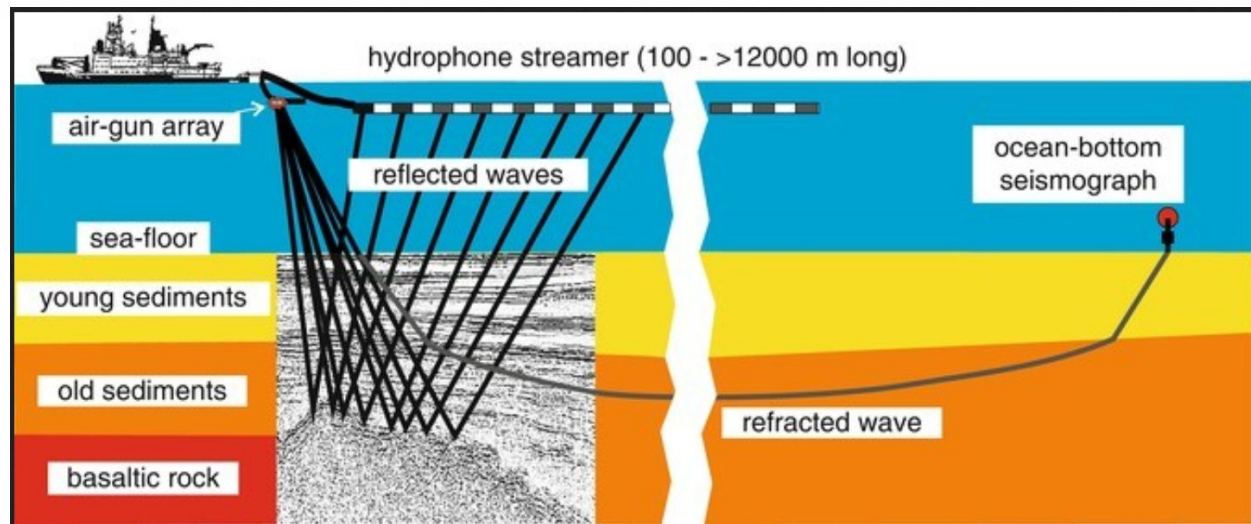
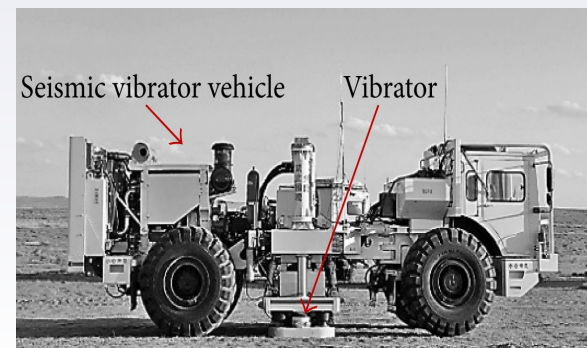
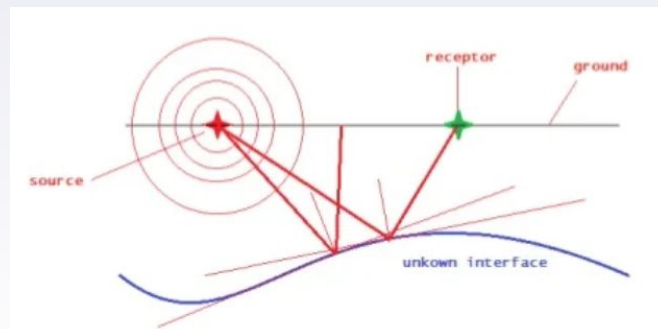
Gestion du changement: analyse d'impact



Seismic reflection tomography (recherche des gisements)

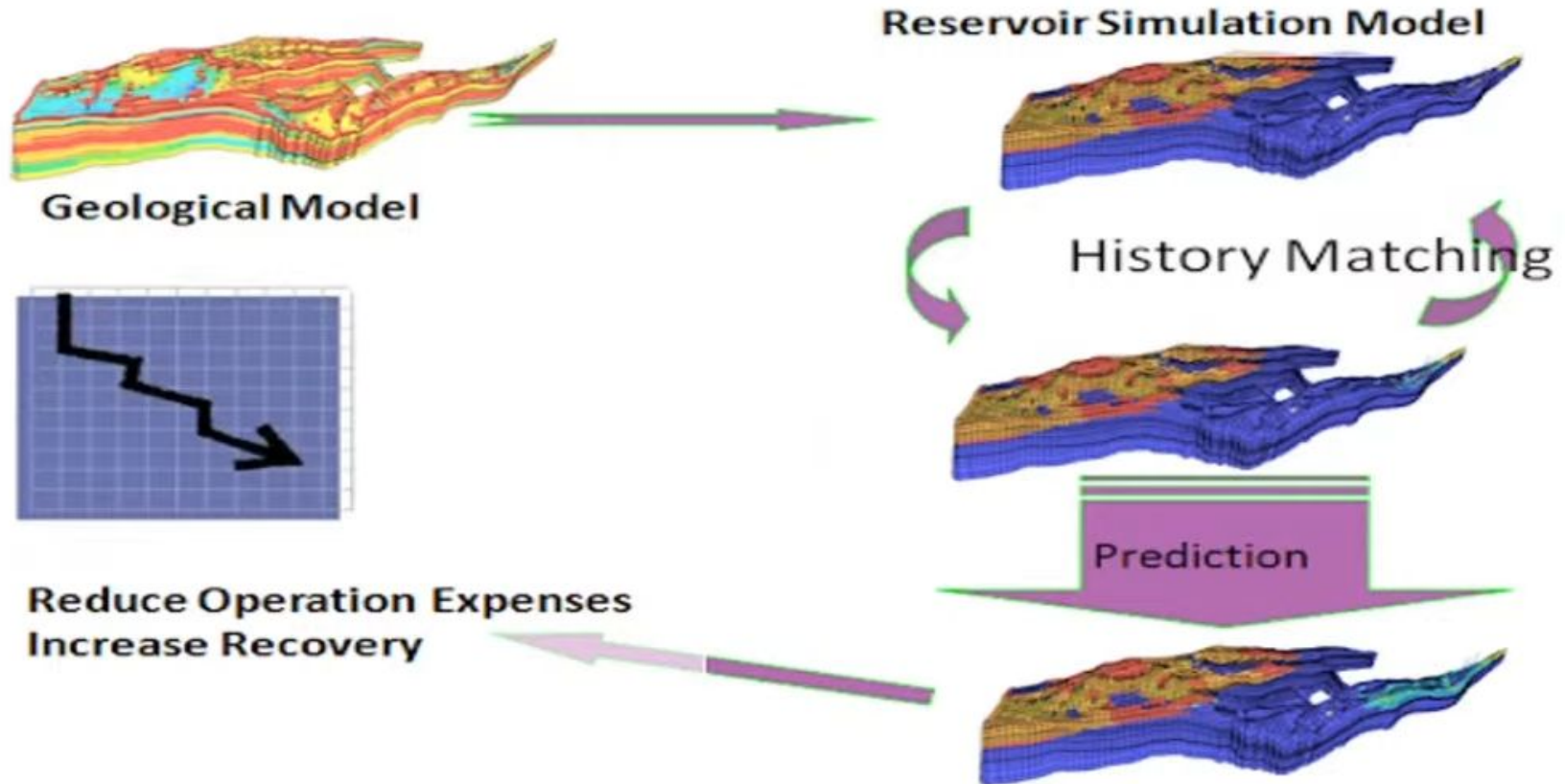
Excitation du système à l'aide des ondes acoustiques:

- ▶ Propagation de l'onde dans le milieu selon une trajectoire rectiligne
- ▶ Onde se propage entre une source émettrice et un récepteur avec une réflexion sur un milieu de position et forme inconnue
- ▶ Célérité (connue) et constante dans le milieu

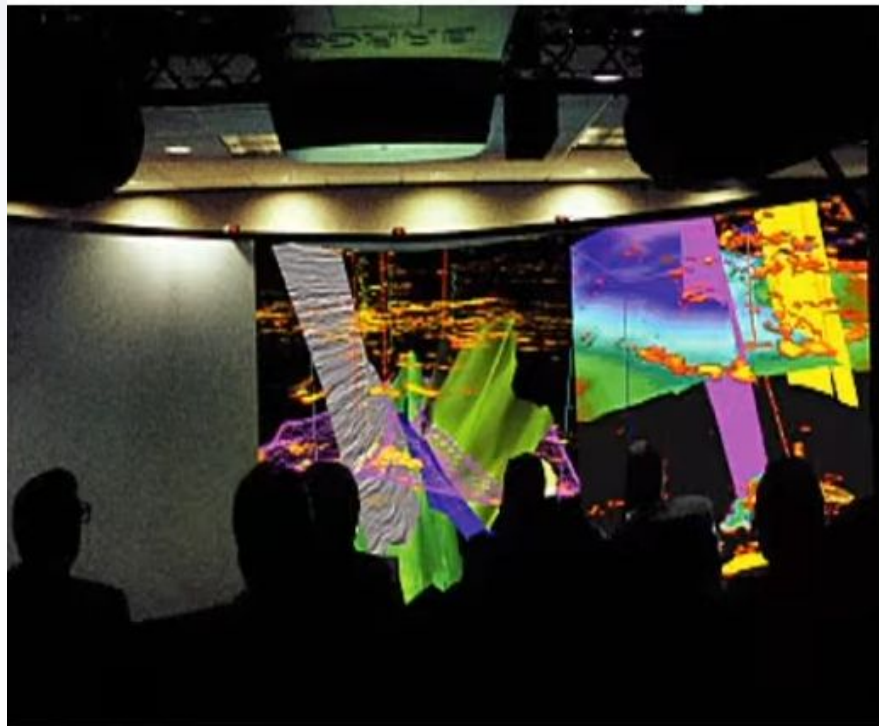


$$\arg \min_{a \in \mathbb{R}^n} \frac{1}{2} \|r(a)\|_2^2 + \frac{\varepsilon}{2} a^T R a$$

Représentation d'un champ d'hydrocarbures: Du modèles géologique au Digital Twin (simulation)

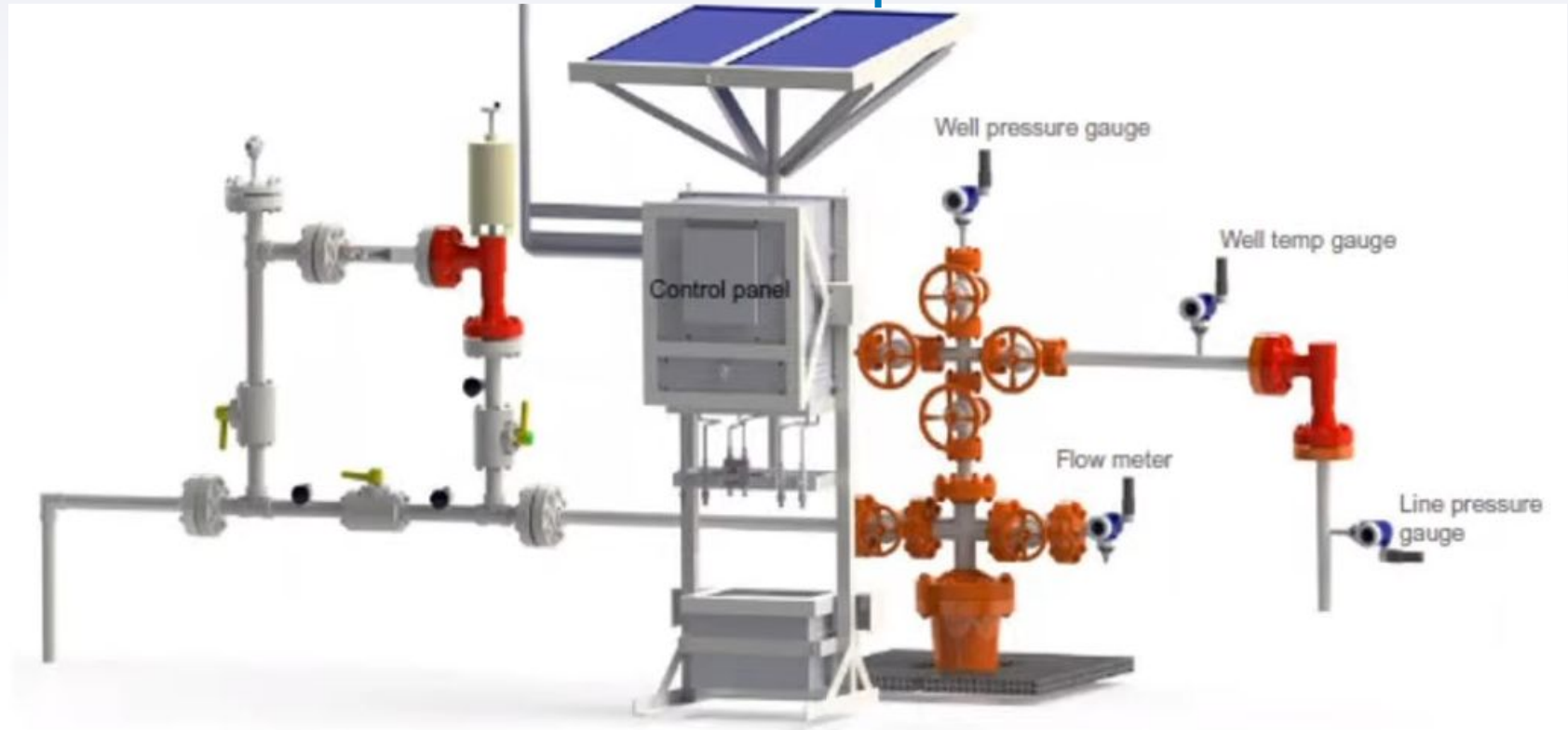


Immersion virtuelle dans un gisement (réalité augmentée)

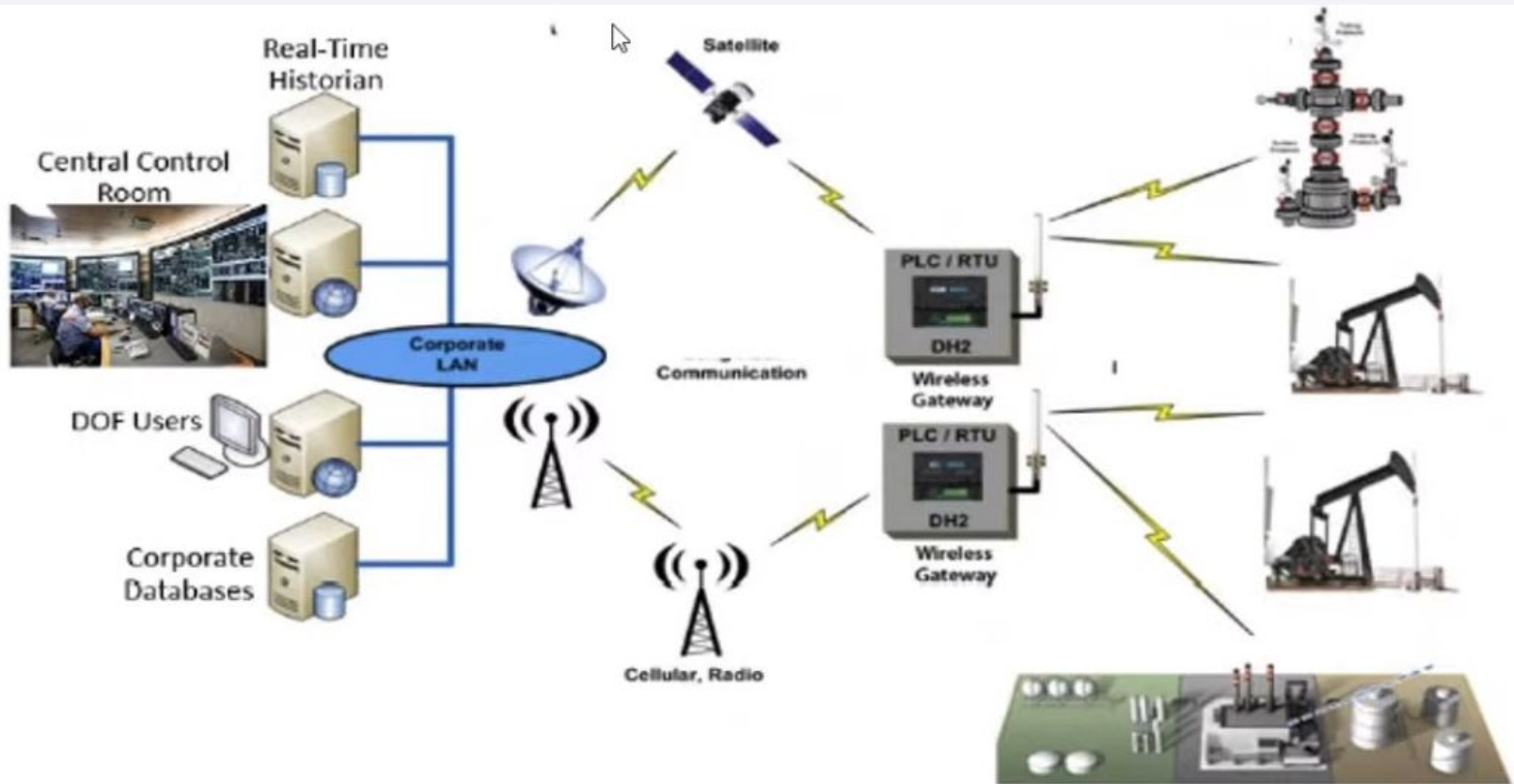


Contrôle et maintenance préventive

Au niveau de la tête de puits

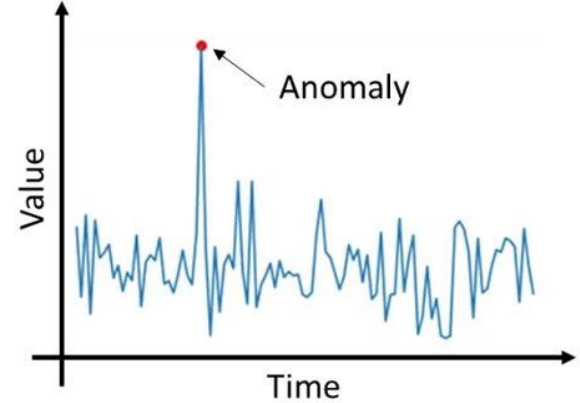
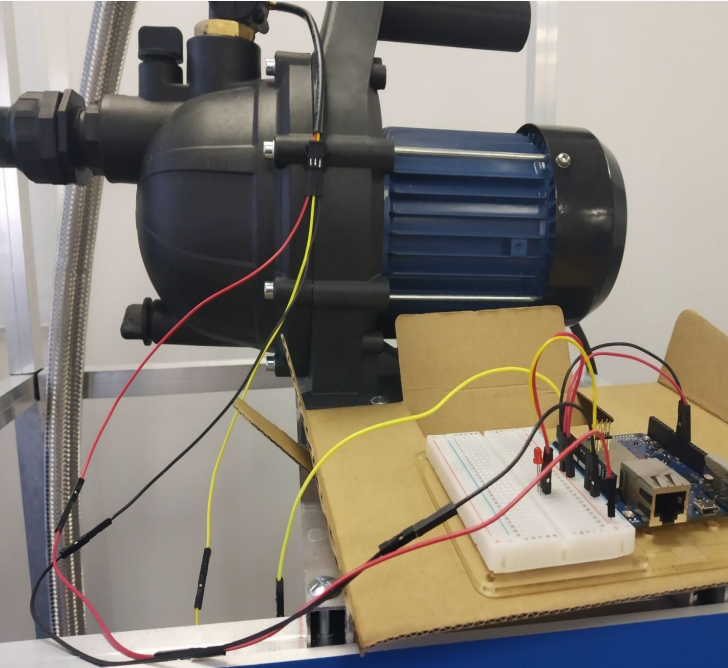
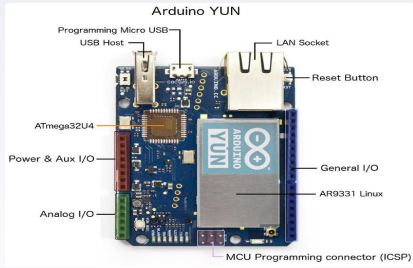


Systeme SCADA



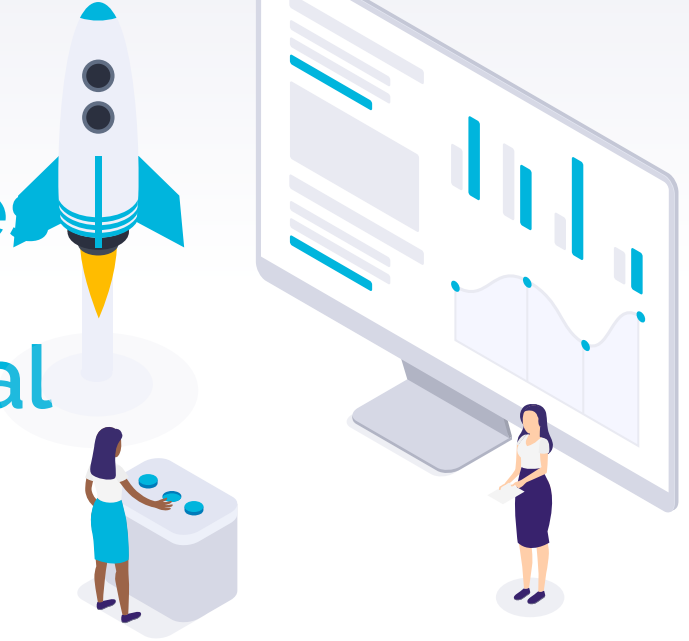
Contrôle et maintenance préventive

Détection d'anomalies



3

Modélisation à l'aide de réseaux de neurones: Physics Informed Neural Network (Physics Informed Machine Learning)



Exploitation de l'énergie géothermique

(a)

Très basse énergie:

- Nappe prof<100m
- Température <à 30c
- utilisation: chauffage

(b)

Basse Energie

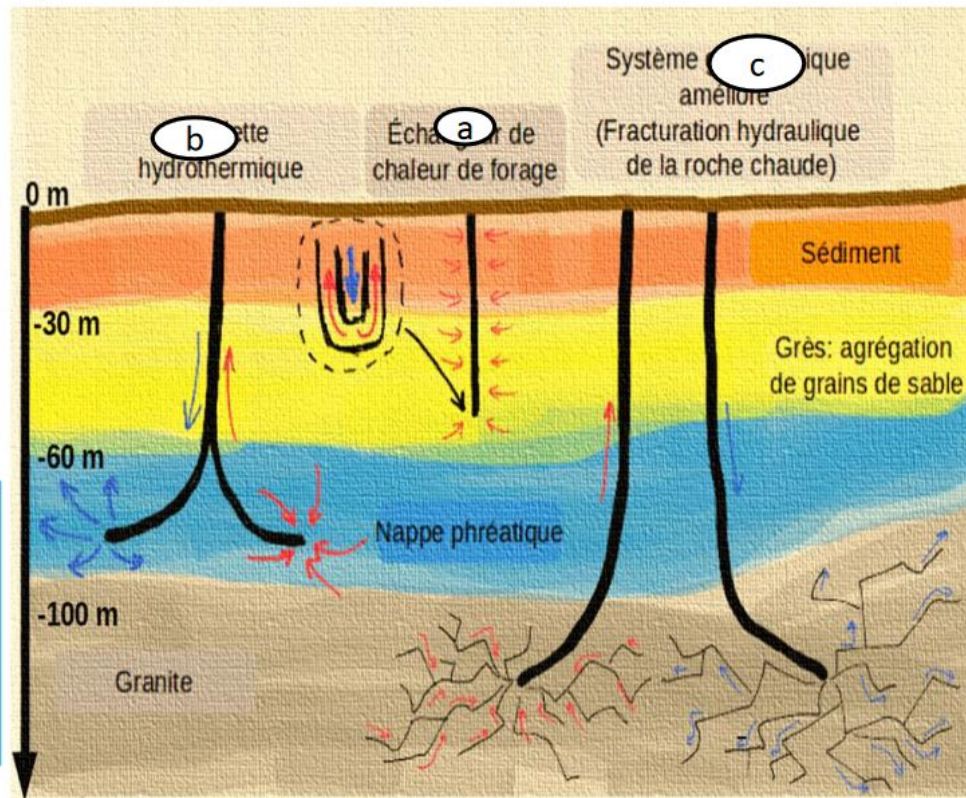
- 30<Température<100
- Prof jusqu'à 1500m (aquifère profond)
- Utilisation: utilisation industrielle,

(c)

Haute énergie:

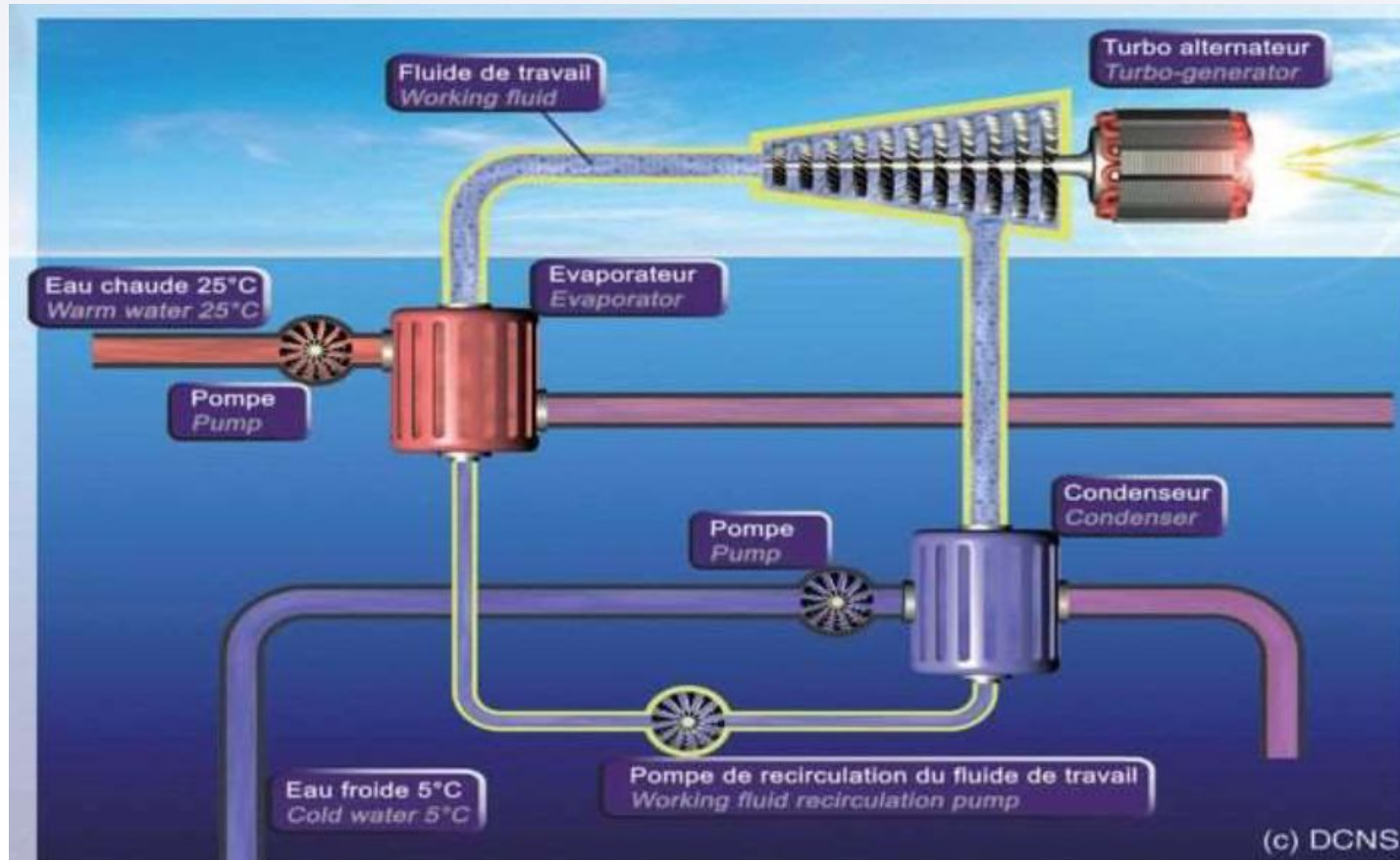
- 150<température<350
- Prof >2500
- Production de l'électricité

On se place au voisinage de surface de la terre
et on néglige sa concavité:



Exploitation du gradient de température

Ocean thermal energy conversion (OTEC System)



Exemple d'une modélisation par des EDP

Equation de la chaleur

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\vec{J}) + h(T - T_s) + \sigma$$

l'équation de la chaleur dans une couche

Annotations de l'équation :

- ρc : Masse volumique
- $\frac{\partial T}{\partial t}$: Coefficient
- $\text{div}(\vec{J})$: Courant Thermique
- $h(T - T_s)$: Terme de production par radioactivité des roches
- σ : Courant Thermique par convection
- T : Température du fluide

D'après la loi de fourrier : $(\vec{J}) = -\lambda \text{grad}(T)$

$\lambda = \text{constante}$

On obtient : $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T + \frac{h}{\rho c} (T - T_s) + \sigma$

Conductivité thermique

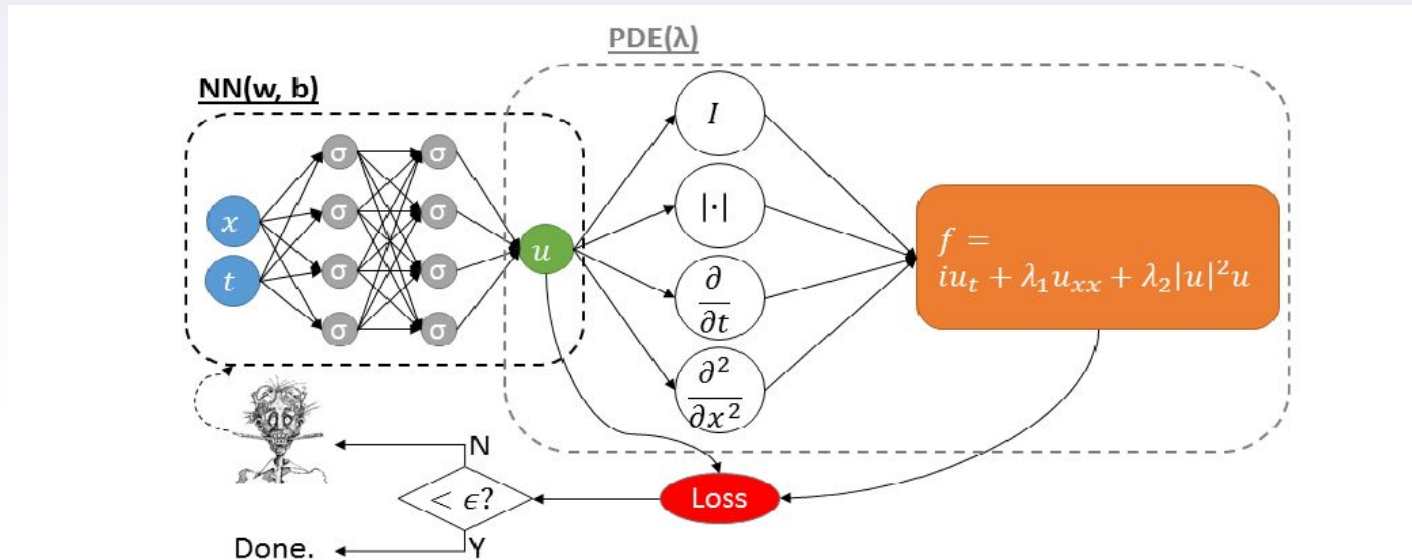
Equation de la chaleur bidimensionnelle :

pour aboutir à un problème 2D (en espace réel)

En supposant la diffusion est bidimensionnelle :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{h}{\rho c} (T - T_s) + \sigma$$

Résolution de l'EDP par une intelligence artificielle



➤ Minimize:

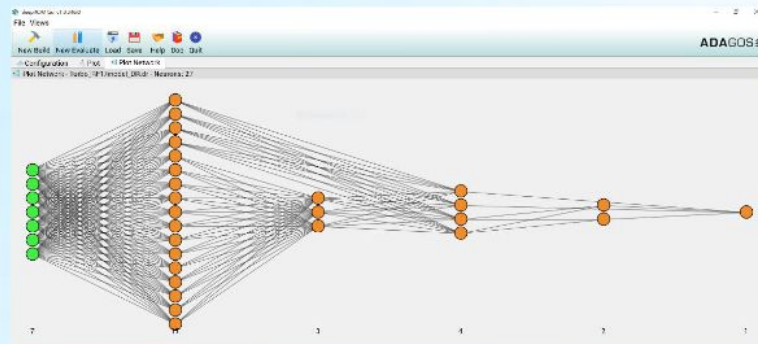
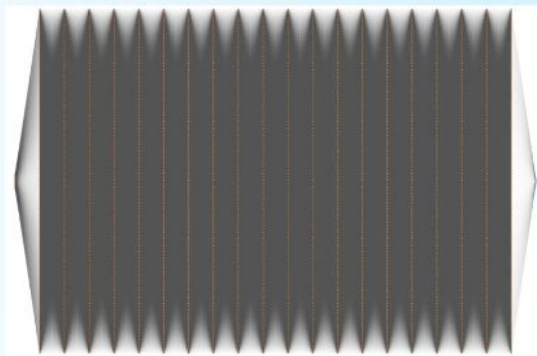
$$MSE_u = \frac{1}{N_u} \sum_{i=1}^{N_u} |u(t_u^i, x_u^i) - u^i|^2,$$

$$MSE = MSE_u + MSE_f,$$

L-BFGS

$$MSE_f = \frac{1}{N_f} \sum_{i=1}^{N_f} |f(t_f^i, x_f^i)|^2.$$

Comparison with a Giant of AI - Turbocharger blade test case



	Giant of AI	ADAGOS
Learning data (Percentage of available data)	1 000 000 samples (100 %)	10 000 samples (1%)
Size of the network (Number of links)	500 000	200
Computing resources	A 15 000 \$ TESLA GPU card	1 minute 13'' on a laptop
Development approach	Trial and error	One shot
Energy consumption (estimation)	1 kWh	0.0005 kWh

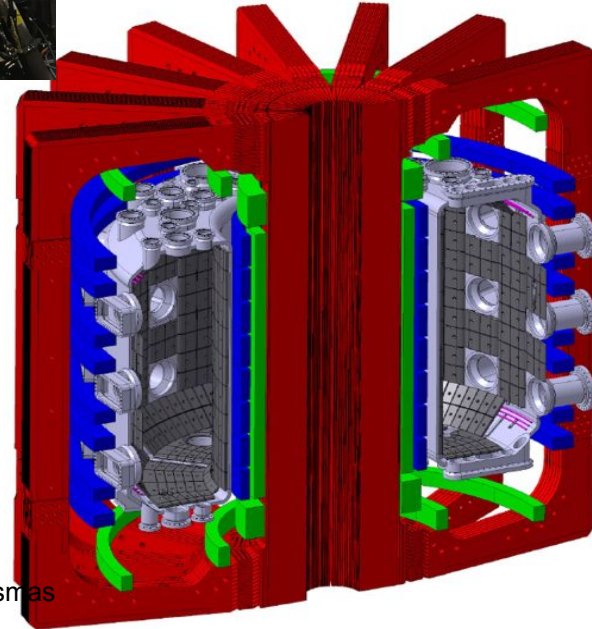
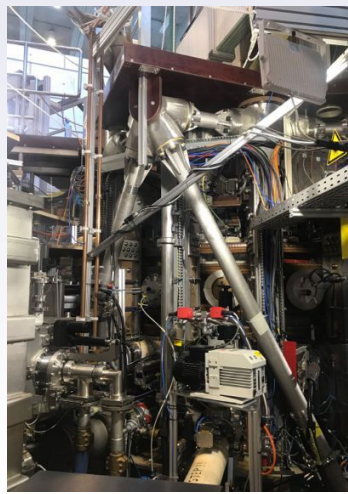
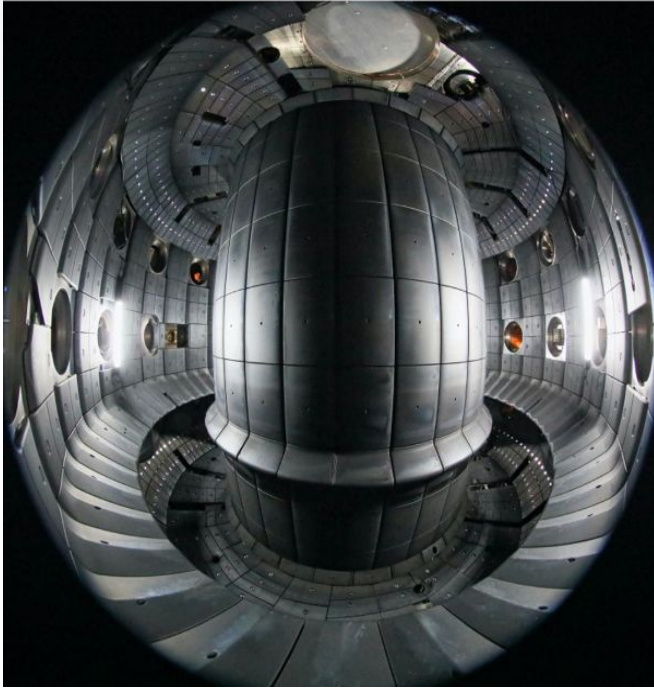
4

Contrôle et Commande d'un réacteur à fusion nucléaire (Tokamak) à L'aide de l'intelligence Artificielle via le deep Reinforcement learning



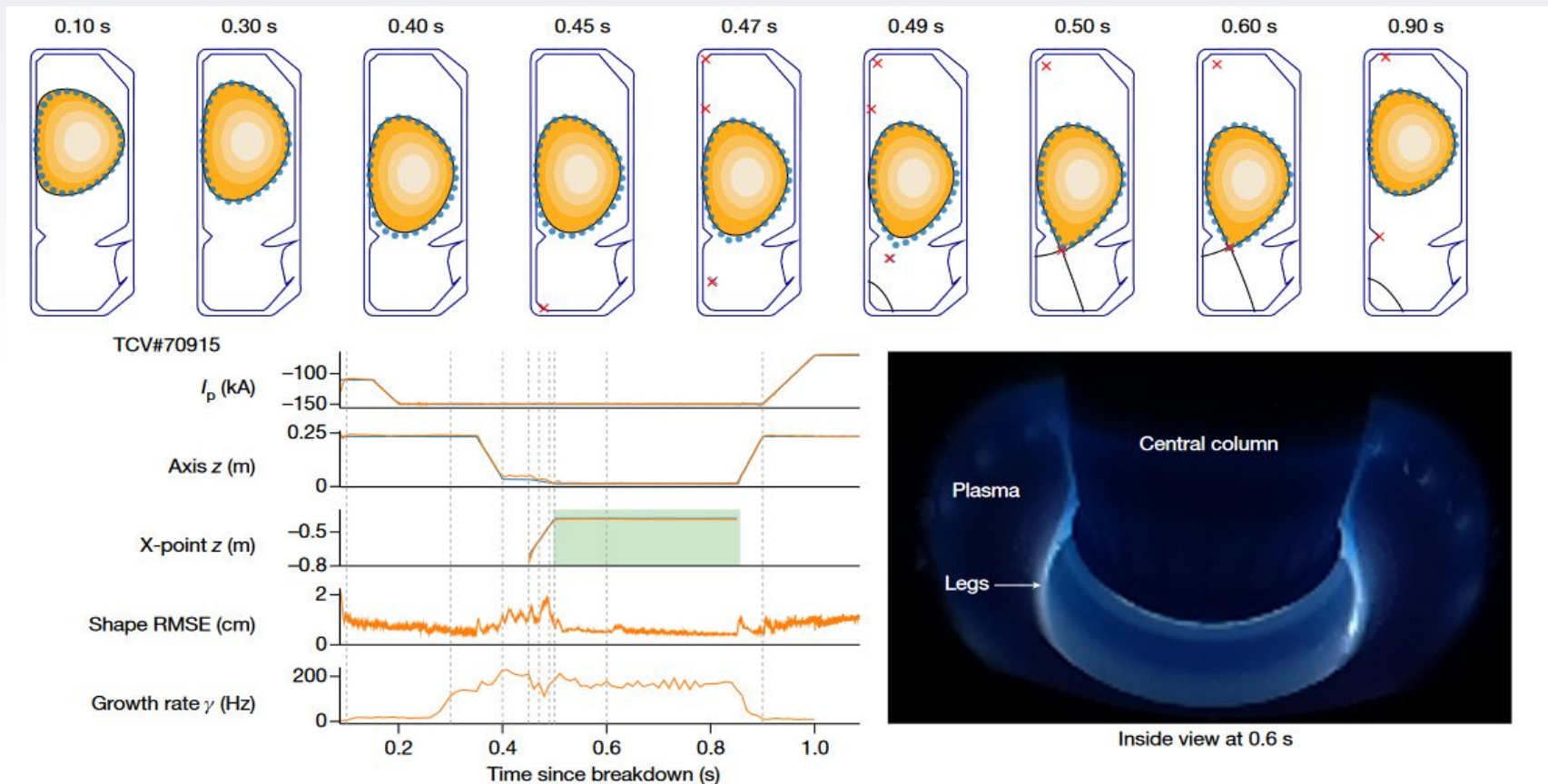
Tokamak EPFL

Centre suisse des études du plasma



<https://www.nature.com/articles/s41586-021-04301-9.pdf> Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning

Fonctionnement du réacteur et état du plasma

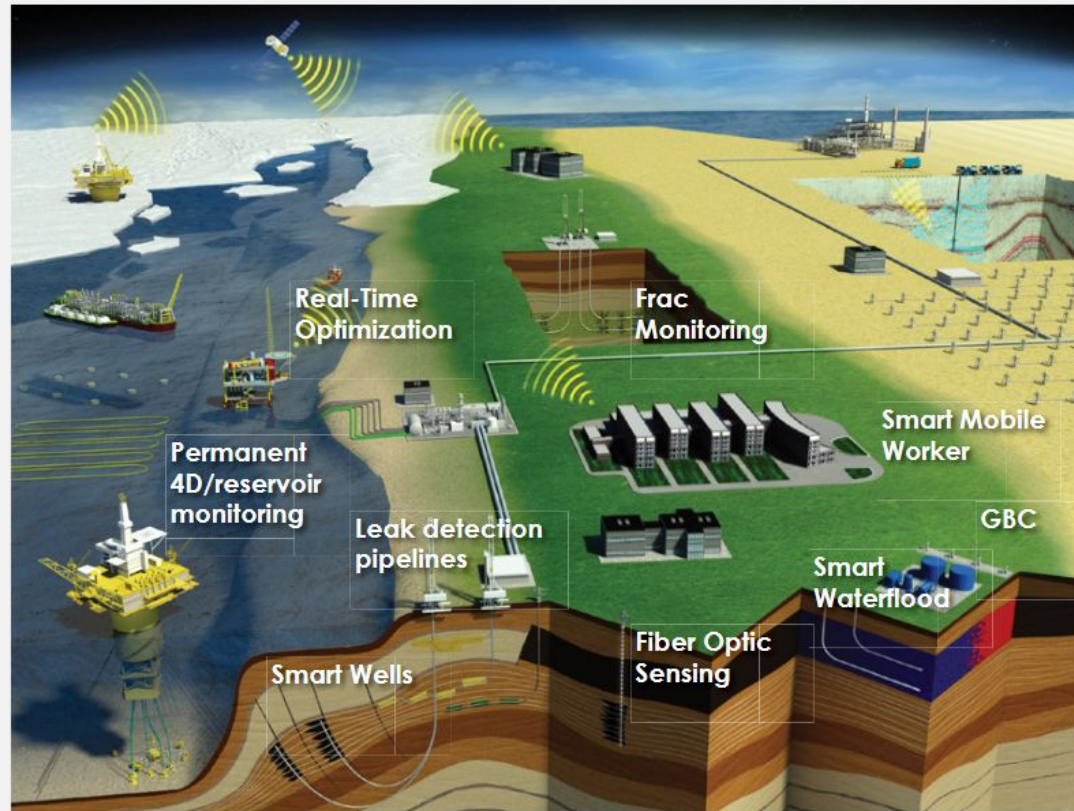


4

Conclusion



Figure 3.4 Digitally-connected remote operations in oil and gas fields



Key message: Many oil and gas operations are digitally connected and can be monitored and operated remotely to help optimise production.

Source: Courtesy of Shell Global Solutions International B.V.