

Intelligence Artificielle : Trajectoires, Chaîne de Valeur et Enjeux pour les Pays Émergents

Abderrahmane SERIDJI
abder@seridji.com

Alger, le 31 Janvier 2026

Sommaire

01 Trajectoires

02 Applications

03 Enjeux et Impacts

01

Trajectoires de l'Intelligence Artificielle : Quelques Rappels

1- Le Contexte de Développement de l'IA

2- L'IA Préexistait à l'IA Générative

3- Quelques Définitions Spécifiques

Contexte

Le Digital au Cœur des Usages



1 La Toile Informationnelle et Transactionnelle

La toile informationnelle diffuse et partage des connaissances tandis que la toile transactionnelle transforme ces interactions en actions économiques, comme s'informer sur un produit sur Wikipedia puis l'acheter sur Amazon..



2 Des Actionnaires sans Actifs Matériels

UBER, AIRBNB, BOOKING.COM, REVOLUT.....

Ces nouveaux venus sont des plates-formes et reposent essentiellement sur des actifs immatériels : savoir-faire, données, propriété intellectuelle, marques, logiciels, communauté, ou réseau.



3 Les Réseaux Sociaux

Utilisent la technologie pour connecter les personnes, les organisations et les ressources dans un écosystème interactif dans lequel une quantité incroyable de valeur peut être créée et échangée : FACEBOOK, INSTAGRAM, X, BLUESKY, LINKEDIN, TIKTOK...



4 La Révolution Mobile

Rend l'accès permanent à l'information, aux services et aux échanges possibles partout et à tout moment, plaçant le SMARTPHONE au centre de la vie quotidienne et de l'économie numérique. Avant 2022, il y avait environ 5,31 milliards d'utilisateurs uniques de téléphones mobiles

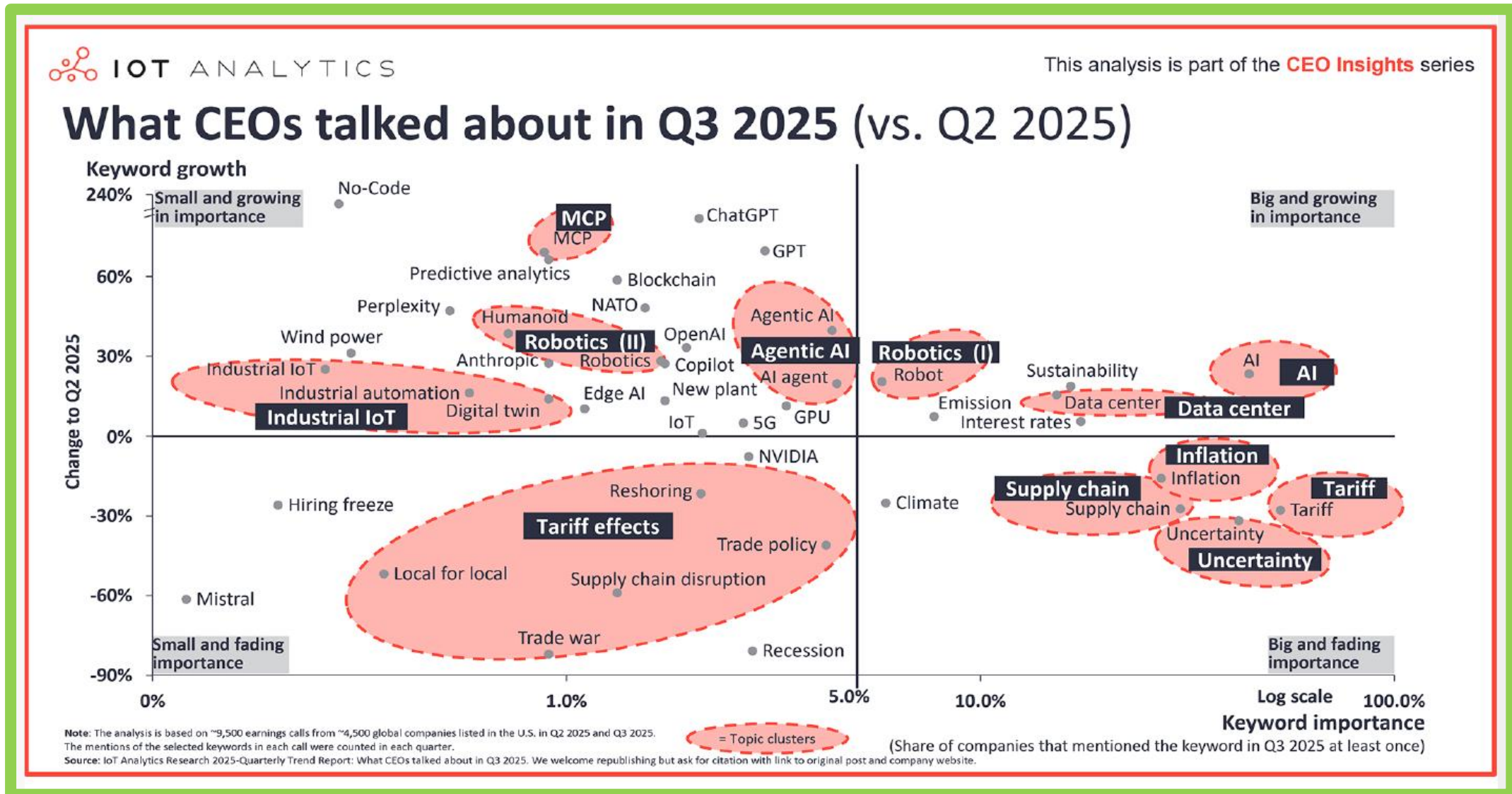


5 L'Internet des Objets

Connecte machines et données pour rendre l'industrie plus intelligente, prédictive et efficace, par exemple en anticipant les pannes grâce à des capteurs connectés via les protocoles radio ou internet pour transmettre les données vers le cloud

L'IA dans les Entreprises

L'IA dans l'Agenda des Dirigeants



L'IA dans les Entreprises

Importance de l'IA



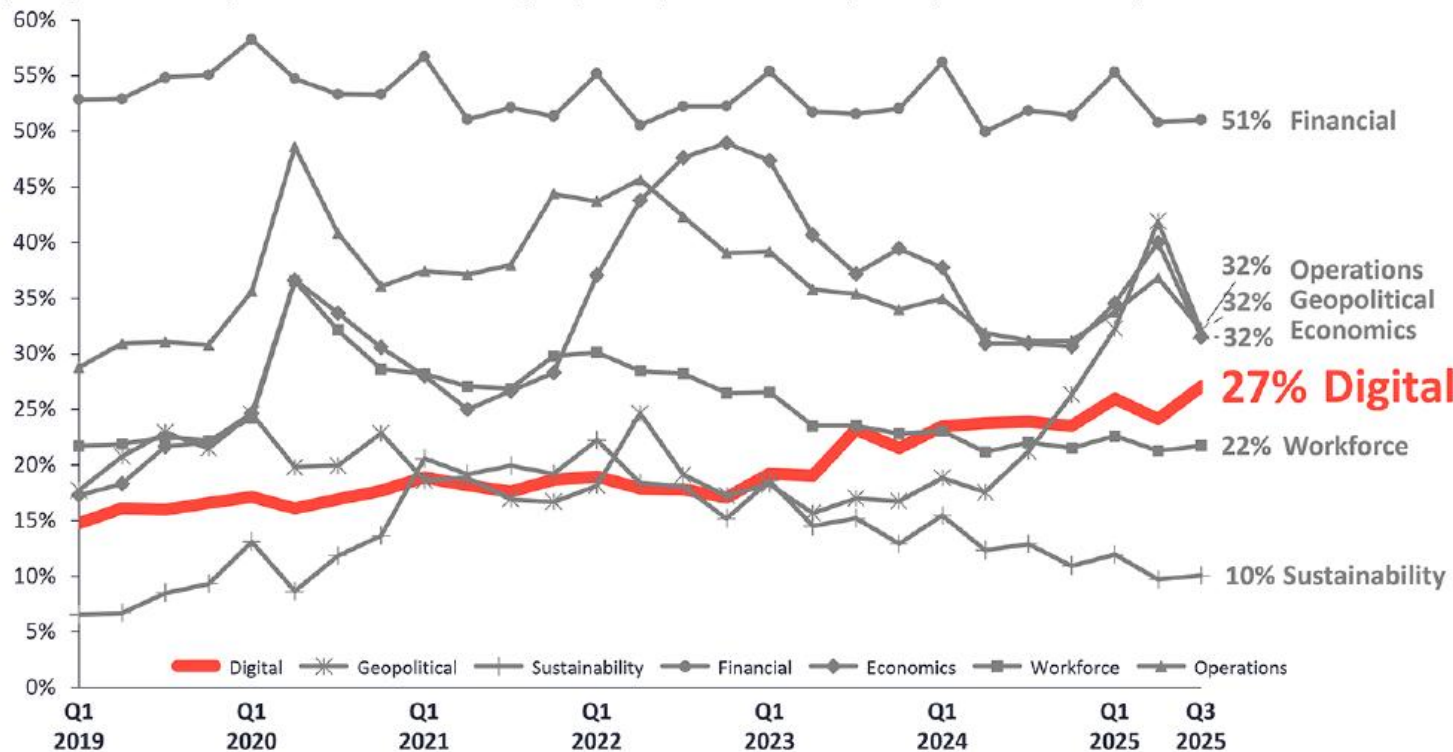
IOT ANALYTICS

This analysis is part of the **CEO Insights** series

Importance of CEO digital agenda in earnings calls

Importance of each CEO agenda

(Average share of companies that mentioned the top 3 agenda keywords* in the respective quarter at least once)



Top themes

AI	45%
Software	21%
Data center	15%
Avg.	27%

Note: The analysis is based on +110,000 earnings calls from ~6,300 global companies listed in the US between Q1 2019 and Q3 2025.

*Agenda keywords were manually selected based on topic relevance and the average share is always calculated from the top 3 most discussed keywords for the respective quarter.

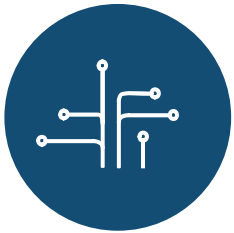
Source: IoT Analytics Research 2025-Quarterly Trend Report: What CEOs talked about in Q3 2025. We welcome republishing but ask for citation with link to original post and company website.

L'IA avant l'Emergence de l'IA Générative : l'IA Symbolique

Des Méthodes, Techniques Riches et Diverses

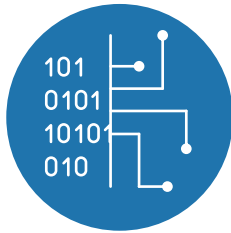
EXEMPLES IA : 1980 - 2000

SYSTÈMES EXPERTS



Simuler le raisonnement d'un expert pour diagnostic ou configuration : diagnostic de pannes, planification.....

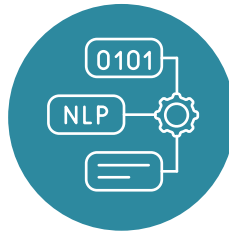
LANGAGES PROLOG, LISP,....



PROLOG = tu écris les faits et règles logiques, et le moteur infère automatiquement les conclusions

LISP = tu dis quoi faire, tu manipules les symboles et tu prototypes.

LANGAGE NATUREL(NLP)



Comprendre et générer du langage humain basé sur des règles symboliques

PHYSIQUE QUALITATIVE



Modéliser et raisonner sur des phénomènes physiques sans calcul numérique précis

LOGIQUE FLOUE



Permettre un raisonnement avec valeurs intermédiaires pour modéliser l'incertitude et l'imprécision

QUANTIFICATION DE L'INCERTITUDE

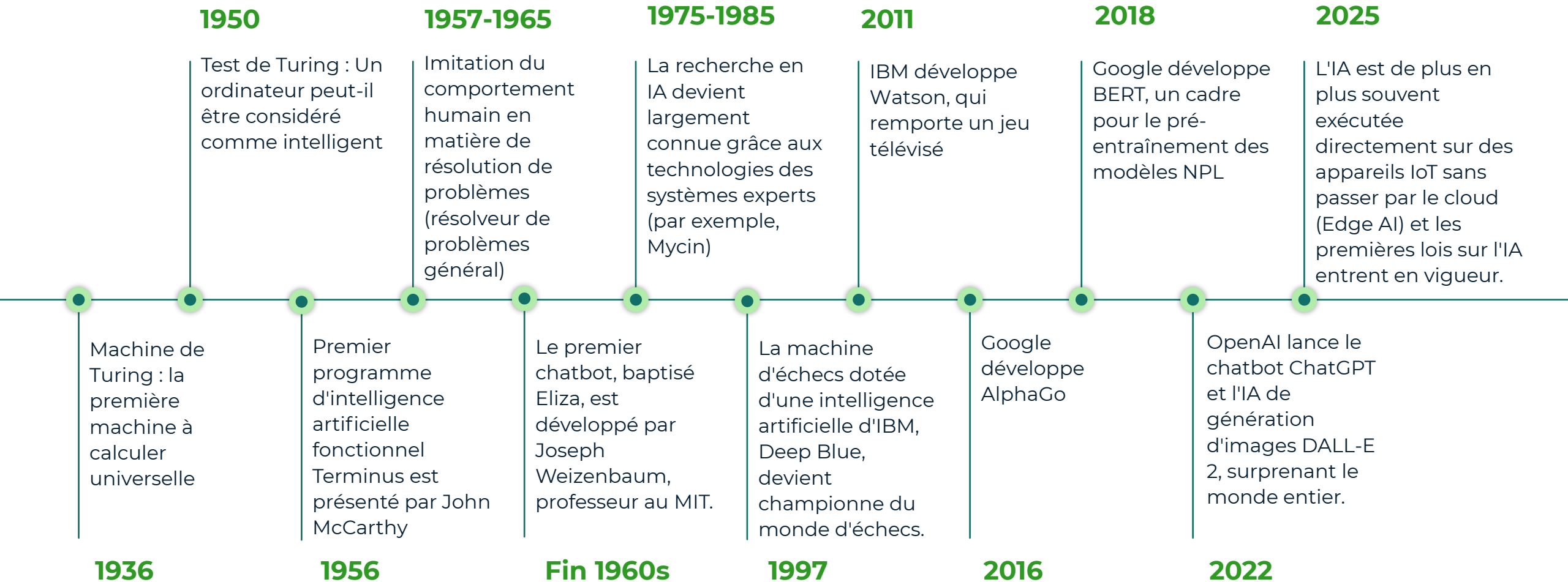


Gérer l'information incomplète ou incertaine avec des probabilités subjectives

INGENIERIE DE LA CONNAISSANCE

Chronologie Technologique

Liée à la Naissance de l'Informatique



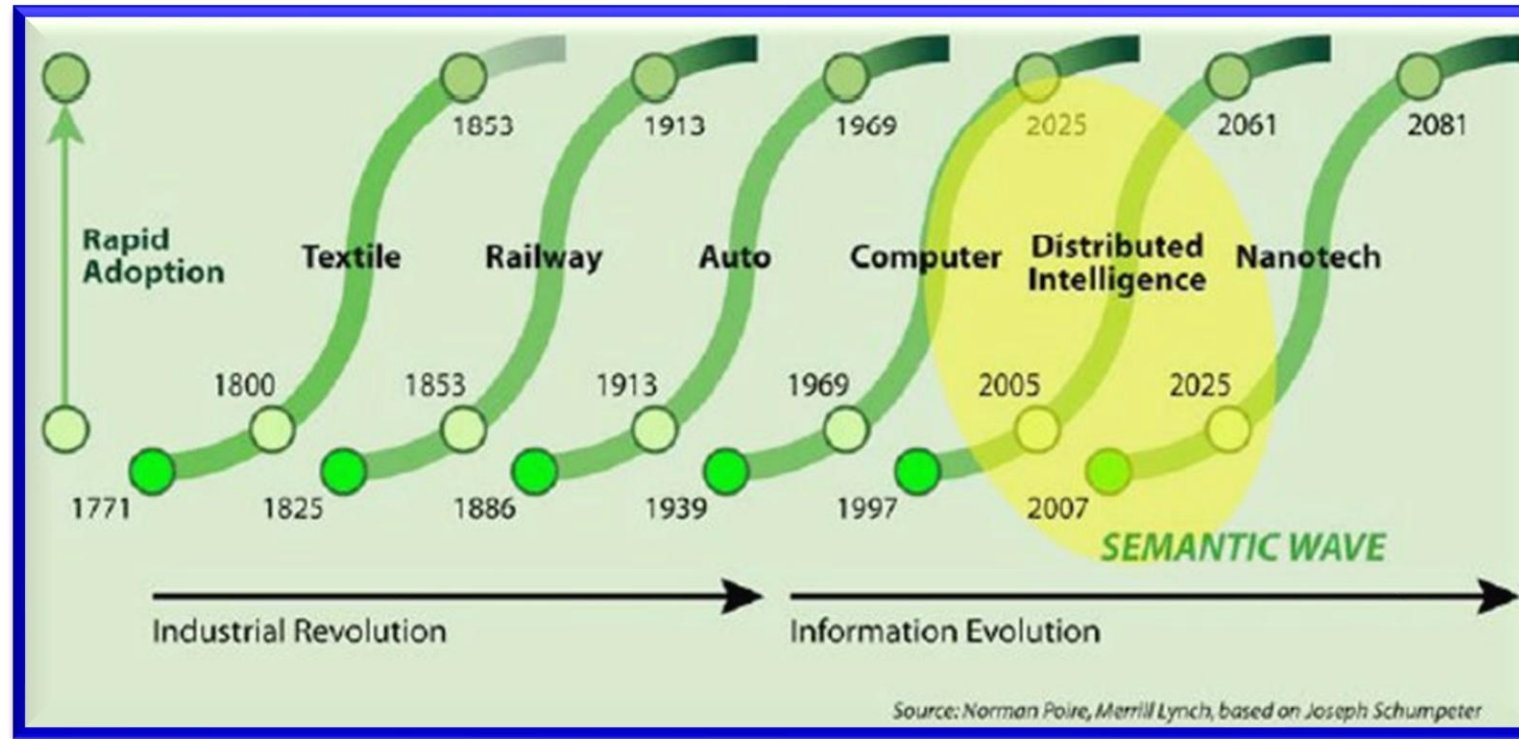
Chronologie Idéologique et Economique

Forces Dominantes

	1940-1950	1960-1970	1980	1990	2000	2010	2020
	ORIGINES	OPTIMISME MODERNISTE	PRODUCTIVITE & MANAGEMENT	INTERNET & FINANCE	CAPITALISME DE PLATEFORME	PROMESSE CIVISATIONNELLE	SOVERAINETE, ETHIQUE, GEOPOLITIQUE
Idéologie dominante	Foi dans la rationalité scientifique, cybernétique, calcul universel..	L'IA comme science de la pensée rationnelle, planification technocratique	L'IA comme outil d'expertise et de gestion.	L'IA intégrée aux réseaux et à la finance..	L'IA comme intelligence des données.	Solutionnisme technologique vs critiques technocritiques	IA responsable, IA souveraine, tension bien commun vs bien privé.
Economie/ Acteurs	Financements militaires (DARPA, Guerre froide)	Programmes publics massifs (US, Japon, Europe).	Systèmes experts en entreprise, premières applications industrielles.	Capitalisme financier et Internet, trading algorithmique.	GAFAM et BATX dominant (Amazon, Google, Facebook, Baidu, Alibaba)	Concentration autour des plateformes, explosion des start-ups IA..	Course USA—Chine—UE, émergence de l'open source (Hugging Face, Stability AI)
Leaders	Norbert Wiener, Alan Turing, John von Neumann	Herbert Simon, Allen Newell, Marvin Minsky	Edward Feigenbaum, Hans Moravec, IBM, Xerox PARC	Larry Page & Sergey Brin (Google), James Simons, Manuel Castells	Jeff Bezos, Mark Zuckerberg, Eric Schmidt, Robin Li, Jack Ma	Demis Hassabis (DeepMind), Elon Musk, Sam Altman (OpenAI)	Fei-Fei Li, Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio, dirigeants

Cycle d'Innovation de Schumpeter

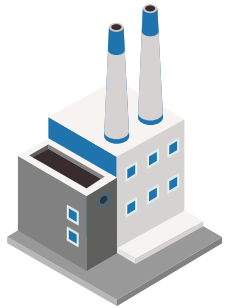
Les Différents Cycles



L'économie a toujours suivi des cycles dont la durée et l'amplitude sont fonction des innovations qui transforment l'appareil de production

Cycle d'Innovation de Schumpeter

Evolution de l'Appareil de Production



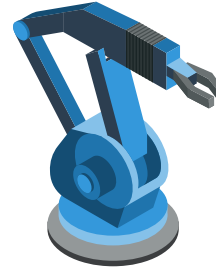
1

Première Révolution Industrielle:

L'utilisation de la vapeur permet la mise en place d'installations de production mécaniques
(Fin du 18^{em} siècle)

Deuxième Révolution Industrielle:

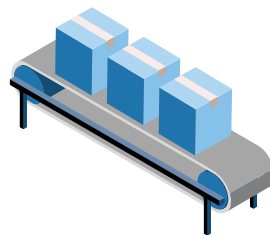
L'énergie électrique permet la production à la chaîne
(Début du 20^{em} siècle)



3

Troisième Révolution Industrielle:

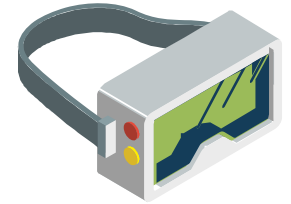
L'IT permet une automatisation accrue de la production
(Début des années 1970)



2

Quatrième Révolution Industrielle:

L'Internet des Objets permet une production en réseau
(Depuis le 21^{em} siècle)



4

Cinquième Révolution Industrielle:

Technologies avancées issues de l'IA, la réalité virtuelle et la robotique autonome
(Deuis 2021)



5

Les Domaines de l'Intelligence Artificielle

Les Différents Segments



Intelligence Artificielle Multimodale

Objectif : IA Omnimodale

IA Unimodale

Un seul
type de
données

→ IA Unimodale → Résultats Limités



IA Multimodale

Texte

Images

Voix

Video

→ IA Multimodale → Plus Grande diversité
dans les résultats



L'IA Multimodale fait Référence à l'IA

Qui peut comprendre, traiter et générer des informations à partir de différentes modalités (par exemple : texte, image, voix et video)

L'un des principaux objectifs de la recherche en IA est le développement d'une IA omnimodale

Edge AI

IA Embarquée



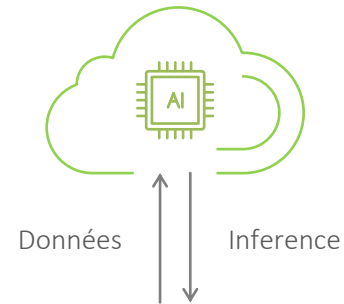
Edge AI

Fait référence à l'intelligence artificielle qui fonctionne sur des supports locaux sans connexion permanente au Cloud

Les données sont traitées sur des **équipements IoT** sans envoyer de grandes quantités de données vers des serveurs cloud distants

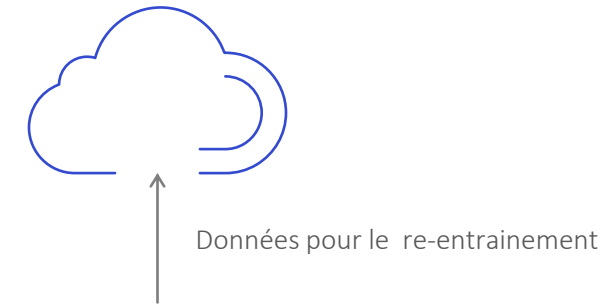
Edge AI est donc plus rapide, moins coûteuse, offre une meilleure protection de données et ne dépend pas d'internet

Cloud AI



Inférences dérivées du cloud

Edge AI



Inférences dérivées directement de l'équipement

Architecture IA Hybride : Cloud + Edge IA

Pour une IA connectée et réactive

Cloud

Entraîne une IA sur des données massives

- Analyse à grande échelle
- Stocke et met à jour
- Gère la stratégie globale

Edge IA

Télécharge une version optimisée du modèle

- Réagit instantanément
- Fonctionne localement
- Gère l'action sur le terrain



Réduction de Latence

Décisions instantanées au plus près des sources de données, éliminant les délais réseau critiques



Optimisation Coûts Cloud

Diminution drastique des transferts de données et des factures d'infrastructure centralisée



Souveraineté des Données

Conformité aux réglementations internationales de plus en plus strictes sur la localisation des données

IA Hybride : Symbolique et Connexionniste

L'hybridation = Calcul et Ingénierie de la Connaissance

IA Symbolique(IAS)

Raisonne avec des règles, de la logique et des connaissances explicites, utile pour

- La traçabilité
- La sécurité
- La conformité
- La planification....

IA Connexionniste(IAC)

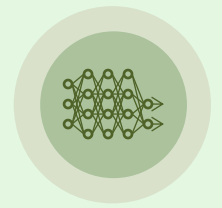
Apprend à partir des données grâce aux réseaux de neurones, utile pour

- La perception
- La detection d'anomalies
- La prédiction
- Le traitement du langage....

L' Avenir de l'IA est Hybride



IAS



IAC

Complémentarité

Symbolique et connexionniste ne s'excluent pas, elles se renforcent mutuellement pour créer des systèmes plus performants

Intelligence augmentée

L'intégration de l'IAS avec l'IAC ouvre la voie à une IA évolutive, explicable et adaptable

RESUMÉ du CHAPITRE 1

Cliquez sur le Document PDF



Résumé Chapitre
1

02

Les Applications Industrielles à base d'Intelligence Artificielle

1- Décrire la situation actuelle

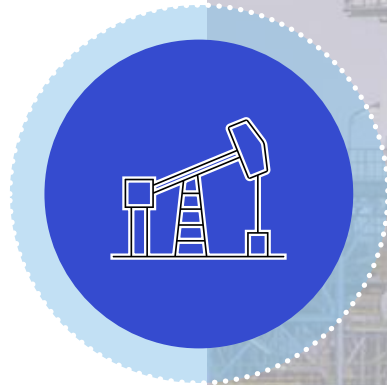
2- Pourquoi cela arrive aujourd'hui

3 - La proposition d'employer l'IA

1 - Une Industrie sous Pression

Les gisements se raréfient, les marges se contractent, mais les données explosent

L'or noir de demain, ce ne sera plus seulement le pétrole brut, mais surtout la donnée maîtrisée



Le secteur pétrolier fait face à un triple défi : baisse de rentabilité, complexité opérationnelle et pression climatique

Dans le conventionnel, chaque point de récupération supplémentaire devient coûteux

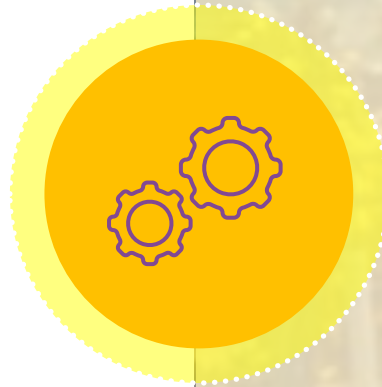
Dans le non conventionnel, la complexité logistique et géologique alourdit les décisions

Nous possédons des millions de données issues des puits, capteurs et forages, mais nous n'en exploitons qu'une infime partie

1 - Exemples Industriels

La Situation Actuelle

Problème clé : la donnée existe, mais elle est fragmentée, silencieuse, et rarement connectée à la prise de décision en temps réel



Saudi Aramco : dans le champ de Ghawar, les ingénieurs ont signalé une chute de productivité de 2 % par an malgré un suivi intensif — un constat classique dans les champs matures



Petrobras a dû réduire son coût de levée moyen de 30 % entre 2014 et 2022 pour maintenir sa rentabilité, en partie grâce à l'automatisation et à la numérisation, mais les données de forage restaient encore sous-exploitées

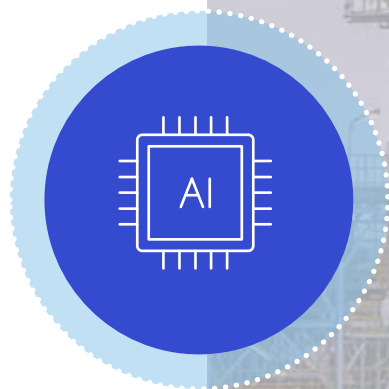


ExxonMobil reconnaît dans son rapport 2023 que moins de 15 % des données d'exploration collectées sont effectivement valorisées à des fins décisionnelles

2 - La Révolution Cognitive

Nous sommes passés de la data accumulée à la data comprise

Grâce à la puissance de calcul, au cloud industriel et à l'analyse automatisée, **nous pouvons désormais comprendre notre sous-sol comme jamais auparavant**



Ces dix dernières années, les outils d'ingénierie ont généré plus de données que dans toute l'histoire de l'industrie

Mais sans intelligence pour les relier, elles restent dormantes

L'IA permet de franchir ce cap : elle apprend des géologues, prédit les comportements de réservoir, ajuste les paramètres de production en temps réel

2 - Exemples Industriels

Le Moment de Bascule

Transformation : la disponibilité massive de données + puissance de calcul + IA = **basculement** du réactif vers le prédictif



Shell + NVIDIA (2022) : Shell a utilisé le deep learning pour interpréter 3 millions de volumes sismiques en mer du Nord, divisant par dix le temps d'analyse — de plusieurs mois à quelques jours ([ici](#))



TotalEnergies + IBM Watson : l'IA pour prévenir les accidents sur ses sites de forage, en analysant automatiquement les rapports et signaux d'alerte afin de détecter les comportements à risque avant qu'ils ne se transforment en incidents ([ici](#))

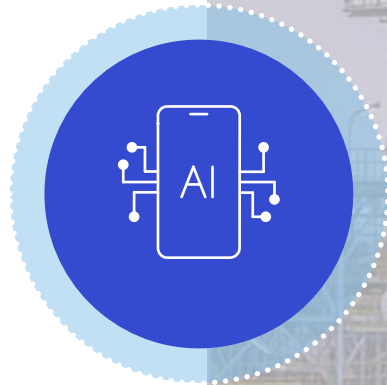


Chevron + Microsoft Azure : création d'un « jumeau numérique » (Digital Twin) afin d'améliorer la supervision et la maintenance des installations . On estime que cela peut réduire les arrêts non planifiés jusqu'à 30% ([ici](#) et [là](#))

3 - L'IA comme Levier

Stratégique
De la donnée brute à la connaissance
actionnable

Adopter l'IA, c'est **renforcer sa souveraineté énergétique** et **piloter la transition avec lucidité et efficacité.**



L'intelligence artificielle transforme la donnée en avantage compétitif

Elle automatise, prédit, optimise et réduit les risques

Dans le conventionnel, elle allonge la vie des champs matures et réduit les arrêts non planifiés

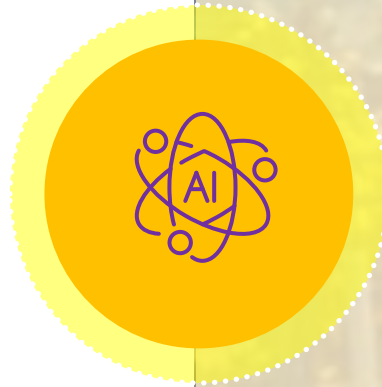
Dans le non conventionnel, elle optimise la fracturation, la logistique et les coûts d'extraction

3 - Exemples Industriels

L'IA Levier de Performance

Les compagnies qui **maîtrisent la donnée maîtriseront la compétitivité énergétique** des 20 prochaines années

Intelligence artificielle (IA) dans la taille du marché pétrolier et du gaz, la part, la croissance et l'analyse de l'industrie, par type (analytique prédictive, automatisation, robotique), par application (pétrole et gaz, exploration, raffinage, production), idées régionales et prévisions **jusqu'en 2033** ([ici](#))



BP + Palantir (2024) : BP a étendu son partenariat avec Palantir à 5 ans pour intégrer des capacités d'IA et de digital twin à grande échelle dans ses opérations de production ([ici](#))



ConocoPhillips (Permian Basin) : ConocoPhillips a publié des retours d'expérience sur des workflows IA/ML, visant à accélérer la décision opérationnelle en intégrant données géologiques, d'achèvement et de production ([ici](#))



Petronas (Malaisie) : PETRONAS a établi un AI Centre of Excellence et signé des partenariats stratégiques (AIQ, Microsoft, Baker Hughes) pour accélérer l'application de l'IA à l'efficacité énergétique et à la durabilité des opérations ([ici](#))

1- Exemples de l'IA appliquée aux Plateformes Offshore

2- Applications IA dans le Conventionnel

3- Applications IA dans le Non Conventionnel

4- Applications IA pour un Fournisseur d'Energie

5- Applications IA dans l'Agriculture

Les Plateformes Offshore

Définition

Une plateforme offshore est un **système compact, complexe et étroitement couplé**, où l'interdépendance technique et spatiale rend les accidents majeurs **structurellement inévitables**



Système hautement complexe

— Elle combine de multiples sous-systèmes techniques (forage, contrôle, sécurité, énergie, communication) dont les interactions sont multiples, non linéaires et difficilement prévisibles

Système fortement couplé

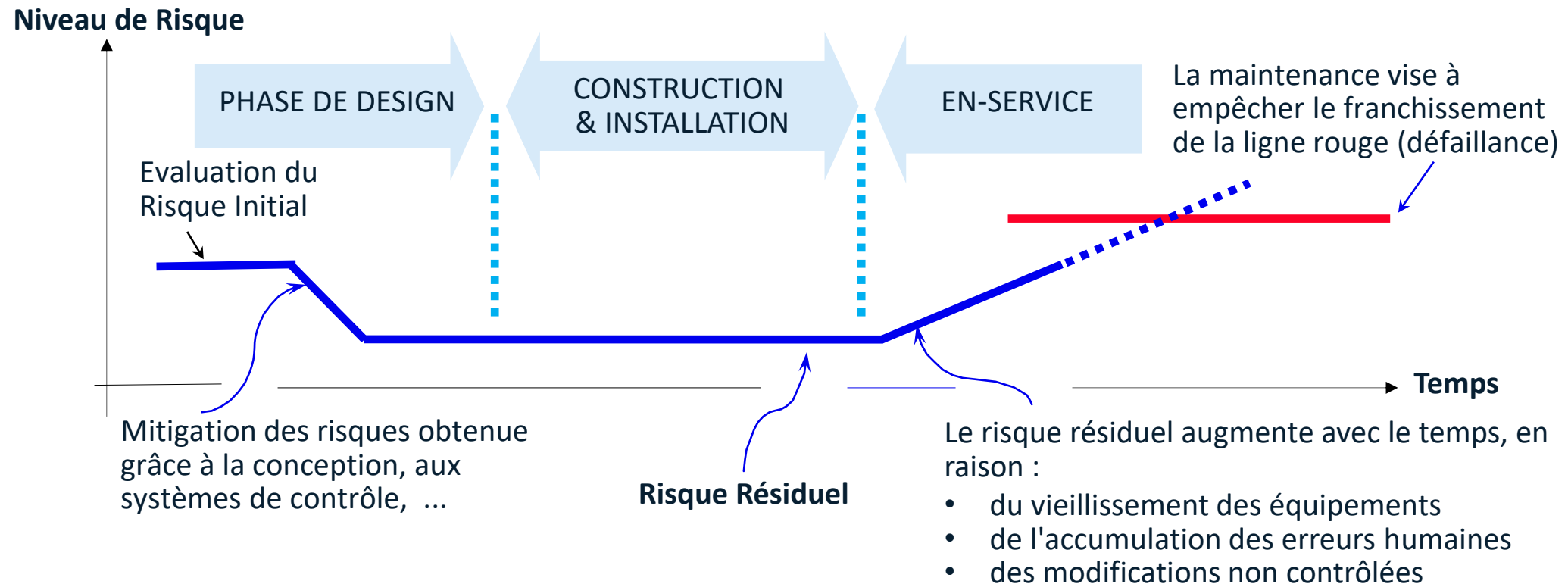
— Les processus physiques (pression, température, flux pétroliers) sont interdépendants et réagissent très rapidement, laissant peu de temps à la correction humaine

Système à risque d'accident normal

— En raison de cette complexité et de ce couplage serré, les accidents majeurs ne sont pas seulement possibles mais structurellement inévitables à long terme, même dans une organisation bien gérée

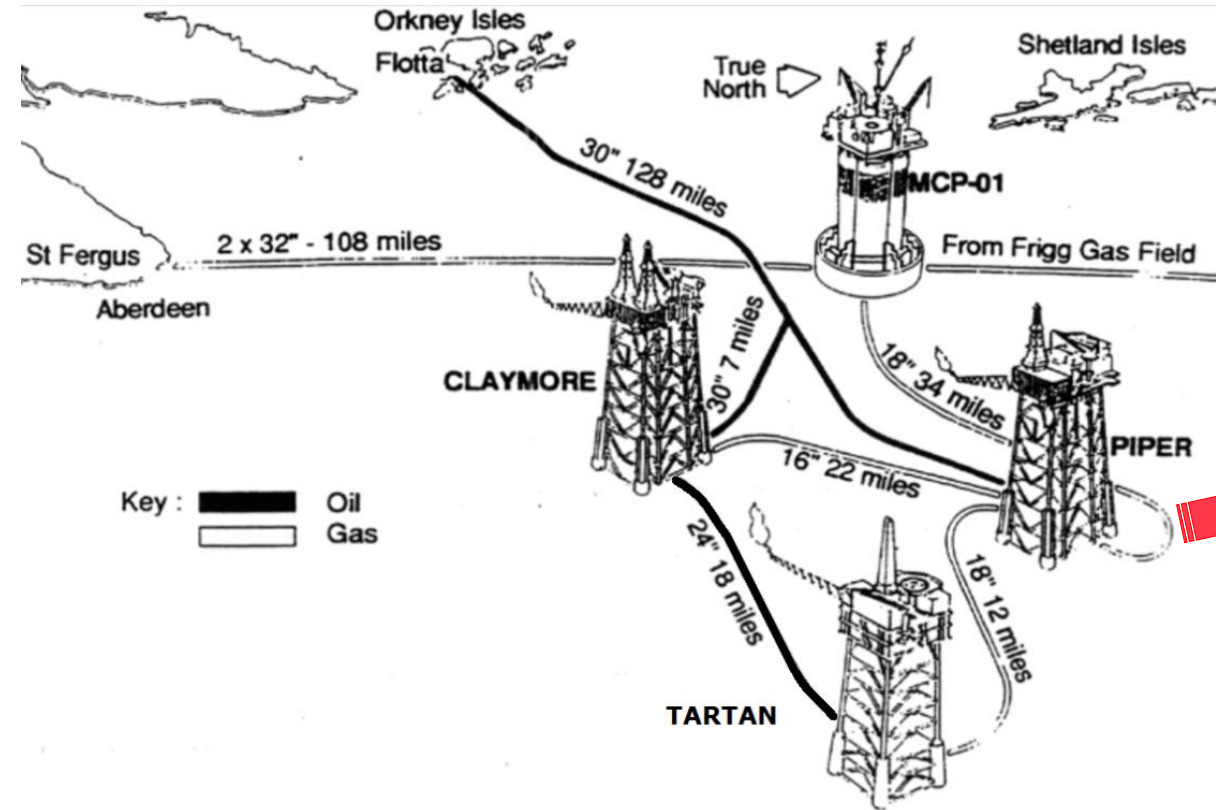
Gestion des Risques d'une Plateforme Offshore (1/6)

Risk Management = Prendre en Compte le Cycle de Vie de l'Installation



Risk Management d'une Plateforme Offshore(2/6)

Plateforme Piper Alpha, Occidental, Mer du Nord



Risk Management d'une Plateforme Offshore(3/6)

La Catastrophe de Piper Alpha, 8 Juillet 1988 en Mer du Nord

Contexte opérationnel critique

La plateforme fonctionnait en **production maximale** (code rouge). Le surintendant de production habituel était absent ; un **remplaçant inexpérimenté** venait d'arriver. Une **pompe de condensat (pompe B)** était en maintenance et mise hors service. La **pompe A**, censée être opérationnelle, ne l'était pas — mais personne dans la salle de contrôle ne le savait.

Plus tôt dans la journée : **Des plongeurs** travaillaient sur des équipements sous-marins. Pour éviter qu'ils soient aspirés, les **pompes incendie** et le **système de déluge** avaient été mis en **mode manuel**, rendant les systèmes automatiques inopérants.

Déclenchement de l'accident

La salle de contrôle, ignorant que la pompe A était hors service, **ouvre les vannes** : → Le condensat de gaz est envoyé vers une pompe inopérante. Une **fuite massive de gaz** se produit dans le module C. Le gaz s'enflamme → **première explosion**.

L'explosion **détruit la salle de contrôle**, tue le surintendant de production et coupe l'alimentation électrique

Effets en cascade

Défaillances techniques critiques

Le système d'extinction automatique ne se déclenche pas (mode manuel + salle de contrôle détruite). Le feu se propage aux modules B et C, puis à un réservoir de carburant non protégé. Une **fumée dense et toxique** envahit les quartiers de l'équipage

Absence de commandement

Plus de surintendant = **aucun ordre d'évacuation**. Les ventilateurs d'air frais aspirent la fumée dans les quartiers : → Les survivants meurent asphyxiés.

Le navire de secours "Tharos"

Reçoit l'ordre de combattre le feu.....mais attend des ordres supplémentaires qui ne viendront jamais. Par crainte pour sa propre sécurité, le capitaine ordonne de se retirer. **Les pompes incendie du navire ne sont jamais utilisées.**

L'effondrement final

Les pipelines venant des plateformes **Tartan** et **Claymore** passent juste sous Piper Alpha.

Sous la chaleur extrême, ils se **déforment et explosent**.

Les dispositifs d'arrêt d'urgence, situés dans la zone détruite, ne fonctionnent pas : → Les pipelines se vident dans l'incendie, amplifiant la catastrophe.

Une gigantesque **boule de feu** engloutit la plateforme.

Piper Alpha est totalement détruite



167 Morts sur 226 à bord
3 Milliards de \$ de dégâts

1

2

3

5

Gestion des Risques d'une Plateforme Offshore (4/6)

Risk Management en Exploitation Nécessite une Approche Multi-disciplinaire



A base d'**Intelligence Artificielle** nous avons développé un applicatif qui fournit un moyen d'examiner et de discuter les éléments de risque associés à la maintenance et à la gestion des modifications



Cela permet aux exploitants et superviseurs expérimentés de comprendre les dangers et de **maîtriser les risques** plus rapidement, avec plus de précision et à un coût raisonnable que les approches classiques

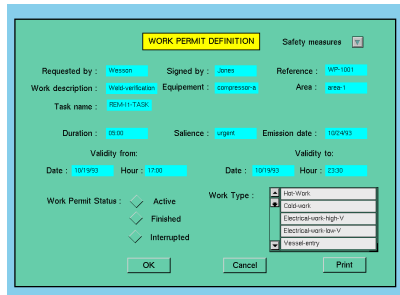


Cet applicatif analyse **l'effet sur le risque** de trois éléments majeurs :

- L'organisation offshore qui exploite la plateforme et ses liens avec les services à terre
- Les activités de production sur le pont (y compris la supervision et le contrôle)
- **Les informations** de base provenant de **différentes sources** concernant l'installation et ses composants critiques

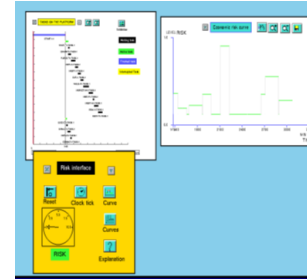
Gestion des Risques d'une Plateforme Offshore (5/6)

Risk Management en Exploitation : Vue Fonctionnelle



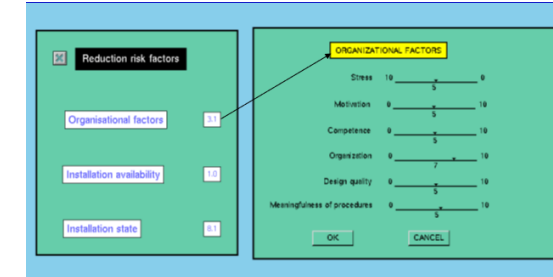
Modèle de l'Etat de la Plateforme

Il inclut la description des processus physiques et de la topologie de la plateforme. IL reçoit en continu des informations venant des capteurs, du module des permis de travail et de l'exploitant



Détection de Situations Anormales

Ce module identifie les seuils de risque ou les schémas évolutifs qui indiquent une situation anormale



1

2

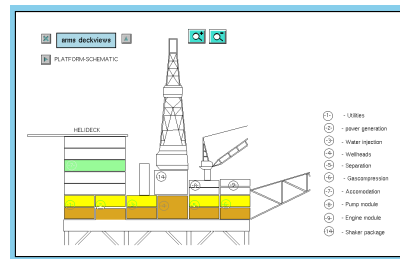
3

4

5

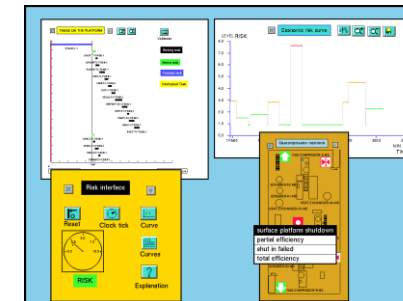
Gestion des Permis de Travail

Ce module aide les opérateurs de la plateforme à gérer les activités à bord. Il permet de contrôler les risques associés en tenant compte des exigences de sécurité, du degré de compatibilité entre les tâches simultanées et des facteurs organisationnels pertinents



Surveillance du Niveau de Risque

Ce module génère une mesure régulièrement mise à jour des différentes dimensions de risque de la plateforme (risques structurels, incendie et flux). La connaissance de l'état de maintenance de la plateforme est essentielle pour estimer l'évolution du niveau de risque au fil du temps

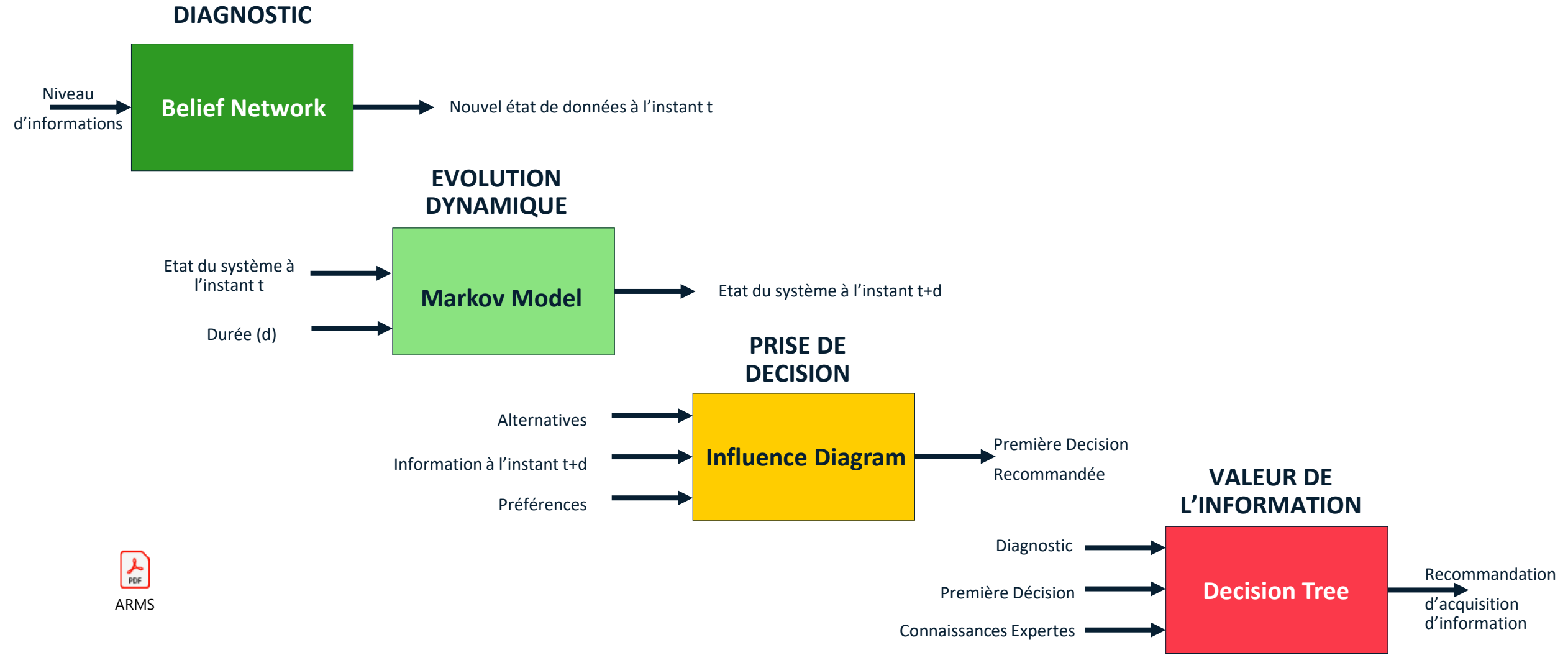


Alternatives et Prise de Décision

Un modèle décisionnel approprié est sélectionné, affiné automatiquement à partir des données du modèle d'état de la plateforme (paramètres liés au personnel et à la production), puis ajusté si nécessaire grâce à l'interaction avec l'opérateur de la plateforme

Gestion des Risques d'une Plateforme Offshore (6/6)

IA combinant le Jugement Expert avec des Techniques de Réseaux Bayésiens



Inspection des Jackets d'une Plateforme Offshore (1/4)

Collection des données, anticipation et planification intelligente

Analyse predictive : exploiter l'historique des inspections, la corrosion, la température et la salinité pour prédire les zones à risque élevé avant la mission

Planification optimisée : IA logistique qui sélectionne les zones prioritaires, définit les trajectoires optimales pour les ROV et planifie les créneaux selon les courants et les marées

Optimisation des activités d'inspection : usage de réseaux bayésiens et d'influence diagram pour réduire le nombre total d'activités d'inspection et hiérarchisant les composants en fonction du risque posé par les défaillances potentielles



Input

→

topologie, historique des défauts (corrosion, fissure, soudure, débris) réparations antérieures, rapports précédents.



Output

→

Définition des zones critiques :
jonctions, nœuds, ancrages,
pieds-bases (mudmats), état
des anodes, fatigue des
soudures



Risk-Based Structural Integrity Management(RBSIM) Program ([ici](#))

Le RBSIM consiste à introduire un critère de risque pour planifier et surveiller les inspections. Il en résulte un cadre décisionnel (méthodologie) rationnel et rentable pour déterminer :

- la technique d'inspection permettant de suivre les dommages subis par l'équipement, de contrôler les risques et de prévenir les défaillances,
- les intervalles d'inspection en liaison avec la maintenance

Phase	Collecte des Données	Evaluation des Risques	Planification des Inspection
Objectifs Principaux	Obtenir une vision fiable et continue de l'état physique de la structure	Quantifier le niveau de risque et prioriser les zones critiques à surveiller	Optimiser les ressources et réduire les coûts tout en maintenant un haut niveau de sécurité
Méthodologies Proposées	• Mise en réseau de capteurs sous-marins et topside (IoT industriel) • Inspections par ROV (robots sous-marins) ou drones visuels • Centralisation des données via plateformes cloud et edge computing	• Évaluation des risques : Identifier, évaluer et classer les risques d'endommagement structurel du jacket (fatigue, corrosion, instabilité, rupture locale), en combinant données physiques, capteurs et historiques	• Le plan d'inspection basé sur les risques est défini par : • un intervalle ou une fréquence • un scope • les techniques d'inspection • la méthode de déploiement appropriée
Techniques IA Associées	Les données viennent de plusieurs sources : capteurs, inspections visuelles, logs SCADA, historique de maintenance, météo, etc. L'IA fusionne ces flux pour obtenir une vision cohérente du système • Graph Neural Networks (GNN) → pour relier les capteurs et éléments physiques du jacket dans une structure de graphe • Bayesian Networks → pour intégrer incertitudes et corréler causes probables de défaillances • Knowledge Graph + NLP → pour relier données structurées (mesures) et non structurées (rapports d'ingénieurs, notes de maintenance) On crée une base de connaissance dynamique de la plateforme	• Bayesian Networks (Réseaux bayésiens dynamiques) : Permettent d'estimer la probabilité d'endommagement d'un nœud ou d'une jambe, compte tenu des incertitudes (ex. corrosion non inspectée) • Monte Carlo + Surrogate ML Models : Approximation rapide de la probabilité de rupture ou flambement sous conditions extrêmes • Gaussian Process Regression (GPR) : Fournit non seulement une estimation, mais aussi une incertitude, cruciale pour la classification des risques • Fuzzy Logic (logique floue) : Combine corrosion, fatigue, accessibilité pour établir un score qualitatif de risque (faible, modéré, élevé) • Decision Trees / Random Forests / Gradient Boosted Trees : Entraînés sur des historiques d'incidents → classent automatiquement les éléments selon un niveau de risque prioritaire.	• Ajuster la fréquence et la nature des inspections selon l'évolution du risque et de l'état de la structure : Processus de décision markovien pour modéliser la transition entre états de risque - Apprentissage bayésien pour mettre à jour les incertitudes • Apprentissage par essai et erreur : L'IA teste virtuellement des centaines de stratégies et conserve celle qui minimise le risque global sur le long terme • Programmation sous contraintes : Garantir que le plan d'inspection respecte les règles, la météo, la disponibilité du personnel et des ROV. Un Système Expert valide que chaque scénario reste conforme aux réglementations et aux conditions opérationnelles réelles • Planification en temps réel : Replanification dynamique via apprentissage par renforcement en ligne

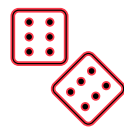
Inspection de Jackets d'une Plateforme Offshore(3/4)

Plan d'Inspection : structuré, rigoureux, transparent, auditable



Décision Adaptative

Ajuster la fréquence et la nature des inspections selon l'évolution du risque



Apprentissage par essai et erreur

Découvrir par simulation les stratégies d'inspection les plus efficaces



Optimisation multi-objectives

Trouver le meilleur compromis entre sécurité, coûts et contraintes réglementaires



Programmation sous contraintes

Garantir que le plan d'inspection respecte les règles et la faisabilité

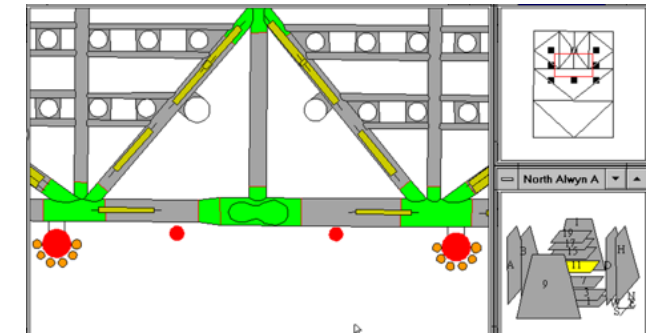
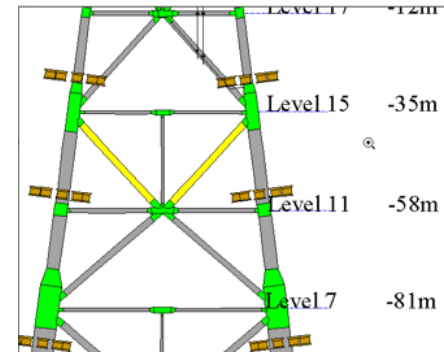
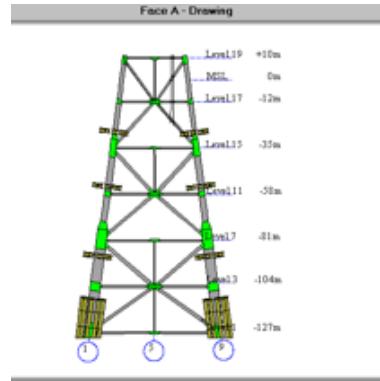
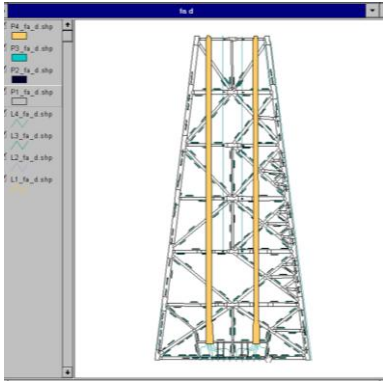


Planification temps réel

Adapter le plan d'inspection en fonction des événements et imprévus

Inspection de Jackets d'une Plateforme Offshore(4/4)

Création Dynamique et Visuelle du Plan d'Inspection



Ces graphiques ont été obtenus par vectorisation de plans A0 enrichis par des données d'inspection

Structure principale en treillis d'une plateforme offshore fixe (jacket), géométrie pour assurer stabilité et résistance aux efforts hydrodynamiques et de vent : en jaune les risers, les barres horizontales et en diagonale assurent la rigidité et la répartition des charges

C'est une vue de face de la structure dont le niveau 19 correspond à la jonction avec le topside et le niveau 3 est la base posée sur le fond marin. En marron ce sont les pieds du jacket et en vert point de junction ou nœuds renforcés

C'est un zoom de la vue frontale où les tubes gris sont les poutres reliant les nœuds verticaux entre niveau, les zones vertes sont les nœuds renforcés et les barres jaunes sont les contreventements diagonaux et les éléments gris sont des appuis de plateforme

Cela montre le bas du jacket, avec ses éléments de structure (barres en gris, nœuds en vert), ses composants fonctionnels (J-Tubes en marron, caissons en rouge) et ses systèmes de protection (anodes anticorrosion) en vert

La Chaîne de Valeur Pétrolière et les Apports Concrets de l'IA(1/2)

Exploration & Production (E&P)

Phase	Activités courantes	Apport de l'IA	Gains mesurables
Exploration géologique	Interprétation manuelle de sismiques 2D/3D	IA pour l'analyse sismique (deep learning sur images 3D) → détection automatique de structures, anomalies, pièges	- Réduction du temps d'analyse > 60 %- Taux de succès des forages +20 %
Forage & complétion	Planification basée sur expérience humaine	IA prédictive pour optimiser les trajectoires, prévenir les incidents de forage, réguler les paramètres en temps réel	- Réduction des coûts de forage 10–15 %- Moins d'arrêts non planifiés
Production & réservoirs	Suivi manuel de la pression, du débit	Jumeaux numériques + IA prédictive pour la simulation dynamique du réservoir	- Production accrue de 5–10 %- Allongement de la vie des champs
Non-conventionnel (shale, tight oil)	Fracturation hydraulique empirique	IA pour le design optimal de fracturation, analyse géochimique & micro-sismique	- Réduction du coût/baril + amélioration du recovery factor

La Chaîne de Valeur Pétrolière et les Apports Concrets de l'IA(2/2)

Transport, Logistique & Raffinage

Phase	Activités courantes	Apport de l'IA	Gains mesurables
Transport (pipelines, tankers)	Maintenance planifiée	IA prédictive pour détecter corrosion, fuite ou fatigue	- Réduction des fuites & arrêts de 40 %
Raffinage	Contrôle basé sur expérience	IA de régulation en temps réel des unités (distillation, reforming)	- Efficacité énergétique +5–7 % - Moins de gas flaring
Supply chain	Planification linéaire statique	IA pour planifier flux, stocks, blending optimal selon marchés	- Optimisation des marges de raffinage +3–5 %

Distribution & Commercialisation

Phase	Activités courantes	Apport de l'IA	Gains mesurables
Trading & pricing	Décisions humaines + données retardées	IA pour l'analyse prédictive du marché, des spreads et de la demande	- Meilleure couverture de risque, marges accrues
Raffinage	Suivi manuel des ventes et ruptures	IA pour gestion intelligente du stock, prix dynamiques	- +10 % de marge nette - Fidélisation client par personnalisation

Conventionnel

Capital Intensif, Long Cycle, Optimisation Fine

Objectif principal

Maximiser la durée de vie des champs et l'efficacité de production



Nature des données

- Données sismiques 2D/3D, logs de puits, modèles de réservoirs bien calibrés
- Données de production continues (pression, température, débits, composition)
- Données historiques riches mais souvent dispersées sur de longues périodes

Conventionnel

Apports Clés de l'IA

	APPORT IA	BENEFICE
Interprétation sismique (ici et là)	Deep learning sur volumes 3D (détection de pièges, failles, stratigraphie)	Des démonstrations Shell/NVIDIA montrent que le deep learning accélère significativement l'interprétation sismique
Simulation de réservoirs (ici et là et encore ici)	Réseaux de neurones pour accélérer les simulations de flux multiphasiques	Réduction du temps de modélisation de semaines à heures
Optimisation du pompage & injection (ici et là)	IA prédictive pour ajuster les paramètres en temps réel	Usage du digital twins et les modèles ML aident à l'optimisation
Maintenance prédictive (ici et là)	Détection d'anomalies sur compresseurs, ESP, valves	Moins d'arrêts non planifiés
Gestion intégrée champ – raffinerie (ici et là)	Jumeau numérique de la chaîne de valeur	Optimisation globale du brut à la marge de raffinage

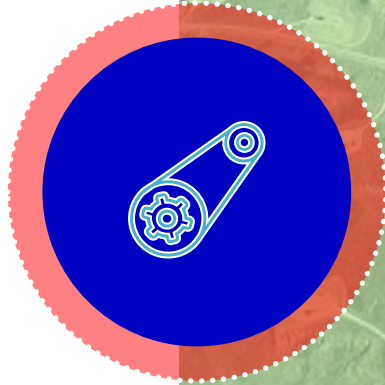
Résumé : Dans le conventionnel, l'IA agit comme un **système nerveux** : elle augmente la précision et réduit les inefficacités sur des actifs matures à haut CAPEX

Non Conventionnel

Volumétrie, cycle court, adaptation rapide

Objectif principal

Maximiser la rentabilité du développement massif et réduire les coûts unitaires



Nature des données

- Très nombreux puits (centaines à milliers)
- Données hétérogènes et à forte fréquence (capteurs temps réel, logs micro-sismiques, pression, débit)
- Environnements plus stochastiques et moins prédictibles géologiquement

Non Conventionnel

Apports Clés de l'IA

	APPORT IA	BÉNÉFICE
Caractérisation géologique rapide (ici)	IA pour analyser les carottes et logs de puits horizontaux	Décision d'achèvement plus rapide
Design de fracturation (ici)	Modèles IA pour optimiser volume, pression, fluide, proppant selon la géologie locale	-10–15 % de coûts de fracturation
Production prédictive par cluster (ici)	Modèles bayésiens + IA pour anticiper le déclin de production et planifier le re-frac	Gain de récupération 5–7 %
Gestion temps réel des puits (ici)	IA pour ajuster les paramètres de pompage selon le comportement du réservoir	Optimisation dynamique du rendement
Logistique & planification	IA pour ordonnancer les opérations multi-sites (forage, transport, stockage)	-20 % de coûts logistiques

Résumé : Dans le non-conventionnel, l'IA agit comme un **système d'orchestration** : elle gère la masse de données et d'actifs pour améliorer la rentabilité et la vitesse d'exécution

Comparaison Conventionnel/Non Conventionnel

L'Apport de l'IA Varie tout en Générant de la Valeur

	Conventionnel	Non Conventionnel
Type de Réservoir	Structuré, pression naturelle, long cycle	Faible perméabilité, artificiel, cycles rapides
Objectif IA	Optimiser la récupération et la durée de vie	Maximiser la rentabilité par puits et par cycle
Nature des Données	Longs historiques, bien calibrés	Volumétrie élevée, grande variabilité
Approche IA Dominante	Modélisation physique + IA hybride (Gauss + réseaux)	IA empirique / bayésienne + apprentissage en ligne
Gains Espérés (2-3 ans)	+5–10 % production / -10 % CAPEX OPEX	-15–20 % coût/baril / +5–7 % recovery factor
Compétences	Géophysique augmentée, ingénierie des réservoirs	DataOps, automatisation, optimisation de procédés
Risque Principal	Qualité des modèles historiques	Hétérogénéité et bruit des données en temps réel

L'IA dans le Conventionnel et le Non Conventionnel

- L'IA ne s'applique pas de la même manière au conventionnel et au non-conventionnel, car les données, les opérations et les leviers de valeur y sont fondamentalement différents
- Dans le **conventionnel**, l'IA est un **outil d'optimisation continue** : elle fait durer plus longtemps ce qui existe
- Dans le **non-conventionnel**, l'IA est un **outil de vitesse et de volume** : elle permet de produire plus vite et moins cher
- Dans les deux cas, elle **convertit les données opérationnelles en décisions immédiates** — ce qu'aucun modèle traditionnel ne sait faire à cette échelle

Carte Stratégique de l'Écosystème de Données IA

L'approche la plus Efficace est Hybride

L'IA ne remplace pas l'expertise géologique, opérationnelle ou industrielle ; elle **l'amplifie** — mais uniquement si elle a **accès à des données fiables, structurées et contextualisées**

On distingue donc **deux grands gisements de données**, à orchestrer comme **un actif stratégique** à part entière :

- Les données internes — "*l'or noir numérique*"
- Les données externes — "*le levier d'intelligence élargie*"



Le Cœur Stratégique de la Réussite d'un Projet IA dans le Secteur Pétrolier : la DONNÉE

Garder la **souveraineté** sur les données critiques (**interne**), tout en **s'appuyant** sur des **partenaires externes** pour les enrichir, entraîner tes modèles ou valider les benchmarks

Cela suppose :

- Un **Data Lake industriel** (on-premise ou cloud souverain) pour centraliser les données internes
- Des **connecteurs sécurisés** pour ingérer les données externes (API, FTP, flux temps réel)
- Une **gouvernance claire** : qui possède, nettoie, valide, partage et anonymise les données.

Les Données Internes — "l'Or Noir Numérique"

Types de Données Internes par Maillon de la Chaîne

Maillon	Exemples de données	Usage IA typique
Exploration	Données sismiques 2D/3D, logs de puits, études géologiques, cartes structurales	Interprétation sismique automatique, corrélation de couches
Forage et Production	Capteurs de pression/température, logs de forage, débitmètres, historiques de puits	Prédiction d'incidents, optimisation du débit et des trajectoires
Raffinage	Historique capteurs process (SCADA/DCS), données énergétiques, composition des bruts	Optimisation énergétique et prédiction des dérives process
Maintenance & Logistique	Historique d'interventions, capteurs de vibration, ordres de travail SAP, données de pipelines	Maintenance prédictive, détection de fuites ou corrosion
Trading & Distribution	Historique prix, stocks, ventes, météo, trafic	Pricing dynamique, planification logistique intelligente
Environnement & ESG	Données émissions, consommation énergie, rejet	Mesure automatique des émissions, conformité réglementaire

A titre indicatif



La préservation, le mouvement et l'accès à des ensembles de données massifs nécessitent des outils génériques utilisant des systèmes évolutifs à haute performance, des lacs de données, des algorithmes d'apprentissage profond... les **data scientists et des ingénieurs IA** aident à cela

Les Données Externes — Levier de "l'Intelligence Élargie"

Types de Partenaires et Flux Externes

Type de données	Fournisseurs/Partenaires	Usage
Géosciences & Imagerie	Schlumberger, CGG, Halliburton, TGS, PGS	Données sismiques et logs mutualisés
Marchés & Prix	Platts, Argus, Refinitiv, Bloomberg, EIA, OPEC	Prévisions de prix, arbitrage trading
Météo & Environnement	ECMWF, NOAA, Copernicus	Anticipation météo pour offshore / transport
Données Satellites	Planet Labs, Maxar	Surveillance d'actifs, fuites, torchage
Énergie & CO ₂	Ember, IEA, Carbon Tracker	Mesure et projection d'émissions
Maintenance & Benchmark Industriel	AspenTech, Cognite, Siemens	Modèles prédictifs pré-entraînés sur parc industriel

A titre indicatif

Aucune Compagnie n'est Autosuffisante en Données

Les sources externes enrichissent les modèles IA et permettent de contextualiser les opérations

Ces partenariats se font souvent via :

- Contrats de licence de données, ou
- API sécurisées intégrées à l'environnement numérique

Les Enjeux à Anticiper

Risques liés à l’Absence de Stratégie IA

Enjeu	Risque	Mitigation
Souveraineté & confidentialité	Fuite d’informations de réservoirs, de coûts ou de contrat	Cloisonnement des données sensibles, contrats NDA stricts
Interopérabilité	Données internes dans formats propriétaires (ex : SEG-Y, LAS, XML, SAP)	Utiliser des standards ouverts (WITSML, PRODML, OPC-UA)
Qualité des données	Données bruitées, incomplètes, non labellisées	Mise en place d’un <i>Data Quality Framework</i> (règles, nettoyage, validation automatique)
Sécurité IT/OT	Risques cyber sur équipements connectés	IA pour cybersécurité prédictive, segmentation réseau OT/IT
Coûts de stockage et calcul	Explosion volumétrique (sismique, capteurs temps réel)	Stratégie <i>data tiering</i> : stockage à froid, compression, cloud élastique

A titre indicatif

Sans cadre clair, l'IA reste un produit du hasard, coûteux, inefficace et isolé

- Projets individuels non coordonnés : l'IA est lancée localement dans différents départements sans échange ni synergies
- Manque d'orientation : sans objectifs stratégiques, il n'y a pas de direction. Les projets se perdent dans des détails insignifiants et apportent peu de valeur ajoutée à l'entreprise
- Faible acceptation au sein de l'entreprise : les employés ne comprennent pas l'objectif et les responsables ne voient aucun avantage. C'est ainsi que les initiatives en matière d'IA s'enlisent dans des silos

Préconditions Structurantes pour un Déploiement Réussi de l'IA (1/4)

Préconditions Organisationnelles

OBJECTIF	PRÉCONDITION CLÉ	EXEMPLES / BONNES PRATIQUES
Gouvernance claire de la donnée et de l'IA	Créer une Data & AI Governance Board rattachée à la Direction Générale (exploration, production, maintenance, trading, HSE)	Shell et TotalEnergies ont mis en place des "AI Councils" transverses avec un Chief Data Officer
Alignement stratégique IA / métiers	Définir une feuille de route IA intégrée à la stratégie amont et aval (exploration → raffinage → distribution)	Aramco (ici) relie chaque projet IA à un KPI métier : réduction du coût de forage, optimisation du yield, etc.
Pilotage par la valeur	Prioriser les cas d'usage selon ROI, risque et maturité des données	Petrobras classe les projets IA selon trois niveaux : proof-of-concept, pilote, déploiement industriel.

A titre indicatif

L'IA n'est pas un outil que l'on déploie : c'est une capacité industrielle qui se construit. Sans préconditions structurantes, l'IA produit des démonstrateurs, pas de la valeur à l'échelle

Préconditions Organisationnelles :

Le succès de l'IA repose d'abord sur une gouvernance claire et transverse. Les silos entre géosciences, forage, production et IT doivent être levés pour permettre des décisions pilotées par la donnée, avec des responsabilités métiers clairement définies

Préconditions Structurantes pour un Déploiement Réussi de l'IA (2/4)

Préconditions Technologiques

OBJECTIF	PRÉCONDITION CLÉ	EXEMPLES / BONNES PRATIQUES
Infrastructure IT/OT intégrée	Interconnecter les systèmes industriels (SCADA, DCS, capteurs IoT) avec les environnements data (cloud ou edge).	Chevron a migré 90 % de ses données de production sur Microsoft Azure pour unifier ses modèles IA.
Lac de données unifié (“Data Lake”)	Centraliser les données sismiques, géologiques, de forage, de maintenance, et financières dans un format exploitable.	TotalEnergies a créé son <i>OneLake</i> pour alimenter ses modèles prédictifs multi-sites
Sécurité et souveraineté numérique	Définir des politiques de cybersécurité et de souveraineté des données énergétiques.	ADNOC a instauré un “ <i>Energy Data Sovereignty Framework</i> ” pour contrôler ses flux de données.

A titre indicatif

L'IA n'est pas un outil que l'on déploie : c'est une capacité industrielle qui se construit. Sans préconditions structurantes, l'IA produit des démonstrateurs, pas de la valeur à l'échelle

Préconditions Technologiques (IT & Data) :

Sans données industrielles fiables, accessibles et historisées, l'IA ne peut pas apprendre ni décider. Une architecture data robuste (qualité, interopérabilité, cybersécurité) est une condition préalable, non négociable, à tout déploiement opérationnel de l'IA

Préconditions Structurantes pour un Déploiement Réussi de l'IA (3/4)

Préconditions Humaines et Compétences

OBJECTIF	PRÉCONDITION CLÉ	EXEMPLES / BONNES PRATIQUES
Acculturation IA à tous les niveaux	Former les ingénieurs, géologues, analystes à comprendre et utiliser les modèles IA.	BP a lancé le programme “ <i>Digital Twin Academy</i> ” pour former ses ingénieurs de terrain
Talents hybrides	Recruter et fidéliser des profils mixtes (data scientists + ingénieurs pétroliers)	Schlumberger (SLB) et Halliburton ont créé des “hybrid teams” pour le non conventionnel
Communautés internes d’innovation	Favoriser les hackathons internes, “AI Labs”, et projets inter-sites.	Equinor a un <i>Digital Centre of Excellence</i> avec 300 experts IA et data engineering

A titre indicatif

L’IA n’est pas un outil que l’on déploie : c’est une capacité industrielle qui se construit. Sans préconditions structurantes, l’IA produit des démonstrateurs, pas de la valeur à l’échelle

Préconditions Humaines et Compétences :

L’IA ne remplace pas l’expertise pétrolière, elle l’augmente. Le déploiement réussi suppose des équipes hybrides combinant experts métiers, data scientists et ingénieurs IA, capables de traduire les enjeux opérationnels en modèles exploitables

Préconditions Structurantes pour un Déploiement Réussi de l'IA (4/4)

Préconditions Écosystémiques

OBJECTIF	PRÉCONDITION CLÉ	EXEMPLES / BONNES PRATIQUES
Partenariats technologiques stratégiques	Nouer des alliances avec des leaders IA (Microsoft, NVIDIA, AWS, Google, IBM,...)	Shell x NVIDIA (optimisation réservoirs), Aramco x Google Cloud (AI geoscience)
Collaboration académique & R&D	S'allier à des universités et centres de recherche énergétiques	TotalEnergies collabore avec le MIT Energy Initiative et INRIA sur l'IA pour la sismique
Régulation et normes	Anticiper les cadres de régulation IA, éthique, et souveraineté énergétique	L'Union Européenne impose désormais la conformité aux normes "AI Act" (niveau de risque)

A titre indicatif

L'IA n'est pas un outil que l'on déploie : c'est une capacité industrielle qui se construit. Sans préconditions structurantes, l'IA produit des démonstrateurs, pas de la valeur à l'échelle

Préconditions Ecosystème (Partenaires & R&D) :

Aucune compagnie ne peut développer seule toute la chaîne de valeur de l'IA. Le succès repose sur un écosystème maîtrisé associant partenaires technologiques, fournisseurs spécialisés et collaborations académiques pour accélérer l'innovation tout en gardant la souveraineté des actifs critiques

Feuille de Route “Data-to-AI” Réaliste

Transformer l’Entreprise en Organisation Apprenante

Étape	Objectif	Résultat Attendu
Audit des Données Internes	Identifier où se trouvent les gisements de données, leur format et leur valeur	Heat Map de la donnée
Structuration d’un Data Lake	Centraliser les données critiques (E&P, raffinage, maintenance)	Base unifiée pour IA
Connexion des flux Externes	Sélectionner partenaires à haute valeur ajoutée (prix, météo, sismique, CO ₂)	Enrichissement ciblé
Gouvernance & conformité	Rôles, règles de partage, cybersécurité	Données fiables, auditable
Déploiement Progressif de Cas IA	Lancer 3 à 5 cas pilotes avec ROI rapide	Quick wins & preuve de valeur
Industrialisation	Automatiser les pipelines IA, intégrer au SI	IA intégrée à la décision opérationnelle

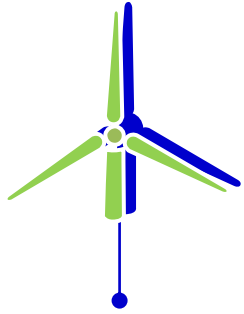
A titre indicatif

Ancrer l'IA dans l'Entreprise

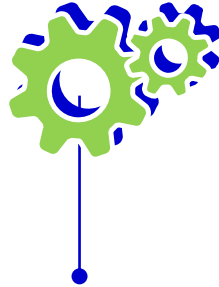
L’IA crée un avantage compétitif durable uniquement lorsqu’elle est portée par une organisation alignée, une donnée maîtrisée, des compétences adaptées et un écosystème choisi avec discernement

Fournisseur d'Énergie

Exemple 1



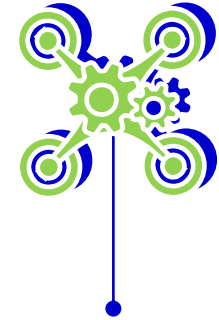
Les capteurs et ML peuvent optimiser l'efficacité de la production en s'adaptant rapidement aux changements, par exemple les conditions de vent



ML permet de prévoir les pics de l'offre et de la demande et d'optimiser l'utilisation de l'énergie renouvelable à court terme



Les fils intelligents peuvent être combinés avec ML pour optimiser les alimentations en temps réel du réseau et la charge d'énergie des portefeuilles d'actifs existants des bâtiments



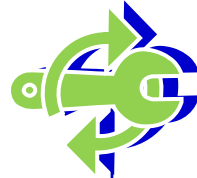
Les drones et les robots de la taille des insectes peuvent détecter les pannes, prévoir les défaillances et surveiller les systèmes sans interrompre la production

Fournisseur d'Énergie

Exemple 2



Les techniciens peuvent consacrer plus de temps à la résolution de problèmes. Les documents sont automatiquement enregistrés et transmis



Les agents de terrain peuvent recevoir des mises à jour en temps réel pour réduire les temps de réponse et réduire l'impact des pannes



Les agents virtuels peuvent automatiser les centres d'appels et segmenter les clients



Grâce aux données de comptage intelligentes et à ML, les fournisseurs d'énergie peuvent proposer de nouveaux services basés sur les modèles d'utilisation, la météo et d'autres facteurs

Fournisseur d'énergie

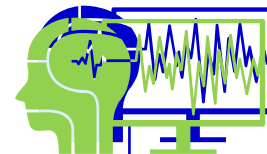
Maintenance Prédictive



Les capteurs peuvent détecter des sons ou des vibrations et envoyer leurs données au système IA pour traitement



Les agents de maintenance peuvent recevoir automatiquement des suggestions pour la maintenance prédictive et son calendrier



Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent prédire avec précision les besoins de maintenance des pièces de machines



La maintenance prédictive peut réduire considérablement les temps d'arrêt de la machine par rapport à d'autres approches

Fournisseur d'énergie

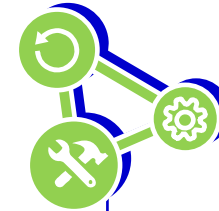
Augmentation de la Production



L'analyse des causes profondes par des technique de l'IA peut accélérer le processus de prise de décision sur les mesures d'amélioration



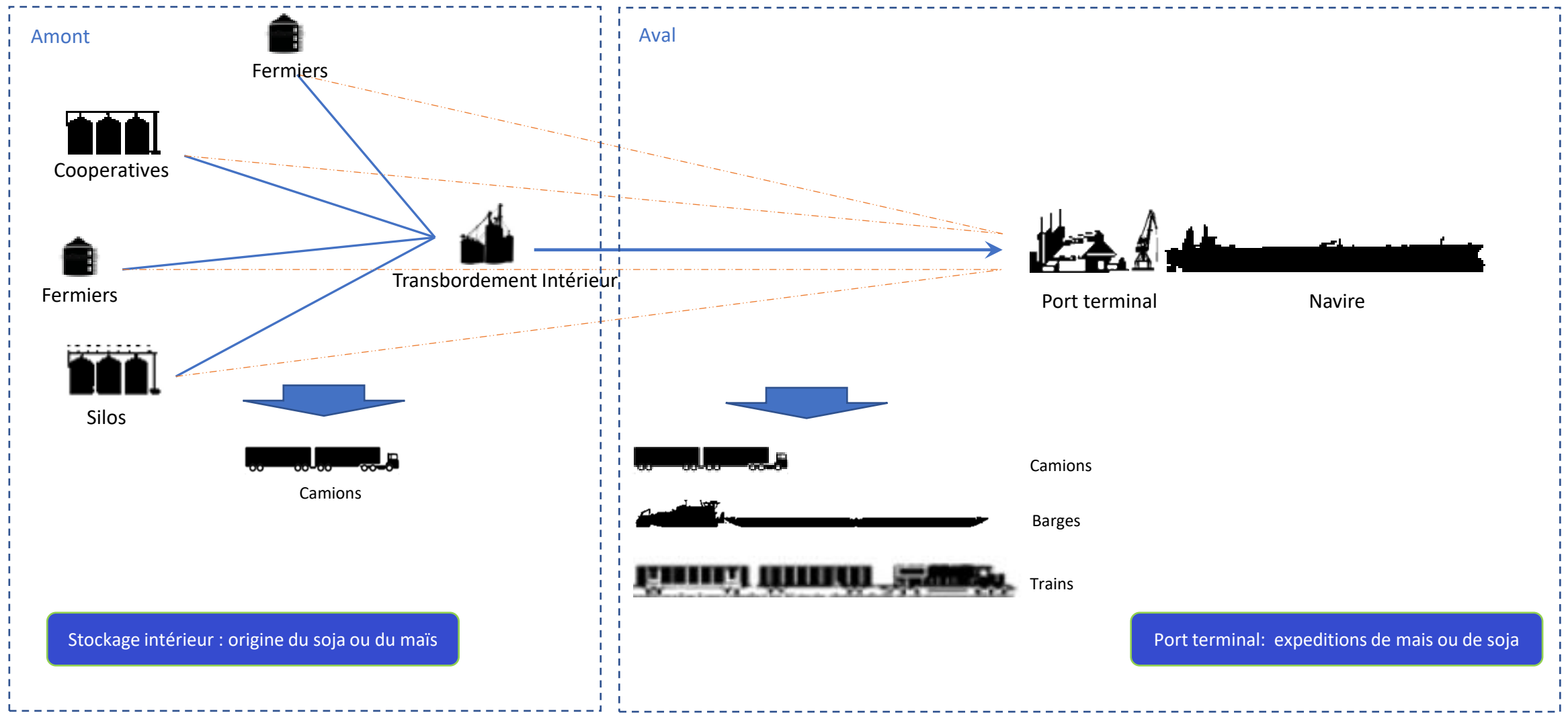
Une analyse basée sur l'IA des informations associées aux processus de production peut prédire les emplacements des perturbations de la production



Les données de l'outil de production peuvent être liées et fournies à la machine IA afin que les conditions optimum des processus puissent être déterminées automatiquement

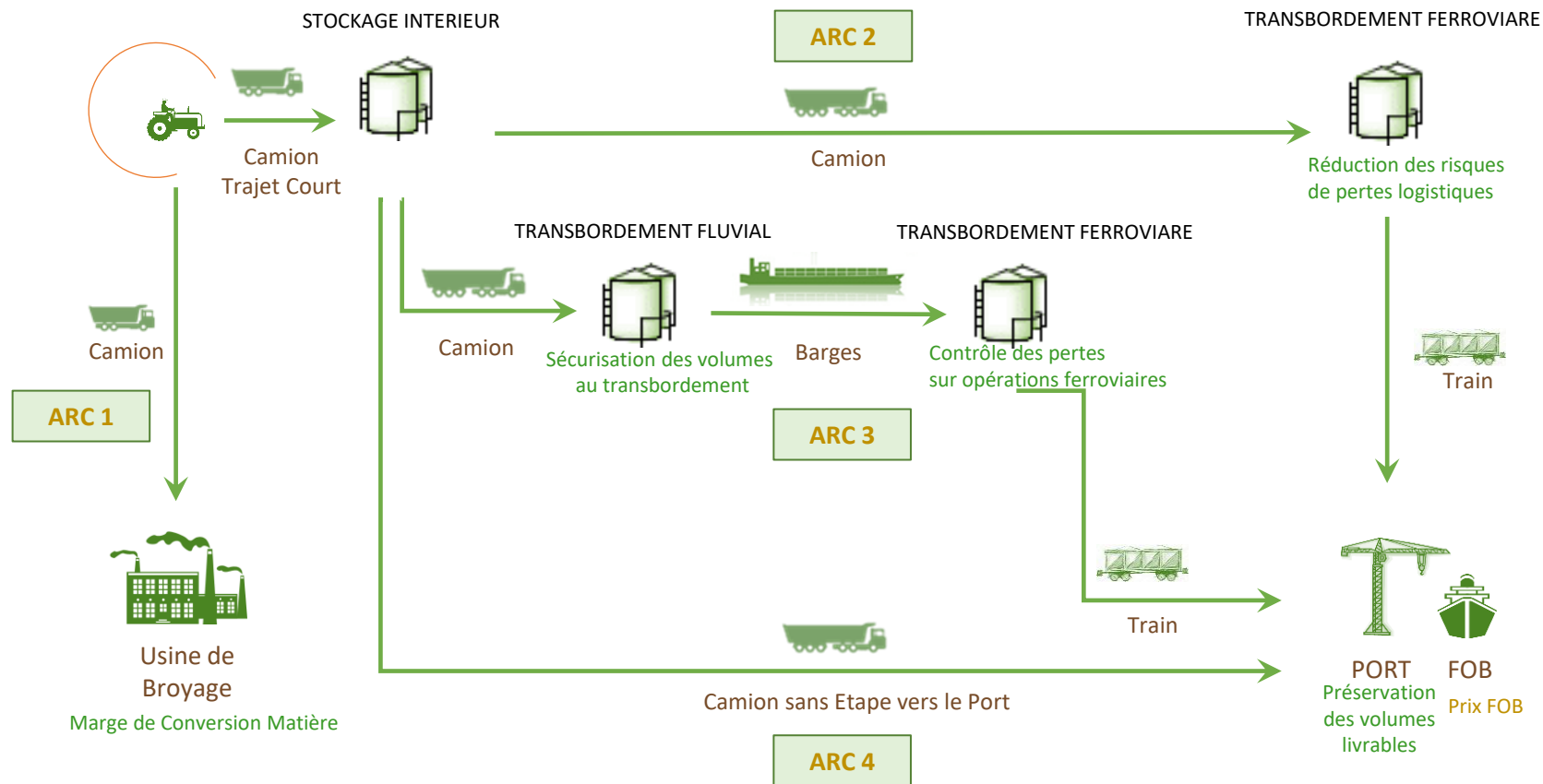
Supply Chain Basique pour une Entreprise de Trading

Cas Général



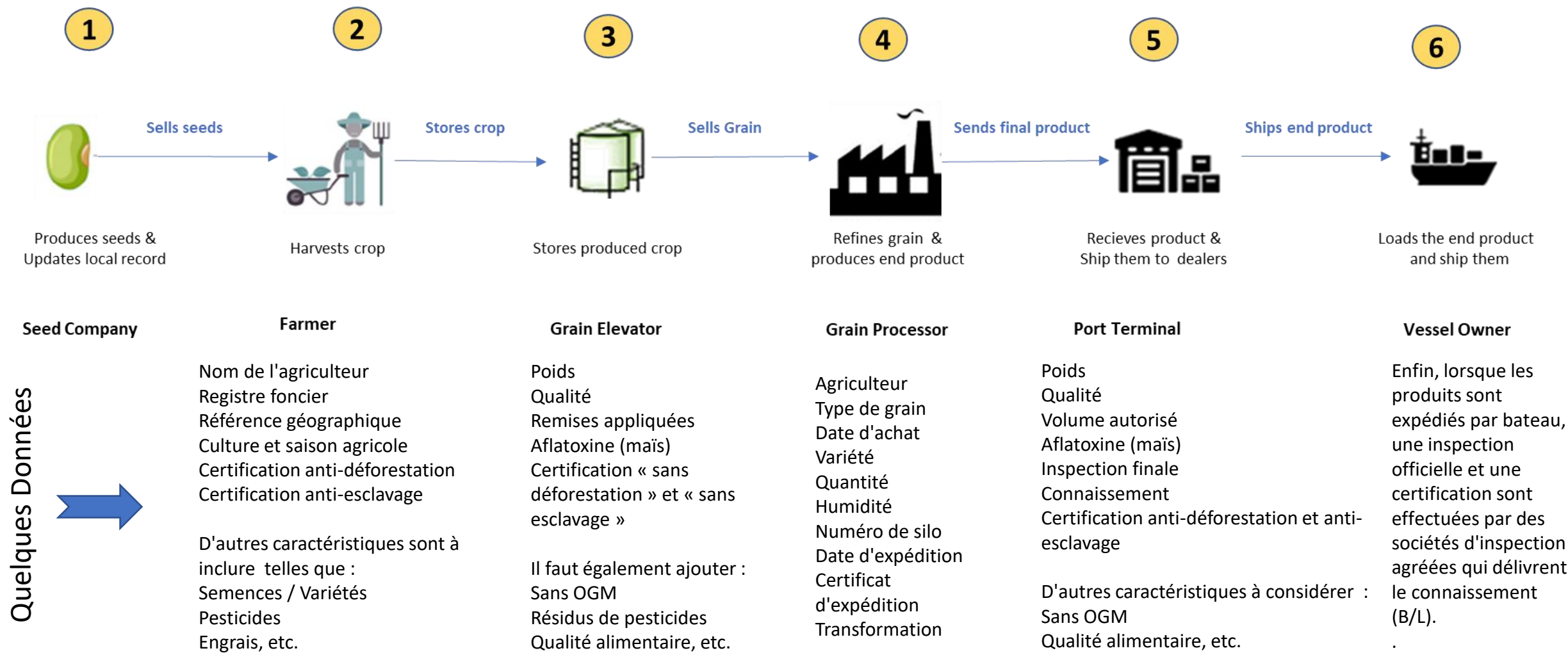
Exemples d'Exécution de Trading

Modèle Illustratif du Trade



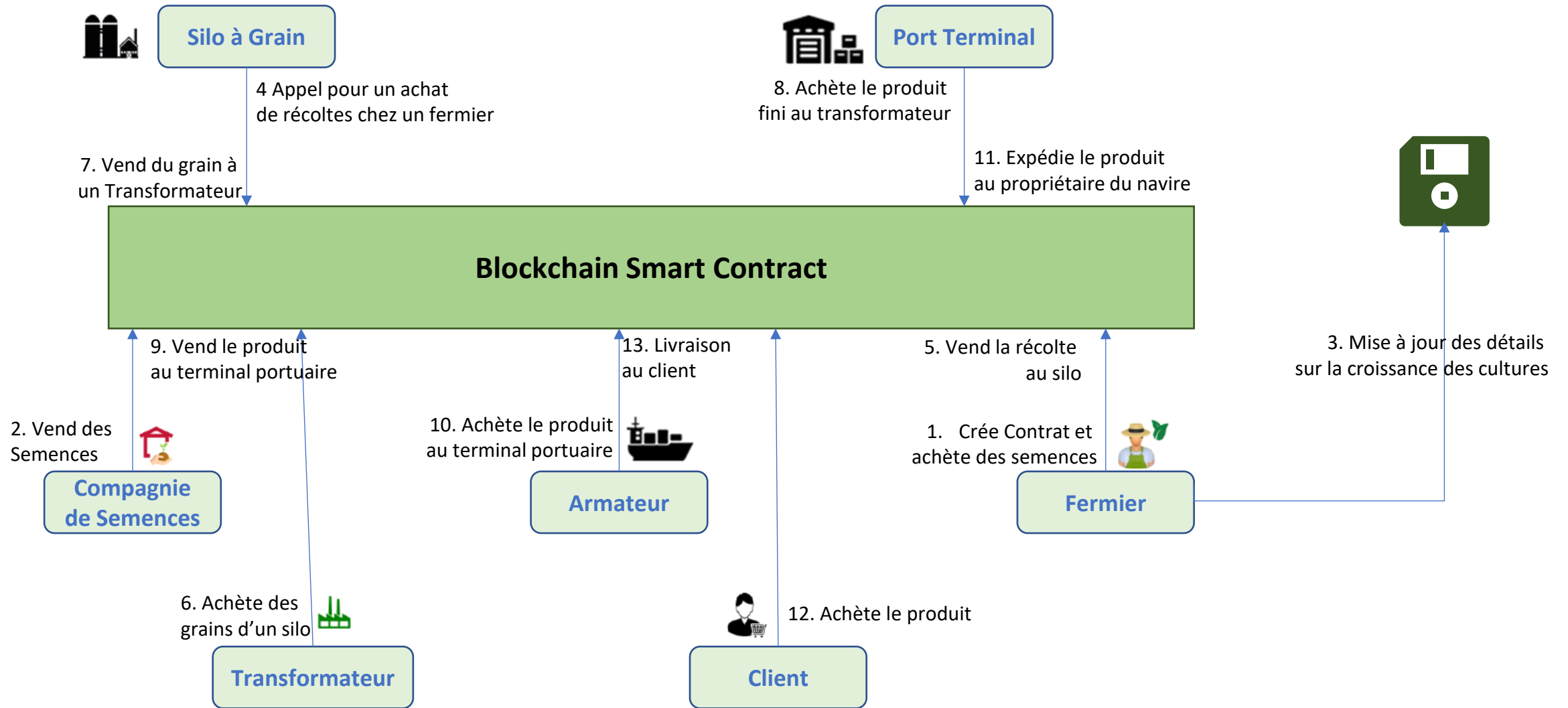
Flux de Produits Existants dans la Supply Chain du Soja

Exemple au Brésil



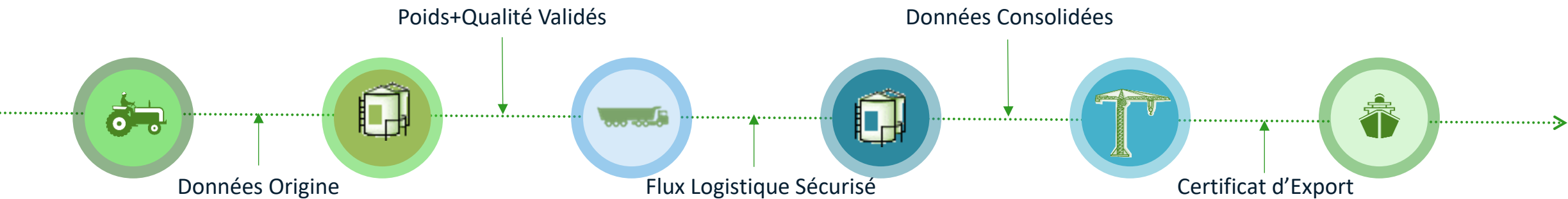
Vue Générale de la Traçabilité du Soja grâce à la Blockchain

Appliquée à l'Exemple Précédent



IA dans la Supply Chain Agro-Food

Blockchain et IA



Ferme

- Production
- GPS Parcelle
- Certifications (ESG)
- Analyses qualité
- OCR IA documents
- IoT capteurs silo

Silo

- Poids / Humidité
- IA détection anomalies
- Entrées / sorties lot
- Traçabilité qualité

Transport

- GPS
- Pertes / shrinkage
- IA flux & déroutes
- Conformité charge

Transbordement

- Mélanges (blend model)
- Contrôles qualité
- Inspection tierce
- IA cohérence flux
- Reconstitution lots

Port Terminal

- Pesée finale
- Analyses toxines
- Conformité contrat
- IA contrôle final
- Préparation B/L

Export

- Bill of Lading
- Conformité globale
- Smart contract paiement |
- Partage client final

IA dans la Supply Chain Agro-Food

Blockchain et IA

- **La blockchain garantit la confiance**
- **L'IA garantit la qualité, l'automatisation et la valeur ajoutée**

Dans une supply chain de céréales, l'intégration des deux technologies permet :

- une traçabilité complète, même pour des produits fongibles
- une amélioration massive de l'efficacité
- une transparence totale ESG
- une réduction des coûts et litiges
- une optimisation logistique et qualité
- une confiance accrue entre tous les acteurs (fermes → trading → industrie → consommateurs)

Apport Combiné des deux Technologies

- INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- Analyse cohérence des flux
- Détection anomalies & fraudes
- OCR / extraction documents
- Prédiction qualité & volumes
- Optimisation logistique
- Score de confiance acteurs

- BLOCKCHAIN

- Registre immuable
- Historique complet par lot
- Preuves d'origine & ESG
- Smart contracts (paiement, conformité)
- Transparence multi-acteurs
- Auditabilité totale

RESUMÉ du CHAPITRE 2

Cliquez sur le Document PDF



Résumé Chapitre
2

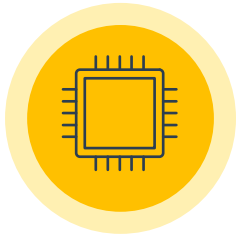
03

Enjeux et Impacts de l'Intelligence Artificielle

LA CHAÎNE DE VALEUR DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Chaîne de Valeur de l'IA Générative

Une Chaîne Complexe : du Silicium aux Applications



Puces

Logiciels de Conception

Matières Premières

Machine de Haute Precision

Fabrication



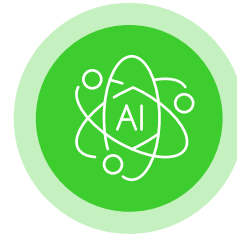
Infrastructure

Centre de Données

Réseaux

Logiciels et Services

Service de Distribution



Modèles IA

OpenAI

DeepSeek

Perplexity

Anthropic

Mistral.....



Applications

Relation Client

Vente et Prospection

Santé

Performance et Productivité.....

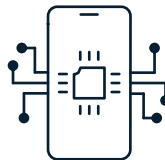
Chaîne de Valeur Mondiale des Circuits Intégrés

Etape	Rôle/Description	Principaux Acteurs/Pays
Matières Premières	Ressources rares nécessaires à la fabrication des puces (silicium, terres rares, germanium, gallium, etc.)	-----
Outils & Services pour la conception des puces	Fournissent les briques technologiques et logiciels nécessaires à la conception des semi-conducteurs	-----
Semi-conducteurs (circuits préconçus)	Fournissent des blocs de circuits intégrés prêts à l'emploi	Arm (UK), Cadence (US), Synopsys (US), Siemens EDA (DE), Imagination Technologies (UK), eMemory (TW), Dolphin Designs (FR), Lattice Semic. (US), Rambus (US), Ceva (US)
Logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO)	Logiciels permettant de concevoir les puces	Cadence (US), Synopsys (US), Siemens EDA (DE), Defacto Tech (FR)
Machines	Machines de haute précision pour fabriquer les puces	ASML (NL)
Fabricants de systèmes intégrés	Conçoivent et fabriquent eux-mêmes leurs puces	Intel (US), Siemens (DE), Samsung (KO), SK Hynix Inc. (KO)
Concepteurs de puces	Conçoivent les puces mais externalisent leur fabrication	AMD (US), Broadcom (US), IBM (US), Mythic (US), Nvidia (US), Qualcomm (US), Xilinx/AMD (US), Cerebras (US), Habana (IL), Cambricon (CN), Flex.ai (FR), Sipearl (FR), Graphcore (UK)
Grands utilisateurs / intégrateurs	Entreprises intégrant ou utilisant les puces dans leurs produits et services	Amazon (US), Apple (US), Google (US), Meta (US), Microsoft (US), Alibaba (CN)
Fabricants de puces (fonderies)	Produisent les puces pour les concepteurs et intégrateurs	TSMC (TW), UMC Group (TW), PSMC (TW), VIS (TW), SMIC (CN), HUAHONG (CN), Samsung (KO), DB Hitek (KO), Global Foundries (US), Intel (US), Tower Semiconductor (IL)

Chaîne de Valeur de l'IA Générative

Rôle et Typologie des Puces dans l'Intelligence Artificielle

Rôle	Description Simple	Exemple d'Usage
Entraîner un système d'IA	Créer un modèle d'intelligence artificielle à partir d'un grand ensemble de données (phase d'apprentissage)	Entraînement de modèles de langage, vision par ordinateur, IA générative
Faire l'inférence d'un système d'IA	Produire un résultat ou un contenu à partir d'un modèle d'IA déjà entraîné (phase d'exploitation)	Chatbots, recommandations, assistants vocaux, génération d'images



Type de Puce	Rôle Clé	Principaux Acteurs (Pays)
GPU (Graphics Processing Unit)	Accélèrent les calculs massifs nécessaires à l'apprentissage des modèles d'IA	Nvidia (US), AMD (US), Intel (US)
ASIC / FPU (Application-Specific / Field-Programmable Units)	Puces spécialisées dans des tâches précises d'IA, plus performantes et économes que les GPU pour certains usages	Amazon (US), Google (US), Meta (US), Microsoft (US), Apple (US), Broadcom (US), IBM (US), Mythic (US), Qualcomm (US), Xilinx/AMD (US), Cerebras (US), Habana (IL), Alibaba (CN), Cambricon (CN), Samsung (KR), Graphcore (UK), Flex.ai (FR)
CPU (Central Processing Unit)	Puces polyvalentes exécutant les instructions générales, utilisées pour la coordination et l'inférence légère	Intel (US), AMD (US), Apple (US), Qualcomm (US), Sipearl (FR)

Chaîne de Valeur de l'IA Générative

Synthèse sur le Segment PUCES

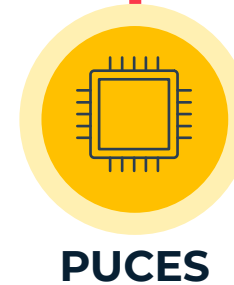
Les GPUs dominant

l'entraînement des modèles IA

NVIDIA (US) écrase le marché (85% de part de marché)

Les ASICs/FPGAs sont les plus prometteurs pour des IA embarquées ou industrielles (efficacité énergétique, performance). Ce sont les grands acteurs américains qui dominent (les MAAAM)

Les CPUs restent essentiels pour orchestrer et intégrer les IA dans les systèmes existants (INTEL, ARM, AMD....)



Concentration du Marché

- La Chine contrôle 70% du marché mondial d'extraction du silicium. Elle détient 80% de la production de germanium et de gallium contre 15% pour les USA
- La Chine maîtrise 85% du marché mondial des terres rares. Et 72% des réserves mondiales de terres rares sont détenues par les BRICS
- NVIDIA – USA - est super dominant sur le marché des GPUs
- Les USA et l'Europe se livrent à une bataille sans merci contre la position dominante de la Chine, exposant ainsi les entreprises occidentales aux risques de restrictions à l'exportation dans l'aval

Chaîne de Valeur Mondiale de l'Infrastructure

L'infrastructure de l'intelligence artificielle désigne l'ensemble des ressources matérielles et logicielles nécessaires pour créer, entraîner et exécuter des modèles d'IA

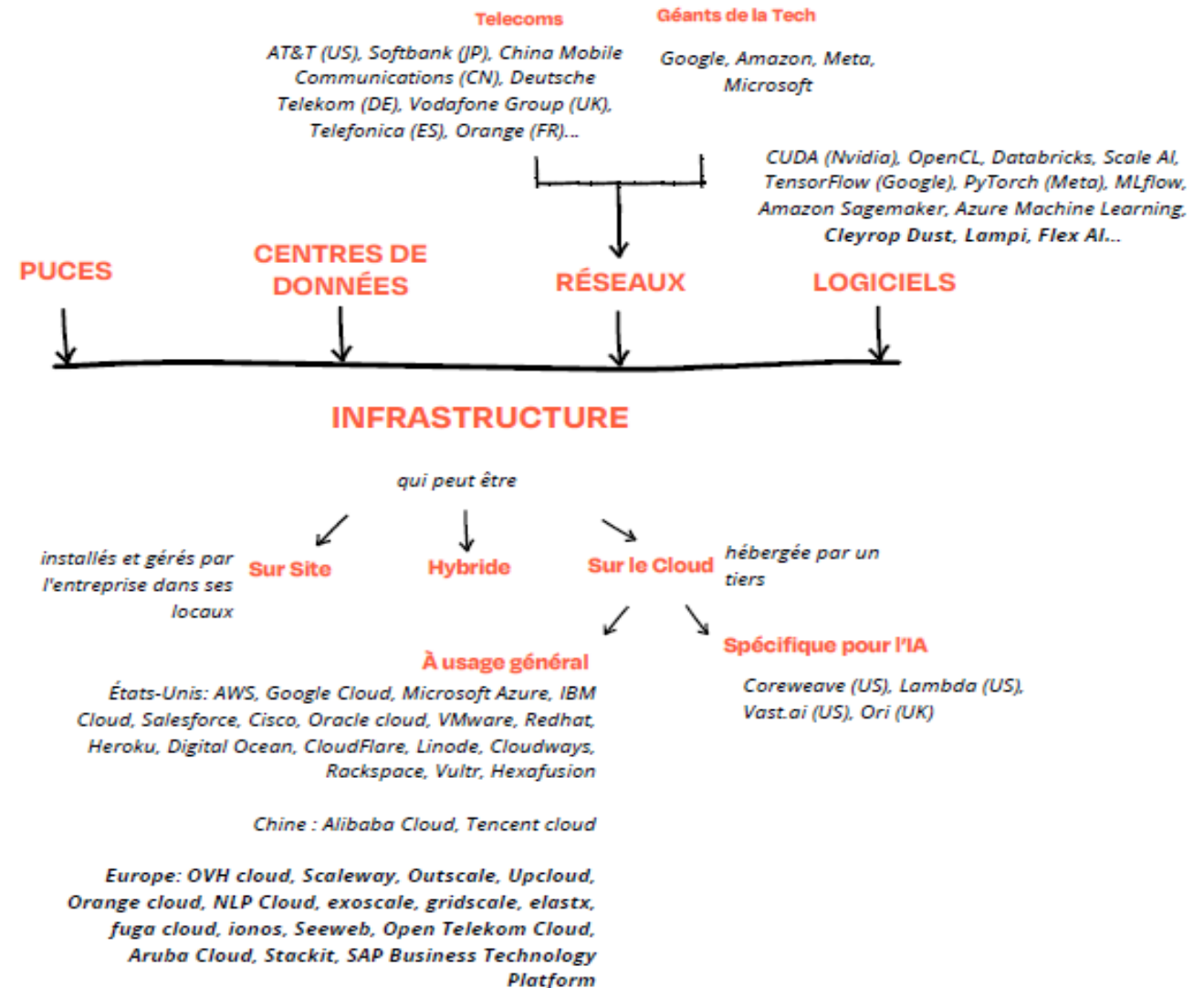


ressources matérielles ("hardware"): il s'agit de tous les composants physiques et électroniques (tels que les puces, les serveurs, les centres de données, les réseaux, etc.), nécessaires au stockage des données, à l'entraînement des algorithmes et au déploiement des systèmes d'IA



les logiciels ("software") : il s'agit des instructions informatiques intangibles utilisées pour développer et déployer des systèmes d'IA, tels que des logiciels de programmation de puces, des frameworks pour le Deep Learning et Machine Learning, des bibliothèques de développement, des outils de gestion et d'analyse des données, entre autres

"infrastructure" de l'IA générative



Chaîne de Valeur : Les Modèles de Fondation

Les modèles de fondation sont des systèmes d'IA entraînés sur de vastes ensembles de données et capables de générer divers types de contenus (texte, image, audio, vidéo...). Ils se distinguent par leur taille, leur échelle d'apprentissage et leur niveau d'ouverture. Il existe deux grandes catégories de modèles

Modèles à usage général (General Purpose Models)

L'exemple typique est le LLM GPT-5 ; De grande taille (jusqu'à plusieurs milliards de paramètres) ; entraîné sur des ensembles de données massifs ; polyvalents capables de produire du contenu sur une grande variété de sujets, précision variable selon la tâche



Modèles spécialisés

Plus petits et focalisés sur des tâches spécifiques ; Entraînés sur des ensembles de données plus restreints ; plus précis que les modèles généralistes dans leur domaine cible ; peuvent être ouverts, partiellement ouverts ou fermés

Choix pour le développeur :

1. Il crée son propre modèle IA Générative. Cela nécessite trois ressources clés
 - Puissance de calcul (infrastructure GPU, Cloud...)
 - Données d'entraînement
 - Talents humains (chercheurs, ingénieurs, data scientists)

MODELES DE FONDATION

systemes d'IA capables de générer des contenus (texte, images, audio, vidéo, etc.) a partir d'une instruction appelée un "prompt"



2. Il utilise un modèle existant en y accédant via une API (intégration directe) ou via un Hub de modèles (plateforme d'hébergement et de partage)

Les Modèles de Fondation

Les Principaux Grands Modèles de Langages (LLM)

Categorie	OpenAI	Perplexity AI	DeepSeek	Mistral	Anthropic
Origine	USA	USA	Chine	France	USA
Fondation	2015	2022	2023	2023	2021
Caractéristiques spéciales	Modèles d’IA novateurs pour le marché	Réponses fiables, sourcées et orientées productivité	Modèles linguistiques efficaces, faibles besoins en ressources	Modèles open-weight performants et maîtrise du multilingue européen	Modèles d'IA axés sur l'éthique
Produits IA Importants	GPT-5	Perplexity Search, pro & API recherche augmentée	DeepSeek-R1-0528, DeepSeek V3.2	Mistral Large, Mixtral (MoE), Codestral, Le Chat	Claude Opus 4.5
Focus	Generative AI, agents automatisés	Accès intelligent à l’information	IA haute performance à faible consommation d’énergie	Construit l’infrastructure intellectuelle sur laquelle les usages IA peuvent être bâtis	Une IA axée sur la sécurité et moins biaisée
Stratégie Marketing	Fournisseur leader avec un vaste écosystème	Positionnement “AI answer engine”	Concurrence avec OpenAI grâce à des modèles efficaces	Alternative européenne aux hyperscalers américains	L'IA axée sur les principes éthiques

Il faut ajouter : Gemini 3 de Google , Comet de Perplexity , Copilot de Microsoft, et bien d’autres.....

Cartographie Complète(1/2)

Taxonomie des Techniques IA

	FONCTIONNEMENT	ALGORITHMES	OBJECTIFS
Machine Learning - ML	<i>Apprendre à partir de données</i> <u>Quand les données sont structurées et que l'objectif est clair</u>	Régression, Arbres de décision, Random Forrest, Gradient Boosting, K-means et clustering, Réseaux bayésiens	<i>Le ML prédit, classe, optimise à partir de données historiques</i>
Deep Learning	<i>Perception et signaux complexes</i> <u>Quand les données sont massives, non linéaires ou non structurées</u>	Réseaux de neurones profonds (DNN), CNN (images, vision industrielle), RNN / LSTM (séries temporelles), Transformers (hors LLM), Auto-encodeurs (anomalies)	<i>Le DL voit, entend, détecte là où l'humain ne peut pas suivre l'échelle</i>
Large Language Model - LLM	<i>Comprendre, raisonner et générer du langage</i> <u>Quand l'information est textuelle, documentaire ou cognitive</u>	Modèles de langage pré-entraînés (GPT, LLaMA, Mistral...), Prompt engineering, RAG (Retrieval Augmented Generation), Fine-tuning / instruction tuning, Embeddings sémantiques	<i>Les LLM connectent langage, connaissances et raisonnement</i>

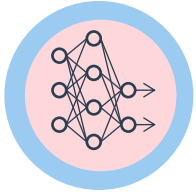
Cartographie Complète(2/2)

Taxonomie des Techniques IA

	FONCTIONNEMENT	ALGORITHMES	OBJECTIFS
Automatisation (IA + règles)	Exécuter sans intervention humaine <u>Quand la décision est connue et répétable</u>	RPA (Robotic Process Automation), Règles métiers + workflows, OCR + extraction automatique, Triggers événementiels, Orchestration de processus	L'automatisation remplace des tâches, pas des décisions.
No-Code / Low-Code & Intégration IA	Orchestrer l'IA sans coder <u>Quand l'enjeu est la vitesse, l'échelle et l'adoption métier</u>	n8n / Make / Zapier (workflows), MCP (Model Context Protocol), Notion AI / Airtable AI, Intégration API LLM, Chaînage d'outils (IA + SI)	Le no-code démocratise l'IA, mais déplace le risque vers la gouvernance
Agents IA	IA autonome orientée objectif <u>Quand l'IA agit dans un rôle précis</u>	Agent = objectif + outils + mémoire, Tool calling, Boucles perception → action, Agents spécialisés (analyse, contrôle, reporting), Coordination simple multi-agents	Les agents agissent, pas seulement analysent
Agentic AI (systèmes agentiques)	Systèmes complexes et décision distribuée <u>Quand plusieurs IA interagissent et s'auto-organisent</u>	Multi-agents coordonnés, Hiérarchie d'agents (manager / worker), Apprentissage par renforcement, Boucles d'auto-amélioration, Supervision humaine (human-in-the-loop)	L'agentic AI change la structure de la décision, pas juste l'outil.

Niveau Applicatif (1/2)

Que peut Faire l'IA pour le Conventionnel ?



ML & Deep Learning

- Interprétation sismique (CNN, DL 3D)
- Modélisation réservoir accélérée
- Maintenance prédictive équipements



Agents & IA Hybride

- Réseaux bayésiens pour gestion du risque
- Digital twins décisionnels
- Scénarios de production long terme



Automatisation & Optimisation

- Optimisation injection / pompage
- Arbitrage production ↔ maintenance
- Planification multi-annuelle



LLM & No-Code

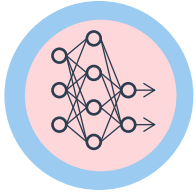
- Lecture rapports ingénierie
- Capitalisation du savoir historique
- Copilotes ingénieurs / exploitants

RÔLE DE L'IA dans le CONVENTIONNEL

- Dans le conventionnel, l'IA agit comme un *système nerveux*
- Elle optimise des actifs existants à fort capital : meilleure interprétation sismique, maintenance prédictive, décisions assistées
- On cherche la précision, la fiabilité et la durée de vie des champs

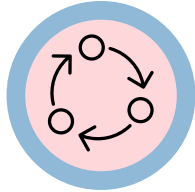
Niveau Applicatif (2/2)

Que peut Faire l'IA pour le Non Conventionnel ?



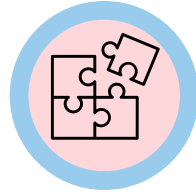
ML & Deep Learning

- Clustering de puits
- Prédiction de déclin
- Optimisation fracturation



Agentic AI

- Agents coordonnant forage, complétion, logistique
- Ajustement en temps réel des paramètres
- Boucles d'apprentissage continu



Automatisation & No-Code

- Orchestration multi-sites
- Workflows opérationnels temps réel
- Décisions semi-automatiques



LLM

- Analyse quotidienne de milliers de rapports
- Interface terrain (voix / texte)
- Standardisation des décisions

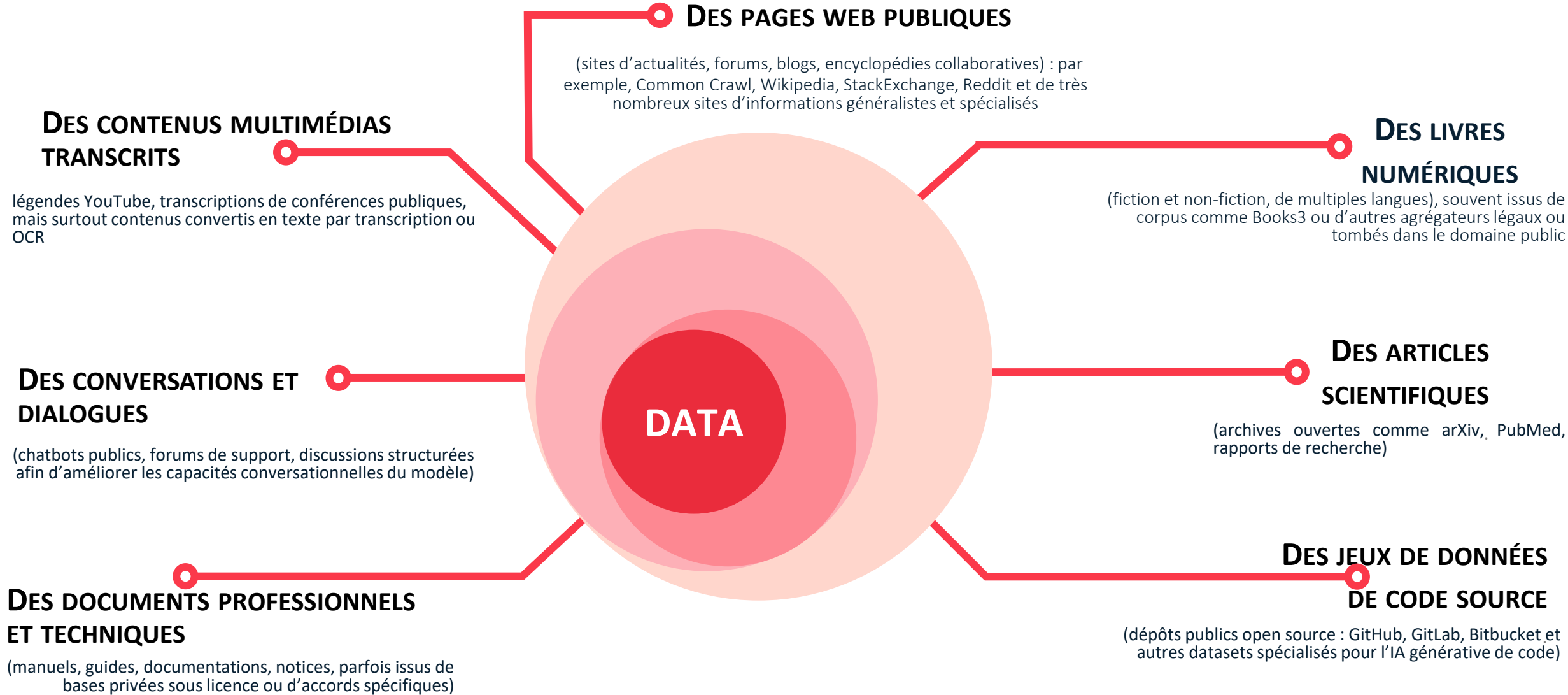
RÔLE DE L'IA dans le NON CONVENTIONNEL

- Dans le non-conventionnel, l'IA est un *système d'orchestration*
- Beaucoup de puits, beaucoup de données, peu de temps
- L'IA permet de décider vite, d'ajuster en continu et de réduire les coûts unitaires
- La valeur vient de la vitesse et de la coordination

L'ENJEU DES DONNEES

Les Sources de Données

ChatGPT-5 fut entraîné sur 114 Trillions de tokens



La Localisation des Données(1/2)

Répartition Géographique Estimée

Région	Pourcentage Estimé
États-Unis et pays anglophones	65 – 70 %
Europe continentale	15 – 20 %
Asie (Chine, Japon, Inde, etc.)	5 – 10 %
Autres régions (Afrique, Amérique latine, Moyen-Orient)	< 5 %

- Les contenus provenant majoritairement des États-Unis et de cultures occidentales véhiculent des perspectives, des normes, des références historiques et des priorités propres à ces régions
- Cela se traduit par une visibilité accrue des sujets populaires dans le monde anglophone, une référence constante aux valeurs, lois et standards culturels américains, parfois au détriment de la diversité d'autres régions du monde

La Localisation des Données(2/2)

Conséquences

- **Biais culturels et linguistiques** : GPT-5 a tendance à privilégier les contextes, idiomes, proverbes et modes de raisonnement typiquement occidentaux, ce qui peut conduire à des erreurs d'interprétation, à la marginalisation de certains points de vue, ou à une mauvaise adaptation dans des environnements non occidentaux
- **Manque de représentativité** : Les sujets, connaissances et problématiques spécifiques à l'Afrique, à l'Asie non anglophone, à l'Amérique latine ou au Moyen-Orient sont souvent moins couverts, voire absents, dans les résultats ou les réponses. Cela peut renforcer des idées fausses ou des stéréotypes, et invisibiliser des cultures ou des expériences.
- **Inégalités dans la performance linguistique** : Le modèle fournit généralement de meilleures réponses, plus riches et nuancées, en anglais (et dans les contextes familiers au monde occidental) qu'en langues ou dialectes minoritaires, ou sur des sujets spécifiques à d'autres régions

Localisation du Travail sur les Données (1/3)

Travail en Amont de l'Apprentissage Automatique (Machine Learning)

CATÉGORIE	TYPE DE TÂCHE	RÉALISÉE PAR	LOCALISATION FRÉQUENTE
Collecte/Annotation.	Étiquetage, transcription	Annotateurs, experts métiers.	Inde, Philippines, Kenya, Venezuela etc...
Préparation technique	Nettoyage, transformation	Ingénieurs de données, développeurs Python	États-Unis, Europe, Inde
Curation/Ethique	Relecture, validation	Sociologues, linguistes, juristes	États-Unis, Europe
Conception, apprentissage	Définition des étiquettes, commentaires	Experts ML, RL, linguistes	US, Europe, Amérique Latine

Localisation du Travail sur les Données (2/3)

Comparaisons Régionales du Travail Numérique

PAYS	RÔLE CLÉ	ATOUT PRINCIPAL
Venezuela	Annotation, RLHF(*), modération	Éducation + coût faible + disponibilité + langue Espagnole
Kenya, Ouganda	Annotation image/texte	Anglais courant + main d'œuvre massive
Philippines	Annotation vocale, NLP(*) anglais	Anglais natif + habitude du BPO(*)
Madagascar	Annotation francophone	Coût faible + français natif
Dans l'Entreprise	Ingénierie + annotation	Masse critique + profils techniques

A. SERIDJI

(*) BPO = Business Process Outsourcing
RLHF = Reinforcement Learning & Human Feedback
NLP = Natural Language Processing

Localisation du Travail sur les Données (3/3)

Rétribution du Micro-Travail

Quelques Attributs	Estimation/Observation
Population Mondiale	10 à 20 Millions de travailleurs numériques
Plateformes dominantes	Appen, Mturk, Tokola, Remotasks, Sama, iMerit
Rémunération typique	0,50€ à 4€ /heure (pays du sud)
Statut juridique	Très souvent précaire ou informel
Tendance actuelle	Hausse forte avec l'explosion des LLM

Sources : Banque Mondiale, Oxford Internet Institut, OIT, MIT

4 à 6 Millions

sur les plateformes mondiales
(Appen, Toloka, Remotasks, MTurk, Clickworker...).

5 à 10 Millions

sur des plateformes locales ou via
des sous-traitants

> 1 Million

engagés dans le RLHF
(Reinforcement Learning with
Human Feedback), en forte
croissance avec les LLM

Ces chiffres sont flous car beaucoup de travailleurs sont **informels, précaires, ou multiclients**, sans statut stable

BESOINS D'ENERGIE CONSIDERABLES ET MENACE DE RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

L' Intelligence Artificielle Nuit-elle à l'Environnement ?

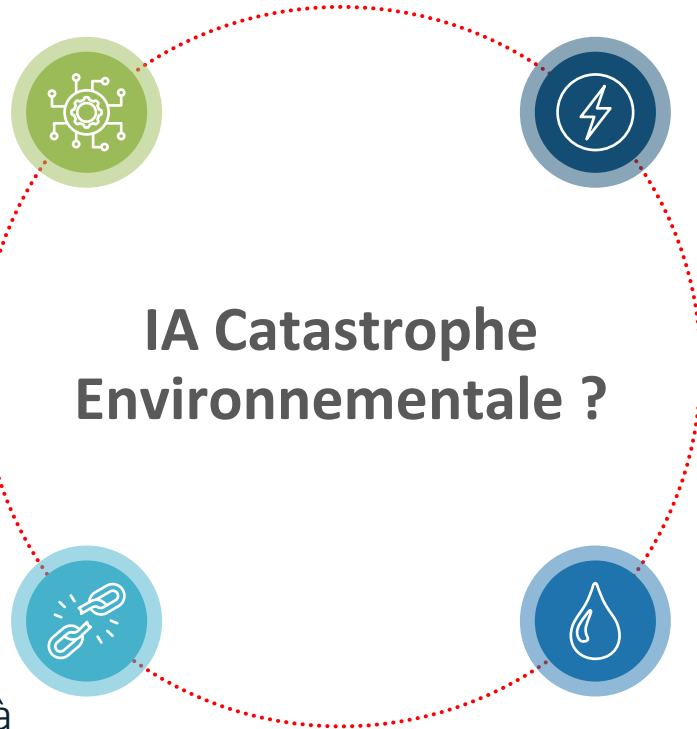
L'Empreinte Écologique de l'IA est Importante

Plus d'efficacité = plus de consommation

L'intelligence artificielle peut optimiser les processus, mais elle peut également augmenter la consommation (effet rebond).

Consommation des ressources et déchets

Les puces IA nécessitent des terres rares, dont l'extraction est nocive, et les mises à jour rapides du matériel génèrent beaucoup de déchets électroniques.



Consommation d'énergie élevée

La formation de grands modèles d'IA nécessite des quantités considérables d'énergie, ce qui entraîne des émissions de CO₂ élevées

Consommation d'eau pour le refroidissement

Les centres de données nécessitent de grandes quantités d'eau

[Rapport du MIT](#)

LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE DES DATA CENTERS

Où Sont les Data Centers Aujourd'hui ?



Les data centers sont **extrêmement concentrés** dans quelques regions :

- La carte des data centers est d'abord une **carte de l'électricité disponible** avant d'être une carte du numérique

12000 Data Centers dans le Monde en 2025-2026

Infrastructure Mondiale Massive, Dominée par l'Amérique du Nord

	NOMBRE(*)	AUJOURD'HUI (FACTUEL)	2030-2035 (PROJECTION)
Etats-Unis	5427	45%	45 % (stable, mais saturée)
Canada	337	-	45 % (stable, mais saturée)
Europe	3346	28%	25 % (contraintes réseau)
Asie-Pacifique	1818	15%	20 % (plus forte croissance)
Amérique du Sud	654	5%	6–7 %
Océanie	401	3%	-
Afrique	< 100	< 2%	3 % (lent mais réel)

Estimation de répartition régionale des data centers, fondée sur une synthèse de données Cloudscene/DataCenterMap, Cushman & Wakefield, IEA et analyses prospectives (McKinsey, BCG)

(*) : Environ 1 189 sont des “**hyperscale**” (très grands centres détenus par les géants du cloud comme AWS, Microsoft, Google, Meta, Alibaba, etc.). D’autres sont des centres de taille moyenne, de colocation ou d’entreprise

Électricité Mondiale des Data Centers

Année	Consommation Estimée
2024	460 TWh
2030	900-1000 TWh
2035	1400-1600 TWh
2040	1800-2000 TWh

Sources : IEA, Gartner, BloombergNEF, Rystad Energy

Répartition par Type d'Énergie (ordre de grandeur)

Source	Rôle Réel
Renouvelables	50 % de l'énergie, mais pas suffisantes seules
Gaz	Pilier de la flexibilité et du 24/7
Nucléaire	Croissant, mais lent à déployer
Stockage	Utile à court terme (heures), insuffisant sur plusieurs jours

Sources : IEA, McKinsey, BloombergNEF et NREL sur le rôle comparé des sources d'électricité pour les data centers et les charges 24/7

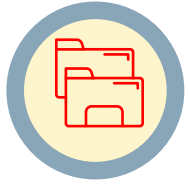
La géographie des data centers est devenue une géographie du pouvoir énergétique

- Les data centers sont **peu nombreux géographiquement**, mais **ultra-concentrés**
- Leur croissance future se fera **là où l'électricité est disponible**, pas là où la demande numérique est la plus forte..
- Leur impact énergétique est **structurel**, pas marginal.
- Ils redéfinissent la hiérarchie énergétique mondiale :
 - électricité avant climat
 - stabilité avant coût
 - puissance avant efficacité

LA TRANSFORMATION DU TRAVAIL PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

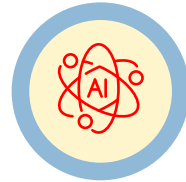
L'IA se Substitue-t-elle au Travail Humain ?

L'IA : un outil pratique pour observer, décider et coordonner



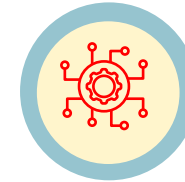
L'IA Assiste, Structure et Amplifie

L'IA ne doit pas être comprise comme une alternative à l'intelligence humaine, mais comme un **outil pratique, puissant et fondamentalement limité**, conçu pour s'intégrer dans nos flux de travail existants. Elle ne pense pas, n'intentionne pas et ne remplace pas le jugement humain ; elle **assiste, structure et amplifie** certaines capacités cognitives et organisationnelles



L'IA Observe, Apprend et Décide

Considérée sous cet angle, l'IA fonctionne selon une logique simple et répétitive. Elle **observe le monde**, à partir de données souvent fragmentées et hétérogènes. Elle en **construit un modèle fonctionnel**, nécessairement partiel et orienté. À partir de ce modèle, elle **raisonne sur un ensemble de choix possibles**, puis **agit** en déclenchant des recommandations, des alertes ou des actions automatisées. Enfin, **elle apprend des résultats** pour ajuster progressivement ses modèles et ses décisions



L'IA Automatise et Coordonne

Ces cinq fonctions — observer, modéliser, raisonner, agir, apprendre — ne font pas de l'IA une intelligence générale, mais un **outil particulièrement efficace pour réduire les frictions** là où l'information est dispersée, les décisions multiples et les acteurs nombreux. C'est précisément pour cette raison que l'IA est mieux adaptée à la **coordination et à l'automatisation** des systèmes qu'au remplacement du travail humain

Avant de se demander quelles tâches l'IA pourrait automatiser, il est donc essentiel de comprendre **quels problèmes de coordination elle permet de résoudre**, et comment elle modifie la manière dont les décisions sont prises et mises en œuvre collectivement

Deux Cadres pour Penser l'Impact de l'IA

L'Approche par Tâches versus L'Approche Systémique

Approche **par tâches** :

automatisation et substitution du travail

Une grande **partie du débat** sur l'IA et le travail repose sur une **approche par tâches** : analyser **quelles tâches humaines peuvent être automatisées**, lesquelles sont augmentées, et lesquelles disparaissent. Cette lecture, largement associée aux travaux de **Daron Acemoglu**, met l'accent sur la substitution du travail, les effets sur l'emploi, les salaires et la répartition de la valeur. Elle est essentielle pour comprendre les impacts microéconomiques et sociaux de l'automatisation, mais elle suppose implicitement que les **systèmes de production et d'organisation** restent inchangés.



Daron Acemoglu
Économiste, MIT



Macroeconomics
of AI

Approche **systémique** :

coordination et reconfiguration **des systèmes**

Une lecture différente, portée notamment par **Sangeet Paul Choudary**, adopte une **approche systémique**. Elle ne part pas des tâches individuelles, mais des **mécanismes de coordination** qui structurent les **systèmes économiques** : comment l'information circule, comment les décisions sont synchronisées, comment les acteurs interagissent à grande échelle. Dans ce cadre, l'IA n'est pas d'abord un substitut au travail humain, mais une **technologie de coordination** qui **reconfigure les rôles, les interfaces** et les architectures organisationnelles.



Sangeet Paul Choudary
Stratège des systèmes de plateformes

[Reshuffle](#)

L'approche par tâches décrit les effets visibles de l'IA. L'approche systémique en explique l'impact réel.

Quantification des Effets de l'IA

L'IA Remplace des Tâches (Acemoglu) , mais Redessine les Rôles Dominants (Choudary)

1. Automatisation (extensive)

- ◆ Automatisation de tâches opérationnelles et analytiques(Ex. : *interprétation sismique, rapports HSE, inspection visuelle par vision IA sur pipelines et plateformes*)

2, Complémentarité des tâches

- ◆ L'IA assiste les experts humains sur des décisions complexes(Ex. : *aide à la décision pour le forage, optimisation assistée des plans de maintenance, support à l'ingénierie réservoir*)

3, Approfondissement de l'automatisation

- ◆ Amélioration continue de systèmes déjà automatisés(Ex. : *maintenance prédictive améliorée par IA générative, détection avancée d'anomalies en temps réel*)

4. Création de nouvelles tâches

- ◆ Émergence de nouveaux métiers et compétences(Ex. : *ingénieur IA réservoir, spécialiste jumeau numérique, responsable gouvernance des modèles industriels*)

1. Automatisation de la coordination

- ◆ L'IA coordonne les flux physiques, informationnels et contractuels(Ex. : *orchestration supply chain amont-aval, planification automatisée de la production, trading algorithmique interne*)

2, Complémentarité des rôles humains

- ◆ Les humains se repositionnent sur des rôles stratégiques et relationnels(Ex. : *négociation de partenariats, arbitrage risques géopolitiques, supervision de décisions critiques*)

3, Approfondissement de l'orchestration algorithmique

- ◆ Gouvernance algorithmique des actifs et des partenaires(Ex. : *allocation dynamique des capacités, optimisation des contrats de services, pilotage temps réel multi-sites*)

4. Création de nouveaux rôles de valeur

- ◆ Nouveaux rôles liés à l'écosystème et aux données(Ex. : *orchestrateur d'écosystème énergétique, architecte de plateformes industrielles, auditeur IA sécurité & conformité*)

Aux USA : 20% des Tâches exposées ; 23% automatisables ;
27% économie de coûts du travail ; 14,4% Réduction moyenne des coûts

Comment Articuler les Deux Approches

Logique de Conciliation

NIVEAU MICRO (Acemoglu) Décomposition des Tâches

1

- Identifier les tâches impactées par l'IA
- Mesurer la productivité marginale (gains/pertes)
- Estimer les effets directs : emploi, coûts, valeur ajoutée

NIVEAU MESO (Choudary) Organisations & Modèles d'Affaires

2

- Réorganisation interne (chaîne de valeur, process)
- Redistribution de la capture de valeur (plateformes, acteurs dominants)
- Effets sur la concurrence et la structure sectorielle

NIVEAU MACRO (Synthèse des deux)

3

- Effet net sur la croissance du PIB (sur 5–10 ans)
- Répartition capital/travail et inégalités
- Externalités (emploi, régulation, innovation, compétitivité)

(Source Acemoglu et Choudary)

Lecture des Cas Industriels : Pétrole et Agro

Pourquoi les cas Pétrole et Agro doivent être lus de manière Systémique

Dans les secteurs industriels complexes, comme le pétrole et l'agro-food, **une lecture strictement par tâches conduit à une vision incomplète de l'IA**. Certes, certaines activités peuvent être automatisées ou augmentées : analyse de données, prévisions, maintenance, contrôle qualité. Mais ces usages ne suffisent pas à expliquer la valeur créée



Dans le pétrole, la performance dépend avant tout de la **coordination entre disciplines, sites et acteurs** : géosciences, ingénierie, opérations, sécurité, finance, souvent réparties entre plusieurs organisations. **L'IA y joue un rôle clé** lorsqu'elle aligne données, hypothèses et décisions, **réduisant les frictions** qui ralentissent ou fragilisent le système



Dans l'agro-food, la création de valeur repose sur la **coordination de chaînes de valeur étendues**, impliquant producteurs, transformateurs, logisticiens, traders et régulateurs. L'IA permet de relier données physiques, documents et contraintes réglementaires, non pour remplacer les acteurs, mais pour **rendre leur coopération plus fluide et plus fiable**

Dans le pétrole comme dans l'agro, l'IA crée de la valeur lorsqu'elle aligne les acteurs, pas lorsqu'elle remplace le travail

Transformation du Marché du Travail

Aspects Economiques de l'IA

Impact Sectoriel

- Effets variables selon les domaines et niveaux de qualification ([ici](#))

Productivité Accrue

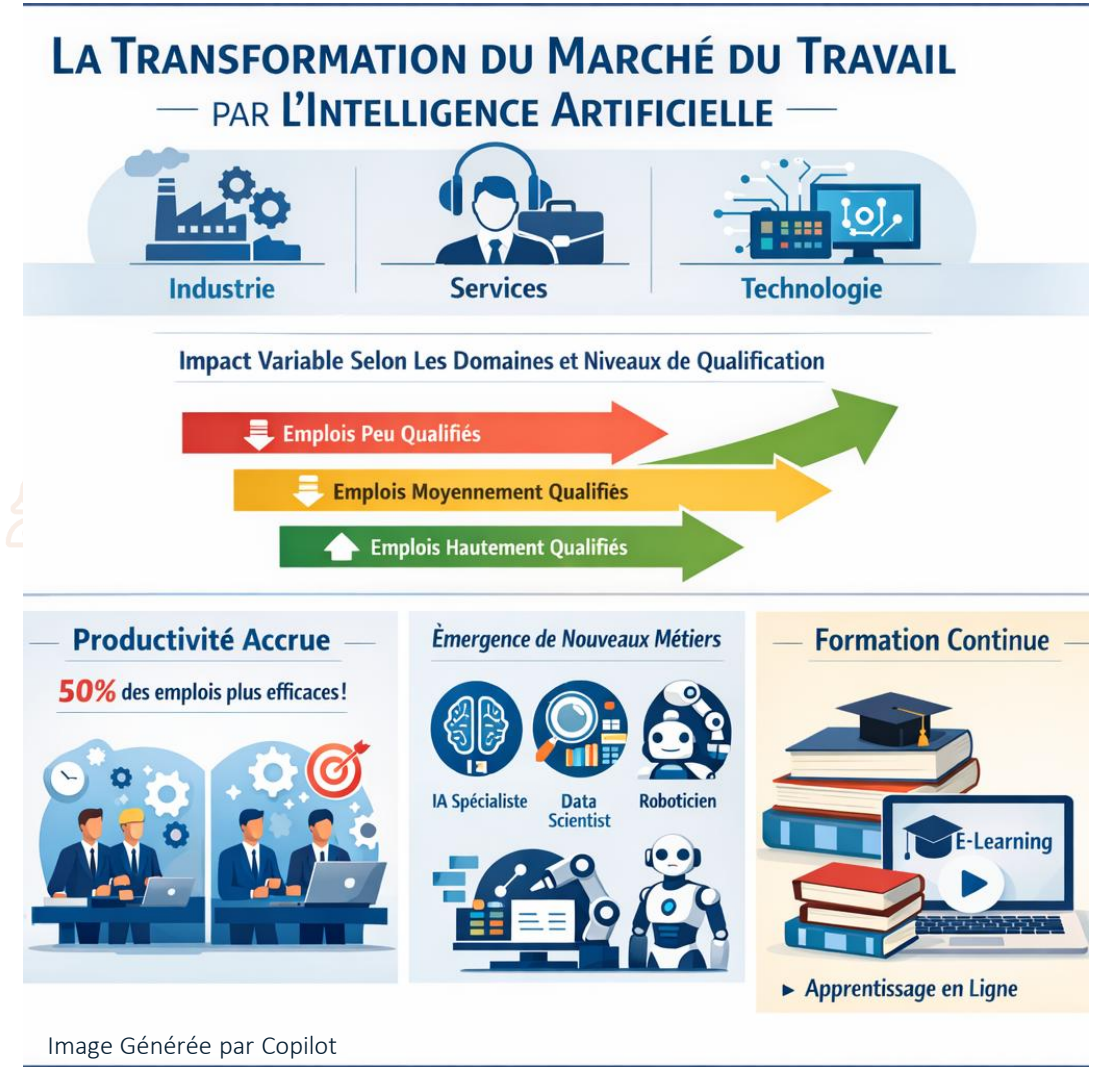
- La moitié des emplois pourrait gagner en efficacité ([ici](#))

Nouvelles Compétences

- Emergence de métiers Inédits liés aux technologies IA ([ici](#))

Formation Continue

- Adaptation nécessaire des travailleurs aux nouveaux outils ([ici](#))



PERSPECTIVES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les Trois Familles de Pensée de l'IA

Trois Visions Structurant Aujourd'hui les Décisions Politiques, Industrielles et Réglementaires



- Elon Musk → Tesla-SpaceX-xAI-Neuralink
- Max Tegmark → MIT
- Peter Thiel → Palantir
- Alex Karp → CEO Palantir



- Yoshua Bengio → Univ. de Montréal
- Stuart Russell → UC Berkeley
- Gary Marcus → NYU
- Timnit Gebru → DAIR Institute



- Yann LeCun → (AMI) · Paris
- Andrew Ng → Stanford University
- Demis Hassabis → DeepMind (Google)
- Fei-Fei Li → Stanford University

Les Techno-Pessimistes – *l'IA comme risque existentiel pour l'humanité*

L'IA — et en particulier l'IAG — représente un risque systémique majeur, voire existentiel :

- perte de contrôle
- objectifs non alignés avec les valeurs humaines
- accélération irréversible dépassant la gouvernance humaine
- remplacement ou marginalisation de l'humain

Les Pessimistes Modérés -- *l'IA est une menace, mais maîtrisable*

Ce courant reconnaît les risques réels, mais rejette l'idée d'une apocalypse imminente

L'IA pose surtout des dangers sociaux, économiques et politiques :

- Biais algorithmiques
- Désinformation
- Concentration de pouvoir
- Dépendance cognitive
- Déstabilisation du travail

Les Techno-Optimistes – *L'IA comme moteur de progrès maîtrisable*

Pour les techno-optimistes, l'IA est avant tout :

- un outil d'augmentation humaine
- un levier de productivité
- un accélérateur scientifique et médical

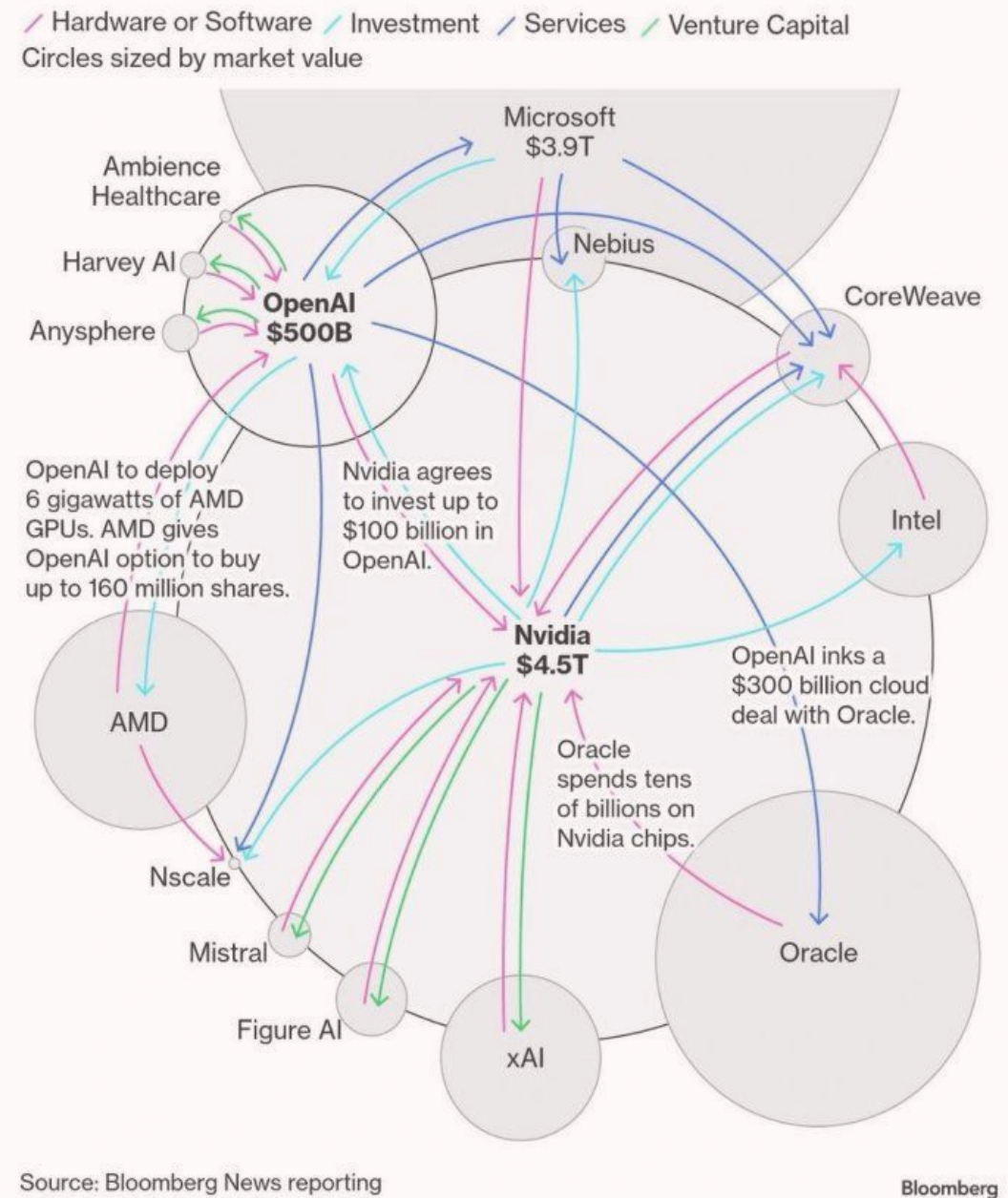
Ils reconnaissent des risques, mais estiment qu'ils sont : gérables, comparables à ceux d'autres technologies majeures (électricité, Internet).

Les Risques Liés aux Financements de l'IA

Bulle IA & Dette Invisible : De Quoi Parle-t-On ?

L'IA tire une vague d'investissements record dans les data centers, financée par de la dette complexe, avec un risque de bulle systémique

- L'IA concentre désormais une part majeure de la création de valeur boursière, portée par quelques acteurs (Nvidia, hyperscalers, grandes plateformes) et un capex data centers qui se chiffre en centaines de milliards par an ([ici](#))
- Les data centers IA sont financés par un mix de dettes obligataires, private credit, ABS et structures hors-bilan (SPV, JV), avec 2,9 Tn\$ de dépenses prévues entre 2025 et 2028, dont environ la moitié à crédit ([ici](#))
- Les actifs sous-jacents sont très fragiles : GPU et serveurs IA perdent l'essentiel de leur valeur économique en 2–3 ans, alors que les maturités de dette s'étalent sur 5–6 ans et que la rentabilité réelle des cas d'usage reste encore incertaine
- [L'économie de l'IA tourne-t-elle en rond ?](#)



Les Risques Liés aux Financement de l'IA

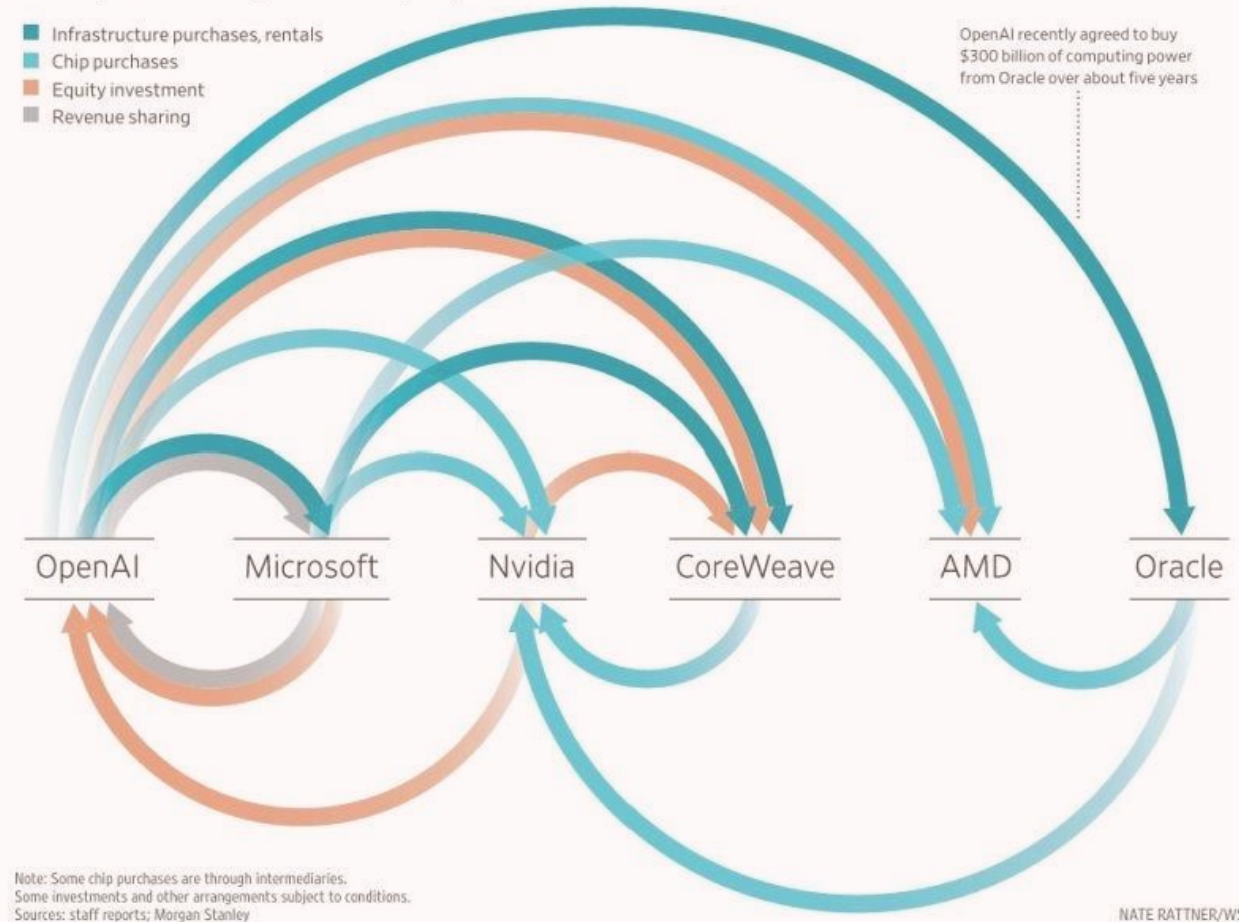
Scénario d'Eclatement et Impact Business

Si la rentabilité de l'IA ne se matérialise pas, l'éclatement de la bulle aurait des effets macro et sectoriels majeurs, avec un impact direct sur les entreprises

- Plusieurs analyses envisagent un scénario où un éclatement de la bulle IA effacerait une part significative de la capitalisation des valeurs tech et provoquerait une correction marquée de l'emploi et de l'investissement, en particulier dans le cloud, les semi-conducteurs et l'immobilier data center ([ici](#))
- Le risque n'est pas uniquement sectoriel : fonds de pension, banques, utilities et projets d'infrastructure énergétique sont déjà exposés via la dette data center et des anticipations de croissance IA intégrées dans leurs plans financiers ([ici](#))
- La dépendance des entreprises aux services IA externes (SaaS, API, agents) crée un risque opérationnel : en cas de consolidation brutale ou de faillites en chaîne, une partie des process critiques pourrait se retrouver sans solution de repli robuste.

Select capital flows among six AI-industry companies

- Infrastructure purchases, rentals
- Chip purchases
- Equity investment
- Revenue sharing



Les Questions Stratégiques à Adresser sur l'IA

Décrypter le Phénomène Economique

- Quelle part de notre roadmap dépend de fournisseurs IA/infra très endettés ou concentrés sur quelques acteurs (Nvidia, grands LLM propriétaires) ? ([Polytechnique](#))
- Avons-nous une stratégie de résilience : scénarios de stress (hausse coûts, baisse qualité de service), options open source / on-prem / hybrides, et plan de continuité si certains services IA disparaissent ?
- Comment arbitrer entre “suivre la vague” (capex/opex IA massif) et une trajectoire plus prudente orientée vers des cas d’usage à ROI mesurable, localisés et moins dépendants de cette bulle globale ?



L'IA en Algérie : Souveraineté & Pragmatisme

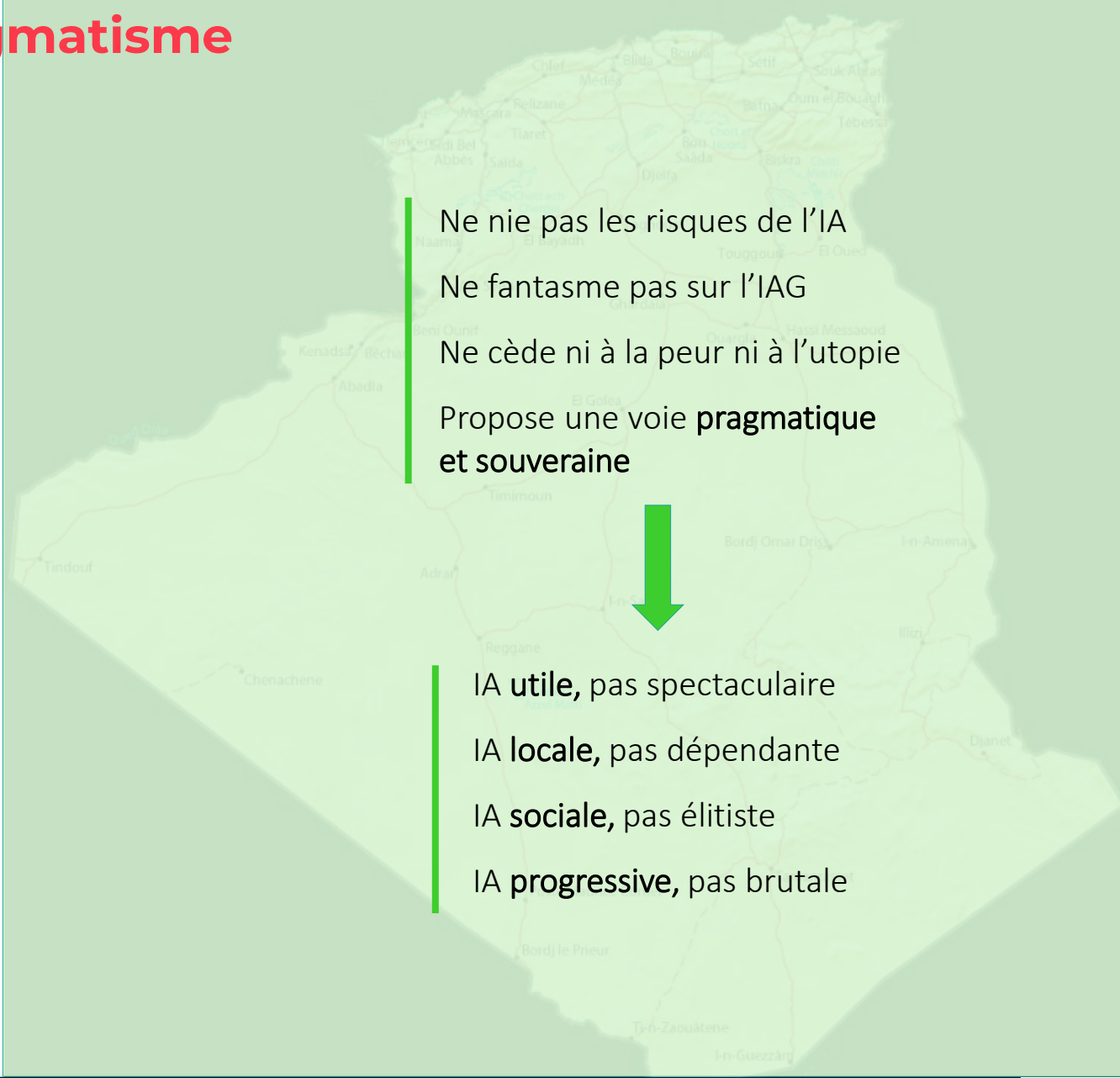
L'IA doit être au cœur des besoins du pays

L'IA n'est pas une technologie pour remplacer l'humain, mais pour l'aider, le soulager et lui faire gagner du temps

L'intelligence artificielle n'est pas une question de futur lointain

C'est une question de souveraineté, d'efficacité et de développement aujourd'hui

Pour l'Algérie, l'enjeu n'est pas d'imiter, mais de choisir intelligemment (Leapfrogging)

A map of Algeria is shown in the background, with a green arrow pointing from the top text block down to the bottom text block. The map is light green with yellow lines for roads and cities labeled in French.

Ne nie pas les risques de l'IA
Ne fantasme pas sur l'IAG
Ne cède ni à la peur ni à l'utopie
Propose une voie **pragmatique et souveraine**

IA **utile**, pas spectaculaire
IA **locale**, pas dépendante
IA **sociale**, pas élitiste
IA **progressive**, pas brutale

L'IA au Service de la Vie Quotidienne en Algérie (1/5)

Des Bénéfices Concrets, Immédiats et Inclusifs

❶ Santé : Mieux Soigner, Partout, Pour Tous

Ce Que l'IA Apporte Concrètement

- Aide au diagnostic (imagerie, radios, scanners)
- Triage médical intelligent (priorisation des urgences)
- Téléconsultation assistée par IA dans les zones rurales
- Suivi des maladies chroniques (diabète, hypertension)

Exemples d'outils

- IA de lecture de radios pulmonaires (tuberculose, infections)
- Chatbots médicaux multilingues (arabe / darija / français)
- Systèmes d'aide à la décision pour médecins généralistes

Intérêt clé pour l'Algérie

- Réduction des inégalités territoriales
- Désengorgement des hôpitaux
- Gain de temps pour le personnel médical



L'IA au Service de la Vie Quotidienne en Algérie(2/5)

Des Bénéfices Concrets, Immédiats et Inclusifs

② Habitat & Systèmes Domestiques : Confort, Economies, Sécurité

Ce Que l'IA Permet

- Optimisation de la consommation d'électricité et de gaz
- Gestion intelligente de la climatisation et du chauffage
- Sécurité domestique (détection d'intrusion, incendie, fuite de gaz)

Exemples d'outils

- Thermostats intelligents adaptés aux climats chauds
- Applications IA de suivi de consommation énergétique
- Caméras locales avec détection intelligente (sans cloud étranger)

Intérêt clé pour l'Algérie

- Baisse des factures énergétiques
- Réduction de la pression sur le réseau
- Meilleure efficacité énergétique nationale



L'IA au Service de la Vie Quotidienne en Algérie(3/5)

Des Bénéfices Concrets, Immédiats et Inclusifs

3 Agriculture & Alimentation : Produire Plus avec Moins

Ce Que l'IA Apporte

- Gestion intelligente de l'eau
- Prévion des rendements et des risques climatiques
- Détection précoce des maladies des cultures
- Aide à la décision pour petits exploitants

Exemples d'outils

- Applications mobiles d'aide agricole (photos → diagnostic)
- IA d'irrigation pilotée par météo et sol
- Drones simples pour surveillance des cultures

Intérêt clé pour l'Algérie

- Sécurité alimentaire
- Économie d'eau (enjeu critique)
- Soutien aux agriculteurs locaux



L'IA au Service de la Vie Quotidienne en Algérie(4/5)

Des Bénéfices Concrets, Immédiats et Inclusifs

4 Mobilité & Villes : Moins de Stress, Plus d'Efficacité

Ce Que l'IA Permet

- Optimisation des feux de circulation
- Réduction des embouteillages
- Meilleure gestion des transports publics
- Détection d'incidents en temps réel

Exemples d'outils

- Systèmes de feux tricolores adaptatifs
- Analyse IA des flux de circulation
- Maintenance prédictive des bus et tramways

Intérêt clé pour l'Algérie

- Gain de temps pour les citoyens
- Réduction de la pollution
- Meilleure qualité de vie urbaine



L'IA au Service de la Vie Quotidienne en Algérie(5/5)

Des Bénéfices Concrets, Immédiats et Inclusifs

5 Éducation & Services Citoyens : Inclusion et Efficacité

Ce Que l'IA Apporte

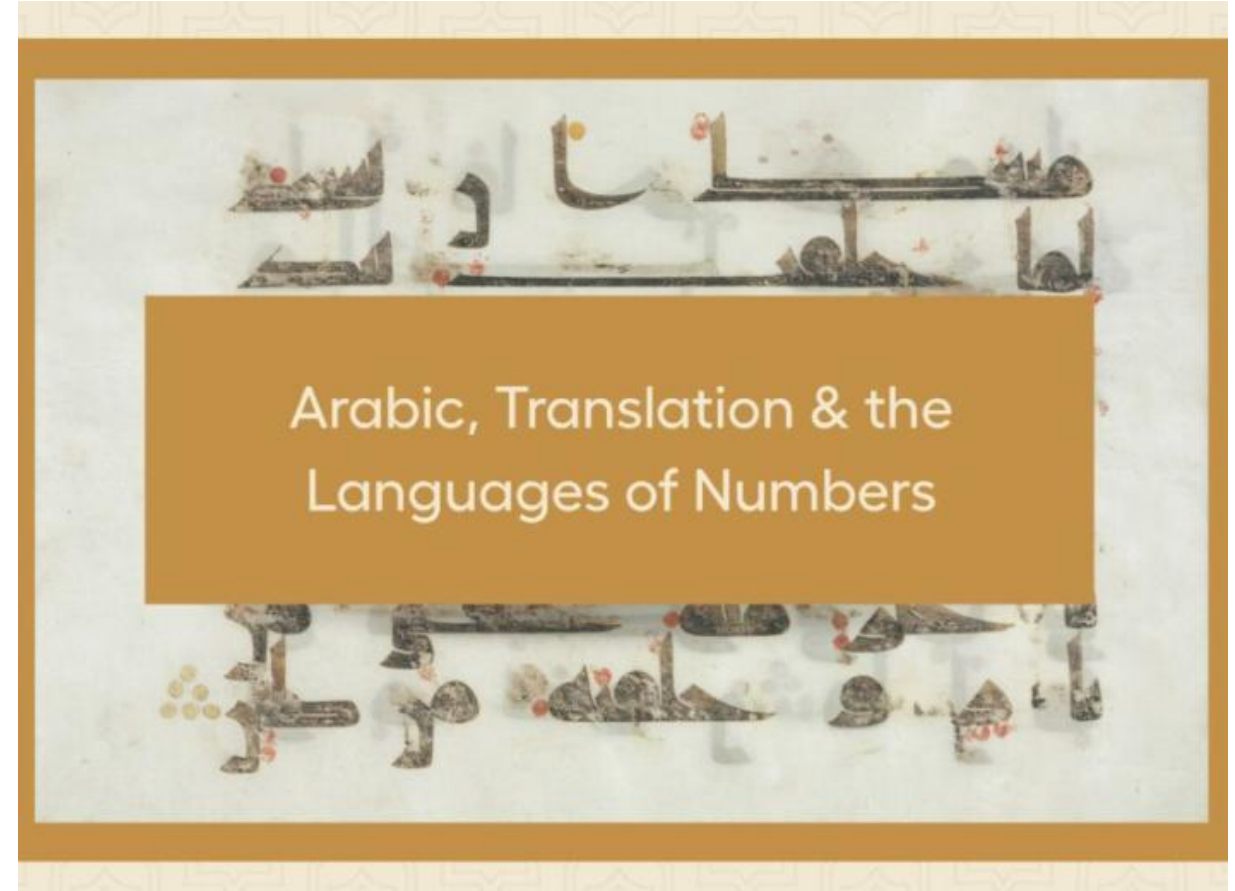
- Apprentissage personnalisé
- Soutien scolaire intelligent
- Traduction automatique (arabe, amazigh, français)
- Accès simplifié aux services publics

Exemples d'outils

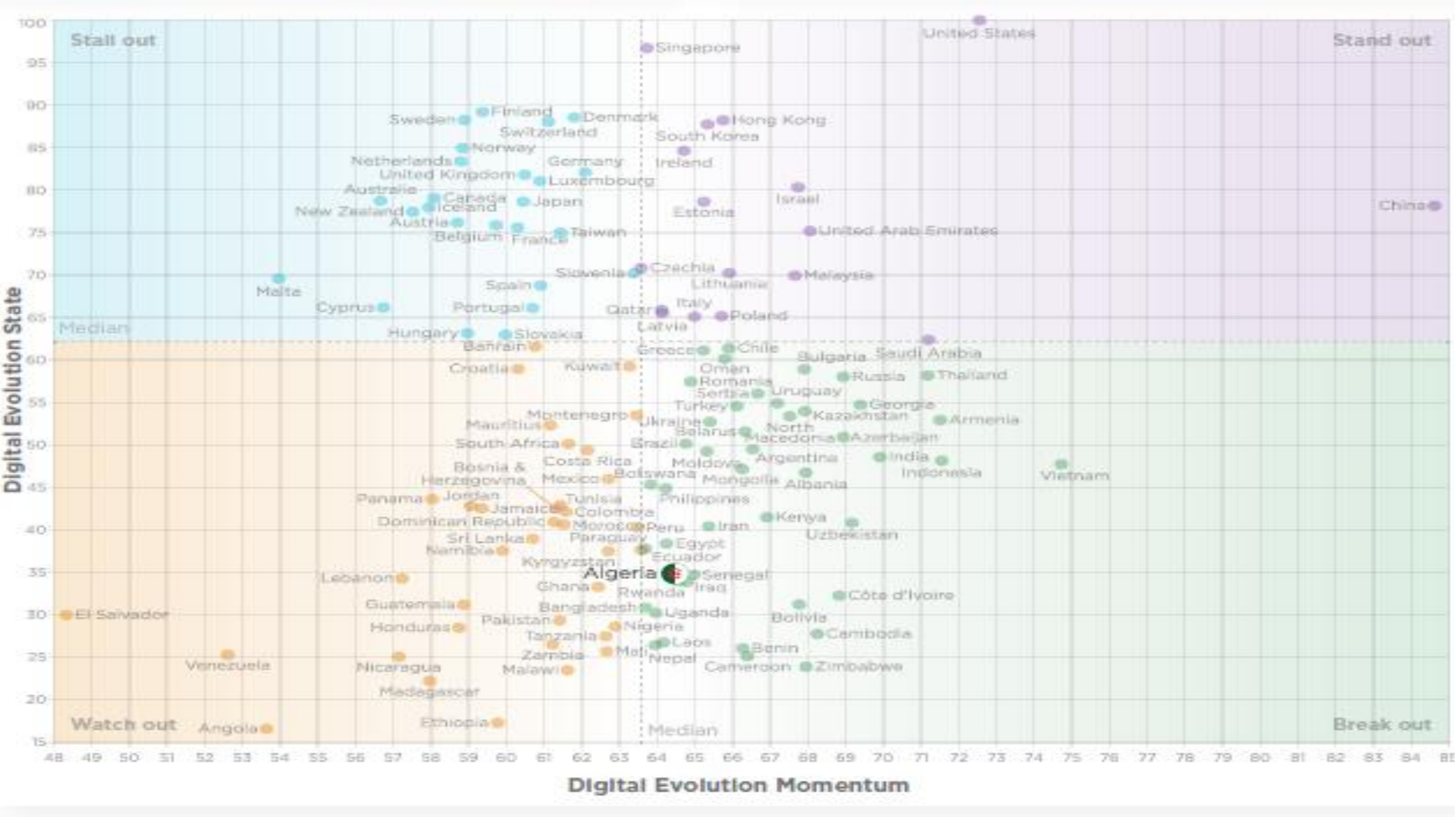
- Tuteurs IA pour mathématiques et sciences
- Chatbots administratifs (documents, démarches)
- Applications d'alphabétisation numérique

Intérêt clé pour l'Algérie

- Réduction de la fracture éducative
- Services publics plus accessibles
- Inclusion linguistique et territoriale



Algeria in the Digital Evolution Index 2025



 Digital Evolution Index 2025

 Digital Evolution Dashboard DZ

RESUMÉ du CHAPITRE 3

Cliquez sur le Document PDF



Résumé du
Chapitre 3

JE VOUS REMERCIE POUR VOTRE ATTENTION