

A blue-tinted photograph of an industrial robotic arm in a factory. The arm is white and grey, with a welding torch at the end, positioned over a workbench. The background is filled with blurred lights and machinery, creating a sense of a busy industrial environment.

Kevin POLIZZI

PRÉSIDENT DE LA MISSION

Avec la collaboration de

ROMAIN LAFFONT

VICE-PRÉSIDENT AMU

En partenariat avec

Le monde socio-économique

**RAPPORT
GROUPE
D'EXPERTS
INDUSTRIE
NOUVELLE**



INLAB

LABORATOIRE TERRITORIAL INDUSTRIE FOS / BERRE

En mars 2023, lors de son lancement, de concert trois objectifs étaient donnés par le préfet et les parties-prenante du territoire au Lab territorial industrie Fos Berre : établir un diagnostic sur l'état de l'industrie, sa solidité, ses défis, ses impacts sur la vie du territoire ; forger des scénarios fixant le sentier de la transition vers un horizon 2040 ; établir dans ce cadre les critères posés par le territoire aux installations et développements des unités industriels.

A cette fin, la collégialité du Lab, son instance centrale qui se réunit chaque mois, s'appuie à la fois sur un comité des élus et le conseil scientifique et d'experts.

Face à l'intensité des travaux nécessaires, le conseil scientifique et d'expert a été reconfiguré en octobre 2024, en se décomposant désormais en deux unités :

Un conseil scientifique animé par Romain Laffont, professeur des universités, qui dirige Polytech Marseille (École polytechnique universitaire de l'université d'Aix-Marseille) depuis décembre 2017. Réuni le 14 octobre sous sa forme nouvelle, le conseil scientifique a établi son nouveau plan de travail.

Un groupe d'experts Usine nouvelle, présidé par Kevin Polizzi, entrepreneur du numérique, qui a pour charge de penser, pour Fos-Berre, le nouveau mode de production aux défis de la transition décarbonée et énergétique, dans un environnement où l'hydrogène, l'IA, les nouvelles régulations énergétiques, les nouveaux process de production multiplient les questions.

Sous l'animation de Kevin Polizzi, ces défis, et leurs pistes de solution, sont énoncés dans un rapport intermédiaire d'une rare densité, et sur beaucoup de points incitateurs à de profondes mises en cause.

Il ouvre un débat, qui doit maintenant être conduit, dans les prochaines semaines, auprès des industriels et des opérateurs, publics ou professionnels, en charge de la régulation. A l'issue de ce débat, ces travaux pourront ainsi, sous un autre angle, rejoindre et compléter la feuille de route des acteurs publics que le comité de pilotage industrie Fos Berre tripartite, a prévu d'achever au mois de novembre 2024.

Un moment de réflexion sur l'industrie d'une rare densité sur le territoire.

Régis PASSERIEUX
Commissaire à la transition industrielle, écologique
et énergétique pour la zone Fos Berre.



Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Décarbonation de la ZIBAC (Zone Industrielle BAs Carbone) de Fos-Berre étendue à Gardanne Meyreuil d'ici 2035

1. Introduction

La Zone Industrielle et Portuaire de Fos-sur-Mer, de l'étang de Berre et de Gardanne Meyreuil (constituant la ZIBAC Syrius) est l'une des plus grandes zones industrielles de France, accueillant de nombreuses industries lourdes telles que la sidérurgie, la pétrochimie, une industrie aéronautique et les terminaux portuaires de marchandises. Cette zone est un pôle stratégique pour l'économie de la région, mais elle est aussi souvent au cœur de débats environnementaux, en raison des émissions industrielles et des impacts potentiels sur l'environnement et la santé des populations locales. Les activités de la ZIBAC sont surveillées pour s'assurer de la conformité aux normes environnementales.

Bien que cruciales pour l'économie régionale et nationale, les entreprises localisées sur zone sont également de grandes consommatrices d'énergie et d'importantes émettrices de dioxyde de carbone (CO₂) ainsi que NO_x, SO_x et particules fines (COV). Face aux défis du changement climatique, la décarbonation de cette zone industrielle devient essentielle.

La décarbonation fait référence au processus de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier le CO₂, dans le but de limiter l'impact du réchauffement climatique. L'atteinte des objectifs de décarbonation pour 2035 dans la ZIBAC Syrius nécessite une stratégie globale intégrant à la fois des innovations technologiques, une optimisation des infrastructures existantes, et une collaboration entre les parties prenantes, y compris les entreprises, les autorités locales, et les organismes de recherche.

Ce rapport a pour but de fournir une analyse approfondie des technologies de décarbonation disponibles et des actions stratégiques nécessaires pour transformer la ZIBAC Syrius en un modèle de zone industrielle durable et compétitive. L'accent sera mis sur l'optimisation des infrastructures existantes pour minimiser les coûts et maximiser l'efficacité de la transition énergétique.



2. Analyse du contexte actuel

2.1. Description des Infrastructures existantes

La ZIBAC Sirius est composée de plusieurs sous-zones industrielles et d'un grand port, qui ensemble, forment un complexe industriel majeur. Parmi les principales industries présentes, on trouve :

- **Sidérurgie et Métallurgie** : ArcelorMittal, Ascometal sont des acteurs principaux, exploitant des installations de production d'acier.
- **Pétrochimie** : Plusieurs entreprises chimiques opèrent dans la zone, produisant des produits pétrochimiques essentiels tels que les plastiques et autres dérivés du pétrole.
- **Logistique et Transport** : Le port de Fos-sur-Mer est un nœud logistique important, servant de passerelle pour les marchandises entrant et sortant de l'Europe.
- **Énergie** : Diverses installations de production de transport et de distribution d'énergie, y compris des centrales thermiques, des infrastructures de gaz naturel liquéfié (GNL) et des installations de stockage d'énergie.
- **Aéronautique** : Multiples implémentations historiques d'acteurs de la filière en lien avec un écosystème de sous-traitance très implémenté, qui pourrait être mobilisable au profit d'activités nouvelles

Ces infrastructures sont interconnectées et ont été développées sur plusieurs décennies, ce qui signifie qu'elles varient en termes de modernité, d'efficacité énergétique et de technologies utilisées. La complexité de ces infrastructures historiques représente à la fois un défi et une opportunité de transformation technologiques au service des enjeux de décarbonation.

2.2. Analyse des sources d'émissions de carbone

Les principales sources d'émissions de carbone dans la ZIBAC Syrius proviennent des processus industriels et des transports. Voici les principales catégories de sources d'émissions :

- **Processus industriels lourds** : Les fours de production d'acier et de ciment, ainsi que les installations de raffinage, génèrent une grande partie des émissions de CO₂.
- **Énergie** : La combustion de combustibles fossiles pour la production d'énergie reste une source majeure d'émissions.
- **Transport** : Les activités portuaires et la logistique, y compris les navires, les camions et les trains, contribuent de manière significative aux émissions de CO₂.
- **Chauffage et refroidissement** : Les besoins en chauffage industriel et en refroidissement des installations nécessitent des solutions énergétiques qui, actuellement, dépendent souvent de sources fossiles.

2.3. Cadre réglementaire et politique énergétique

La décarbonation de la ZIBAC Syrius s'inscrit dans un cadre réglementaire défini par des politiques locales, nationales et européennes. À l'échelle européenne, le Pacte Vert pour l'Europe vise à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, avec une réduction significative des émissions de 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990. En France, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) fixe des objectifs similaires, imposant aux grandes industries de réduire progressivement leurs émissions de CO₂.

Les entreprises opérant dans la ZIBAC devront se conformer à ces régulations tout en cherchant des moyens rentables et innovants pour décarboner leurs opérations. Les incitations financières, les crédits carbonés, et les subventions pour l'innovation technologique joueront également un rôle important dans cette transition.

3. Technologies de décarbonation disponibles

Pour atteindre la décarbonation de la ZIBAC Syrius, il est essentiel de s'appuyer sur un ensemble de technologies capables de réduire les émissions de CO₂ tout en optimisant les infrastructures existantes. Cette section explore les principales technologies disponibles, leurs applications possibles, et leur potentiel de transformation pour une zone industrielle comme celle de Fos-sur-Mer/ Etang de Berre / Gardanne.

- Captage et stockage du carbone (CSC)
- Énergies renouvelables : éolien, solaire, biomasse et gaz renouvelables
- Hydrogène vert et ses applications industrielles
- Efficacité énergétique et optimisation des bâtiments et des processus industriels
- Numérisation, gestion intelligente de l'énergie et des ressources rares

3.1. Captage et stockage du carbone (CSC)

Le captage et stockage du carbone (CSC) est une technologie clé pour la décarbonation des industries lourdes. Le CSC consiste à capturer le CO₂ émis par les processus industriels, puis à le transporter et à le stocker dans des formations géologiques sûres, telles que des réservoirs souterrains. Cette technologie est particulièrement pertinente pour la ZIBAC Sirius, où les installations industrielles telles que les aciéries et les raffineries produisent d'importantes quantités de CO₂.

Applications à Fos/Berre :

- **Captage post-combustion** : Adaptable aux infrastructures existantes, ce processus capte le CO₂ après la combustion des combustibles fossiles, ce qui en fait une option viable pour les centrales électriques et les aciéries existantes.
- **Captage précombustion** : Cette méthode consiste à capter le CO₂ avant la combustion, ce qui peut être appliqué dans les installations de gazéification et de production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles.
- **Stockage géologique** : Le sous-sol de la région peut offrir des options pour le stockage à long terme du CO₂ capté. Des études géologiques seraient nécessaires pour identifier des sites de stockage sûrs et rentables.

Avantages et Défis :

- **Avantages** : Permet la décarbonation sans remplacer complètement les infrastructures existantes, impact immédiat sur la réduction des émissions.
- **Défis** : Coût élevé de la mise en œuvre, nécessité de transport sécurisé du CO₂, et acceptabilité sociale et environnementale du stockage géologique.

3.2. Énergies renouvelables

Les énergies renouvelables telles que l'éolien, le solaire, et la biomasse sont des solutions viables pour réduire les émissions de carbone tout en fournissant de l'énergie propre aux infrastructures existantes.

Applications à Fos/Berre :

- **Énergie éolienne** : La zone Fos-Berre bénéficie de conditions climatiques favorables pour l'installation de parcs éoliens, notamment offshore. Ces parcs pourraient fournir une part importante de l'électricité nécessaire pour alimenter les installations industrielles.
- **Énergie solaire** : L'énergie solaire, à travers des fermes solaires photovoltaïques ou des installations solaires thermiques, pourrait être utilisée pour compléter l'approvisionnement en électricité et pour le chauffage industriel.

- **Énergie nucléaire** : L'énergie nucléaire est en pleine phase de développement avec une mise sur le marché en 2035 de réacteur de génération 4 offrant une garantie du prix de fourniture et un bilan carbone simplifié pour garantir la stabilité de la fourniture industrielle.
- **Biomasse et biogaz** : L'utilisation de la biomasse et du biogaz issus de déchets agricoles ou industriels peut offrir une source d'énergie renouvelable et réduire la dépendance aux combustibles fossiles pour certains processus industriels.
- **Autres sources d'énergies** : Il existe de nombreux projets proposant l'import/export de ressources énergétiques : X-Links (connexion électrique vers le Maroc), BARMAR (pipeline hydrogène), ...

Avantages et Défis :

- Avantages : Réduction significative des émissions de GES, création d'un mix énergétique durable.
- Défis : Coûts d'investissement initiaux élevés, besoin d'espace pour les installations à grande échelle, intermittence de certaines sources renouvelables.

3.3. Hydrogène vert

L'hydrogène vert, produit par l'électrolyse de l'eau à l'aide d'électricité renouvelable, est une technologie prometteuse pour décarboner les processus industriels et le secteur des transports lourds. Il peut être utilisé comme combustible, comme matière première pour des procédés industriels, ou pour le stockage d'énergie.

Applications à Fos/Berre :

- **Substitution de combustibles fossiles** : L'hydrogène peut remplacer le gaz naturel dans certaines applications industrielles, telles que la production d'acier et de produits chimiques.
- **Transport** : L'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour les véhicules lourds et les navires peut réduire les émissions du secteur des transports logistiques dans la région.
- **Stockage d'énergie** : L'hydrogène peut servir de vecteur de stockage d'énergie pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables.

Avantages et défis :

- Avantages : Flexibilité d'application, réduction significative des émissions de carbone, potentiel d'intégration avec d'autres systèmes énergétiques.
- Défis : Coût de production élevé, besoin de développement d'infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène.

3.4. Efficacité énergétique et optimisation des processus industriels

L'amélioration de l'efficacité énergétique des processus industriels et l'optimisation des infrastructures existantes représentent des approches essentielles pour réduire les émissions de carbone sans nécessiter de changements radicaux ou de nouvelles installations coûteuses.

Applications à Fos/Berre :

- **Modernisation des équipements** : Remplacement des équipements énergivores par des systèmes plus modernes et plus efficaces, tels que des compresseurs, turbines et chaudières à haut rendement.
- **Optimisation des processus** : Intégration de technologies telles que la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) et le recyclage des déchets industriels pour maximiser l'efficacité énergétique.
- **Systèmes de gestion de l'énergie** : Adoption de systèmes de gestion de l'énergie automatisés et de technologies de l'Internet des objets (IoT) pour surveiller et optimiser en temps réel la consommation d'énergie.

Avantages et Défis :

- **Avantages** : Réduction immédiate des coûts énergétiques et des émissions, retour sur investissement rapide.
- **Défis** : Besoin d'investissement initial pour la modernisation, coordination entre les différentes entreprises de la zone.

3.5. Numérisation et gestion intelligente de l'énergie

La numérisation, avec des technologies telles que l'intelligence artificielle (IA), l'analyse de données, et les systèmes de gestion intégrée, peut jouer un rôle crucial dans la décarbonation des infrastructures industrielles.

Applications à Fos/Berre :

- **Systèmes de prévision de la demande énergétique** : Utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique pour prévoir et optimiser la demande énergétique et réduire les pics de consommation.
- **Gestion de réseau intelligent (smart grid)** : Mise en place de réseaux électriques intelligents pour gérer efficacement la distribution de l'énergie renouvelable et l'intégration du stockage d'énergie.
- **Maintenance prédictive** : Utilisation de l'analyse de données pour prévoir l'entretien des équipements industriels et éviter les pertes d'énergie dues aux pannes ou aux inefficacités.

Avantages et Défis :

- **Avantages** : Réduction des coûts opérationnels, amélioration de l'efficacité énergétique, meilleure utilisation des ressources.
- **Défis** : Coûts de mise en œuvre des systèmes numériques, besoin de compétences spécialisées et de formation continue.

4. Optimisation des infrastructures existantes

La décarbonation de la zone Fos-Berre-Gardanne ne peut être pleinement réalisée sans une approche stratégique qui tire parti des infrastructures industrielles et énergétiques existantes. Plutôt que de reconstruire entièrement les installations, l'accent doit être mis sur la modernisation, l'optimisation et l'intégration de nouvelles technologies dans les systèmes déjà en place. Cette section détaille les stratégies d'optimisation des infrastructures existantes, y compris la modernisation des équipements industriels, la mise à jour des installations pour le captage du carbone, le déploiement de technologies de stockage d'énergie, et l'intégration de systèmes de gestion intelligente.

4.1. Modernisation des équipements industriels pour l'efficacité énergétique

La modernisation des équipements industriels représente l'un des moyens les plus directs d'optimiser les infrastructures existantes pour réduire les émissions de CO₂. Cette approche implique de mettre à jour ou de remplacer les systèmes anciens et énergivores par des équipements de nouvelle génération qui consomment moins d'énergie tout en offrant des performances équivalentes ou supérieures.

Stratégies de modernisation :

- **Remplacement des chaudières et des fours** : Les anciennes chaudières et fours utilisés dans les industries de la sidérurgie, de la pétrochimie et du ciment peuvent être remplacés par des systèmes à haut rendement énergétique tels que des chaudières à condensation ou des fours à faible consommation de carburant.
- **Optimisation des compresseurs et des moteurs** : Le remplacement des compresseurs d'air, des pompes et des moteurs par des modèles à vitesse variable et à haut rendement peut réduire considérablement la consommation d'énergie.
- **Systèmes de récupération de chaleur** : L'installation de systèmes de récupération de chaleur pour capter et réutiliser la chaleur résiduelle des processus industriels peut améliorer l'efficacité globale de l'installation. Cette chaleur récupérée peut être utilisée pour le chauffage de locaux ou pour d'autres processus nécessitant de l'énergie thermique.

Avantages et Défis :

- **Avantages** : Réduction directe des coûts énergétiques et des émissions de CO₂, amélioration de la compétitivité industrielle.
- **Défis** : Coût initial élevé pour la modernisation, besoin d'arrêts temporaires des installations pour l'installation de nouveaux équipements.

4.2. Mise à Jour des installations pour le captage et la réutilisation du CO₂

L'optimisation des infrastructures pour inclure le captage et la réutilisation du CO₂ (Carbon Capture and Utilization, CCU) offre une voie pratique pour réduire les émissions sans modifications radicales des processus industriels existants.

Approches Spécifiques :

- **Intégration du captage du carbone post-combustion** : En ajoutant des unités de captage post-combustion aux cheminées des centrales thermiques et des usines, le CO₂ peut être capté avant de pénétrer dans l'atmosphère. Cette méthode est relativement flexible et peut être adaptée aux installations existantes.
- **Utilisation du CO₂ capté** : Le CO₂ capté peut être réutilisé sur place pour des applications industrielles, comme la production de méthanol, de carburants synthétiques ou d'autres produits chimiques, réduisant ainsi la dépendance aux matières premières fossiles.
- **Amélioration des pipelines de transport de CO₂** : Le développement d'une infrastructure de pipelines pour transporter le CO₂ capté vers des sites de stockage géologique ou des installations de valorisation du CO₂ est crucial pour soutenir une approche intégrée de la décarbonation.

Avantages et Défis :

- Avantages : Réduction immédiate des émissions de CO₂, création de nouveaux flux de revenus grâce à la valorisation du CO₂.
- Défis : Complexité technique et logistique, coûts d'investissement initiaux élevés pour les infrastructures de captage et de transport.

4.3. Déploiement de technologies de stockage d'énergie

Les technologies de stockage d'énergie sont essentielles pour gérer la variabilité des sources d'énergies renouvelables et pour garantir une alimentation énergétique stable et continue aux installations industrielles.

Options de Stockage d'Énergie :

- **Batteries à grande échelle** : Les batteries lithium-ion et autres technologies de batterie avancées peuvent stocker l'énergie excédentaire produite par les énergies renouvelables et la restituer en période de forte demande.
- **Stockage d'énergie par pompage hydraulique** : Cette méthode consiste à pomper l'eau vers un réservoir élevé lorsque l'énergie est abondante, et à la relâcher pour produire de l'électricité lorsque la demande est élevée.
- **Hydrogène comme vecteur de stockage** : En utilisant l'excès d'énergie renouvelable pour produire de l'hydrogène via l'électrolyse, l'hydrogène peut ensuite être stocké grâce à une infrastructure dédiée et utilisé comme source d'énergie propre, soit directement, soit pour alimenter des piles à combustible.

Avantages et Défis :

- Avantages : Stabilisation du réseau énergétique, intégration optimale des énergies renouvelables, réduction de la dépendance aux énergies fossiles.
- Défis : Coûts d'installation élevés, problèmes de dégradation des batteries, besoins d'espace et d'infrastructures.

4.4. Intégration de systèmes de gestion intelligente des ressources

L'utilisation de technologies numériques et de systèmes de gestion intelligente peut optimiser l'utilisation des ressources, réduire les déchets, et améliorer l'efficacité énergétique globale.

Stratégies d'intégration intelligente :

Systèmes de gestion de l'énergie (EMS) : Ces systèmes peuvent surveiller, contrôler et optimiser la consommation d'énergie en temps réel à travers les différentes installations industrielles. Ils permettent d'éviter les pics de consommation énergétique et de réduire les coûts associés.

- **Capteurs et IoT pour la gestion des ressources :** L'installation de capteurs intelligents et l'utilisation de l'Internet des objets (IoT) permettent de surveiller les flux de matières premières, d'énergie, et d'eau pour identifier et réduire les inefficacités.
- **Plateformes de maintenance prédictive :** En analysant les données des équipements en temps réel, les systèmes de maintenance prédictive peuvent prévenir les pannes coûteuses et améliorer l'efficacité des opérations industrielles.

Avantages et Défis :

Avantages : Réduction des coûts opérationnels, amélioration de l'efficacité énergétique, prolongation de la durée de vie des équipements.

- Défis : Besoin d'une infrastructure de données robuste, formation des opérateurs aux nouvelles technologies, protection des données et cybersécurité.

5. Évaluation des stratégies technologiques

Pour garantir une transition efficace vers la décarbonation, il est essentiel d'évaluer soigneusement les différentes stratégies technologiques en tenant compte des coûts, des bénéfices environnementaux, des contraintes techniques, et des opportunités de collaboration.

5.1. Analyse Coût-Bénéfice des différentes technologies

L'analyse coût-bénéfice (ACB) permet d'évaluer le potentiel de chaque technologie en termes de retour sur investissement (ROI) et d'impact sur la réduction des émissions.

- **Captage et stockage du carbone (CSC) :** Bien que coûteux à court terme, le CSC peut offrir un retour significatif en termes de conformité réglementaire et de réduction des émissions, surtout dans les industries où la décarbonation complète est difficile à réaliser.
- **Gaz renouvelables :** Les technologies de production de gaz renouvelables ont l'avantage de produire sans intermittence, 8000h/an. Elles sont 100% compatibles avec les installations des industriels sans aucun investissement. La méthanisation est une technologie mature dont les coûts sont en baisse constante. La pyrogazéification permet de produire une énergie renouvelable à partir de déchets solides alors que la gazéification hydrothermale adresse des déchets liquides. Ces deux dernières technologies sont en phase d'industrialisation au stade de démonstration industrielle et nécessitent des dispositifs de soutien pour émerger.
- **Électricité renouvelables :** Le solaire et l'éolien ont des coûts en baisse constante et peuvent fournir une électricité pro

- **Hydrogène vert** : Les coûts initiaux de l'hydrogène vert sont élevés, mais les avancées technologiques et les économies d'échelle pourraient rendre cette option plus viable d'ici 2035
- **Optimisation énergétique** : Les investissements dans l'efficacité énergétique et la numérisation offrent souvent un ROI rapide, rendant cette option très attrayante pour une mise en œuvre à court terme.

5.2. Évaluation de l'impact environnemental

Outre les coûts financiers, l'impact environnemental des différentes technologies doit être pris en compte pour garantir que les solutions de décarbonation ne créent pas de nouveaux problèmes écologiques ou de pollution.

- **CSC et stockage géologique** : Bien que le stockage géologique du CO₂ soit généralement considéré comme sûr, il existe des préoccupations concernant les fuites potentielles et les impacts à long terme sur les écosystèmes.
- **Énergies renouvelables** : Le solaire et l'éolien ont des impacts environnementaux relativement faibles, mais la production et le recyclage des équipements (comme les panneaux solaires et les pales d'éoliennes) doivent être gérés de manière durable.
- **Hydrogène vert** : En tant que technologie propre, l'hydrogène vert n'émet pas de CO₂ lorsqu'il est utilisé. Toutefois, la production à grande échelle nécessite une gestion attentive des ressources en eau et de l'empreinte énergétique.
- **Moyen terme (2028-2031)** : Étendre les technologies éprouvées et développer l'infrastructure de stockage d'énergie et de transport du CO₂.
- **Long terme (2032-2035)** : Finaliser l'intégration des réseaux intelligents et atteindre la neutralité carbone.

9. Synthèse des décisions à prendre d'ici 2035

9.1 Captage, utilisation et stockage du Carbone (CCUS)

- Investir dans des unités de captage et stockage du CO₂ à grande échelle.
- Développer des infrastructures pour le transport du CO₂ vers des sites de stockage sécurisés (par ex., gisements de gaz épuisés).
- Favoriser des partenariats avec d'autres zones industrielles pour mutualiser les coûts du CCUS.

9.2 Électrification des processus industriels et verdissement du mix gazier

- Modernisation des équipements industriels pour intégrer des technologies électriques et développement des filières de production de gaz renouvelables.
- Renforcement des infrastructures électriques pour soutenir une demande accrue en électricité issue des renouvelables.

- Renforcement des infrastructures gazière afin d'accueillir harmonieusement les productions renouvelables permettant de décarboner l'industrie

9.3 Hydrogène bas carbone

- Développer des électrolyseurs à grande échelle sur le site pour produire de l'hydrogène vert.
- Construire un réseau d'infrastructures pour distribuer l'hydrogène aux industries locales et pour l'exportation vers le nord de l'Europe via le port.
- Incorporer progressivement l'hydrogène dans les processus industriels (remplacement des combustibles fossiles dans la sidérurgie, utilisation dans la production d'ammoniac et de méthanol).

9.4 Amélioration de l'efficacité énergétique

- Mettre en place des audits énergétiques réguliers pour identifier les gisements d'économies d'énergie.
- Remplacer les équipements obsolètes par des systèmes plus performants (moteurs électriques, systèmes de refroidissement, etc.).
- Développer prioritairement des systèmes de récupération de chaleur pour réutiliser l'énergie produite lors des processus industriels.

9.5 Révolution des procédés industriels

- Investir dans la recherche et développement pour innover dans les procédés industriels bas carbone.
- Soutenir les entreprises locales dans leur transition vers ces nouvelles technologies, via des aides publiques et des incitations fiscales.
- Élaborer des feuilles de route sectorielles pour garantir que chaque secteur industriel atteigne les objectifs de décarbonation.

9.6 Intégration des technologies et de l'industrie 4.0

- Déployer un réseau 5G Privé pour la ZIBAC
- Soutenir la construction de la cité de l'industrie et du port pour créer des laboratoires et démonstrateurs
- Création de plusieurs écoles localisées sur Fos pour garantir la formation initiale et le long life learning

9.7 Transformation de la sidérurgie

- Transition vers des fours à arc électrique alimentés par des énergies renouvelables.
- Utilisation de l'hydrogène dans la réduction de l'acier pour remplacer le charbon dans la phase de transformation.

9.8 Révolution dans la chimie lourde

- Substitution des matières premières fossiles par des alternatives bas-carbone.
- Investissements en R&D pour développer des procédés électrochimiques et biochimiques.

9.9 Intégration des énergies renouvelables

- Installer des capacités de production d'énergie renouvelable directement sur la ZIBAC (panneaux solaires sur les bâtiments industriels, fermes éoliennes dans les zones disponibles et gaz renouvelables).
- Mettre en place des systèmes de stockage d'énergie pour gérer les intermittences des énergies renouvelables et stabiliser l'approvisionnement énergétique.
- Promouvoir l'autoconsommation collective d'énergie pour les entreprises situées sur le site.

9.10 Réseaux de chaleur

- Développer des réseaux de chaleur interconnectés sur le site.
- Récupérer la chaleur fatale des processus industriels et l'utiliser pour des applications externes (réchauffement d'eau, chauffage urbain).
- Créer des synergies avec les collectivités locales pour la gestion et l'exploitation de ces réseaux de chaleur.

9.11 Optimisation logistique

- Électrifier les infrastructures portuaires pour réduire les émissions des navires à quai.
- Promouvoir l'utilisation de carburants alternatifs décarbonés (gaz naturel liquéfié, hydrogène, biocarburants) pour les navires fréquentant le port.
- Améliorer les connexions ferroviaires et fluviales pour réduire la dépendance au transport routier.

9.12 Financement de la transition

- Développer des partenariats public-privé pour partager les coûts des nouvelles infrastructures.
- Mobiliser des fonds européens et nationaux dédiés à la transition énergétique (fonds pour l'innovation, mécanismes de soutien à l'hydrogène).
- Instaurer des systèmes de tarification du carbone incitant les entreprises à investir dans des technologies bas carbone (marché du carbone, taxe carbone).

9.13 Mobilité

- Développement d'une solution d'orchestration du déploiement des moyens routiers
- Création d'un point de concentration pour la centralisation des enjeux collaborateurs

10. Bibliographie

1. International Energy Agency (IEA), «Energy Technology Perspectives 2020»

Contenu utile : Analyse des technologies énergétiques disponibles pour la décarbonation, incluant le CSC, l'hydrogène, et les énergies renouvelables.

(<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>)

2. European Commission, "A Clean Planet for all: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy" (2018)

Contenu utile : Stratégie à long terme de l'Union européenne pour la neutralité carbone d'ici 2050.

(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>)

3. Global CCS Institute, "Global Status of CCS 2023"

Contenu utile : Rapport sur l'état des lieux des projets de CSC dans le monde.

(<https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>)

4. Hydrogen Council, "Hydrogen Insights 2021"

Contenu utile : Rapport sur les développements récents dans l'économie de l'hydrogène et les infrastructures nécessaires.

(<https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2021/>)

5. McKinsey & Company, "Decarbonizing the industrial sectors: The next frontier" (2020)

Contenu utile : Étude sur la décarbonation des secteurs industriels, incluant une analyse des coûts et des technologies.

(<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/decarbonizing-the-industrial-sectors-the-next-frontier>)

6. Carbon Trust, "The potential for CCS and CCU in Europe" (2019)

Contenu utile : Analyse des opportunités et des défis du CCU en Europe.

(<https://www.carbontrust.com/resources/the-potential-for-ccs-and-ccu-in-europe>)

7. Rocky Mountain Institute (RMI), "Breakthrough Batteries: Powering the Era of Clean Electrification" (2019)

Contenu utile : Évaluation des technologies de stockage d'énergie et prévisions sur l'évolution des coûts.

(<https://rmi.org/insight/breakthrough-batteries/>)

8. IEA-RETD, "Renewable Energy in Industrial Applications: An Assessment of the 2050 Potential" (2016)

Contenu utile : Potentiel d'intégration des énergies renouvelables dans les applications industrielles.

(<http://iea-retd.org/archives/publications/renewable-energy-in-industrial-applications>)

9. Port of Rotterdam Authority, "Energy Transition Roadmap" (2021)

Contenu utile : Plan stratégique pour la transition énergétique au port de Rotterdam.

(<https://www.portofrotterdam.com/en/our-port/energy-transition/roadmap>)

10. International Renewable Energy Agency (IRENA), "Hydrogen from Renewable Power: Technology Outlook for the Energy Transition" (2019)

Contenu utile : Rapport sur les technologies de production d'hydrogène vert.

(<https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-from-renewable-power>)

11. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005)

Contenu utile : Rapport sur les technologies de CSC et leurs applications.

(<https://www.ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage/>)

12. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, "Industrial Decarbonization: Technologies, Policies, and Timing" (2020)

Contenu utile : Étude sur les technologies et politiques de décarbonation de l'industrie.

(<https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2020/decarbonization-industrial-sector.html>)

13. World Economic Forum, "The Net-Zero Challenge: Fast-Forward to Decisive Climate Action" (2020)

Contenu utile : Analyse des actions nécessaires pour atteindre la neutralité carbone, incluant des projets industriels.

(<https://www.weforum.org/reports/the-net-zero-challenge-fast-forward-to-decisive-climate-action>)

14. Agence Internationale de l'Énergie (AIE), "Efficacité Énergétique 2021"

Contenu utile : Rapport sur les améliorations de l'efficacité énergétique dans les secteurs industriels.

(<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>)

15. BloombergNEF, "New Energy Outlook 2021"

Contenu utile : Projections sur le mix énergétique mondial, incluant des scénarios de décarbonation.

(<https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>)

16. Chalmers University of Technology, "Pathways to Industrial Decarbonization" (2019)

Contenu utile : Analyse des parcours technologiques et économiques pour décarboner les industries lourdes.

(<https://research.chalmers.se/publication/515195>)

17. Carbon4PUR Project, "Recycling industrial CO₂ emissions into building blocks for polyurethane foams and coatings" (2020)

Contenu utile : Étude de cas sur l'utilisation du CO₂ capté pour la production de matériaux industriels.

(<https://www.carbon4pur.eu/project/>)

18. Centre for European Policy Studies (CEPS), "Towards a Hydrogen Economy in Europe: Strategic Actions and Recommendations" (2021)

Contenu utile : Recommandations stratégiques pour le développement de l'économie de l'hydrogène en Europe.

(<https://www.ceps.eu/ceps-publications/towards-a-hydrogen-economy-in-europe/>)

19. University College London (UCL), "Decarbonisation of Industrial Clusters: Challenges and Opportunities" (2021)

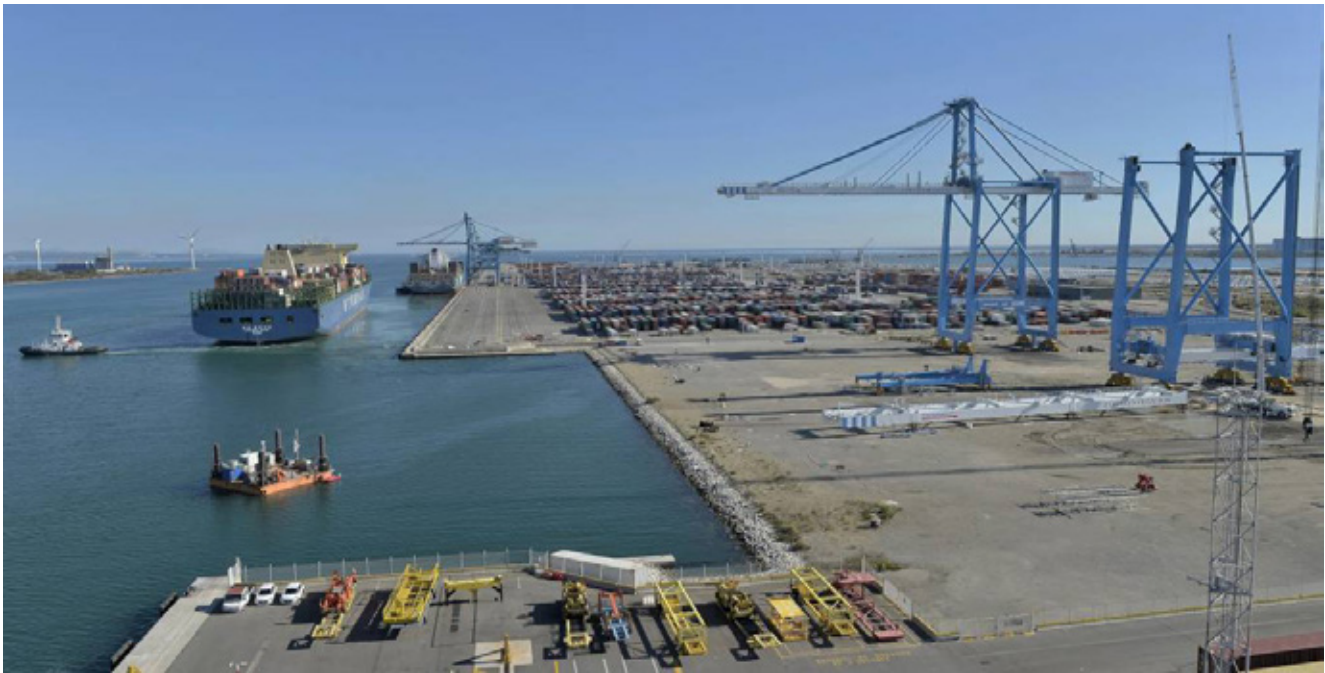
Contenu utile : Rapport sur les défis et opportunités de la décarbonation des clusters industriels.

(<https://www.ucl.ac.uk/bartlett/sustainable/industrial-clusters>)

20. Carbon Tracker Initiative, "The Decline of Fossil Fuels and the Rise of Renewables: Perspectives on the Future Energy Mix" (2022)

Contenu utile : Analyse du déclin des combustibles fossiles et de l'essor des énergies renouvelables.

(<https://carbontracker.org/reports/the-decline-of-fossil-fuels-and-the-rise-of-renewables/>)



Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Quatrième Révolution Industrielle - Production & Industrie 4.0

1. Introduction

1.1 Contexte de la transformation industrielle

L'industrie, moteur de la croissance économique mondiale, se trouve aujourd'hui à la croisée des chemins. L'évolution rapide des technologies, les pressions environnementales croissantes, et la demande des consommateurs pour des produits plus durables et éthiques poussent les entreprises à réévaluer leurs méthodes de production. La transformation de la production industrielle ne se limite plus à l'amélioration de l'efficacité et de la réduction des coûts ; elle englobe désormais la réduction des émissions de carbone et l'adoption de pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Dans ce contexte, les technologies de pointe telles que le cloud computing, la 5G, l'intelligence artificielle (IA), et l'Internet des Objets (IoT) émergent comme des catalyseurs potentiels pour une transformation durable de l'industrie. En exploitant ces technologies, les entreprises peuvent non seulement optimiser leurs opérations, mais aussi réduire de manière significative leur empreinte carbone, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.

1.2 Importance de la réduction du bilan carbone

Le secteur industriel représente une part significative des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), avec des industries telles que la métallurgie, la chimie, le textile, et la fabrication électronique contribuant fortement à ce chiffre. La pression croissante des régulations environnementales et des parties prenantes pousse les entreprises à repenser leur bilan carbone. Une réduction significative des émissions de GES est essentielle pour atteindre les objectifs mondiaux de lutte contre le changement climatique, tels que ceux énoncés dans l'Accord de Paris.

Pour répondre à ces défis, l'adoption de technologies avancées et leur intégration dans les processus industriels sont devenues des éléments clés. Des technologies telles que le cloud computing, la 5G, l'IA, et l'IoT permettent non seulement d'améliorer l'efficacité opérationnelle mais aussi de réduire l'intensité carbone de la production industrielle, en optimisant l'utilisation des ressources, en réduisant les déchets, et en facilitant la transition vers des énergies renouvelables.

1.3 Présentation des technologies pertinentes : Cloud, 5G, IA, IoT

Chacune des technologies explorées dans ce rapport – le cloud computing, la 5G, l'IA, et l'IoT – joue un rôle crucial et complémentaire dans la transformation de la production industrielle et la réduction du bilan carbone.

- **Cloud Computing** : Le cloud computing offre une infrastructure flexible, évolutive et rentable pour le stockage et le traitement des données. Dans un contexte industriel, il permet de dématérialiser les infrastructures physiques, réduisant ainsi la consommation énergétique et les besoins en ressources matérielles. Le cloud facilite également l'accès à des solutions avancées de gestion de données et d'analyse, qui peuvent être utilisées pour optimiser les processus de production et réduire les émissions.
- **5G** : La 5G, avec sa bande passante élevée et sa faible latence, permet la connectivité à grande échelle des dispositifs industriels, rendant possible l'usine connectée et intelligente. Elle permet une communication instantanée et fiable entre les machines, les systèmes de contrôle et les travailleurs, optimisant ainsi les opérations et réduisant le gaspillage d'énergie.
- **Intelligence Artificielle (IA)** : L'IA joue un rôle central dans l'analyse des données, la maintenance prédictive, et l'optimisation des processus. En utilisant des algorithmes de machine learning, l'IA peut identifier les inefficacités dans la chaîne de production, prévoir les pannes d'équipements, et recommander des ajustements pour minimiser les déchets et l'utilisation de l'énergie.
- **Internet des Objets (IoT)** : L'IoT permet la surveillance en temps réel des processus industriels via des capteurs connectés, facilitant une gestion proactive et une maintenance prédictive. L'IoT permet également de suivre la consommation d'énergie et les émissions de carbone, permettant ainsi aux entreprises de prendre des décisions informées pour optimiser leurs opérations.

Objectifs du rapport : comité d'experts Lab Fos/Berre

Ce rapport a pour objectif d'explorer comment ces technologies émergentes peuvent être intégrées dans la

production industrielle pour réduire le bilan carbone de manière significative. Il vise à :

1. Fournir une compréhension approfondie de chaque technologie et de son potentiel d'application dans le contexte industriel.
2. Identifier les avantages concrets, les défis et les opportunités associés à l'intégration de ces technologies dans les processus industriels.
3. Présenter des études de cas réels et des exemples d'implémentation réussie pour illustrer les bénéfices potentiels.
4. Proposer des recommandations stratégiques pour une adoption efficace et durable de ces technologies.

2. Contexte et défis de l'industrie actuelle

2.1 Analyse du secteur industriel et de ses pratiques actuelles

L'industrie manufacturière reste l'un des secteurs les plus vastes et les plus diversifiés de l'économie mondiale, englobant des sous-secteurs allant de l'automobile et de l'aérospatiale à l'agroalimentaire, la chimie, et l'électronique. Les pratiques industrielles traditionnelles sont largement basées sur des processus intensifs en énergie et en ressources, avec des infrastructures vieillissantes qui reposent sur des technologies analogiques et des chaînes d'approvisionnement fragmentées.

Ces pratiques, bien qu'elles aient contribué à la croissance économique au cours des siècles passés, sont aujourd'hui confrontées à des défis croissants en matière de durabilité et de compétitivité. L'intégration des technologies numériques pour moderniser les processus de fabrication devient essentielle non seulement pour maintenir la compétitivité, mais aussi pour répondre aux normes environnementales strictes et aux attentes des consommateurs en matière de responsabilité écologique.

2.2 Impact environnemental et bilan carbone de l'industrie

Le secteur industriel est l'un des principaux contributeurs aux émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), représentant environ 30% des émissions mondiales. Les activités industrielles telles que la production de ciment, la métallurgie, la pétrochimie, et la fabrication électronique consomment des quantités massives d'énergie, souvent issues de sources fossiles, ce qui entraîne des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres polluants.

L'impact environnemental ne se limite pas aux émissions de CO₂. Les processus industriels génèrent également des déchets solides et liquides, des polluants atmosphériques tels que les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV), et utilisent de grandes quantités d'eau, ce qui contribue à l'épuisement des ressources naturelles. Ces défis sont exacerbés par une urbanisation croissante, une demande accrue de biens manufacturés, et une pression croissante pour une transparence et une durabilité accrues.

2.3 Enjeux de la transition vers une industrie durable

La transition vers une industrie durable implique un ensemble de défis complexes et interconnectés. Parmi les principaux enjeux, on peut citer :

1. **Défis Économiques et Financiers** : Les industries doivent investir dans de nouvelles technologies et infrastructures pour améliorer leur efficacité énergétique et réduire leur empreinte carbone. Cependant, ces investissements initiaux peuvent être prohibitifs, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME). La rentabilité de ces investissements dépend souvent de subventions gouvernementales, de financements verts, et de partenariats stratégiques.
2. **Technologies et Infrastructures** : L'adoption de nouvelles technologies telles que le cloud, la 5G, l'IA et l'IoT nécessite des mises à niveau significatives des infrastructures existantes. Les

industries doivent souvent faire face à des problèmes d'interopérabilité, à des défis en matière de cybersécurité, et à la nécessité de former leur personnel pour utiliser efficacement ces technologies.

3. **Réglementations et Normes Environnementales** : Les réglementations environnementales sont de plus en plus strictes, et les entreprises doivent s'y conformer pour éviter des sanctions et des pertes de réputation. Cependant, les cadres réglementaires sont souvent complexes et varient d'un pays à l'autre, ce qui complique la tâche des entreprises opérant à l'international.
4. **Gestion du Changement Organisationnel** : La transformation numérique et écologique nécessite un changement de culture d'entreprise, ce qui peut rencontrer une résistance interne. La réussite de cette transition repose sur la capacité des dirigeants à communiquer efficacement la vision, à former les équipes, et à intégrer de nouvelles compétences.
5. **Accès aux Données et Analyse** : Pour optimiser les processus et réduire le bilan carbone, les entreprises doivent pouvoir collecter et analyser des données à grande échelle. Cependant, beaucoup d'entre elles manquent d'infrastructures de données robustes et de compétences analytiques avancées. Le manque de standards et de pratiques de gestion des données peut également limiter l'efficacité des initiatives technologiques.
6. **Exigences des Parties Prenantes** : Les consommateurs, les investisseurs, et les gouvernements exercent une pression croissante sur les entreprises pour qu'elles adoptent des pratiques plus vertes et plus transparentes. Cela pousse les entreprises à non seulement réduire leur empreinte carbone mais aussi à prouver leur engagement envers la durabilité par le biais de rapports environnementaux détaillés et de certifications.

2.4 Le rôle des technologies numériques dans la réponse aux défis industriels

Les technologies numériques de pointe telles que le cloud computing, la 5G, l'IA et l'IoT offrent des solutions prometteuses pour relever ces défis. Elles permettent de créer des systèmes de production intelligents, interconnectés et adaptatifs qui peuvent s'optimiser en temps réel pour minimiser l'utilisation des ressources et les émissions de carbone.

- **Réduction des Coûts et Optimisation des Ressources** : Les solutions basées sur le cloud et l'IA peuvent aider les entreprises à analyser les données de production et à identifier les inefficacités, ce qui permet de réduire les coûts énergétiques et d'améliorer l'efficacité des processus.
- **Flexibilité et Scalabilité** : Grâce au cloud computing et à l'IoT, les entreprises peuvent rapidement adapter leurs opérations aux changements de la demande et des conditions du marché, sans avoir à investir dans des infrastructures coûteuses.
- **Surveillance et Maintenance Prédictive** : L'utilisation de capteurs IoT et de solutions d'IA permet de surveiller l'état des machines et des équipements en temps réel, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus et les coûts de maintenance.
- **Amélioration de la Collaboration et de la Transparence** : La 5G et les plateformes cloud facilitent la collaboration à distance et la transparence des chaînes d'approvisionnement, ce qui permet aux entreprises de mieux répondre aux attentes des consommateurs et des régulateurs.

3. Transformation de la production industrielle avec le cloud computing

3.1 Le cloud computing, ou informatique en nuage.

Il s'agit d'un modèle de fourniture de services informatiques à la demande via Internet. Il permet l'accès à

des ressources informatiques telles que des serveurs, des bases de données, des applications logicielles et des capacités de stockage, sans nécessiter d'infrastructure physique sur site. Le cloud se décline principalement en trois types de services : l'Infrastructure as a Service (IaaS), le Platform as a Service (PaaS), et le Software as a Service (SaaS), chacun offrant un niveau différent de contrôle et de flexibilité.

Dans le contexte industriel, le cloud computing offre des capacités de traitement et de stockage à grande échelle, une flexibilité accrue, et la possibilité de déployer rapidement des applications et des services innovants. En combinant ces avantages avec une sécurité renforcée et des capacités de gestion des données avancées, le cloud devient un outil stratégique pour les entreprises qui cherchent à moderniser leurs processus de production tout en réduisant leur impact environnemental.

1. **Scalabilité et Flexibilité** : Le cloud computing permet aux entreprises d'adapter leurs ressources informatiques en fonction de la demande en temps réel. Cette scalabilité est particulièrement utile pour les entreprises manufacturières qui doivent gérer des variations saisonnières ou des changements soudains dans la demande de production. En évitant la surcapacité des ressources physiques, les entreprises réduisent leur consommation d'énergie et leurs coûts d'exploitation.
2. **Réduction des Coûts** : En passant au cloud, les entreprises peuvent réduire les coûts d'infrastructure en éliminant la nécessité d'investir dans des serveurs physiques, de l'équipement de réseau et de la maintenance sur site. De plus, les modèles de tarification à l'utilisation (pay-as-you-go) permettent de réduire les dépenses inutiles et de mieux contrôler les coûts liés à l'informatique.
3. **Accélération de l'Innovation** : Le cloud facilite le développement et le déploiement rapides d'applications et de solutions innovantes, telles que des systèmes d'analyse de données en temps réel, des plateformes de gestion de la chaîne d'approvisionnement, et des outils de simulation de fabrication. En accélérant le cycle de développement, les entreprises peuvent réagir plus rapidement aux besoins du marché et améliorer leur compétitivité.
4. **Amélioration de la Collaboration** : Le cloud offre des plateformes de collaboration centralisées où les équipes de production, de gestion et de R&D peuvent partager des données et des insights en temps réel. Cette collaboration accrue améliore la prise de décision et la capacité de réponse aux problèmes opérationnels, tout en réduisant les erreurs et les inefficacités.
5. **Sécurité et Conformité** : Les fournisseurs de cloud investissent massivement dans la sécurité des données et des systèmes, souvent au-delà de ce que les entreprises peuvent se permettre de mettre en place elles-mêmes. Les solutions cloud permettent également de répondre plus facilement aux exigences de conformité réglementaire en matière de protection des données et de durabilité.

3.2 Cas d'utilisation du cloud pour l'optimisation des processus industriels

L'intégration du cloud dans les opérations industrielles ouvre la voie à une multitude d'applications qui optimisent les processus de production et réduisent l'empreinte carbone.

- **Gestion des Données et Analyse Prédictive** : Les données générées par les équipements et les processus de production peuvent être stockées et analysées dans le cloud pour identifier des schémas et des anomalies. Par exemple, les données de performance des machines peuvent être utilisées pour la maintenance prédictive, réduisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts de maintenance tout en prolongeant la durée de vie des équipements.

- **Optimisation de la Chaîne d'Approvisionnement** : Les plateformes cloud permettent une gestion intégrée de la chaîne d'approvisionnement, offrant une visibilité en temps réel sur les stocks, les commandes et les livraisons. En optimisant ces processus, les entreprises peuvent réduire les déchets, minimiser les coûts de transport et de stockage, et améliorer leur empreinte carbone.
- **Simulation et Modélisation de Processus** : Les solutions basées sur le cloud permettent aux entreprises de simuler et de modéliser différents scénarios de production pour évaluer leur impact sur les coûts, la qualité et l'environnement. Ces simulations peuvent aider à identifier les opportunités d'amélioration continue et à tester de nouvelles stratégies sans perturber les opérations existantes.
- **Gestion de l'Énergie et Optimisation des Ressources** : Les plateformes cloud de gestion de l'énergie peuvent surveiller et optimiser l'utilisation de l'énergie dans les usines et les installations de production. En combinant les données des capteurs IoT et les algorithmes d'IA, ces plateformes peuvent recommander des ajustements en temps réel pour minimiser la consommation d'énergie et maximiser l'efficacité.

3.3 Contribution du cloud à la réduction du bilan carbone

Le cloud computing contribue à la réduction du bilan carbone industriel par plusieurs mécanismes :

1. **Dématérialisation des Infrastructures** : En remplaçant les infrastructures physiques par des solutions virtuelles, les entreprises réduisent la consommation d'énergie et les émissions de carbone associées à la fabrication, au transport et à la maintenance des équipements informatiques.
2. **Efficacité Énergétique** : Les centres de données cloud sont conçus pour être extrêmement efficaces sur le plan énergétique. Les grands de cloud investissent dans des technologies de refroidissement avancées, des serveurs à haut rendement énergétique, et des énergies renouvelables pour alimenter leurs installations tout en réduisant les consommations et empreinte carbone du numérique.
3. **Optimisation de l'Utilisation des Ressources** : Le cloud permet une meilleure utilisation des ressources en évitant la surcapacité. En mutualisant les ressources à travers plusieurs utilisateurs, les fournisseurs de cloud optimisent l'efficacité de leurs centres de données, réduisant ainsi la consommation énergétique globale.
4. **Facilitation de la Transformation Numérique** : Le cloud sert de fondement à d'autres technologies durables telles que l'IA, l'IoT et l'analyse avancée des données, permettant ainsi aux entreprises de numériser et d'optimiser l'ensemble de leurs processus, de la production à la gestion de la chaîne d'approvisionnement, en vue de réduire leur empreinte écologique.

3.4 Étude de cas : adoption du cloud dans une Industrie de fabrication

Prenons l'exemple d'une entreprise de fabrication de biens de consommation qui a adopté une stratégie cloud-first. En migrant ses systèmes de planification des ressources d'entreprise (ERP) et de gestion de la chaîne d'approvisionnement vers le cloud, l'entreprise a pu réduire ses coûts informatiques de 40%

et améliorer la visibilité de sa chaîne d'approvisionnement de bout en bout. Grâce à des outils d'analyse de données basés sur le cloud, elle a également pu réduire ses déchets de production de 30% et sa consommation énergétique de 20%, tout en améliorant la satisfaction client grâce à des livraisons plus rapides et une meilleure gestion des stocks.

4. Rôle de la 5G dans l'industrie et la réduction des émissions

4.1 Réseaux 5G Privés, une révolution pour toute l'industrie

La 5G, ou cinquième génération de réseau mobile, représente une avancée majeure par rapport aux générations précédentes en termes de vitesse, de latence et de capacité de connectivité. Avec des vitesses de transmission de données jusqu'à 100 fois supérieures à celles de la 4G, une latence réduite à moins d'une milliseconde, et la capacité de connecter des millions de dispositifs par kilomètre carré, la 5G est conçue pour répondre aux besoins d'une économie numérique en pleine expansion.

Dans un contexte industriel, la 5G permet des communications fiables et ultra-rapides entre machines, systèmes de contrôle et plateformes d'analyse de données. Cette connectivité améliorée ouvre de nouvelles possibilités pour des usines intelligentes, la maintenance prédictive, l'automatisation à grande échelle et la gestion en temps réel des chaînes d'approvisionnement. En facilitant ces innovations, la 5G joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité énergétique, la réduction des déchets et l'optimisation des processus industriels.

4.2 Comment la 5G transforme la connectivité industrielle

La 5G est particulièrement bien adaptée aux environnements industriels en raison de sa capacité à soutenir des applications critiques nécessitant une faible latence, une haute fiabilité et une grande densité de connexions. Voici quelques-unes des façons dont la 5G transforme la connectivité industrielle :

1. **Usines Intelligentes (Smart Factories)** : La 5G permet une communication quasi-instantanée entre les machines, les capteurs, et les systèmes de contrôle, rendant possible la création d'usines entièrement connectées. Ces usines intelligentes peuvent utiliser des données en temps réel pour surveiller et optimiser les processus de production, réduire les temps d'arrêt et minimiser l'utilisation des ressources.
2. **Robots Autonomes et Cobots** : Les robots autonomes et les robots collaboratifs (cobots) nécessitent une connectivité à faible latence pour fonctionner efficacement. La 5G permet de déployer ces robots à grande échelle dans des environnements de production, où ils peuvent travailler aux côtés des humains pour améliorer la productivité, réduire les erreurs et minimiser les déchets.
3. **Maintenance Prédictive et Monitoring à Distance** : La 5G permet la transmission rapide et fiable de grandes quantités de données issues des capteurs IoT intégrés dans les machines et les équipements industriels. Ces données peuvent être analysées en temps réel pour prédire les pannes, planifier les interventions de maintenance et réduire les interruptions non planifiées, ce qui améliore l'efficacité opérationnelle et réduit les coûts énergétiques.
4. **Réalité Augmentée et Virtuelle (AR/VR) pour la Formation et la Maintenance** : La 5G permet des applications de réalité augmentée et virtuelle pour la formation des opérateurs, la maintenance à distance, et la collaboration virtuelle. Ces applications nécessitent une bande passante élevée et une faible latence, ce que la 5G peut fournir. Elles permettent de former les employés plus efficacement, de résoudre les problèmes à distance, et de réduire les déplacements, contribuant

ainsi à la réduction des émissions.

4.3 Cas d'utilisation de la 5G pour l'efficacité énergétique

La 5G n'est pas seulement un moyen d'améliorer la connectivité ; elle offre également des opportunités significatives pour l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de carbone dans l'industrie :

- **Optimisation des Réseaux de Capteurs IoT** : Les réseaux de capteurs IoT, essentiels pour surveiller et contrôler les processus industriels, dépendent de la 5G pour une transmission rapide et fiable des données. En optimisant la collecte et l'analyse des données énergétiques, les entreprises peuvent mieux gérer leur consommation d'énergie, éviter les pics de demande, et réduire leur empreinte carbone.
- **Automatisation des Véhicules et des Logistiques** : La 5G permet le déploiement de véhicules autonomes et de systèmes de logistique automatisés dans les environnements industriels. Ces systèmes peuvent optimiser les trajets, réduire le temps de transport et améliorer l'efficacité énergétique globale. Dans les entrepôts et les sites de production, les véhicules autonomes réduisent également les besoins en personnel, diminuant ainsi les déplacements et l'empreinte écologique.
- **Réseaux Énergétiques Intelligents (Smart Grids)** : La 5G facilite la gestion des réseaux énergétiques intelligents qui intègrent des sources d'énergie renouvelables, des systèmes de stockage et des dispositifs de gestion de l'énergie. Ces réseaux intelligents permettent une meilleure gestion de la demande énergétique, l'optimisation de l'utilisation des ressources et une réduction significative des émissions de carbone.
- **Surveillance Environnementale et Gestion des Ressources** : En utilisant des capteurs connectés via la 5G, les entreprises peuvent surveiller les paramètres environnementaux tels que la qualité de l'air, l'utilisation de l'eau et la gestion des déchets. Ces informations peuvent être utilisées pour identifier les inefficacités, améliorer les pratiques de durabilité, et atteindre les objectifs de réduction des émissions.

4.4 Impact sur le bilan carbone : optimisation de la chaîne d'approvisionnement et réduction des déplacements

La 5G joue un rôle clé dans l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement en permettant une gestion plus efficace des stocks, des commandes et des livraisons. Voici comment la 5G contribue à la réduction du bilan carbone :

1. **Visibilité en Temps Réel de la Chaîne d'Approvisionnement** : La 5G permet une visibilité en temps réel sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, facilitant ainsi la prise de décision rapide et éclairée. En optimisant la gestion des stocks et des transports, les entreprises peuvent réduire les déplacements inutiles, minimiser les stocks excédentaires, et réduire les émissions de CO₂.
2. **Réduction des Déplacements Physiques** : Les technologies de la 5G permettent des interventions à distance, que ce soit pour la maintenance des équipements ou pour les audits de qualité. En réduisant la nécessité de déplacements physiques pour les inspections et les réunions, les entreprises réduisent les émissions de CO₂ associées aux déplacements professionnels.

3. **Optimisation des Processus Logistiques** : Les solutions logistiques basées sur la 5G permettent d'optimiser les trajets des véhicules de transport en fonction des conditions de circulation en temps réel, des prévisions de demande et de l'optimisation des chargements. Cela se traduit par une réduction de la consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre.

4.5 Étude de Cas : mise en œuvre de la 5G dans une usine automobile

Prenons l'exemple d'une usine automobile qui a déployé la 5G pour connecter ses équipements de production, ses systèmes de gestion de la qualité, et ses réseaux de capteurs IoT. Grâce à la connectivité ultra-rapide de la 5G, l'usine a pu améliorer la précision des robots industriels, réduire les temps d'arrêt grâce à la maintenance prédictive, et optimiser l'utilisation des matériaux. En conséquence, l'usine a réduit ses émissions de CO₂ de 25% et sa consommation d'énergie de 30%, tout en augmentant sa productivité de 20%.

5. Apport de l'intelligence artificielle pour une production optimisée et verte

5.1 l'Intelligence artificielle et de ses applications dans l'industrie

L'Intelligence Artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui développe des systèmes capables de réaliser des tâches qui nécessitent normalement une intelligence humaine, telles que la reconnaissance de modèles, l'apprentissage automatique, la prise de décision, et la prévision. Dans le contexte industriel, l'IA est utilisée pour analyser des volumes massifs de données, optimiser les processus de fabrication, prédire les défaillances des équipements, et améliorer la gestion des ressources.

L'IA est devenue un levier clé pour la transformation des industries, permettant de créer des usines intelligentes où les données, les algorithmes et les systèmes automatisés travaillent ensemble pour améliorer l'efficacité et réduire les émissions de carbone. Les applications de l'IA dans l'industrie vont de la maintenance prédictive et de la gestion de la chaîne d'approvisionnement à l'optimisation de la consommation d'énergie et à la réduction des déchets.

5.2 Utilisation de l'IA pour la maintenance prédictive et l'optimisation des processus

La maintenance prédictive est l'une des applications les plus prometteuses de l'IA dans le secteur industriel. Elle consiste à utiliser des algorithmes de machine learning et des modèles de prévision pour détecter les signes de défaillance imminente des équipements et planifier des interventions de maintenance avant que les pannes ne se produisent.

1. **Maintenance Prédictive des Équipements** : En combinant des données provenant de capteurs IoT, des historiques de maintenance, et des algorithmes d'IA, les entreprises peuvent identifier les schémas et anomalies qui indiquent un risque de défaillance. Cela permet de réduire les temps d'arrêt non planifiés, de prolonger la durée de vie des équipements, et de minimiser l'utilisation des pièces de rechange, ce qui contribue à réduire les coûts et les déchets.
2. **Optimisation des Processus de Production** : L'IA permet d'optimiser les processus de fabrication en analysant les données en temps réel et en ajustant les paramètres de production pour maximiser l'efficacité. Par exemple, des modèles de machine learning peuvent identifier les conditions optimales de température, de pression et de vitesse pour chaque étape du processus, ce qui réduit la consommation d'énergie et améliore la qualité des produits finis.

3. **Détection de Défauts et Assurance Qualité** : Les systèmes d'IA, combinés à la vision par ordinateur, peuvent détecter les défauts de fabrication plus rapidement et avec plus de précision que les inspections manuelles. En améliorant l'assurance qualité, les entreprises peuvent réduire les retours de produits, minimiser les rebuts et les retravaux, et ainsi diminuer leur empreinte carbone.
4. **Gestion de la Demande et de l'Approvisionnement** : L'IA peut analyser des tendances de vente, des données de marché, et des prévisions économiques pour optimiser la planification de la production et la gestion des stocks. Cela permet aux entreprises d'éviter la surproduction et le gaspillage, d'améliorer leur réactivité aux fluctuations de la demande, et de réduire les émissions associées à la gestion des inventaires et aux transports.

5.3 Optimisation de l'utilisation des ressources grâce à l'IA

L'optimisation de l'utilisation des ressources est un autre domaine où l'IA a un impact considérable sur la réduction du bilan carbone dans l'industrie :

- **Gestion Énergétique Avancée** : Les systèmes d'IA peuvent surveiller et gérer la consommation d'énergie en temps réel, identifier les sources de gaspillage d'énergie, et recommander des actions correctives pour optimiser l'efficacité énergétique. En utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique, ces systèmes peuvent s'améliorer continuellement en fonction des données historiques et des conditions actuelles.
- **Planification Optimisée des Processus** : L'IA permet de modéliser et de simuler différentes configurations de processus pour identifier celles qui consomment le moins d'énergie ou de ressources. Par exemple, l'IA peut optimiser la séquence de fabrication pour minimiser les temps de chauffe et de refroidissement des machines, réduisant ainsi la consommation d'énergie et les coûts associés.
- **Réduction des Déchets et Recyclage** : En intégrant des systèmes d'IA dans la gestion des déchets, les entreprises peuvent identifier les opportunités de recyclage et de réutilisation des matériaux, minimiser les rebuts de production, et améliorer l'efficacité des processus de tri et de collecte des déchets.

5.4 Contribution de l'IA à la réduction des déchets et de l'empreinte carbone

L'IA contribue directement à la réduction des déchets industriels et de l'empreinte carbone à travers plusieurs mécanismes :

1. **Précision Améliorée dans la Prévision de la Demande** : Les systèmes d'IA permettent une meilleure prévision de la demande, réduisant ainsi le besoin de surproduction et le gaspillage associé. En optimisant la planification de la production, les entreprises peuvent éviter les surplus de stocks et minimiser les déchets.
2. **Automatisation des Processus de Tri et de Recyclage** : L'IA, combinée à la vision par ordinateur, permet l'automatisation des processus de tri des matériaux dans les lignes de recyclage. Cela améliore la précision et la rapidité du tri, augmentant les taux de recyclage et réduisant la quantité de déchets envoyés à la décharge.

3. **Amélioration de la Durée de Vie des Produits** : En utilisant l'IA pour surveiller la qualité et les performances des produits, les entreprises peuvent identifier les opportunités d'amélioration de la durabilité et de la réparabilité des produits, réduisant ainsi les besoins en nouveaux matériaux et les émissions associées à la production.
4. **Optimisation des Chaînes d'Approvisionnement** : Les systèmes d'IA permettent une gestion plus efficace de la chaîne d'approvisionnement, réduisant les stocks inutiles, optimisant les trajets de transport, et minimisant les émissions associées aux déplacements logistiques.

5.5 Étude de cas : utilisation de l'IA pour réduire l'empreinte carbone dans une usine chimique

Une grande entreprise chimique a intégré l'IA dans ses opérations de production pour optimiser la gestion de l'énergie, la maintenance prédictive, et la qualité du produit. Grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique, l'entreprise a pu prévoir les fluctuations de la demande en énergie et ajuster ses opérations en conséquence, réduisant ainsi sa consommation d'énergie de 15%. En parallèle, la maintenance prédictive a permis de réduire les arrêts imprévus de 30%, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et réduisant les émissions de CO₂ de 20%.

6. L'Internet des objets (IoT) comme catalyseur de l'efficacité énergétique

6.1 Définition et applications de l'IoT dans l'industrie

L'Internet des Objets (IoT) fait référence à un réseau de dispositifs physiques connectés – capteurs, machines, équipements, et autres objets – capables de collecter et d'échanger des données en temps réel. Dans le domaine industriel, souvent appelé « Industrie 4.0 », l'IoT permet de relier des systèmes physiques et numériques pour optimiser les opérations, surveiller les équipements et améliorer la gestion des ressources.

L'IoT joue un rôle central dans la transformation des processus industriels, permettant de créer des systèmes intelligents et autonomes qui réagissent aux conditions changeantes et optimisent continuellement la consommation de ressources. Les applications industrielles de l'IoT incluent la maintenance prédictive, la gestion de l'énergie, l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement, la sécurité des travailleurs, et bien plus encore.

6.2 Surveillance en temps réel (TR) des machines et des processus

L'une des principales contributions de l'IoT dans l'industrie est la surveillance en temps réel des machines, des équipements et des processus de production. Cette surveillance améliore l'efficacité opérationnelle, réduit les coûts et permet une gestion proactive des ressources :

1. **Surveillance des Performances des Équipements** : En intégrant des capteurs IoT aux machines et aux équipements, les entreprises peuvent surveiller les performances en temps réel, détecter les anomalies et prévenir les défaillances. Les données de capteurs peuvent être analysées pour prédire quand une machine a besoin d'entretien, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus et prolongeant la durée de vie des équipements.
2. **Optimisation des Processus de Production** : L'IoT permet de collecter des données détaillées sur les paramètres de production tels que la température, la pression, les niveaux de vibration, et la

consommation d'énergie. Ces informations peuvent être utilisées pour optimiser les processus de fabrication, améliorer la qualité des produits, et minimiser le gaspillage des ressources.

3. **Suivi des Conditions Environnementales** : Les capteurs IoT peuvent surveiller les conditions environnementales telles que la température et l'humidité dans les entrepôts et les installations de production, garantissant que les conditions optimales sont maintenues pour minimiser les pertes de produits et maximiser l'efficacité énergétique.
4. **Sécurité et Santé des Travailleurs** : Les dispositifs IoT portables peuvent surveiller la sécurité et la santé des travailleurs en temps réel, détectant les niveaux de fatigue, les conditions dangereuses, ou les incidents de sécurité. Cela permet d'améliorer la sécurité sur le lieu de travail, de réduire les accidents et d'optimiser l'efficacité globale de la main-d'œuvre.

6.3 Réduction des coûts énergétiques et de l'empreinte carbone grâce à l'IoT

L'IoT permet aux industries de gérer plus efficacement leur consommation d'énergie et de réduire leur empreinte carbone en optimisant l'utilisation des ressources et en minimisant le gaspillage :

- **Gestion Énergétique Intelligente** : En utilisant des capteurs connectés, les systèmes de gestion de l'énergie basés sur l'IoT peuvent surveiller la consommation d'énergie en temps réel, identifier les zones de gaspillage, et ajuster automatiquement les paramètres pour optimiser l'efficacité énergétique. Par exemple, les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) peuvent ajuster leur fonctionnement en fonction des données en temps réel sur la température et l'occupation des locaux.
- **Systèmes de Production à Demande Variable** : L'IoT permet aux entreprises de passer à des systèmes de production à demande variable, où les processus de fabrication peuvent être adaptés en temps réel en fonction des fluctuations de la demande. Cela permet de réduire la surproduction, de minimiser le gaspillage des ressources et de réduire les coûts énergétiques.
- **Optimisation de la Consommation des Matières Premières** : En surveillant les niveaux de stocks et en analysant les données sur les flux de production, les entreprises peuvent optimiser l'utilisation des matières premières et réduire les déchets. Les capteurs IoT peuvent également aider à suivre les matériaux recyclables et à optimiser leur collecte et leur réutilisation.
- **Gestion Dynamique des Réseaux de Distribution d'Énergie** : Les technologies IoT peuvent être intégrées aux réseaux de distribution d'énergie pour créer des réseaux intelligents (smart grids). Ces réseaux peuvent gérer de manière dynamique la distribution d'énergie, optimiser l'utilisation des énergies renouvelables, et équilibrer la demande et l'offre d'énergie, réduisant ainsi les émissions de carbone.

6.4 Cas pratiques : capteurs intelligents et optimisation des flux de travail

L'intégration des capteurs IoT dans les flux de travail industriels permet d'améliorer la visibilité, la traçabilité et l'optimisation des opérations :

1. **Capteurs Intelligents pour la Gestion de l'Eau** : Dans les industries où l'eau est une ressource critique, comme l'industrie chimique ou alimentaire, les capteurs IoT peuvent surveiller la consommation d'eau, détecter les fuites et optimiser l'utilisation de l'eau. Cela permet de réduire la consommation d'eau et d'améliorer l'efficacité des processus de traitement des eaux usées.
2. **Optimisation des Flux Logistiques** : Les capteurs IoT permettent de suivre les actifs en temps réel, y compris les matériaux en cours de transport ou les équipements de production. En surveillant ces actifs et en optimisant les itinéraires et les plannings, les entreprises peuvent réduire les coûts de transport, minimiser les temps d'arrêt, et améliorer l'efficacité énergétique.
3. **Automatisation des Systèmes de Contrôle de Qualité** : Les dispositifs IoT peuvent être utilisés pour surveiller en temps réel les paramètres de qualité des produits finis, tels que la dimension, le poids, la couleur et d'autres critères spécifiques. Cette automatisation améliore la qualité globale, réduit les rebuts et minimise les pertes de production.

6.5 Étude de cas : mise en œuvre de l'IoT dans une usine de fabrication de produits pharmaceutiques

Une entreprise pharmaceutique mondiale a adopté l'IoT pour surveiller ses chaînes de production, en intégrant des capteurs connectés pour surveiller la température, l'humidité, et d'autres paramètres critiques dans ses lignes de production. Grâce à ces capteurs, l'entreprise a pu optimiser ses processus de fabrication, réduire les erreurs de production de 50%, et économiser 30% sur ses coûts énergétiques. En conséquence, l'entreprise a réduit son empreinte carbone de 25% tout en améliorant la qualité de ses produits.

7. Synergie entre les technologies : vers une Industrie 4.0 durablement durable

7.1 Des technologies clés pour une transformation industrielle

L'intégration des technologies émergentes telles que le cloud computing, la 5G, l'intelligence artificielle (IA), et l'Internet des Objets (IoT) crée une synergie puissante qui transforme l'industrie traditionnelle en une « Industrie 4.0 » durable, connectée, et intelligente. Ces technologies, lorsqu'elles sont déployées conjointement, permettent d'atteindre des niveaux d'efficacité, de flexibilité, et de durabilité inédits.

1. Complémentarité des technologies :

- Le **cloud computing** fournit l'infrastructure nécessaire pour stocker et traiter d'énormes quantités de données générées par les capteurs IoT et les systèmes de gestion de production. Il offre également des plateformes d'IA pour analyser ces données et prendre des décisions en temps réel.
- La **5G** assure une connectivité ultra-rapide et fiable entre les différents dispositifs IoT, machines, et systèmes, permettant une communication instantanée et une réponse en temps réel aux conditions changeantes.
- L'**IA** analyse les données collectées par les capteurs IoT et les systèmes connectés via la 5G, offrant des insights pour l'optimisation des processus, la maintenance prédictive, et la gestion de la demande.
- L'**IoT** sert de fondation à l'ensemble du système en connectant les dispositifs physiques et en fournissant les données nécessaires pour l'analyse et l'optimisation.

2. **Automatisation et Optimisation** : La combinaison de l'IA, de l'IoT, du cloud, et de la 5G permet de créer des systèmes entièrement automatisés où les décisions sont prises en temps réel, basées sur des données et des analyses avancées. Cela réduit les temps d'arrêt, minimise les coûts énergétiques, optimise les flux de travail, et réduit les émissions de carbone.
3. **Création de Jumeaux Numériques** : Les jumeaux numériques sont des représentations virtuelles des processus, des produits ou des systèmes industriels, alimentées par les données collectées par les capteurs IoT et analysées via des plateformes cloud et des algorithmes d'IA. Ils permettent de simuler différentes configurations et de tester de nouvelles stratégies de production avant de les mettre en œuvre dans le monde réel, réduisant ainsi les risques et optimisant l'utilisation des ressources.
4. **Chaînes d'Approvisionnement Connectées et Réactives** : Les technologies combinées permettent une visibilité et un contrôle en temps réel de la chaîne d'approvisionnement. Les entreprises peuvent suivre les matériaux, optimiser les routes de transport, et ajuster rapidement la production en réponse aux changements de la demande. Cette agilité réduit le gaspillage, améliore l'efficacité énergétique et réduit les émissions de gaz à effet de serre.

7.2 Usines intelligentes et chaînes d'approvisionnement connectées

Les usines intelligentes et les chaînes d'approvisionnement connectées sont au cœur de l'Industrie 4.0, utilisant la synergie entre le cloud, la 5G, l'IA, et l'IoT pour transformer la production industrielle.

1. **Usines Intelligentes (Smart Factories)** : Dans une usine intelligente, les machines, les capteurs, et les systèmes de gestion de la production sont interconnectés via la 5G et le cloud, et analysés par des algorithmes d'IA. Ces usines peuvent réagir instantanément aux conditions changeantes de la production, optimiser en continu les processus, et minimiser la consommation d'énergie et les émissions.
2. **Chaînes d'Approvisionnement Connectées** : Les chaînes d'approvisionnement connectées utilisent des capteurs IoT, le cloud et l'IA pour suivre les matériaux et les produits tout au long de leur cycle de vie. Elles optimisent les stocks, réduisent les coûts de transport, et permettent une gestion proactive des perturbations. Cela améliore la résilience, la durabilité, et la réactivité de la chaîne d'approvisionnement.
3. **Maintenance Autonome et Gestion des Actifs** : Grâce à la 5G et aux dispositifs IoT, les systèmes de maintenance deviennent autonomes. Les capteurs surveillent en permanence l'état des machines et les transmettent au cloud où des algorithmes d'IA identifient les risques de défaillance et planifient automatiquement les interventions de maintenance, réduisant les temps d'arrêt et augmentant la durée de vie des actifs.
4. **Production Personnalisée et à la Demande** : L'Industrie 4.0 permet une production personnalisée à grande échelle grâce à l'automatisation et à la flexibilité des systèmes de production. Les entreprises peuvent produire des biens sur commande avec une efficacité accrue, minimisant les stocks excédentaires et réduisant les déchets de production.

7.3 Modèles de référence et meilleures pratiques pour l'intégration technologique

Pour maximiser l'impact des technologies sur la durabilité industrielle, certaines meilleures pratiques d'intégration technologique doivent être suivies :

1. **Adoption Progressive et Évolutive** : Les entreprises devraient adopter ces technologies progressivement en commençant par des projets pilotes pour valider les avantages avant de passer à une mise en œuvre à grande échelle. Cela minimise les risques et permet une adaptation continue aux nouvelles connaissances.
2. **Formation et Développement des Compétences** : L'intégration de nouvelles technologies nécessite des compétences spécifiques. Les entreprises doivent investir dans la formation continue des employés pour développer des compétences en gestion de données, en IA, et en maintenance des infrastructures IoT et 5G.
3. **Interopérabilité et Standards Ouverts** : Pour garantir une intégration transparente entre les systèmes existants et les nouvelles technologies, les entreprises doivent adopter des standards ouverts et des solutions interopérables qui facilitent l'intégration des données et des systèmes.
4. **Partenariats Stratégiques et Collaboration** : Collaborer avec des partenaires technologiques, des universités, et des start-ups peut accélérer l'innovation et offrir un accès aux dernières avancées technologiques. Les partenariats permettent également de partager les risques et de mutualiser les ressources pour le développement de nouvelles solutions.
5. **Évaluation Continue et Optimisation** : Les technologies évoluent rapidement, et les entreprises doivent donc effectuer une évaluation continue de leur stratégie technologique. En analysant régulièrement les performances, les coûts, et les résultats, elles peuvent ajuster leurs stratégies pour maximiser les bénéfices et minimiser les impacts négatifs.

7.4 Évaluation de l'impact global sur la réduction du bilan carbone

L'intégration synergique des technologies cloud, 5G, IA, et IoT a un impact global significatif sur la réduction du bilan carbone de l'industrie :

- **Réduction de la Consommation d'Énergie** : Les systèmes optimisés par l'IA et gérés via le cloud peuvent identifier les inefficacités énergétiques et ajuster automatiquement les opérations pour maximiser l'efficacité.
- **Optimisation de l'Utilisation des Matériaux** : L'IoT et l'IA permettent de surveiller et d'optimiser l'utilisation des matériaux, réduisant les déchets et favorisant les pratiques de recyclage.
- **Diminution des Déplacements et du Transport** : Les chaînes d'approvisionnement connectées et optimisées permettent de minimiser les déplacements physiques, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre associées au transport.
- **Innovation pour des Procédés Plus Verts** : En facilitant l'innovation continue, ces technologies permettent de développer et de mettre en œuvre de nouveaux procédés de fabrication plus propres et plus efficaces.

7.5 Étude de cas : synergie technologique dans une usine de fabrication de semi-conducteurs

Une grande entreprise de fabrication de semi-conducteurs a intégré le cloud, la 5G, l'IA, et l'IoT pour créer une usine intelligente entièrement connectée. L'entreprise a utilisé des jumeaux numériques pour simuler les processus de fabrication et optimiser l'utilisation de l'énergie et des matériaux. Grâce à cette synergie

technologique, l'entreprise a réduit sa consommation énergétique de 40%, ses déchets de production de 30%, et ses émissions de CO₂ de 35%, tout en augmentant sa production de 25%.

La synergie entre le cloud, la 5G, l'IA et l'IoT crée une fondation solide pour l'Industrie 4.0 durable. Ensemble, ces technologies permettent une optimisation globale des opérations industrielles, une meilleure gestion des ressources, et une réduction substantielle du bilan carbone. La prochaine section se penchera sur les défis et obstacles à surmonter pour une transformation réussie vers une industrie durable.

8. Défis et obstacles à surmonter pour une transformation réussie

8.1 Coûts d'investissement initiaux (Capex) et retours sur investissement (ROI)

La transition vers une industrie connectée et durable basée sur des technologies avancées telles que le cloud computing, la 5G, l'intelligence artificielle (IA), et l'Internet des Objets (IoT) implique des coûts initiaux importants. Ces coûts incluent :

1. **Coûts d'Infrastructure** : L'adoption de la 5G, de l'IoT et du cloud nécessite des investissements substantiels dans les infrastructures de réseau, les serveurs, les dispositifs IoT, et les plateformes logicielles. De nombreuses entreprises, en particulier les PME, peuvent être réticentes à supporter ces coûts sans garanties de retour sur investissement (ROI) claires et immédiates.
2. **Mise à Niveau des Équipements Existants** : L'intégration de nouvelles technologies nécessite souvent la mise à niveau ou le remplacement des équipements industriels existants. Les entreprises doivent évaluer les coûts de mise à niveau par rapport aux bénéfices potentiels en termes de performance, d'efficacité énergétique, et de réduction des émissions.
3. **Développement de Solutions Personnalisées** : Les solutions technologiques standardisées peuvent ne pas répondre à tous les besoins spécifiques des entreprises industrielles. Le développement et la personnalisation de solutions pour les intégrer aux systèmes existants peuvent également entraîner des coûts supplémentaires.
4. **Retour sur Investissement (ROI) et Risques Financiers** : Bien que les technologies de l'Industrie 4.0 promettent des gains d'efficacité et des réductions des coûts à long terme, le retour sur investissement peut prendre du temps. Les entreprises doivent faire face à des incertitudes financières et à des risques associés aux changements technologiques et aux fluctuations du marché.

8.2 De nombreux obstacles technologiques : interopérabilité, sécurité et maintenance

Les défis technologiques liés à l'intégration des technologies de l'Industrie 4.0 sont nombreux et variés :

1. **Interopérabilité des Systèmes** : Les environnements industriels comprennent souvent des systèmes hérités (legacy systems) qui ne sont pas conçus pour interagir avec des technologies numériques modernes. Assurer l'interopérabilité entre les anciennes infrastructures et les nouvelles plateformes basées sur le cloud, la 5G, l'IA, et l'IoT est un défi majeur.
2. **Cybersécurité** : L'augmentation de la connectivité et de la numérisation expose les entreprises à des risques de cybersécurité accrus. Les attaques malveillantes, les violations de données et les cyberespionnages peuvent non seulement causer des pertes financières mais aussi perturber les opérations industrielles. Les entreprises doivent investir dans des solutions de sécurité robustes pour protéger leurs actifs et leurs données.

3. **Maintenance des Nouvelles Technologies** : Les technologies émergentes nécessitent une maintenance continue et des mises à jour fréquentes pour rester efficaces et sécurisées. Cela peut être difficile pour les entreprises qui manquent de ressources ou de compétences internes pour gérer ces nouvelles infrastructures.
4. **Complexité Technologique et Intégration** : Intégrer différentes technologies dans un environnement industriel complexe peut nécessiter une expertise technique approfondie et des efforts de coordination. Les problèmes liés à la compatibilité des logiciels, aux architectures de réseau et à l'intégration des données doivent être résolus pour garantir une transition fluide.

8.3 De nouveaux défis organisationnels et une inquiétante résistance au changement

L'implémentation des technologies de l'Industrie 4.0 implique souvent un changement profond de la culture d'entreprise, des processus, et des mentalités des employés :

1. **Résistance au Changement** : Les employés, en particulier ceux qui travaillent depuis longtemps avec des systèmes traditionnels, peuvent résister aux nouvelles technologies par peur de l'inconnu ou de perdre leur emploi. L'adoption de nouvelles technologies nécessite une gestion efficace du changement, de la communication et de la formation pour surmonter ces résistances.
2. **Développement de Compétences** : Le succès de l'Industrie 4.0 repose sur la disponibilité de compétences spécifiques telles que l'analyse de données, l'IA, la cybersécurité et la gestion des réseaux IoT. Les entreprises doivent investir dans la formation et le développement des compétences de leurs employés pour répondre aux besoins des nouvelles technologies.
3. **Réorganisation des Processus** : L'intégration de technologies avancées nécessite souvent une révision et une réorganisation des processus de production, de gestion de la chaîne d'approvisionnement et de maintenance. Les entreprises doivent repenser leur organisation interne et leurs pratiques pour tirer pleinement parti des avantages offerts par l'Industrie 4.0.

8.4 Aspects réglementaires et incarnation politique

Les cadres réglementaires et les politiques gouvernementales jouent un rôle crucial dans la transformation numérique et verte de l'industrie. Les entreprises doivent naviguer dans des environnements réglementaires complexes et variés :

1. **Normes et Conformité** : La conformité aux normes industrielles, de sécurité et de durabilité est essentielle. Cependant, ces normes varient souvent d'un pays à l'autre et peuvent poser des défis d'intégration pour les entreprises opérant sur des marchés mondiaux. La non-conformité peut entraîner des sanctions, des amendes ou des restrictions de marché.
2. **Politique de Confidentialité des Données** : L'utilisation de l'IA, de l'IoT et du cloud nécessite une gestion rigoureuse des données. Les réglementations sur la protection des données, telles que le RGPD (Règlement général sur la protection des données) en Europe, imposent des exigences strictes sur la collecte, le stockage et l'utilisation des données personnelles et industrielles.
3. **Politiques d'Incitation et Subventions** : Les gouvernements peuvent jouer un rôle clé en offrant des subventions, des incitations fiscales et des programmes de financement pour encourager les entreprises à adopter des technologies de l'Industrie 4.0 et à réduire leur bilan carbone. Cependant, l'accès à ces programmes et la navigation dans la bureaucratie réglementaire peuvent être complexes et décourageants.

4. **Régulations Environnementales** : L'atteinte des objectifs de durabilité nécessite le respect de réglementations environnementales strictes concernant les émissions de CO₂, la gestion des déchets, et l'utilisation des ressources. Les entreprises doivent non seulement adopter des technologies propres, mais aussi assurer leur conformité aux réglementations environnementales locales et internationales.

8.5 Pilotage de la donnée et gestion de la confidentialité

Les technologies de l'Industrie 4.0 génèrent et dépendent d'énormes volumes de données. La gestion efficace de ces données est un défi majeur :

1. **Collecte et Stockage des Données** : Les entreprises doivent investir dans des solutions robustes de stockage et de gestion des données, garantissant que les données collectées par les capteurs IoT et les systèmes de production sont stockées de manière sécurisée et sont facilement accessibles pour analyse.
2. **Qualité des Données** : La qualité des données est cruciale pour la prise de décision basée sur l'IA et l'optimisation des processus. Les données bruyantes, incorrectes ou incomplètes peuvent entraîner des erreurs d'analyse et des inefficacités.
3. **Sécurité et Confidentialité** : Les entreprises doivent mettre en place des politiques et des technologies de sécurité des données pour protéger les informations sensibles contre les cyberattaques et les violations de la vie privée. Cela inclut le chiffrement des données, la gestion des accès, et la surveillance continue des menaces.

Bien que la transition vers une industrie 4.0 durable soit prometteuse, elle n'est pas sans défis. Les entreprises doivent surmonter des obstacles financiers, technologiques, organisationnels, et réglementaires pour réussir cette transformation. La prochaine section fournira des recommandations pratiques pour une transition réussie vers une industrie verte et connectée, en s'appuyant sur des stratégies d'intégration progressive, de formation, de collaboration, et de soutien politique.

9. Recommandations pour une transition réussie

Pour réussir la transformation vers une industrie plus durable et connectée, il est essentiel de mettre en place une stratégie bien définie qui intègre les nouvelles technologies tout en surmontant les défis inhérents à cette transition. Voici quelques recommandations clés pour faciliter cette transformation :

9.1 Stratégies d'Intégration progressive des technologies

Il est essentiel de suivre une approche par étapes pour l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0, afin de minimiser les risques et d'assurer un retour sur investissement optimal.

- **Commencer par des Projets Pilotes** : Les entreprises devraient lancer des projets pilotes à petite échelle pour évaluer les avantages des nouvelles technologies dans des domaines spécifiques tels que la maintenance prédictive, l'optimisation énergétique ou la gestion des stocks. Ces projets permettent de valider les concepts, d'identifier les défis potentiels, et d'ajuster la stratégie avant de passer à une mise en œuvre à grande échelle.
- **Déployer de Manière Modulaire et Scalable** : Plutôt que de transformer l'ensemble de l'organisation d'un coup, il est préférable de déployer les nouvelles technologies de manière

modulaire et scalable. Les entreprises peuvent commencer par des unités de production ou des processus spécifiques et étendre progressivement les nouvelles solutions à d'autres parties de l'organisation.

- **Évaluation Continue des Performances** : Il est crucial de suivre de près les résultats des technologies déployées en termes d'efficacité, de coûts, de réduction des émissions et d'optimisation des ressources. Des évaluations régulières permettent de mesurer l'impact des nouvelles technologies et d'ajuster les stratégies d'intégration en conséquence.

9.2 Formation et développement des compétences

Pour réussir la transformation numérique et verte, les compétences des employés doivent être mises à jour pour répondre aux exigences des nouvelles technologies.

- **Programmes de Formation Continue** : Les entreprises doivent investir dans la formation continue de leurs employés pour développer des compétences spécifiques dans les domaines de l'IA, de l'analyse de données, de la gestion de l'IoT, et de la cybersécurité. La formation peut être réalisée en interne ou en partenariat avec des institutions éducatives, des centres de recherche, et des entreprises technologiques.
- **Création de Centres d'Excellence** : La mise en place de centres d'excellence dédiés aux technologies de l'Industrie 4.0 peut aider à concentrer l'expertise, à développer des meilleures pratiques, et à soutenir les unités opérationnelles dans leur transition numérique.
- **Encourager l'Apprentissage en Continu et l'Innovation** : Les entreprises doivent encourager une culture de l'apprentissage continu et de l'innovation parmi leurs employés. Cela peut être réalisé par le biais de formations en ligne, de hackathons internes, et de programmes d'incubation de projets innovants.

9.3 Collaboration entre les parties prenantes : entreprises, gouvernements, fournisseurs technologiques

La réussite de la transformation industrielle repose sur une collaboration étroite entre diverses parties prenantes, notamment les entreprises, les gouvernements, les fournisseurs technologiques, et les institutions académiques.

- **Partenariats Public-Privé** : Les entreprises doivent collaborer avec les gouvernements pour bénéficier des programmes d'incitation, des subventions et des politiques favorisant l'adoption des technologies durables. Les partenariats public-privé peuvent également aider à développer des infrastructures partagées, telles que des réseaux 5G et des centres de données cloud.
- **Coopération avec les Fournisseurs de Technologie** : Travailler étroitement avec les fournisseurs de technologie permet de garantir que les solutions technologiques sont adaptées aux besoins spécifiques de l'industrie. Les fournisseurs peuvent également offrir un soutien technique et une formation pour faciliter l'intégration des nouvelles technologies.
- **Engagement des Clients et des Consommateurs** : Il est important d'impliquer les clients et les

consommateurs dans le processus de transformation, en les informant des initiatives durables et des avantages associés aux produits et services issus de pratiques industrielles vertes. Cela peut également créer une demande accrue pour des produits respectueux de l'environnement.

9.4 Politiques incitatives et financement pour soutenir la transition verte

Les gouvernements et les organismes de réglementation jouent un rôle essentiel dans la création d'un environnement favorable à la transformation industrielle.

- **Subventions et Allègements Fiscaux** : Les politiques gouvernementales devraient offrir des subventions, des incitations fiscales et des programmes de financement pour encourager les entreprises à investir dans des technologies propres et des pratiques de production durable. Des exemples incluent des crédits d'impôt pour les investissements en R&D liés aux technologies de l'Industrie 4.0.
- **Cadres Réglementaires Propices à l'Innovation** : Les régulateurs devraient développer des cadres juridiques et réglementaires clairs et favorables à l'innovation pour encourager l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0 tout en protégeant les droits des consommateurs et la confidentialité des données.
- **Promotion des Standards et de l'Interopérabilité** : Les gouvernements et les organismes de normalisation doivent promouvoir des standards ouverts et l'interopérabilité entre les différentes technologies, ce qui permettra aux entreprises de combiner plus facilement des solutions provenant de différents fournisseurs et de garantir une intégration harmonieuse.

9.5 Suivi des performances environnementales et mesure des résultats

La mesure et le suivi des performances environnementales sont essentiels pour évaluer l'efficacité des initiatives technologiques dans la réduction des émissions de carbone et l'amélioration de la durabilité.

- **Développement de KPIs Environnementaux** : Les entreprises doivent définir des indicateurs clés de performance (KPIs) pour mesurer l'impact des technologies sur la consommation d'énergie, la réduction des émissions de carbone, l'efficacité des ressources, et la gestion des déchets.
- **Utilisation des Technologies pour le Suivi des Objectifs** : Les plateformes d'IA et d'analyse de données basées sur le cloud peuvent être utilisées pour suivre et analyser les performances en temps réel par rapport aux objectifs de durabilité. Cela permet aux entreprises de prendre des décisions fondées sur des données et d'ajuster leurs stratégies en conséquence.
- **Rapport et Transparence** : Les entreprises doivent rendre compte de leurs performances en matière de durabilité de manière transparente à leurs parties prenantes, y compris les investisseurs, les régulateurs, et les consommateurs. Les rapports environnementaux et les certifications de durabilité renforcent la crédibilité et l'engagement envers des pratiques responsables.

9.6 Études de cas et exemples réels

Pour renforcer ces recommandations, il est important d'étudier des exemples réels d'industries ayant réussi à transformer leurs opérations avec des technologies durables.

- **Exemple 1 : Transformation Verte dans l'Industrie Automobile** : Une entreprise automobile a intégré la 5G, l'IA, et le cloud pour optimiser ses processus de fabrication et sa gestion de la chaîne d'approvisionnement. Grâce à une surveillance en temps réel et à l'automatisation des processus, elle a réduit ses émissions de CO₂ de 30% et ses coûts de production de 20%.
- **Exemple 2 : Modernisation des Installations de Production de Produits Chimiques** : Une entreprise chimique a adopté des solutions d'IoT pour surveiller la consommation d'énergie et les émissions dans ses installations de production. Avec l'aide de capteurs intelligents et d'algorithmes d'IA, elle a pu réduire ses coûts énergétiques de 25% et ses émissions de gaz à effet de serre de 35%.

La transition vers une industrie 4.0 durable nécessite une planification stratégique, une collaboration intersectorielle, et un engagement envers l'innovation et la formation continue. En adoptant une approche progressive, en investissant dans les compétences des employés, en collaborant avec les parties prenantes et en profitant des politiques incitatives, les entreprises peuvent surmonter les obstacles et réussir leur transformation numérique et verte. La prochaine section explorera des études de cas détaillées et des exemples concrets d'entreprises ayant réussi cette transition.

10. Études de cas

Pour illustrer comment les technologies telles que le cloud computing, la 5G, l'intelligence artificielle (IA), et l'Internet des Objets (IoT) peuvent transformer l'industrie et réduire le bilan carbone, cette section présente plusieurs études de cas et exemples d'entreprises ayant réussi à adopter ces technologies. Ces études de cas mettent en évidence les stratégies adoptées, les défis surmontés, et les résultats obtenus.

Étude de cas 1 : transformation numérique dans une usine automobile

Contexte : Une grande entreprise automobile européenne a entrepris une transformation numérique de ses installations de production pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts, et minimiser son empreinte carbone.

Technologies Adoptées :

- **5G** : Déploiement d'un réseau 5G privé pour connecter tous les équipements et systèmes de l'usine en temps réel.
- **IoT** : Installation de capteurs IoT sur les lignes de production pour surveiller les machines, les robots, et les systèmes de maintenance.
- **IA** : Utilisation de l'IA pour l'optimisation des processus, la maintenance prédictive, et l'amélioration de la qualité.
- **Cloud Computing** : Adoption d'une plateforme cloud pour l'intégration des données et l'analyse en temps réel.

Résultats :

- **Réduction des Délais de Production** : L'utilisation de la 5G et de l'IoT a permis une communication instantanée entre les machines et les systèmes de gestion, réduisant les temps de cycle de production de 20%.
- **Maintenance Prédictive** : Grâce à l'IA et aux capteurs IoT, l'entreprise a pu mettre en place une maintenance prédictive, réduisant les temps d'arrêt imprévus de 30% et les coûts de maintenance de 25%.
- **Réduction de l'Empreinte Carbone** : En optimisant les processus de production et en réduisant la consommation d'énergie, l'usine a diminué ses émissions de CO₂ de 35%.

- **Amélioration de la Qualité des Produits** : L'IA a permis de détecter les défauts de production en temps réel, améliorant ainsi la qualité des produits et réduisant les rebuts de 40%.

Étude de cas 2 : modernisation d'une raffinerie de pétrole

Contexte : Une raffinerie de pétrole en Asie a décidé de moderniser ses opérations pour répondre aux nouvelles normes environnementales et améliorer l'efficacité de ses processus de production.

Technologies Adoptées :

- **IoT et Capteurs Intelligents** : Installation de capteurs IoT pour surveiller la consommation d'énergie, la qualité de l'air, et les paramètres de sécurité.
- **IA pour l'Optimisation Énergétique** : Utilisation d'algorithmes d'IA pour analyser les données des capteurs et optimiser l'utilisation de l'énergie et des ressources.
- **Cloud Computing** : Migration vers une plateforme cloud pour centraliser les données et les analyses et faciliter la prise de décision.
- **Jumeaux Numériques** : Création de jumeaux numériques des unités de traitement pour simuler différents scénarios de production et optimiser les performances.

Résultats :

- **Optimisation de la Consommation Énergétique** : La raffinerie a réduit sa consommation d'énergie de 25% grâce à l'analyse des données en temps réel et à l'optimisation de l'utilisation des équipements.
- **Réduction des Émissions de GES** : En améliorant l'efficacité des processus et en surveillant les émissions en temps réel, l'entreprise a diminué ses émissions de gaz à effet de serre de 30%.
- **Amélioration de la Sécurité** : Les capteurs IoT et les modèles d'IA ont permis de détecter les risques potentiels de sécurité, réduisant ainsi les incidents et accidents de 40%.
- **Retour sur Investissement en Moins de 2 Ans** : Grâce aux économies réalisées sur l'énergie, la maintenance, et les améliorations de processus, la raffinerie a récupéré son investissement initial en moins de deux ans.

Étude de cas 3 : réseau intelligent dans une compagnie énergétique

Contexte : Une compagnie énergétique en Amérique du Nord a adopté des technologies de l'Industrie 4.0 pour transformer ses opérations et améliorer la gestion de son réseau de distribution d'électricité.

Technologies Adoptées :

- **IoT et Réseaux de Capteurs** : Déploiement de capteurs IoT sur tout le réseau pour surveiller la consommation d'énergie, détecter les anomalies et gérer les ressources énergétiques distribuées.
- **5G pour la Communication en Temps Réel** : Utilisation de la 5G pour connecter les systèmes de gestion de l'énergie et les appareils IoT, permettant une communication rapide et fiable.
- **IA et Machine Learning** : Application de l'IA et du machine learning pour prédire les pics de demande, optimiser les flux énergétiques, et automatiser la gestion de la distribution.
- **Cloud Computing et Analyse de Données** : Utilisation du cloud computing pour stocker, analyser, et visualiser les données en temps réel, facilitant la prise de décision.

Résultats :

- **Amélioration de l'Efficacité du Réseau** : Grâce à la gestion intelligente des ressources, l'entreprise a pu réduire les pertes énergétiques sur le réseau de 15% et augmenter l'efficacité globale de 20%.
- **Réduction des Coûts d'Opération** : L'automatisation et l'optimisation des processus ont permis

de réduire les coûts d'exploitation de 25%, notamment grâce à la diminution des interventions manuelles.

- **Intégration des Énergies Renouvelables** : Le réseau intelligent a facilité l'intégration de sources d'énergie renouvelables, augmentant la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique à 40%.
- **Amélioration de la Fiabilité et de la Résilience** : L'utilisation de la 5G et de l'IA a permis d'améliorer la détection des pannes et la réponse aux incidents, réduisant les interruptions de service de 30%.

Étude de cas 4 : transformation durable dans une usine agroalimentaire

Contexte : Une entreprise agroalimentaire en Amérique latine a décidé de moderniser ses processus de production pour réduire les coûts, améliorer la qualité des produits, et minimiser son impact environnemental.

Technologies Adoptées :

- **IoT pour la Surveillance des Cultures et des Installations** : Installation de capteurs IoT dans les champs et les installations de transformation pour surveiller les conditions de culture, les niveaux d'humidité, la température et la qualité de l'air.
- **IA pour l'Optimisation des Ressources** : Utilisation de l'IA pour optimiser l'irrigation, la fertilisation, et la gestion des récoltes en fonction des prévisions météorologiques et des conditions de culture en temps réel.
- **Cloud Computing pour l'Analyse de Données** : Adoption de plateformes cloud pour centraliser et analyser les données, permettant une meilleure prise de décision et une optimisation des processus.
- **Chaînes d'Approvisionnement Connectées** : Utilisation de la 5G et de l'IoT pour connecter la chaîne d'approvisionnement de bout en bout, depuis la récolte jusqu'à la distribution.

Résultats :

- **Réduction de la Consommation d'Eau** : L'optimisation de l'irrigation basée sur les données a permis de réduire la consommation d'eau de 40%, tout en augmentant le rendement des cultures de 20%.
- **Réduction des Déchets Alimentaires** : La surveillance en temps réel et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement ont permis de réduire les pertes post-récolte de 30% et d'améliorer la qualité des produits.
- **Diminution des Émissions de CO₂** : En optimisant les processus de production et de distribution, l'entreprise a réduit ses émissions de CO₂ de 35%.
- **Amélioration de la Transparence et de la Traçabilité** : L'utilisation de technologies connectées a permis de garantir la traçabilité des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement, renforçant la confiance des consommateurs.

11. Bonnes pratiques à adopter

Les études de cas montrent que la transformation numérique et verte est réalisable et apporte des résultats significatifs en termes de durabilité et de performance opérationnelle. Voici quelques leçons apprises et

meilleures pratiques à adopter :

1. **Adopter une Approche Centrée sur les Données** : La collecte, l'analyse, et l'utilisation des données en temps réel sont essentielles pour optimiser les processus et réduire l'empreinte carbone. L'IA et le cloud computing sont des outils clés pour exploiter ces données efficacement.
2. **Intégrer des Technologies Complémentaires** : La combinaison de la 5G, de l'IoT, de l'IA et du cloud crée des synergies qui multiplient les avantages de chaque technologie individuelle. Une intégration harmonieuse de ces technologies est cruciale pour maximiser l'impact.
3. **Assurer une Gestion du Changement et de la Formation Continue** : Les employés doivent être préparés à utiliser les nouvelles technologies. La formation, la gestion du changement et l'engagement des employés sont essentiels pour réussir la transition.
4. **Collaborer avec des Partenaires Technologiques et des Institutions** : Travailler en étroite collaboration avec des fournisseurs de technologies, des instituts de recherche et des agences gouvernementales peut fournir un soutien précieux et faciliter la transformation.
5. **Prioriser la Sécurité et la Confidentialité** : Avec l'augmentation de la connectivité et des données, la sécurité et la confidentialité doivent être au centre de la stratégie technologique. Investir dans la cybersécurité et la conformité aux réglementations de protection des données est essentiel.

Les études de cas et exemples réels montrent que l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0 peut transformer les opérations industrielles, améliorer l'efficacité, et réduire significativement le bilan carbone. Ces exemples démontrent également que le succès dépend d'une stratégie bien planifiée, de la collaboration et de l'engagement envers l'innovation continue.

12. Synthèse des points abordés

La transformation de la production industrielle vers des modèles plus durables et efficaces repose sur l'intégration stratégique de technologies numériques telles que le cloud computing, la 5G, l'intelligence artificielle (IA), et l'Internet des Objets (IoT). Ces technologies, lorsqu'elles sont utilisées ensemble, offrent des opportunités sans précédent pour optimiser les processus de production, améliorer la gestion des ressources, réduire les coûts énergétiques, et, surtout, diminuer l'empreinte carbone de l'industrie.

Tout au long de ce rapport, nous avons exploré comment chaque technologie contribue individuellement et en synergie à cette transformation. Voici les principaux points à retenir :

1. **Cloud Computing** : En offrant une infrastructure évolutive, flexible, et rentable, le cloud computing permet de stocker et d'analyser de vastes quantités de données en temps réel, facilitant ainsi l'optimisation des processus, la maintenance prédictive, et la gestion énergétique.
2. **5G** : La 5G fournit une connectivité à haute vitesse et à faible latence, essentielle pour les environnements industriels connectés. Elle permet une communication en temps réel entre les dispositifs IoT, les systèmes de gestion et les plateformes d'analyse, ce qui améliore la réactivité, la flexibilité et l'efficacité opérationnelle.

3. **Intelligence Artificielle (IA)** : L'IA est au cœur de la transformation industrielle, permettant l'analyse avancée des données, la prise de décision en temps réel, et l'automatisation intelligente des processus. Elle est cruciale pour la maintenance prédictive, l'optimisation des ressources, et la gestion de la chaîne d'approvisionnement.
4. **Internet des Objets (IoT)** : L'IoT connecte les machines, les capteurs et les systèmes, fournissant des données en temps réel sur les opérations et l'état des équipements. Cette connectivité permet de surveiller, contrôler, et optimiser les processus industriels pour maximiser l'efficacité et minimiser les déchets et la consommation d'énergie.

13. Perspectives futures de l'industrie numérique et verte

L'avenir de l'industrie numérique et verte est prometteur, mais plusieurs étapes doivent être franchies pour tirer pleinement parti de ces technologies et créer des industries véritablement durables :

1. **Évolution vers des Modèles d'Affaires Durables** : Les entreprises devront continuer à adopter des modèles d'affaires qui intègrent la durabilité au cœur de leurs opérations. Cela inclut la valorisation de l'économie circulaire, l'optimisation de l'utilisation des ressources, et la réduction des déchets tout au long du cycle de vie des produits.
2. **Accélération de l'Adoption des Technologies de l'Industrie 4.0** : Pour rester compétitives et alignées sur les objectifs de durabilité, les entreprises devront accélérer l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0. Cela nécessitera une collaboration accrue entre les entreprises, les gouvernements, les institutions de recherche et les fournisseurs de technologies pour surmonter les obstacles financiers, technologiques et organisationnels.
3. **Développement de Politiques de Soutien et de Réglementations Claires** : Les gouvernements et les régulateurs devront continuer à développer des politiques et des cadres réglementaires qui encouragent l'innovation technologique tout en garantissant la protection de l'environnement et des données. Des incitations financières, des subventions, et des programmes de soutien doivent être mis en place pour aider les entreprises à investir dans des technologies durables.
4. **Innovation Continue et R&D** : L'innovation continue et l'investissement en recherche et développement (R&D) sont essentiels pour faire progresser les technologies émergentes et les rendre plus accessibles, efficaces et sécurisées. Les entreprises doivent adopter une culture de l'innovation et être prêtes à expérimenter de nouvelles solutions et approches pour répondre aux défis en constante évolution.
5. **Focus sur la Formation et l'Éducation** : La transformation numérique et durable de l'industrie nécessitera un ensemble de compétences nouvelles et avancées. Les entreprises, les institutions éducatives, et les gouvernements doivent collaborer pour développer des programmes de formation et d'éducation qui préparent la main-d'œuvre future aux défis et aux opportunités de l'Industrie 4.0.

14. Appel à l'action pour une adoption plus large des technologies

Il est temps pour les entreprises industrielles de prendre des mesures décisives pour transformer leurs opérations et aligner leurs stratégies sur les objectifs de durabilité mondiale. Les technologies de l'Industrie

4.0 sont des catalyseurs puissants pour cette transformation, mais leur adoption nécessite une vision claire, un engagement fort et une collaboration entre toutes les parties prenantes.

- **Pour les Dirigeants d'Entreprise** : Engagez-vous à adopter des technologies numériques et vertes et intégrez la durabilité dans votre stratégie de croissance à long terme. Lancez des projets pilotes, investissez dans les compétences de vos employés, et collaborez avec des partenaires pour réussir cette transition.
- **Pour les Gouvernements et Régulateurs** : Créez un environnement favorable à l'innovation et à l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0 grâce à des politiques de soutien, des subventions, et des cadres réglementaires clairs. Favorisez les partenariats public-privé pour accélérer la transformation industrielle.
- **Pour les Fournisseurs de Technologies** : Continuez à innover et à développer des solutions technologiques qui répondent aux besoins spécifiques de l'industrie et qui favorisent la durabilité. Collaborez avec les entreprises et les régulateurs pour faciliter l'intégration des nouvelles technologies.

La transformation de l'industrie vers une production plus verte et plus connectée est non seulement un impératif environnemental mais aussi une opportunité de croissance et de compétitivité. Les technologies de l'Industrie 4.0, en synergie, offrent des solutions pour surmonter les défis de durabilité et de performance auxquels les entreprises sont confrontées aujourd'hui. En adoptant une approche stratégique, collaborative et centrée sur l'innovation, l'industrie peut non seulement atteindre ses objectifs de réduction du bilan carbone, mais aussi construire un avenir durable et prospère.



Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Chimie et Molécules à valeur ajoutée

L'Europe doit se concentrer sur le développement d'une stratégie industrielle à très haute valeur ajoutée en s'appuyant sur certaines molécules issues de la chimie organique. La compétition mondiale en matière de chimie est totalement liée à la stratégie mise en place dans le développement du transport maritime et l'avitaillement des navires.

La réglementation européenne sur les émissions du maritime est plus sévère et génère des distorsions fortes de concurrence. Ex : Tanger Med va prendre une importance significative sur le transport de matières et d'objets à forte volumétrie et faible valeur marchande, en proximité immédiate

Fos – Tanger : 1000 kms

Fos – Bombay : 11 000kms

Force est de constater que l'anachronisme réglementaire, droit du travail, prix et stabilité dans la fourniture d'énergie ... ne permet pas d'envisager une production de masse de produits usuels. Ce déficit de compétitivité directement impacté par les réglementations, notre souhait d'être un exemple mondial en termes de décarbonation vient impacter un avenir industriel qui doit tenir compte des réalités de terrain et de l'impact de la reconfiguration géopolitique (tensions maritimes régulières dans le golfe d'Aden situé entre la corne de l'Afrique (Somalie) et la péninsule arabique (Yémen) pour exemple).

La diversité de cette industrie permet d'adresser des enjeux variés, allant de la production de masse à la conception de solutions durables et de haute technologie.

1. La chimie une chance pour la compétitivité Européenne

La chimie industrielle regroupe plusieurs sous-disciplines et secteurs spécialisés qui permettent la transformation de matières premières en produits finis à grande échelle.

La **chimie de base** regroupe les procédés à grande échelle pour produire des composés simples ou des matières premières utilisés dans d'autres industries. Elle inclut des opérations à haute intensité énergétique et des volumes de production élevés.

La chimie des polymères concerne la production de macromolécules utilisées dans les plastiques, les élastomères (caoutchoucs), et d'autres matériaux polymères.

La chimie fine se concentre sur la production de **molécules complexes** en petites quantités, souvent pour des applications spécialisées comme les produits pharmaceutiques, les additifs, et les produits de spécialité.

La chimie verte se concentre sur des procédés respectueux de l'environnement, visant à réduire ou éliminer les produits chimiques toxiques, les déchets, et la consommation d'énergie.

La chimie organique industrielle se concentre sur la synthèse de **molécules à base de carbone** à partir de pétrole, de gaz ou de biomasse. Elle concerne la production de composés qui peuvent être utilisés dans plusieurs autres industries (médicaments, matériaux, additifs). Cette discipline englobe la **synthèse et la modification de matériaux** pour des applications spécifiques, telles que l'électronique, l'aérospatiale, ou la médecine.

La chimie des colorants produit des molécules spécifiques pour les teintures, peintures, et encres, utilisées dans de nombreux secteurs, y compris la mode, l'automobile et l'impression.

La chimie des explosifs est dédiée à la production de composés instables qui libèrent de grandes quantités d'énergie rapidement. Les explosifs sont utilisés dans des secteurs comme la construction, l'exploitation minière, et la défense.

Ex : Nitroglycérine (C₃H₅N₃O₉) et TNT (trinitrotoluène, C₇H₅N₃O₆)

L'ensemble des processus chimiques sont gourmands en énergie et leur compétitivité dans le temps consiste en :

- 1/ mise disposition d'une énergie fiable, stable, décarbonée et dont le prix est garanti sur le long terme
- 2/ production à proximité des consommateurs et développement de circuits courts
 - En proximité immédiate (directement en voisinage)
 - En proximité relative (sur une même géographie industrielle)

2. Chimie Organique

A/ Biomolécules et Bioéconomie

Avec l'accent croissant sur la durabilité, l'Europe peut développer des molécules dérivées de la biomasse pour répondre aux besoins industriels tout en réduisant l'empreinte carbone.

- **Acide succinique & acide lévulinique** : Utilisé comme intermédiaire chimique dans la production de polymères biodégradables, additifs alimentaires et cosmétiques, l'acide succinique est une molécule issue de sources renouvelables. L'Europe a un potentiel important dans ce domaine, notamment grâce à sa recherche en biochimie et biotechnologie.

- **Furanne (ou furanes)** : Ces composés, obtenus à partir de sucres (notamment issus de la biomasse), sont une alternative aux dérivés pétrochimiques dans la production de plastiques et de résines. Le 2,5-furandicarboxylique est un exemple qui peut remplacer le PET dans certaines applications.
- **Acide lactique** : Principalement utilisé pour produire le PLA (polylactic acid), un bioplastique biodégradable, il joue un rôle majeur dans l'économie circulaire, particulièrement dans le domaine de l'emballage.

B/ Polymères avancés

Les matériaux polymères à haute performance sont essentiels dans les secteurs de l'aérospatiale, de l'automobile, de l'électronique et de la santé.

- **Polyétheréthercétone (PEEK)** : Ce polymère a des propriétés thermiques et mécaniques exceptionnelles et est utilisé dans les applications aéronautiques et biomédicales. L'Europe, avec sa capacité de recherche avancée, pourrait être un leader dans la production et l'innovation autour de ce matériau.
- **Graphène et dérivés** : Bien que le graphène soit une molécule à base de carbone simple (une couche unique d'atomes de carbone), ses applications sont nombreuses, notamment pour l'électronique flexible, les batteries haute performance et les composites renforcés. L'Europe pourrait renforcer son rôle dans cette technologie de pointe, en particulier avec des institutions comme l'Institut européen du graphène.

C/ Produits pharmaceutiques et agrochimiques

Les molécules organiques de haute valeur ajoutée dans les secteurs pharmaceutique et agrochimique sont des piliers de la croissance européenne, tant en termes d'innovation que de production industrielle.

- **Molécules à base d'azote (amines, nitriles)** : Ces composés sont fondamentaux dans la synthèse de médicaments. Les plateformes européennes de recherche et d'innovation en chimie médicinale sont bien positionnées pour développer des molécules originales et des procédés de synthèse plus efficaces.
- **Molécules dérivées des peptides** : Les peptides sont largement utilisés dans la recherche pharmaceutique pour traiter des maladies complexes comme le cancer ou les maladies auto-immunes. L'Europe a un solide réseau de biotech et de recherche dans ce domaine.

D/ Chimie verte et catalyseurs

L'industrie chimique européenne peut se tourner vers des procédés plus propres, basés sur des molécules organiques qui améliorent l'efficacité des réactions chimiques tout en limitant les déchets et les émissions.

- **Catalyseurs organométalliques** : Ils sont utilisés pour favoriser des réactions spécifiques dans la synthèse chimique tout en minimisant l'impact environnemental. Le développement de catalyseurs à base de complexes de métaux tels que le palladium, l'or ou le platine, associés à des ligands organiques, permet de rendre les processus chimiques plus durables.
- **Molécules chirales** : Utilisées pour la synthèse de produits pharmaceutiques, agrochimiques et autres produits de spécialité, la production de molécules chirales via des procédés biochimiques (enzymes) ou chimiques est un axe stratégique clé.

E/ Industrie des arômes et des parfums

L'Europe est un leader dans le domaine des arômes et parfums, en particulier en France, en Suisse et en Allemagne.

- **Composés terpéniques** : Les terpènes, tels que le limonène ou le géraniol, sont des molécules organiques dérivées de plantes et largement utilisées dans l'industrie des parfums et arômes. Leur potentiel pour des applications dans les produits cosmétiques naturels et biodégradables est également un axe de développement.
- **Composés aromatiques (benzéniques)** : Utilisés dans les synthèses organiques complexes pour la création de molécules aux propriétés olfactives spécifiques.

F/ Chimie électronique (Molécules organiques dans les semi-conducteurs)

Les molécules organiques jouent un rôle important dans le développement des technologies électroniques, notamment les **OLED** (diodes électroluminescentes organiques), les cellules photovoltaïques organiques et les transistors organiques.

G/ Composés organiques conducteurs (polythiophènes, polyfluorènes) : Utilisés dans la fabrication d'écrans flexibles, de dispositifs électroniques à haute performance et de cellules solaires. Le développement d'une industrie des semi-conducteurs organiques pourrait permettre à l'Europe de se positionner comme un leader dans cette niche technologique.

H/ Chimie fine et spécialités

Les molécules organiques issues de la chimie fine, comme les tensioactifs, les colorants, les additifs pour peintures, ou encore les stabilisants, sont des produits à haute valeur ajoutée où l'Europe peut s'imposer.

Tensioactifs biodégradables : Produits à partir d'huiles végétales ou de sucre, ils sont utilisés dans des formulations respectueuses de l'environnement (détergents, cosmétiques, etc.).

3. Carburants alternatifs

La question de l'énergie est devenue cruciale pour les ports et les armateurs dans un contexte où la décarbonation du transport maritime est désormais une priorité mondiale. Le secteur maritime, longtemps dépendant des carburants fossiles, est aujourd'hui confronté à des choix technologiques majeurs pour répondre aux injonctions environnementales tout en préservant sa compétitivité.

Les carburants alternatifs jouent un rôle clé dans la décarbonation des secteurs de l'énergie et du transport. Beaucoup de ces carburants, comme l'hydrogène (H_2), les e-fuels (comme le méthanol, CH_3OH , et le méthane synthétique, CH_4), ainsi que les biocarburants (biodiesel, bioéthanol), sont directement ou indirectement produits à partir de matières renouvelables et de CO_2 , minimisant ainsi leur empreinte carbone.

Les carburants alternatifs pour la décarbonation sont souvent basés sur des molécules qui émettent moins de CO_2 lors de leur production et de leur combustion, ou qui capturent et utilisent le CO_2 de manière circulaire. Voici les principales familles de carburants alternatifs ainsi que leurs formules chimiques :

A/ Hydrogène (H₂)

- Formule chimique : H₂
- Description : L'hydrogène est considéré comme un carburant de choix pour la décarbonation car il ne produit que de l'eau (H₂O) lors de sa combustion. Il peut être produit par électrolyse de l'eau, alimentée par des énergies renouvelables, ou à partir de méthane avec capture du CO₂ (processus de reformage avec capture et stockage du carbone, CCS).

B/ Ammoniac (NH₃)

- Formule chimique : NH₃
- Description : L'ammoniac est un vecteur d'hydrogène qui peut être utilisé comme carburant dans certaines applications, notamment le transport maritime. Lors de sa combustion, il libère de l'eau et de l'azote, sans émission de CO₂. Il peut être produit via des procédés «verts» à partir d'hydrogène renouvelable et d'azote de l'air.

C/ Méthane synthétique (CH₄)

- Formule chimique : CH₄
- Description : Le méthane peut être produit de manière synthétique via le procédé de méthanation, où de l'hydrogène (H₂) réagit avec du CO₂ capturé pour former du méthane (CH₄). Ce méthane de synthèse (ou méthane renouvelable) peut être utilisé comme carburant dans les infrastructures existantes de gaz naturel.
- Réaction de méthanation : $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

D/ Méthanol (CH₃OH)

- Formule chimique : CH₃OH
- Description : Le méthanol est un carburant liquide qui peut être produit à partir de CO₂ et d'hydrogène. Il peut être utilisé directement dans les moteurs à combustion interne ou transformé en d'autres hydrocarbures. Le méthanol est souvent considéré dans le cadre des e-fuels (carburants synthétiques).
- Production : $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$

E/ Diméthyléther (DME, CH₃OCH₃)

- Formule chimique : CH₃OCH₃
- Description : Le diméthyléther est un carburant alternatif similaire au GPL (gaz de pétrole liquéfié) et peut être utilisé dans des moteurs diesel modifiés. Il peut être produit à partir de méthanol ou directement à partir de biomasse.

F/ Éthanol (C₂H₅OH)

- Formule chimique : C₂H₅OH
- Description : L'éthanol est un biocarburant couramment utilisé, produit à partir de la fermentation de biomasse (par exemple, canne à sucre, maïs). Il est souvent utilisé en mélange avec de l'essence (comme E85, qui contient 85 % d'éthanol et 15 % d'essence) dans les véhicules à moteurs adaptés.

G/ Biodiesel (esters méthyliques d'acides gras, FAME)

- Formule chimique générique : R-COOCH₃ (où R est une chaîne alkyle)
- Description : Le biodiesel est un mélange d'esters méthyliques d'acides gras produits à partir d'huiles végétales ou de graisses animales. Un exemple d'ester est le méthyl palmitate (C₁₇H₃₄O₂). Il est utilisé comme substitut ou additif au diesel fossile.

H/ Bioéthanol (C₂H₅OH)

- Formule chimique : C₂H₅OH
- Description : Identique à l'éthanol, le bioéthanol est spécifiquement produit à partir de matières organiques renouvelables, comme les cultures énergétiques ou les déchets agricoles. C'est un carburant de remplacement pour l'essence fossile dans les véhicules.

I/ Huiles végétales hydrotraitées (HVO, Hydrotreated Vegetable Oils)

- Formule chimique générique : C H_{2 +2}
- Description : Les huiles végétales hydrotraitées sont des hydrocarbures saturés (paraffines) obtenus par hydrogénation d'huiles végétales. Ces hydrocarbures sont similaires au diesel fossile, mais proviennent de matières premières renouvelables.

J/ Essence synthétique (e-Gasoline)

- Formule chimique : Mélange d'hydrocarbures (par ex., C₇H₁₆ pour l'heptane, C₈H₁₈ pour l'octane)
- Description : L'essence synthétique ou e-gasoline est produite à partir de CO₂ et d'hydrogène. Des processus comme la réaction de Fischer-Tropsch convertissent ces éléments en chaînes d'hydrocarbures pouvant être utilisées comme carburants dans les moteurs à combustion.

K/ Kérosène synthétique (e-Kerosene)

- Formule chimique : Mélange d'hydrocarbures (par ex., C₁₀H₂₂ à C₁₄H₃₀)
- Description : Le kérosène synthétique est utilisé pour l'aviation et est produit par des procédés similaires à ceux de l'e-gasoline, utilisant des sources de CO₂ et d'hydrogène pour créer des hydrocarbures compatibles avec les turbines d'avion.

L/ Carburants à base de biogaz (CH₄)

- Formule chimique : CH₄
- Description : Le biogaz est principalement composé de méthane et est produit par la décomposition anaérobie de matières organiques (déchets, résidus agricoles). Ce biométhane peut être épuré et utilisé comme carburant dans les véhicules ou injecté dans les réseaux de gaz.

M/ Acide formique (HCOOH)

- Formule chimique : HCOOH
- Description : L'acide formique est considéré comme un vecteur d'hydrogène. Il peut être produit par capture et transformation de CO₂, et est utilisé dans certains systèmes de piles à combustible.

4. Exemple de collectif industriel au service de la compétitivité

En bénéficiant de l'expérience du projet piicto créé en septembre 2014, fédérant 13 industriels et le Grand Port Maritime de Marseille, Fos-sur-Mer pourrait renforcer son attractivité en mettant en place un modèle de symbiose industrielle, où les différentes entreprises de la zone industrielle coopèrent pour maximiser l'utilisation des ressources et minimiser les déchets.

Une nouvelle alliance industrielle dont le focus collectif serait la décarbonation peut s'organiser sous la forme d'un écosystème circulaire. Les différentes entreprises sur une même zone d'activité peuvent coopérer pour optimiser l'utilisation des ressources, réduire les émissions de CO₂ et favoriser le mix économique global.

Exemple de « combinaison » industrielle

- Producteur d'hydrogène vert (via électrolyse) : produit de l'hydrogène (H_2) à partir d'électricité renouvelable pour fournir des carburants propres.
- Société de captage et valorisation du CO_2 (Carbon Capture Utilization, CCU) : capture le CO_2 des industries avoisinantes et le convertit en méthanol, méthane synthétique ou d'autres produits chimiques valorisables.
- Producteur de méthanol et de carburants synthétiques : utilise l'hydrogène vert et le CO_2 capté pour synthétiser des carburants comme le méthanol (CH_3OH), le diméthyléther (CH_3OCH_3) ou le méthane synthétique (CH_4).
- Industrie de traitement des déchets (valorisation de la biomasse) : produit du biogaz et d'autres carburants biosourcés à partir de déchets organiques, avec des sous-produits chimiques qui peuvent être intégrés dans les chaînes de valeur locales.
- Société de chimie fine : utilise les ressources énergétiques et matières premières renouvelables pour fabriquer des molécules complexes, comme des produits pharmaceutiques ou des additifs chimiques à faible empreinte carbone.
- Industrie des plastiques biosourcés : produit des plastiques à partir de biomasse ou de CO_2 recyclé, comme l'acide polylactique (PLA) ou des polymères biosourcés, qui remplacent les plastiques conventionnels à base de pétrole.
- Producteur d'électricité verte (fermes solaires/éoliennes) : fournit l'énergie propre nécessaire pour alimenter les différentes unités industrielles.

Cet écosystème fonctionne comme une symbiose industrielle, où les flux de matières et d'énergie sont optimisés entre les différentes entreprises pour réduire au maximum les déchets et les émissions.

- Hydrogène vert : produit à partir d'énergies renouvelables (solaire, éolien) par électrolyse de l'eau, est distribué à l'industrie chimique (production de méthanol ou de carburants synthétiques).
- Captage du CO_2 : Les rejets de CO_2 des différentes usines du parc industriel sont captés par l'unité CCU, ce CO_2 est ensuite valorisé dans la production de méthanol ou de combustibles synthétiques.
- Biomasse : L'industrie de traitement des déchets valorise les déchets organiques (industries alimentaires, agricoles) pour produire du biogaz, du bioéthanol ou des sous-produits utilisables par d'autres unités (acides gras, fibres).
- Matériaux recyclables : Les plastiques biosourcés ou recyclés sont utilisés pour remplacer des matériaux conventionnels. Les sous-produits de la production de bioplastiques peuvent être réintégrés dans les chaînes de production d'autres industries.

Exemple de flux industriels :

- Hydrogène vert (H₂) produit par électrolyseur utilisé par le producteur de méthanol.
- CO₂ capté provenant des industries chimiques injecté dans la production de méthanol, éthylène ou méthane synthétique.
- Méthanol (CH₃OH) et carburants synthétiques produits à partir de H₂ et CO₂ utilisés comme carburants bas carbone dans les transports locaux ou pour l'industrie.
- Biomasse transformée en biogaz ou en bioéthanol utilisés pour générer de l'énergie ou servir de matières premières pour l'industrie chimique.
- Sous-produits de l'industrie chimique (eaux usées, chaleur) récupérés et utilisés par d'autres usines (par exemple, chauffage ou refroidissement pour les industries voisines).

Benchmark d'implantations réelles :

Des modèles similaires existent déjà, comme le projet KaraEnergy Park en France, où des entreprises d'énergie renouvelable, de biogaz et de méthanol collaborent dans une approche circulaire.

Des exemples d'écosystèmes industriels comme Kalundborg Symbiosis au Danemark illustrent la réussite de la mutualisation des ressources dans une zone industrielle pour réduire l'empreinte écologique.

<https://www.symbiosis.dk/en/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Kalundborg_Eco-industrial_Park

Cas particulier de l'incinérateur (400 000 tonnes de déchets/an)

L'incinérateur de Fos-sur-Mer ou centre de traitement multi filières de Fos-sur-Mer est un incinérateur de déchets, dont le maître d'ouvrage est la Métropole d'Aix-Marseille-Provence (auparavant la Communauté urbaine Marseille Provence Métropole) et qui a vocation à traiter, dans le cadre d'une délégation de service public, les ordures ménagères collectées dans les 18 communes membres de l'ancienne communauté urbaine. Il présente la particularité d'être situé sur le territoire de la commune de Fos-sur-Mer qui n'est pas membre de l'ancienne Communauté urbaine Marseille Provence Métropole.

Avec la collecte et centralisation de déchets de toutes origines au bénéfice des acteurs locaux de la chimie, la zone Fos/Berre pourrait devenir un centre de référence pour l'économie circulaire dans l'industrie chimique, en misant sur des technologies avancées de recyclage et de valorisation des déchets.

5. Importer les molécules les moins rentables

La compétitivité de l'Europe dans le secteur chimique mise à l'épreuve par divers défis : des réglementations strictes, des coûts de main-d'œuvre élevés et une non spécialisation régionale de son marché intérieur (vs Chine). Il est crucial de définir quels produits chimiques doivent être fabriqués localement et lesquels peuvent être importés de pays à bas coûts comme l'Inde.

Comme nous l'avons constaté l'Europe dans sa configuration actuelle doit se concentrer sur des produits chimiques réglementés et à haute valeur ajoutée :

- Pharmaceutiques : Les médicaments nécessitent des normes de qualité élevées et une traçabilité stricte, justifiant leur production locale.
- Biocides et pesticides : En raison des exigences réglementaires rigoureuses en matière de sécurité, ces produits devraient être fabriqués en Europe pour garantir le respect des normes environnementales.
- Batteries et composants pour véhicules électriques : La transformation locale de matériaux pour batteries, comme le phosphate, fluor, cuivre, lithium, le cobalt et le nickel, est une opportunité pour sécuriser l'approvisionnement et réduire l'empreinte carbone.

En raison de leur faible coûts de production et de transport, nous pouvons recommander la prise en compte d'une stratégie d'importation pour les bases ou produits industriels génériques. La capacité de production installée ne devrait ainsi pas produire plus que ce qu'impose nos enjeux de souveraineté à l'échelle nationale ou européenne.

- Commodités chimiques : Acides, alcools, solvants, et autres produits chimiques de base dont les coûts de production sont moins élevés dans des pays à bas coûts.
- Produits chimiques à faible valeur ajoutée : Produits standards comme les engrais simples et certains plastiques qui n'exigent pas de normes de sécurité strictes.
- Solvants et détergents : Bien que ces produits soient importants, leur fabrication dans des pays à bas coûts peut réduire les dépenses tout en maintenant une qualité acceptable.

Au-delà du simple équilibre économique, il peut aussi être intégrés d'autres critères tels que les risques écologiques ou le futur poids de la taxe carbone (empreinte carbone).

- Transport maritime : Les produits chimiques transportés par voie maritime présentent un risque de déversement en cas d'accident. Cela peut entraîner des catastrophes écologiques majeures, affectant les écosystèmes marins et côtiers.
- Emballage et manipulation : Le transport de produits chimiques dangereux nécessite des emballages spécifiques et des protocoles de sécurité, augmentant les coûts logistiques.
- Transports longs : L'importation de produits chimiques depuis l'Inde ou d'autres pays éloignés augmente l'empreinte carbone liée au transport. La logistique, le fret maritime et le stockage entraînent des émissions significatives.
- Solutions logistiques durables : Encourager des solutions de transport plus durables, comme les navires à faibles émissions, peut atténuer ces impacts.

6. Matières premières critiques

En mars 2024, le Conseil adopte la **réglementation européenne sur les matières premières critiques**, alors qu'une hausse exponentielle de la demande de terres rares est attendue dans les années à venir.

Les matières premières critiques sont des matières premières revêtant une **grande importance économique** pour l'UE et présentant un **risque élevé de rupture d'approvisionnement** en raison de la concentration de leurs sources et de l'absence de substituts de qualité et abordables.

La législation entend :

- accroître et **diversifier** l'approvisionnement de l'UE en matières premières critiques
- renforcer la **circularité**, y compris le recyclage
- soutenir **la recherche et l'innovation** en matière d'utilisation efficace des ressources et de mise au point de substituts

Le règlement dresse une liste de 34 matières critiques jugées essentielles pour « les transitions écologique et numérique, ainsi que pour les industries spatiales et de la défense ».

En 2020, les cinq matières critiques les plus demandées dans l'UE étaient l'aluminium, le cuivre, le silicium, le nickel et le manganèse. La demande d'aluminium devrait connaître une augmentation de 543 % entre 2020 et 2050 du fait de son utilisation dans « presque toutes les technologies énergétiques propres prioritaires » : photovoltaïque, éoliennes, technologies de réseaux, batteries, etc.

Parmi les matières critiques, 17 sont considérées comme des matières premières stratégiques car leur demande devrait augmenter de manière exponentielle et que leur production est complexe, ce qui augmente le risque d'approvisionnement.

La Zone Fos/Berre pourrait accélérer les activités du port en se concentrant sur ces matières (stockage/transformation/recyclage/valorisation).

1. Aluminium/Bauxite/Alumine

2. Charbon à coke

3. Lithium

4. Phosphore

5. Antimoine

6. Feldspath

7. Terres rares légères*

8. Scandium

9. Arsenic

10. Spath fluor

11. Magnésium

12. Silicium métallique

13. Barytine

14. Gallium

15. Manganèse

16. Strontium

17. Béryllium

18. Germanium

19. Graphite

20. Tantale

21. Bismuth

22. Hafnium

23. Niobium

24. Titane métal

25. Bore

26. Hélium

27. Métaux du groupe platine

28. Tungstène

29. Cobalt

30. Terres rares lourdes*

31. Phosphorite

32. Vanadium

33. Cuivre

34. Nickel

* Les matières premières stratégiques dans les terres rares lourdes et les terres rares légères : Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm et Ce.

Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Aéronautique

Le bassin de Fos-sur-Mer, situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, est un pôle industriel majeur pour l'aéronautique en France. Avec des entreprises telles que Airbus, Safran, Thales et Dassault Aviation, le bassin compte plus de 20 000 emplois directs et indirects dans le secteur, consacrant l'industrie aéronautique comme premier employeur de la zone.

L'industrie aéronautique est aujourd'hui en pleine mutation et cette période de crise profonde offre une multitude d'opportunités à travers la convergence d'industries de haute technologie, une sous-traitance spécialisée et une logistique performante. L'émergence de nouvelles technologies, telles que les drones, les dirigeables et le secteur en pleine expansion du New Space, crée des synergies à consolider.

1. Contexte de l'industrie aéronautique

1.1 Historique et développement

L'industrie aéronautique française s'est développée dès le début du XXe siècle, avec des pionniers comme Louis Blériot et les frères Voisin. Durant les deux guerres mondiales, la France a renforcé ses capacités de production aéronautique pour répondre aux besoins militaires. Après la Seconde Guerre mondiale, le pays a vu la création de grands acteurs comme Airbus, Dassault Aviation, et Safran, qui sont aujourd'hui des leaders mondiaux. L'essor de la collaboration européenne, notamment à travers Airbus dans les années 1970, a permis à la France de devenir une puissance incontournable dans l'aéronautique civile et militaire.

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) a joué un rôle clé dans l'histoire de l'aviation. Jean Sarrail est une figure de l'aviation en Provence, notamment à Istres. Né au début du XXe siècle, il a consacré sa vie à l'aéronautique et a joué un rôle clé dans le développement de la base aérienne 125. Connue pour ses infrastructures d'essais en vol, ce site militaire d'exception est devenu un lieu incontournable pour les grandes avancées technologiques dans l'aéronautique. Sarrail a notamment contribué à la renommée de ce site en dirigeant des programmes d'essai et en formant de nombreux pilotes pour perfectionner les performances des avions militaires, en particulier durant la période de la Guerre froide, lorsque la France cherchait à moderniser ses capacités aériennes.

1.1 L'écosystème aéronautique de Fos-sur-Mer

Le bassin de Fos-sur-Mer et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) regroupent de nombreux acteurs majeurs de l'industrie aéronautique. Parmi les entreprises phares, **Airbus Helicopters** à Marignane se distingue comme leader mondial dans la fabrication d'hélicoptères civils et militaires. **Safran**, un autre acteur clé, est spécialisé dans les moteurs d'avion et les équipements aéronautiques. **Dassault Aviation** est également présent dans la région avec ses avions de combat Rafale. Les institutions publiques, telles que la **Région SUD Provence-Alpes-Côte d'Azur** et le **pôle de compétitivité SAFE**, soutiennent l'innovation, la recherche et les partenariats industriels. Le rôle des centres de recherche, comme l'**ONERA** (Office national d'études et de recherches aérospatiales) à Salon-de-Provence, est aussi crucial pour le développement technologique.

La région dispose d'infrastructures stratégiques pour soutenir l'industrie aéronautique. Le **Grand Port Maritime de Marseille** à Fos-sur-Mer facilite la logistique des matériaux et composants aéronautiques grâce à ses capacités d'import-export. Sur le plan aéroportuaire, l'**aéroport de Marseille-Provence** est une plaque tournante majeure pour le fret aérien. Les pépinières comme l'**Europole de l'Arbois** et **Marseille Innovation** favorisent les collaborations entre startups, grands groupes et centres de recherche, créant un environnement propice à l'innovation et à la croissance du secteur aéronautique.

2. Les grandes tendances de l'industrie aéronautique

1.1 Transition vers le New Space

Le **New Space** représente une nouvelle ère dans l'exploration et l'exploitation spatiale, caractérisée par l'émergence d'acteurs privés et une approche commerciale de l'espace, en contraste avec l'ère traditionnelle dominée par les agences gouvernementales. Les entreprises du New Space, telles que **SpaceX**, **Blue Origin**, **Rocket Lab**, et des startups comme **OneWeb** ou **Planet Labs**, apportent des innovations tant sur le plan technologique que dans les modèles d'affaires. Ces nouvelles entreprises se concentrent sur la réduction des coûts (via la réutilisation de lanceurs), l'accélération des cycles d'innovation et l'ouverture du marché spatial à des industries commerciales (télécommunications, observation de la Terre, tourisme spatial). Leur modèle repose sur des financements privés, des collaborations public-privé et des services de lancement accessibles à un plus grand nombre d'acteurs.

Les nouvelles technologies développées dans le cadre du New Space transforment radicalement les missions spatiales. Les **lanceurs réutilisables**, comme ceux de SpaceX, réduisent les coûts d'accès à l'espace, rendant les missions plus fréquentes et accessibles. De plus, la miniaturisation des **satellites** (ex : CubeSats) permet de lancer des constellations de petits satellites, offrant une couverture mondiale pour les communications ou la surveillance en temps réel à moindre coût. Les progrès en **intelligence artificielle** et en **robotique** facilitent l'autonomie des missions, tant pour l'exploration que pour l'entretien de satellites. Le développement de technologies liées aux **propulsions électriques** et aux **matériaux avancés** permet également d'envisager des missions plus lointaines avec une meilleure efficacité énergétique. Le New Space marque ainsi un tournant décisif dans l'industrialisation de l'espace et la démocratisation de son accès.

1.2 L'essor des drones

Les **drones**, également appelés UAV (Unmanned Aerial Vehicles), sont devenus des outils incontournables dans le secteur aéronautique, avec des applications variées. Dans le domaine militaire, ils sont utilisés pour des missions de reconnaissance, de surveillance, de renseignement, et même de combat,

comme le montrent des systèmes tels que les drones MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance) utilisés par l'armée française. Dans le civil, les drones sont largement employés pour la **cartographie aérienne**, l'**inspection des infrastructures** (ponts, lignes électriques, pipelines) et la **surveillance environnementale** (suivi des forêts, des littoraux ou des cultures). Ils trouvent également leur place dans le secteur logistique, avec des essais de livraison par drone effectués par des entreprises comme Amazon ou UPS. En aviation commerciale, les drones permettent l'**inspection d'aéronefs**, facilitant et accélérant la détection de défauts structurels ou de dégradations.

Le déploiement massif des drones, tant militaires que civils, a soulevé des questions cruciales en matière de **réglementation et de sécurité aérienne**. En France, l'utilisation des drones est encadrée par la **Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)**, qui impose des règles strictes en termes de zones de vol, d'altitude et de certifications des opérateurs. Par exemple, le survol des zones urbaines et sensibles est limité, et les drones doivent généralement rester dans le champ de vision du pilote. Au niveau européen, l'**Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (AESA)** a introduit une réglementation unifiée en 2021, divisant les drones en trois catégories : **ouverte, spécifique, et certifiée**, selon le niveau de risque des opérations. Ces cadres réglementaires visent à garantir une intégration sécurisée des drones dans l'espace aérien, tout en préservant la confidentialité et la sûreté des infrastructures critiques. Des défis persistent, notamment en ce qui concerne la **gestion du trafic aérien** des drones et la protection contre les actes malveillants, mais des avancées technologiques comme les systèmes de détection et d'évitement ou les **solutions anti-drone** contribuent à renforcer la sécurité.

1.3 Des cas d'usages réels au service du développement économique

A/ Les dirigeables : une alternative logistique

Les dirigeables, autrefois marginalisés, connaissent un regain d'intérêt grâce à leurs faibles coûts opérationnels, leur grande capacité de transport et leur impact environnemental réduit. Dans le contexte de la zone Fos-Berre, les dirigeables pourraient jouer un rôle clé, aussi bien pour le transport de charges lourdes que pour des missions d'observation ou de surveillance.

- Logistique lourde
- Surveillance environnementale et industrielle

B/ Drones : une révolution dans l'air, sur terre et sous l'eau

Les drones, qu'ils soient aériens, terrestres ou sous-marins, sont de plus en plus intégrés dans l'industrie, notamment pour des tâches de maintenance, de surveillance et de cartographie. Dans la zone Fos-Berre, ces technologies représentent des outils polyvalents pour de nombreuses applications.

C/ Drones aériens

- Surveillance industrielle : Les drones aériens sont utilisés pour la surveillance des infrastructures sensibles (raffineries, ports, installations électriques). Ils permettent d'inspecter des zones inaccessibles ou dangereuses pour les humains.
- Cartographie et logistique : Les drones peuvent également être utilisés pour la cartographie de terrains ou la livraison rapide de pièces critiques entre différents sites industriels dans la région.

D/ Drones sous-marins

- Inspection sous-marine : dans le contexte du port de Fos, les drones sous-marins offrent la possibilité d'inspecter les infrastructures portuaires immergées, les pipelines ou les câbles sous-marins sans mobilisation d'équipages de plongeurs.
- Dépollution : drones marins capables de dépolluer un plan d'eau suite à un accident industriel/fuite produits dangereux (ex IADYS)
- Recherche océanographique : ces drones peuvent également être utilisés pour la recherche scientifique dans les eaux méditerranéennes, contribuant ainsi à des études sur l'environnement marin et la pollution industrielle.

E/ Drones marins

- Dépollution : ces drones sont capables de dépolluer un plan d'eau suite à un accident industriel/fuite produits dangereux (ex IADYS)

F/ Drones terrestres

- Logistique et maintenance : les drones terrestres sont capables de se déplacer dans des environnements industriels complexes pour assurer la maintenance des infrastructures ou transporter des petites charges entre différents sites. Leur usage peut réduire les coûts et les risques pour les opérateurs humains.

G/ Activités

- Fabrication de composants
- Logistique spatiale
- Recherche et développement

3. Opportunités de complémentarité

1.1 Synergies entre industrie lourde et nouvelles technologies

La convergence entre l'industrie lourde et les nouvelles technologies, en particulier dans le secteur aéronautique, ouvre la voie à des synergies significatives qui renforcent l'innovation et la compétitivité. L'industrie lourde, traditionnellement associée à des processus de fabrication intensifs en capital et en main-d'œuvre, tire parti des avancées technologiques pour optimiser ses opérations. Par exemple, l'intégration de l'**impression 3D** dans la production de pièces aéronautiques permet de réduire les coûts, d'accélérer le développement de prototypes et de produire des pièces complexes qui étaient auparavant difficiles à réaliser.

Les **données massives (Big Data)** et l'**intelligence artificielle** jouent également un rôle clé en permettant une analyse approfondie des performances des systèmes et en facilitant la maintenance prédictive. En anticipant les défaillances, les entreprises peuvent réduire les temps d'arrêt et améliorer la sécurité. Cette utilisation des technologies numériques transforme non seulement les méthodes de production, mais aussi la manière dont les entreprises de l'industrie lourde interagissent avec leurs clients et partenaires.

Les **collaborations entre startups du New Space** et grandes entreprises aéronautiques illustrent bien ces synergies. Par exemple, des partenariats peuvent émerger pour développer des systèmes de drones autonomes destinés à des missions de surveillance ou d'inspection, où l'expertise de l'industrie lourde en

matière de construction aéronautique s'allie à l'agilité et à l'innovation des startups. Cette complémentarité favorise également le développement de **pôles de compétitivité** où entreprises et centres de recherche collaborent pour promouvoir des projets d'innovation.

Enfin, l'émergence des **smart factories** (usines intelligentes) et l'Internet des objets (IoT) transforment l'écosystème industriel en rendant les processus de production plus flexibles et réactifs. Ces synergies entre l'industrie lourde et les nouvelles technologies créent un environnement propice à l'innovation, stimulant ainsi la croissance économique et renforçant la position de l'industrie aéronautique sur le marché mondial.

1.2 Développement de compétences

La transition vers les nouvelles technologies dans l'industrie aéronautique impose une réévaluation des compétences requises pour les travailleurs de l'industrie lourde. La montée en puissance des systèmes automatisés, de l'intelligence artificielle, et des technologies numériques nécessite une formation adaptée pour garantir que les employés restent compétitifs et capables de s'adapter aux évolutions rapides du secteur. Des programmes de **formation continue** et des **certifications spécialisées** deviennent donc essentiels, permettant aux collaborateurs d'acquérir des compétences en matière de programmation, de gestion des données, et d'utilisation de nouveaux outils de fabrication.

L'enseignement supérieur joue un rôle crucial dans le développement d'un vivier de nouveaux talents qualifiés pour soutenir l'innovation dans l'industrie aéronautique. Les universités et les écoles d'ingénieurs doivent aligner leurs programmes sur les besoins du marché, en intégrant des modules liés aux nouvelles technologies, telles que la robotique, l'analyse de données et les systèmes embarqués. Ces initiatives favorisent une approche de formation duale, combinant l'enseignement théorique en classe avec une expérience pratique en entreprise (alternance ou stages qualifiés), permettant ainsi aux futurs diplômés de posséder une compréhension approfondie des enjeux technologiques auxquels l'industrie fait face.

La **recherche appliquée** est également un moteur essentiel pour l'innovation. Les laboratoires universitaires collaborent avec les entreprises pour développer des solutions innovantes aux défis techniques, ce qui renforce la compétitivité de l'industrie. Par exemple, des projets de recherche en partenariat peuvent conduire à la mise au point de nouveaux matériaux légers pour l'aéronautique ou à des systèmes avancés de contrôle de qualité.

1.3 Les synergies entre sous-traitants et grandes industries

La zone Fos-Berre est aussi un hub important pour la sous-traitance, avec un réseau dense d'entreprises spécialisées dans la fabrication de pièces, le traitement des matériaux et la maintenance des équipements industriels. L'aéronautique tire profit de cette chaîne de sous-traitance bien établie.

A/ La spécialisation des sous-traitants régionaux

Les sous-traitants locaux fournissent des services de haute précision, qu'il s'agisse de la fabrication de composants aéronautiques, de l'usinage de pièces métalliques complexes ou de la production de composites légers et résistants. Ces savoir-faire, en lien avec le New Space ou les technologies de drones, permettent à l'aéronautique de s'appuyer sur un réseau industriel dynamique et compétitif.

B/ Partenariats technologiques

Les partenariats entre sous-traitants et grands donneurs d'ordre dans les secteurs aéronautique, maritime et industriel permettent le développement de technologies innovantes, comme les nouveaux matériaux composites, les systèmes de propulsion électrique pour drones ou encore les capteurs embarqués pour la

navigation autonome.

4. Défis à surmonter

1.1 Enjeux réglementaires

L'adaptation des réglementations aux nouvelles technologies, notamment dans le domaine des **drones** et du **New Space**, constitue un défi majeur pour l'industrie aéronautique. Les évolutions rapides de ces technologies dépassent souvent le cadre réglementaire existant, obligeant les autorités à revoir et à mettre à jour leurs législations pour assurer la sécurité, la protection de l'environnement et la compétitivité économique.

Dans le domaine des **drones**, la réglementation doit s'ajuster à leur utilisation croissante, tant dans les secteurs civil que militaire. Les drones de grande taille, utilisés pour des missions de surveillance, de livraison ou d'inspection, posent des défis en matière de **gestion du trafic aérien** et d'intégration dans des espaces aériens partagés avec des aéronefs habités. Les autorités aéronautiques comme la **DGAC** en France et l'**AESA** en Europe ont mis en place des cadres réglementaires classant les drones selon leurs risques opérationnels, imposant des règles de certification pour les opérateurs et des restrictions géographiques de vol.

Dans le secteur du **New Space**, les nouvelles entreprises, qui visent à lancer des satellites, des constellations de CubeSats ou à développer des lanceurs réutilisables, nécessitent également une refonte des réglementations spatiales. La réutilisation des lanceurs, popularisée par SpaceX, requiert de nouvelles approches pour évaluer la sécurité des lancements et des récupérations. Par ailleurs, le cadre juridique international pour l'exploitation commerciale de l'espace, régulé par des traités comme celui de l'**ONU sur l'espace extra-atmosphérique**, doit évoluer pour mieux encadrer les activités privées tout en préservant les intérêts communs.

Les nouvelles technologies posent également des questions cruciales en matière de **sécurité**. Dans l'aéronautique, la miniaturisation des technologies et la montée en puissance des véhicules autonomes exigent des normes rigoureuses. Les drones, par exemple, doivent être équipés de systèmes d'évitement des collisions et des solutions de cybersécurité pour empêcher les détournements ou les actes malveillants. Les normes de sécurité évoluent également pour les opérations spatiales, avec des exigences de plus en plus strictes concernant la protection contre les **débris spatiaux**, un enjeu croissant à mesure que le nombre de satellites en orbite augmente.

Parallèlement, la **protection de l'environnement** est un axe majeur de la régulation des nouvelles technologies aéronautiques et spatiales. Les lancements de fusées, bien que moins fréquents que les vols aériens, contribuent aux émissions de CO₂ et à la pollution atmosphérique. Le développement de technologies plus propres, comme les propulsions électriques pour les lanceurs et les drones à énergie solaire, ainsi que des **programmes de compensation carbone** pour les activités spatiales, devient une priorité. De même, l'industrie des drones doit répondre à des normes environnementales strictes en ce qui concerne les bruits générés et les perturbations potentielles pour la faune et les écosystèmes.

En somme, l'adaptation des réglementations aux nouvelles technologies, tout en garantissant des normes élevées de sécurité et de protection environnementale, est un enjeu central pour le futur de l'industrie aéronautique et spatiale. Les acteurs doivent collaborer étroitement avec les régulateurs pour créer un cadre équilibré qui soutienne l'innovation tout en garantissant la sûreté et la durabilité des activités aéronautiques et spatiales.

1.2 Compétition mondiale

L'industrie aéronautique est aujourd'hui totalement mondialisée, et chaque région doit se positionner de manière hautement stratégique. La zone Fos/Berre dispose d'atouts considérables, mais ils font face à des concurrents puissants, comme les **hubs aéronautiques européens** (Toulouse, Hambourg) et **internationaux** (Seattle, Singapour, Dubaï).

La région Sud bénéficie d'un **écosystème industriel riche** et d'une localisation stratégique, proche du bassin méditerranéen et de l'Afrique. Cependant, la taille des infrastructures et des chaînes d'approvisionnement locales reste un défi par rapport aux grands hubs. Des hubs émergents en Asie, notamment Singapour et Shenzhen, misent massivement sur l'innovation technologique, les drones, et l'aviation électrique, ce qui intensifie la concurrence.

Pour compenser ces écarts, la présence d'**Airbus Helicopters** à Marignane et de la **base aérienne d'Istres**, centre stratégique pour les essais en vol, positionne la région comme un acteur clé dans l'innovation militaire et civile. De plus, nos multiples **technopoles** renforcent le dynamisme technologique, facilitant la synergie entre startups et entreprises traditionnelles.

Pour rester compétitive à l'échelle mondiale, la région doit s'adapter rapidement aux évolutions technologiques, telles que la **fabrication additive (impression 3D)** ou la création de nouveaux carburants décarbonés.

Afin de maintenir et renforcer sa position sur la scène mondiale, la région PACA doit déployer des stratégies efficaces pour attirer les **investissements étrangers directs (IED)** et des alliances assumées à international.

5. Propositions stratégiques

5.1 Renforcement des infrastructures

Le développement de l'industrie aéronautique et spatiale dans la région repose en grande partie sur des infrastructures logistiques et industrielles capables de répondre aux besoins des entreprises et des projets à forte intensité technologique. Plusieurs améliorations peuvent être apportées pour répondre à ces défis :

1. **Modernisation du Grand Port Maritime de Marseille** : Le port de Fos-sur-Mer, essentiel pour l'importation de matériaux et l'exportation de produits finis, doit améliorer ses capacités en matière de **logistique multimodale**. Cela inclut la connexion fluide entre le transport maritime, ferroviaire et routier pour accélérer le transit des marchandises. Le renforcement des infrastructures portuaires spécialisées, comme les quais dédiés à l'aéronautique ou à l'industrie spatiale, est une priorité pour attirer les projets de grande envergure.
2. **Renforcement des capacités aéroportuaires** : L'aéroport de **Marseille-Provence**, en tant que centre de fret et de maintenance aéronautique, doit augmenter sa capacité à accueillir des flux accrus de marchandises et d'équipements spécifiques à l'industrie aéronautique et spatiale. Cela pourrait inclure la création d'un terminal dédié aux lancements spatiaux commerciaux et d'installations spécialisées pour la gestion des composants sensibles.
3. **Accélération du Pôle aéronautique Istres Étang de Berre** : Le développement d'un premier **parc industriel thématique « Jean Sarail »**, spécifiquement dédiés à l'assemblage d'astronefs, la fabrication de pièces aéronautiques de précision, ou encore la production de technologies liées aux drones, permettra de regrouper des entreprises à la pointe de l'innovation, facilitant les synergies et la compétitivité.

Le **New Space**, avec ses nouvelles entreprises, technologies et modèles d'affaires, représente une opportunité majeure pour nos écosystèmes. Pour saisir cette opportunité, il est crucial de se baser sur notre **écosystème d'innovation**, stimulant la collaboration entre les startups, les grands groupes industriels, les centres de recherche et les institutions publiques.

Création d'un incubateur spatial régional : La mise en place d'un **incubateur dédié au New Space** permettrait de soutenir les startups en phase de lancement. Cet incubateur offrirait un accès aux infrastructures (laboratoires, prototypage, tests en vol) ainsi qu'à un réseau d'experts de l'industrie spatiale. Les startups spécialisées dans les micro-satellites, la propulsion électrique, les systèmes de communication spatiale et les lanceurs réutilisables pourraient y trouver un environnement propice à leur croissance.

1. **Renforcement des pôles de compétitivité** : Le **pôle SAFE**, déjà actif dans l'aéronautique, la sécurité et l'espace, doit élargir ses initiatives pour inclure davantage d'acteurs du New Space. Cela comprend le soutien aux projets collaboratifs, le financement de la recherche appliquée et l'organisation d'événements internationaux pour attirer des partenaires industriels et académiques du monde entier.
2. **Partenariats public-privé pour les infrastructures spatiales** : Le développement d'un **centre spatial régional** à proximité de la base aérienne d'Istres ou du port de Fos pourrait permettre de regrouper les infrastructures nécessaires pour les lancements, les tests de drones spatiaux, ou encore les activités de maintenance de satellites. Ces installations spécialisées pourraient être créées grâce à des partenariats public-privé, afin d'attirer des financements extérieurs tout en bénéficiant d'un soutien institutionnel.
3. **Formation de talents spécialisés** : Le développement de l'écosystème du New Space ne sera possible qu'avec de nouveaux **talents** et l'expérience de l'industrie de précision, historique sur le bassin Fos/Berre. Des partenariats avec les universités et les grandes écoles, ainsi que des programmes « **Long Life Learning** » de formation continue pour les travailleurs actuels de l'industrie aéronautique, doivent être mis en place pour intégrer des compétences en **robotique spatiale**, en **intelligence artificielle appliquée à l'espace**, ou en **ingénierie des systèmes satellites**.

5.2 Initiatives de soutien à l'innovation

Pour positionner durablement la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) en tant que leader de l'industrie aéronautique et spatiale, il est crucial de soutenir l'innovation à travers des initiatives stratégiques.

Les projets innovants nécessitent des **sources de financement variées** pour passer de la phase de R&D à l'industrialisation. La région PACA dispose d'une expertise dans la mobilisation des fonds Européens sous l'impulsion de son président et peut mobiliser à la fois des fonds publics et privés pour soutenir les startups, les PME et les grands groupes dans leurs initiatives technologiques.

1. **Subventions publiques et fonds régionaux** : La mise en place de **programmes de subventions spécifiques** pour les projets aéronautiques, spatiaux et technologiques est essentielle pour stimuler l'innovation. Les institutions régionales, en collaboration avec les agences nationales comme la **Bpifrance**, pourraient proposer des aides financières aux entreprises développant des technologies de rupture, telles que la propulsion spatiale électrique, les systèmes de drones autonomes, ou les solutions de fabrication additive pour l'aéronautique. Ces fonds publics doivent encourager les phases de prototypage, de tests et d'industrialisation, tout en renforçant la compétitivité locale.

2. **Incitations fiscales** : Le développement d'incitations fiscales pour les entreprises investissant dans la R&D aéronautique et spatiale est également une piste à explorer. Le **Crédit d'Impôt Recherche (CIR)** est déjà un outil puissant, mais des incitations fiscales plus ciblées, spécifiques à certaines technologies émergentes comme le **New Space** ou les **énergies renouvelables** dans l'aéronautique, pourraient accroître encore plus les investissements.
3. **Partenariats avec les investisseurs privés** : La création de **fonds d'investissement spécialisés** dans les technologies aéronautiques et spatiales permettrait de mobiliser des capitaux privés. Ces fonds pourraient cibler les startups prometteuses et les aider à développer des solutions technologiques innovantes en partenariat avec de grands acteurs de l'industrie. Des collaborations avec des **business angels**, des **fonds de capital-risque**, ou des grandes entreprises à la recherche de nouvelles opportunités d'innovation pourraient multiplier les opportunités de financement.
4. **Concours et appels à projets** : Des concours d'innovation et des **appels à projets régionaux ou européens** (comme **Horizon Europe**) dédiés aux technologies spatiales, aux drones, et aux énergies vertes pour l'aéronautique, encourageraient la création de solutions novatrices tout en assurant un soutien financier aux lauréats. Ces initiatives permettent de repérer les projets à haut potentiel, tout en leur offrant une visibilité internationale.

Fos/Berre dispose déjà de pôles de compétitivité tels que **Aerospace Valley** ou **SAFE Cluster**, mais le développement de pôles dédiés aux nouvelles technologies est indispensable pour accélérer la transition vers un écosystème innovant et intégré.

1. **Pôles de compétitivité spécialisés dans le New Space** : Un **pôle dédié aux technologies du New Space** permettrait de rassembler les acteurs clés de l'industrie spatiale émergente, y compris les startups, les centres de recherche et les grands groupes. Ce pôle pourrait se concentrer sur des technologies spécifiques comme les **satellites miniaturisés**, les **lanceurs réutilisables**, ou les **systèmes de communication avancés**. Il jouerait un rôle clé dans la facilitation des collaborations, l'accès à des ressources partagées (laboratoires, infrastructures de test) et l'accompagnement dans les démarches de certification ou d'accès aux marchés internationaux.
2. **Pôles dédiés aux drones et à l'aéronautique durable** : L'industrie des drones connaît une forte croissance, et un **pôle spécialisé dans les technologies des drones autonomes** pourrait stimuler les synergies entre les entreprises développant des solutions pour la logistique, la surveillance, et les applications industrielles. Par ailleurs, un pôle dédié à l'**aéronautique durable** (propulsions hybrides, bio-carburants, avions électriques) permettrait de soutenir la transition vers des technologies plus respectueuses de l'environnement, en réponse aux exigences croissantes en matière de réglementation et de durabilité.
3. **Collaboration entre les pôles de compétitivité et les universités** : Les pôles de compétitivité doivent également être des catalyseurs pour la **formation et la recherche appliquée**. En établissant des collaborations étroites avec les universités locales et les centres de recherche, ces pôles favoriseraient l'émergence de programmes d'enseignement adaptés aux besoins de l'industrie (systèmes de propulsion électrique, intelligence artificielle pour les drones, gestion des données spatiales). Les pôles pourraient aussi encourager la création de **chaires industrielles** pour développer des recherches spécifiques aux technologies émergentes.
4. **Plateformes de test et laboratoires partagés** : Enfin, la mise en place de **plateformes technologiques partagées**, ouvertes aux entreprises de la région, permettrait de tester et de certifier des prototypes innovants. Des laboratoires de prototypage rapide, des espaces de tests pour drones, ou des installations pour simuler des environnements spatiaux contribueraient à accélérer le cycle d'innovation et à réduire les coûts pour les entreprises.

6. Perspectives d'avenir

6.1 Prévisions de croissance

L'industrie aéronautique mondiale, qui a subi un ralentissement avec la pandémie de Covid-19, montre depuis une **reprise marquée**, soutenue par une demande croissante en nouvelles technologies et en aéronefs plus écologiques. Les experts prévoient que le secteur connaîtra une **croissance annuelle d'environ 4% à 5%** jusqu'à 2030, portée par plusieurs tendances majeures :

- **Transition vers des avions plus durables** : L'aéronautique se tourne de plus en plus vers des technologies de propulsion hybrides ou électriques, en réponse aux pressions environnementales et aux nouvelles réglementations. Cette tendance ouvre des opportunités pour les entreprises de la région spécialisées dans les énergies renouvelables et les matériaux légers.
- **Dirigeables à charge lourde** : Des entreprises ambitionnent de révolutionner le transport de charges lourdes en construisant de grands dirigeables capables de déplacer jusqu'à 60 tonnes de marchandises. Ces immenses vaisseaux de 150 mètres de long seront produits dans le département français de la Gironde et probablement dans un second temps au cœur du pôle Jean Sarail à Istres.
- **Augmentation de la demande en aéronefs commerciaux et cargos** : La demande pour les avions de ligne, les avions-cargos et les jets d'affaires est en hausse, en particulier dans les régions émergentes comme l'Asie-Pacifique. Cette demande nécessite une augmentation des capacités de production et des chaînes d'approvisionnement, ce qui peut bénéficier aux infrastructures locales.

Le **New Space**, quant à lui, représente un secteur en pleine explosion. Porté par la privatisation croissante des activités spatiales et l'entrée de nouveaux acteurs comme SpaceX, Blue Origin ou encore de nombreuses startups, ce marché affiche une croissance annuelle de plus de **10%**. Les segments à forte croissance incluent :

- **L'essor des satellites miniaturisés** : Utilisés pour l'observation de la Terre, les télécommunications ou encore la gestion des ressources naturelles, ces satellites offrent de nouvelles applications dans les domaines de la défense, de la météo et de l'agriculture. Le bassin de Fos-sur-Mer, avec son réseau portuaire et industriel, pourrait devenir un acteur clé pour l'assemblage et le lancement de ces satellites.
- **Les constellations de satellites** : Les projets de constellations de satellites pour l'internet global, comme Starlink, OneWeb ou encore Galileo et Copernicus, stimulent la demande en services d'assemblage, de maintenance et de lancement. Le Parlement européen a voté en faveur de la mise sur orbite d'Iris2, une nouvelle constellation de satellites pour les communications haut débit qui doit rendre l'UE indépendante des opérateurs étrangers.
- **La démocratisation de l'accès à l'espace** : Avec des coûts de lancement réduits, les missions spatiales sont désormais accessibles à un nombre croissant d'acteurs, y compris des pays en développement, des universités et des startups. Cette tendance renforce le potentiel de développement pour les infrastructures spatiales locales.

Le bassin de Fos-sur-Mer et la région PACA se trouvent dans une position stratégique pour bénéficier des tendances de croissance de l'industrie aéronautique et spatiale. Plusieurs facteurs favorisent cette dynamique de développement économique :

1. **Renforcement des infrastructures portuaires et aéroportuaires** : Avec l'augmentation du commerce global et de la demande en exportations liées à l'industrie aéronautique, le **port de Fos-sur-Mer** jouera un rôle de plus en plus central. La modernisation des infrastructures portuaires, l'amélioration des connexions logistiques et l'intégration de services liés à l'industrie spatiale (assemblage, lancement, maintenance de satellites) pourraient générer des retombées économiques significatives, avec une croissance projetée du **trafic de marchandises de 2% à 3%** par an.
2. **Impact indirect sur l'économie locale** : L'effet multiplicateur des industries aéronautique et spatiale sur l'économie locale sera significatif. Outre les emplois directs, des secteurs comme la logistique, le commerce, l'hôtellerie et les services techniques bénéficieront de cette croissance. Selon les projections, l'**impact global sur le PIB régional** pourrait représenter une augmentation de **2% à 3% d'ici 2035**, avec une contribution plus marquée des nouvelles technologies spatiales.

6.2 Rôle de la région dans le paysage Européen

Le bassin de Fos-sur-Mer bénéficie de nombreux atouts pour devenir un **hub d'innovation aéronautique et spatiale** de premier plan en Europe :

1. **Rôle dans la transition écologique de l'aéronautique** : Avec l'émergence des technologies visant à réduire l'empreinte carbone de l'aviation, Fos-sur-Mer peut devenir un acteur majeur de la **transition vers des avions durables**. En investissant dans des infrastructures adaptées à la recherche et au développement de nouvelles propulsions (électriques, hybrides, à hydrogène) et dans des usines de fabrication alliant efficacité énergétique et respect des normes environnementales, la région pourrait attirer des investissements et des talents à l'échelle européenne.
2. **Capacité à accueillir des projets spatiaux** : L'industrie du **New Space**, en pleine expansion, nécessite des sites pour le développement, l'assemblage et le lancement de satellites et autres technologies spatiales. Le renouvellement industriel libérera immanquablement dans le futur des capacités foncières aujourd'hui dédiées à la pétrochimie ou la sidérurgie. En se dotant d'orientations spécifiques pour les activités spatiales, Fos/Berre pourrait devenir un point de convergence pour les projets européens en matière d'espace, notamment dans le domaine des **lanceurs réutilisables** ou des **satellites miniaturisés**.

L'intégration et le lobbying de Fos-sur-Mer dans les **réseaux de collaboration européens** est cruciale pour renforcer son rôle de leader dans l'innovation aéronautique et spatiale. L'Union européenne, à travers ses programmes de financement et de coopération industrielle, offre de nombreuses opportunités que la région pourrait saisir pour renforcer ses capacités.

1. **Participation à des programmes européens de R&D** : Le programme **Horizon Europe** offre des financements substantiels pour les projets de recherche et d'innovation dans les secteurs de l'aéronautique et de l'espace. En collaborant avec d'autres acteurs européens, la région PACA pourrait obtenir des fonds pour des projets axés sur les technologies émergentes, tels que les avions à faible émission de carbone, les systèmes de drones intelligents et les solutions spatiales innovantes. Ces collaborations permettraient de **partager les savoir-faire**, d'accélérer l'innovation et de rendre la région plus compétitive à l'échelle mondiale.
2. **Partenariats transfrontaliers avec d'autres hubs aéronautiques** : La région PACA pourrait développer des **partenariats stratégiques avec d'autres hubs européens**, tels que Toulouse

(France), Hambourg (Allemagne), ou encore Milan (Italie). Ces collaborations pourraient prendre la forme de **clusters interrégionaux**, facilitant les échanges de compétences, de ressources et d'infrastructures. Par exemple, un partenariat avec les régions aéronautiques de l'**Europe du Nord** pourrait permettre de mutualiser les compétences en matière de production de composants pour l'aviation durable ou les lanceurs spatiaux.

3. **Participation à des projets spatiaux européens** : L'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Union européenne mènent des programmes ambitieux dans le secteur spatial, tels que les constellations de satellites pour la communication et l'observation de la Terre. Fos-sur-Mer pourrait jouer un rôle clé dans la chaîne de valeur de ces projets, notamment dans l'assemblage de satellites, leur lancement ou leur maintenance. En intégrant ces grands projets européens, la région PACA renforcerait son positionnement en tant que **plateforme industrielle pour les technologies spatiales**.
4. **Accélération des échanges de talents et de connaissances** : La création de **réseaux européens de formation** permettrait à Fos-sur-Mer d'attirer et de former des talents dans les domaines clés de l'aéronautique et de l'espace. La région pourrait collaborer avec des **universités et des centres de recherche européens**, facilitant les échanges d'étudiants, de chercheurs et d'ingénieurs. Ces échanges favoriseraient le développement de compétences locales tout en contribuant à l'enrichissement de la **recherche appliquée**.
5. **Réseaux logistiques européens** : Enfin, le **renforcement des connexions logistiques européennes** permettrait à Fos-sur-Mer de devenir un centre de distribution clé pour les composants aéronautiques et spatiaux. En développant des corridors de transport efficaces avec les autres grands hubs européens, la région pourrait faciliter l'exportation de produits technologiques tout en intégrant des chaînes d'approvisionnement mondiales.

7. Perspectives aéronautiques et militaires

L'industrie aéronautique joue un rôle central dans le développement et la modernisation des forces armées à travers le monde. Face à l'évolution des menaces globales, à l'émergence de nouvelles technologies et aux exigences de sécurité accrue, les forces militaires doivent constamment adapter leurs capacités. En France, ainsi qu'au niveau international, les **prévisions de modernisation des armées** passent par des investissements massifs dans les technologies aéronautiques et spatiales, incluant le développement de drones, d'avions de chasse de nouvelle génération et de capacités spatiales stratégiques.

7.1 Prévisions de modernisation des armées

Les armées modernes dépendent de plus en plus des technologies aéronautiques avancées pour maintenir leur supériorité opérationnelle et leur capacité de projection de puissance. La France, avec sa longue tradition dans le domaine de l'aéronautique militaire, prévoit d'importantes réformes pour adapter ses forces armées aux défis du XXI^e siècle. Ces modernisations s'inscrivent dans le cadre des **nouveaux besoins stratégiques** et de la nécessité de faire face à des menaces complexes et asymétriques.

La flotte d'avions de combat est un élément essentiel de la dissuasion militaire et de la capacité d'intervention rapide des armées. En France, cette modernisation repose sur plusieurs axes clés :

- **Programme SCAF (Système de Combat Aérien du Futur)** : En collaboration avec l'Allemagne et l'Espagne, la France participe au développement du **SCAF**, un programme européen de nouvelle génération qui vise à remplacer les actuels **Rafale** et **Eurofighter** à l'horizon 2040. Le SCAF inclura un **avion de chasse de 6^e génération** équipé de technologies furtives, de capacités de réseau et d'intelligence artificielle, ainsi que d'une flotte de drones de combat collaboratifs (appelés «loyal wingmen»).

- **Drones de combat et autonomes** : Les armées investissent de plus en plus dans des **drones de combat autonomes**, capables de mener des missions de reconnaissance, de surveillance ou d'attaque sans mettre en danger des pilotes humains. En France, des projets comme le **Neuron** ou les drones tactiques MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance) illustrent cet effort de modernisation.

Les armées doivent également moderniser leurs capacités de **défense aérienne** pour faire face aux nouvelles menaces, y compris les missiles hypersoniques, les drones, et les attaques spatiales :

- **Missiles hypersoniques et défense anti-missile** : Avec l'apparition de missiles capables de voler à des vitesses hypersoniques, les forces armées doivent renforcer leurs systèmes de défense aérienne. La France s'inscrit dans cette course technologique avec des programmes de **missiles de nouvelle génération** et de systèmes de détection et d'interception avancés.
- **Capacités spatiales** : L'espace devient un domaine crucial pour les opérations militaires, qu'il s'agisse de la communication, de la navigation ou de la surveillance. La France, à travers son **Commandement de l'espace** (CDE) créé en 2019, prévoit d'intensifier ses efforts pour sécuriser ses actifs spatiaux et développer des capacités offensives et défensives dans l'espace. Cela inclut le déploiement de **satellites de surveillance** et de nouvelles technologies anti-satellite, tout en se préparant à des opérations militaires spatiales potentielles.

Les armées françaises, comme celles d'autres nations, dépendent également de leurs capacités de transport pour les opérations extérieures et les interventions humanitaires :

- **Renouvellement des avions de transport** : Des appareils comme l'**A400M** d'Airbus, déjà en service, jouent un rôle crucial dans le transport de troupes et de matériel. Toutefois, des investissements supplémentaires seront nécessaires pour maintenir et moderniser ces flottes, tout en développant des technologies pour des aéronefs plus légers et plus efficaces en carburant.
- **Capacités de ravitaillement en vol** : Le maintien de la supériorité aérienne nécessite des avions de ravitaillement modernes pour permettre aux chasseurs et bombardiers de rester en mission plus longtemps. La modernisation de ces capacités est une priorité pour garantir la projection de puissance des armées françaises dans des théâtres éloignés.

Le futur des armées passe également par la **décarbonation des flottes militaires** et l'intégration de technologies autonomes :

- **Électrification des aéronefs militaires** : Alors que l'aviation civile explore l'électrification pour réduire les émissions de CO₂, les armées commencent à envisager des solutions similaires pour certaines de leurs flottes. Les **drones électriques** et les **avions légers à propulsion hybride** pourraient jouer un rôle crucial dans cette transition, réduisant à la fois les coûts et l'empreinte carbone.
- **Technologies autonomes** : Outre les drones de combat, les armées investissent dans des **systèmes autonomes de surveillance et de reconnaissance**. Ces technologies pourraient réduire la nécessité d'envoyer des troupes humaines dans des zones à haut risque, tout en permettant des opérations 24 heures sur 24 avec une moindre dépendance logistique.

La modernisation des forces aériennes et spatiales françaises est soutenue par une augmentation continue du **budget de la Défense**. Selon les plans du gouvernement, le budget militaire atteindra **413 milliards d'euros** pour la période 2024-2030, ce qui inclut des investissements massifs dans l'aéronautique et le spatial. Ce financement est destiné à :

- **Renforcer les capacités opérationnelles** des armées, y compris le développement de nouveaux avions de combat et de drones.
- **Soutenir les projets européens** de défense, tels que le SCAF et l'Eurodrone, en misant sur une coopération accrue avec les partenaires européens.
- **Accélérer l'innovation** dans les domaines de la cybersécurité et des systèmes de communication militaires, notamment en renforçant la résilience face aux attaques numériques et aux menaces spatiales.

7.2 Base industrielle existante : BA125, hub des armées et MRTT

La **Base Aérienne 125 d'Istres-Le Tubé**, joue un rôle stratégique essentiel pour les forces armées françaises, en particulier dans le cadre de la modernisation de ses capacités logistiques et aériennes. Cette base, historiquement connue pour ses activités liées aux essais en vol et à l'entraînement des pilotes, s'impose aujourd'hui comme un **hub logistique majeur** pour les armées, en particulier avec l'introduction des **avions ravitailleurs multi rôles MRTT (Multi Role Tanker Transport)**. Ce nouveau positionnement s'inscrit dans une stratégie plus large de renforcement des capacités opérationnelles et de projection de puissance de la France à l'échelle internationale.

La Base Aérienne 125 a toujours été un point névralgique pour l'aviation militaire française, mais son rôle évolue pour répondre aux besoins logistiques croissants des forces armées. Le développement d'une **infrastructure logistique de premier ordre** permet désormais à la base de soutenir non seulement les opérations aériennes françaises, mais également celles des partenaires européens et alliés dans le cadre de missions conjointes. Ce rôle de hub logistique comprend plusieurs axes importants :

- **Plateforme de ravitaillement en vol et de transport** : Avec l'introduction des avions MRTT, la base devient un point central pour les opérations de ravitaillement en vol des forces aériennes, facilitant les missions longues distances, notamment celles des avions de combat comme le Rafale.
- **Support logistique pour les missions extérieures** : La capacité d'accueil et de maintenance de la base permet de soutenir les avions militaires lors des opérations extérieures (OPEX), y compris le transport de troupes et d'équipements vers les théâtres d'opération en Afrique, au Moyen-Orient, et en Europe.

Le **MRTT (Multi Role Tanker Transport)**, développé par **Airbus**, est au cœur de la transformation de la Base Aérienne 125. Cet avion polyvalent, capable de ravitailler en vol et de transporter des passagers et du matériel, est devenu un **outil stratégique essentiel** pour les forces aériennes françaises. La base d'Istres accueille désormais plusieurs de ces appareils, renforçant ainsi ses capacités opérationnelles et son rôle en tant que centre névralgique pour les missions de projection de force.

1. **Ravitaillement en vol** : Le MRTT permet aux chasseurs et bombardiers de prolonger considérablement leur autonomie, un atout majeur pour les opérations à longue distance. Avec un rayon d'action étendu, les MRTT stationnés à Istres garantissent une couverture logistique pour les missions françaises et alliées à travers le globe. Cela permet aux forces aériennes de **projeter leur puissance** dans des zones stratégiques sans dépendre de bases éloignées.

2. **Transport stratégique** : Outre ses capacités de ravitaillement, le MRTT offre également une capacité de transport importante pour le personnel militaire et le matériel. Sa polyvalence en fait un atout pour les opérations humanitaires, les évacuations médicales et le transport rapide de troupes et d'équipements en cas de crise. La Base Aérienne 125, avec ses infrastructures adaptées à l'accueil et à la maintenance des MRTT, devient un centre logistique crucial pour les interventions rapides.
3. **Coopération internationale** : Le MRTT est un appareil utilisé par plusieurs forces aériennes européennes, ce qui renforce le rôle d'Istres dans le cadre des **opérations multinationales**. La base est ainsi régulièrement intégrée dans des exercices conjoints avec des alliés, notamment au sein de l'OTAN, où elle devient un point de coordination logistique. Cela accroît la **coopération militaire internationale** et positionne la Base Aérienne 125 comme un acteur clé dans les stratégies de défense collective.

Pour soutenir ce nouveau rôle logistique, la Base Aérienne 125 a bénéficié de **modernisations importantes** de ses infrastructures :

- **Agrandissement des hangars** et des aires de stationnement pour accueillir les MRTT et les autres appareils logistiques.
- **Optimisation des pistes et des systèmes de gestion de l'espace aérien**, permettant un **flux continu d'appareils** militaires, notamment lors des missions de ravitaillement ou de transport massif.
- **Infrastructures de maintenance** : Un **centre de maintenance dédié aux MRTT** a été mis en place, assurant l'entretien régulier des appareils et réduisant ainsi les délais d'immobilisation. Cela garantit une disponibilité opérationnelle maximale des avions, indispensable pour les missions à haute intensité.

La **position géographique stratégique** de la Base Aérienne 125, située dans le sud de la France, en fait une plaque tournante pour les opérations militaires en Europe et dans les zones plus lointaines comme l'Afrique du Nord, le Sahel et le Moyen-Orient. Cette localisation idéale lui permet de jouer un rôle clé dans les missions de défense nationale, tout en facilitant la projection des forces armées françaises dans des théâtres d'opérations extérieures. La base constitue un élément central du **système de défense global** de la France, renforçant à la fois la sécurité nationale et la capacité à intervenir rapidement en cas de crise internationale.

7.3 Pôle aéronautique Jean Sarrail

Le pôle aéronautique **Jean Sarrail**, situé à Istres, se positionne comme un acteur clé dans le futur du développement économique de la région. Avec la présence de la **Base Aérienne 125**, ce pôle stratégique bénéficie d'un environnement propice à l'innovation et à l'industrialisation dans le secteur aéronautique et spatial.

Le pôle **Jean Sarrail** vise à devenir un hub de développement technologique de pointe, capitalisant sur les avancées dans des domaines comme les drones, l'intelligence artificielle et les technologies du **New Space**. Grâce à des partenariats entre les acteurs publics, privés, et des centres de recherche, ce pôle pourrait dynamiser l'innovation dans la région et au-delà.

Les **drones** et les technologies de l'aéronautique légère, associés à des innovations en propulsion électrique et en matériaux composites, ouvriront de nouvelles perspectives de croissance pour l'industrie locale. De plus, avec l'accélération des projets de ravitailleurs aériens **MRTT**, la base d'Istres continuera à jouer un rôle clé dans les programmes militaires, renforçant l'attractivité du pôle.

Attractivité et développement économique régional

Le **pôle aéronautique Jean Sarrail** s'orientera également vers la diversification de ses activités pour attirer des talents et des investissements, notamment en exploitant des infrastructures portuaires, aéroportuaires et industrielles. Ces infrastructures, alliées à une localisation géostratégique au sein du bassin méditerranéen, devraient permettre de capter des **investissements étrangers** et des collaborations internationales, renforçant la

Le pôle **Jean Sarrail** se positionne comme un levier crucial pour le développement économique du territoire, avec un accent sur l'innovation, les nouvelles technologies, et une coopération renforcée entre les secteurs public et privé.

Le **nouveau rôle de la Base Aérienne 125 d'Istres** comme hub logistique des armées et point central pour les MRTT reflète la stratégie globale de modernisation et de projection de puissance des forces aériennes françaises. La base devient ainsi un **acteur essentiel** dans le dispositif militaire français, capable de soutenir des missions complexes à l'échelle nationale et internationale, tout en renforçant les collaborations militaires avec les partenaires européens et alliés.

En résumé, Fos-sur-Mer a une opportunité unique de se positionner comme un **leader dans l'innovation aéronautique et spatiale** en Europe. Grâce à ses infrastructures, son écosystème d'innovation et sa capacité à collaborer à l'échelle européenne, la région PACA peut devenir un pôle stratégique dans ces secteurs d'avenir, attirant investissements, talents et projets d'envergure internationale.

Les synergies entre les différentes industries – métallurgie, chimie, logistique – et l'essor des secteurs du New Space, des dirigeables et des drones offrent des opportunités sans précédent pour l'innovation et le développement économique local.

Les industries locales doivent maintenant intensifier leurs efforts de collaboration avec les acteurs technologiques et les centres de recherche afin de tirer parti de ces nouvelles opportunités, tout en investissant dans la formation de la main-d'œuvre locale pour garantir un avenir prospère à cette région stratégique.

Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Implantations de Services de sous-traitance pour la Croissance et la Décarbonation des Entreprises à Fos-Berre (2035)

La transformation de la zone industrielle de Fos-Berre repose sur l'implantation de services clés permettant aux entreprises d'atteindre leurs objectifs de croissance et de décarbonation à l'horizon 2035. Ce rapport identifie les services essentiels dans les domaines de la sous-traitance, de l'intelligence artificielle et de l'ingénierie spécialisée.

- **Sous-traitance stratégique :**
 - **Logistique verte :** optimisation des chaînes d'approvisionnement, entreposage et transport de matières premières et produits finis à faible empreinte carbone.
 - **Maintenance prédictive :** utilisation de l'IA pour optimiser la maintenance des équipements, réduire les arrêts de production et prolonger leur durée de vie.
 - **Recyclage et valorisation des déchets :** mise en place de filières de recyclage adaptées aux spécificités des industries du site, valorisation énergétique des déchets non recyclables.
- **Services d'intelligence artificielle (IA) :**
 - **Optimisation des procédés de production :** utilisation de modèles d'IA pour améliorer l'efficacité énergétique des procédés, réduire les consommations d'énergie et de matières premières.

- o **Développement de nouveaux produits et services** : utilisation de l'IA pour accélérer la conception de produits plus durables et innovants, répondant aux enjeux de la transition énergétique.
 - o **Prédiction** : maintenance basée sur l'ia, utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique pour anticiper les pannes et optimiser la durée de vie des équipements.
 - o **Optimisation** : économiser l'énergie grâce à des outils d'ia permettant une gestion fine des consommations, intégration des énergies renouvelables et réduction des gaspillages.
 - o **Data** : analyse des données industrielles pour améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les émissions de carbone en ajustant la production à la demande.
- **Bureaux d'ingénierie spécialisés** :
 - o **Ingénierie de la décarbonation** : accompagnement des entreprises dans la définition et la mise en œuvre de leur stratégie de décarbonation, réalisation d'audits énergétiques, conception de solutions techniques (réseaux de chaleur, captage et stockage du carbone, etc.).
 - o **Conseil Environnemental** : gestion des risques climatiques et adaptation des modèles économiques aux enjeux de la durabilité.
 - o **Ingénierie numérique** : développement de solutions numériques pour la gestion de l'énergie, la surveillance des émissions, la traçabilité des produits, etc.
 - o **Ingénierie de captage** : stockage et réutilisation du carbone (ccs) pour les industries les plus émettrices de co2.
 - o **Accompagnement** : soutien des entreprises dans la transition vers des énergies renouvelables et la modernisation de leurs infrastructures (rénovation énergétique, récupération d'énergie).
 - o **Consolidation** : ingénierie pour la mise en place de solutions d'économie circulaire : réutilisation des sous-produits, optimisation des ressources naturelles, réduction des déchets.
 - **Sous-traitance spécialisée**
 - o **Maintenance industrielle** : avec des services axés sur la maintenance prédictive et l'optimisation énergétique des équipements.
 - o **Automatisation** : robotique et automatisation pour améliorer la productivité et réduire les coûts énergétiques.
 - o **Gestion logistique spécialisée** : réduction de l'empreinte carbone, y compris l'optimisation des transports et la gestion des flux en temps réel.
 - o **Recyclage industriel** : la gestion des déchets, contribuant à une approche circulaire de l'économie.
 - o **Conformité** : cabinet spécialisé dans l'accompagnement pour les sujets réglementations environnementales et l'obtention de certifications vertes.

- **Services en innovation et recherche-développement**

- **Recherche** : laboratoires de recherche collaboratifs pour le développement de technologies décarbonées (matériaux durables, nouvelles sources d'énergie).
- **Structuration** : partenariats public-privé pour la recherche et le développement de procédés industriels bas carbone.
- **Conseil Numérique** : assistance dans la transformation numérique des entreprises avec une orientation vers la décarbonation des opérations.
- **Innovation durable** : projets de construction bas carbone, systèmes intelligents de gestion énergétique, intégration des technologies bas carbone.
- **Plateformes collaboratives** : création de plateformes numériques permettant aux entreprises de partager leurs bonnes pratiques, de collaborer sur des projets de recherche et développement, et de trouver des partenaires.

Autres services :

- **Financement de la transition énergétique** : mise en place de mécanismes de financement adaptés aux besoins des entreprises (crédits d'impôt, subventions, prêts verts).
- **Formation et accompagnement des entreprises** : développement de programmes de formation pour les salariés, accompagnement des entreprises dans le changement culturel nécessaire à la transition énergétique.

Enjeux clés pour le développement de ces services à Fos-Berre :

- **Attractivité du territoire** : développement d'infrastructures adaptées, amélioration de la qualité de vie, mise en place de politiques publiques incitatives.
- **Collaboration entre les acteurs** : renforcement des liens entre les entreprises, les laboratoires de recherche, les écoles d'ingénieurs et les pouvoirs publics.
- **Développement de compétences** : formation des salariés aux nouvelles technologies et aux enjeux de la transition énergétique.
- **Soutien financier** : mobilisation de financements publics et privés pour soutenir les investissements dans la décarbonation.
- **Centralisation** : mise à disposition d'un campus dédié aux métiers de l'industrie et du port pour garantir l'ouverture des échanges, la co-innovation et la mutualisation des ressources rares et coûteuses.

Laboratoire Fos/Berre

Lab

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Benchmark des Infrastructures Portuaires Mondiales (avec focus sur le Grand Port Maritime de Marseille)

Ce benchmark fournit une vue comparative complète de la performance des ports mondiaux, incluant un focus spécifique sur le Grand Port Maritime de Marseille et son positionnement stratégique en Europe du Sud.

1. Capacité et volume de trafic

Port	Volume annuel (EVP)	Capacité (millions d'EVP)	Croissance annuelle (%)	Principales marchandises
Port de Shanghai (Chine)	47,0 millions	50,0	4,5%	Conteneurs, pétrole, vrac solide
Port de Singapour (Singapour)	37,2 millions	40,0	3,8%	Conteneurs, pétrole, gaz naturel
Port de Rotterdam (Pays-Bas)	14,8 millions	18,0	1,5%	Conteneurs, produits chimiques
Port de Los Angeles (USA)	10,7 millions	12,0	2,2%	Conteneurs, véhicules, vrac liquide
Port de Hambourg (Allemagne)	8,5 millions	9,5	1,8%	Conteneurs, logistique automobile
Grand Port Maritime de Marseille (France)	1,5 millions	2,5	1,0%	Pétrole, gaz naturel, conteneurs

Analyse :

- Les ports asiatiques comme Shanghai, Singapour et Ningbo-Zhoushan dominent le commerce mondial en raison de leur connexion à des routes maritimes vitales pour le commerce international, et leurs volumes surpassent de loin ceux des ports européens et américains.
- Les ports européens investissent dans des expansions et des automatisations pour rester compétitifs à

l'échelle mondiale.

- Le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM), bien que plus modeste, joue un rôle clé en Europe du Sud et en Méditerranée, se spécialisant dans les hydrocarbures, le vrac liquide, et le transport de conteneurs.

2. Efficacité et productivité

Port	Temps d'attente moyen (heures)	Taux de productivité (mouvements/heure)	Taux d'utilisation de la capacité (%)	Projets d'amélioration
Port de Shanghai (Chine)	18	230	94%	Extension de la zone portuaire intelligente
Port de Singapour (Singapour)	16	210	88%	Automatisation des terminaux, gestion AI
Port de Rotterdam (Pays-Bas)	20	180	75%	Multimodalité, gestion des flux automatisée
Port de Los Angeles (USA)	24	140	80%	Automatisation partielle, optimisation IoT
Port de Hambourg (Allemagne)	22	160	78%	Initiatives d'optimisation logistique
Grand Port Maritime de Marseille (France)	24	90	60%	Automatisation des postes de pilotage

Analyse :

- Shanghai et Singapour maintiennent des taux de productivité très élevés grâce à l'automatisation poussée et la digitalisation.

- Le GPMM a un taux de productivité plus faible, en partie à cause de sa concentration sur les hydrocarbures et les vracs, mais des projets d'automatisation et de digitalisation sont en cours pour augmenter son efficacité.


3. Digitalisation et ports intelligents

Port	Niveau de digitalisation	Technologies employées	Niveau d'automatisation (%)	Projets innovants
Port de Shanghai (Chine)	Très élevé	IoT, Intelligence artificielle, Gestion cloud	80%	Extension des terminaux automatisés
Port de Singapour (Singapour)	Très élevé	Systèmes de gestion portuaire, digital twin	75%	Port NextGen, IA pour gestion logistique
Port de Rotterdam (Pays-Bas)	Élevé	Blockchain, IA, Internet des Objets	60%	Port Community System basé sur blockchain
Port de Los Angeles (USA)	Modéré	IoT, systèmes d'optimisation logistique	45%	Port Community System
Port de Hambourg (Allemagne)	Élevé	IA, gestion en temps réel	55%	Projet de gestion prédictive des flux
Grand Port Maritime de Marseille (France)	Modéré	Systèmes ERP, gestion logistique numérique	40%	Projet de Smart Port en partenariat avec CISCO

Analyse :

- Les ports asiatiques, comme Shanghai et Singapour, sont en tête de la digitalisation, tandis que Rotterdam et Hambourg se distinguent par l'adoption de la blockchain et de l'IA pour améliorer l'efficacité.
- Le GPMM est en phase de transformation, avec le projet Smart Port en cours qui vise à moderniser ses infrastructures numériques et logistiques, tout en collaborant avec des entreprises technologiques comme CISCO.

4. Durabilité et gestion environnementale

Port	Initiatives vertes	Réduction des émissions de CO2 (%)	Utilisation d'énergies renouvelables (%)	Projets de durabilité
Port de Shanghai (Chine)	Port vert, gestion des eaux usées	20%	30%	Utilisation de carburants alternatifs
Port de Singapour (Singapour)	Green Port Program, électrification des équipements	25%	40%	Bunkering GNL, optimisation des énergies vertes
Port de Rotterdam (Pays-Bas)	Éoliennes offshore, électrification, zones à faibles émissions	50%	60%	Terminal vert, transition énergétique
Port de Los Angeles (USA)	Clean Air Action Plan, électrification des grues	30%	25%	Partenariat pour réduction des émissions
Port de Hambourg (Allemagne)	Zones à faibles émissions, électrification des terminaux	35%	45%	Optimisation énergétique, développement durable
Grand Port Maritime de Marseille (France)	Zones à faibles émissions, électrification des infrastructures	30% 	35%	Plan de transition écologique, GNL

Analyse :

- Rotterdam et Hambourg mènent la transition énergétique en Europe avec des initiatives ambitieuses autour des énergies renouvelables et de la réduction des émissions de CO2.
- Le GPMM a engagé un plan de transition écologique axé sur l'électrification de ses infrastructures et la réduction de ses émissions, avec des projets comme le bunkering GNL pour les navires.

5. Connectivité multimodale et logistique

Port	Transport ferroviaire	Transport fluvial	Accès routier	Plateformes logistiques multimodales
Port de Shanghai (Chine)	Réseau ferroviaire dense	Système fluvial étendu	Excellente connectivité routière	Terminal multimodal automatisé Yangshan
Port de Singapour (Singapour)	Limitée	Non disponible	Très bon accès routier	Plateforme de gestion multimodale maritime
Port de Rotterdam (Pays-Bas)	Très développé	Très développé	Excellent	Europort Rotterdam, hub logistique de l'Europe
Port de Los Angeles (USA)	Développement limité	Non disponible	Bon accès	Projets de corridors ferroviaires et plateformes multimodales
Port de Hambourg (Allemagne)	Réseau ferroviaire dense	Transport fluvial disponible	Très bon accès routier	Réseau multimodal vers l'Europe centrale
Grand Port Maritime de Marseille (France)	Très développé	Transport fluvial disponible	Accès routier efficace	Synergies multimodales avec la ZIBAC de Fos-sur-Mer

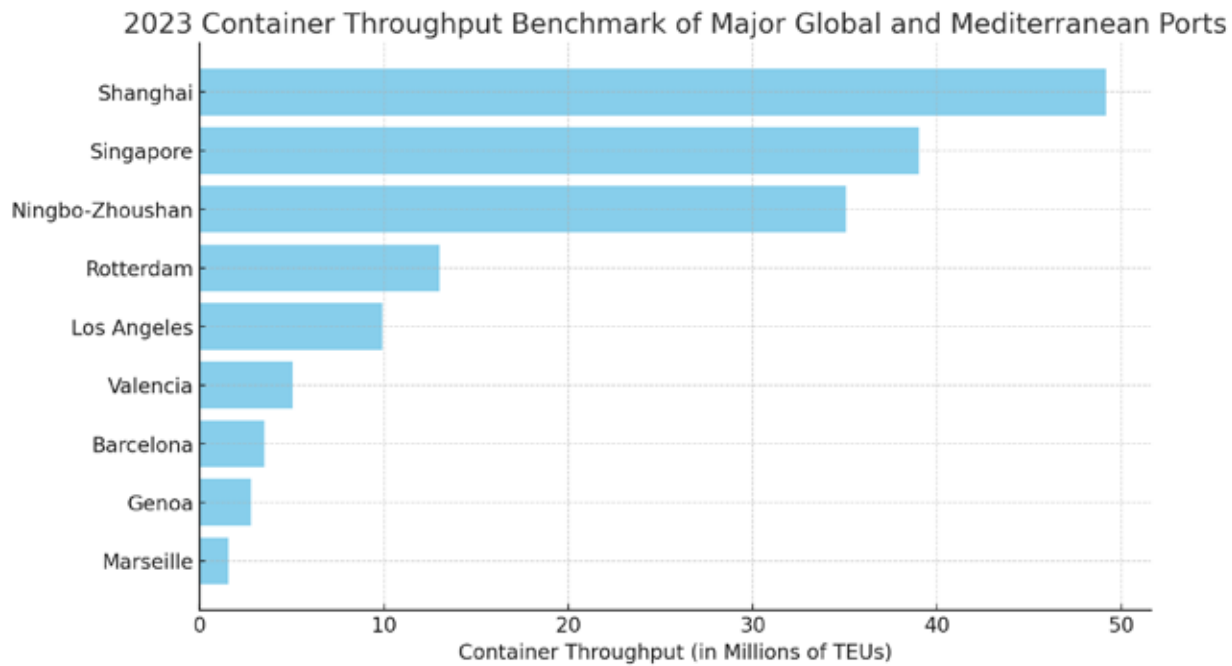
Analyse :

- Rotterdam et Hambourg bénéficient d’une connectivité multimodale exceptionnelle, facilitant le transport par rail, route et voie fluviale à travers l’Europe.

- Le GPMM possède un réseau ferroviaire et fluvial bien développé, en particulier avec la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (ZIBAC), qui assure des synergies logistiques importantes, notamment pour le transport de marchandises à destination de l’Europe.

6. Compétition mondiale

Ce graphique illustre la domination des principaux ports asiatiques comme Shanghai et Singapour par rapport aux ports européens et américains.



Data Sources:

Shanghai: 49.16 million TEUs

[Shanghai Government](#)
[China Rubber Fender](#)

Singapore: 39.01 million TEUs

[China Rubber Fender](#)
[Seabay](#)

Ningbo-Zhoushan: 35.05 million TEUs

[Asia Cargo News](#)

Rotterdam: 13.02 million TEUs

[Seabay](#)

Los Angeles: 9.91 million TEUs

[Seabay](#)

Valencia: 5.05 million TEUs

[Seabay](#)

Barcelona: 3.52 million TEUs

[Seabay](#)

Genoa: 2.78 million TEUs

[Seabay](#)

Marseille: 1.54 million TEUs

[Seabay](#)

Synthèse

- Les ports asiatiques de Shanghai et Ningbo-Zhoushan dominant en capacité, en digitalisation, et en automatisation, renforçant leur position de hubs logistiques mondiaux. Singapour joue un rôle critique en tant que centre de transbordement, reliant l'Asie, le Moyen-Orient, et l'Europe. Il bénéficie pleinement de sa position géographique et de son infrastructure techniquement très avancée.
- En Europe, Rotterdam domine grâce à sa connexion avec les principaux marchés européens et internationaux. Valence et Barcelone sont des centres stratégiques pour le commerce méditerranéen et transatlantique. Le leadership européen en matière de durabilité revient aux ports de Rotterdam et Hambourg qui se distinguent par leurs avancées en matière de durabilité et d'initiatives écologiques.
- Performance du GPMM : Le Grand Port Maritime de Marseille doit accélérer très rapidement sa phase de modernisation. Il combine des atouts comme une bonne connectivité multimodale (notamment avec la ZIBAC de Fos-sur-Mer), des efforts pour l'électrification de ses infrastructures et doit rendre concrète sa digitalisation via le projet Smart Port.

Recommandations

- Accélérer la digitalisation : Le GPMM pourrait renforcer ses investissements dans les technologies de la 5G, l'IA, l'IoT et la blockchain pour améliorer ses opérations et réduire les coûts.
- Renforcer les initiatives écologiques : Le port devrait poursuivre ses efforts de transition énergétique avec l'électrification et l'adoption de carburants propres (comme le GNL).
- Optimiser la connectivité multimodale : Le GPMM devrait maximiser les synergies logistiques avec la ZIBAC et d'autres plateformes multimodales pour améliorer ses capacités de transport intérieur.

Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

Scénarii d'implantation liés à l'accroissement des tonnages du Grand Port Maritime de Fos-sur-mer

1. Scénario « hub d'énergies renouvelables et carburants propres »

Ce scénario consiste à développer des activités autour des énergies renouvelables et des carburants propres, faisant de Fos-sur-Mer un pôle énergétique pour l'alimentation de l'industrie et du transport maritime décarboné.

Objectifs :

- Accroître les volumes de tonnages liés aux énergies renouvelables (biomasse, hydrogène vert, carburants alternatifs).
- Soutenir les infrastructures portuaires par l'import/export de matières premières pour la production d'énergie propre.

Activités potentielles :

- Unité de production d'hydrogène vert : Installée à proximité du port, elle produirait de l'hydrogène à partir d'énergies renouvelables (éoliennes, solaire) pour alimenter les industries et les transports maritimes.
- Terminal d'import/export de bioGNL : Créer un terminal pour le stockage et la distribution de bioGNL (Gaz Naturel Liquéfié renouvelable), utilisé dans les transports maritimes pour décarboner le secteur.
- Centrale à biomasse : Une installation qui valoriserait des biomasses locales et importées pour générer de l'énergie verte, avec un flux constant de biomasse entrant par le port.

Enjeux de décarbonation :

- Réduction des émissions de CO₂ dans les transports maritimes grâce au bioGNL et à l'hydrogène.
- Alimentation des infrastructures industrielles avec de l'énergie verte.

Tonnages supplémentaires :

- Hydrogène vert : Importation/exportation des matériaux nécessaires à sa production et stockage.
- Biomasse : Import de biomasse pour la centrale et l'exportation des surplus énergétiques.

2. Scénario « hub industriel circulaire et économie de matériaux »

Ce scénario est axé sur la transformation et le recyclage des matériaux (acier, aluminium, plastiques, déchets industriels) en vue de promouvoir l'économie circulaire.

Objectifs :

- Développer des filières industrielles liées à la récupération, au traitement, et au recyclage des matériaux.
- Générer de nouveaux flux de tonnage en matière première secondaire et déchets industriels recyclables.

Activités potentielles :

- Centre de recyclage des métaux : Récupération et recyclage des ferrailles et autres métaux (aluminium, cuivre), avec des flux entrants de déchets industriels métalliques provenant de l'Europe.
- Usine de valorisation des déchets plastiques : Un site de recyclage des plastiques industriels et post-consommation, transformant les déchets en granulés ou en matériaux réutilisables pour les industries locales.
- Station de valorisation des cendres volantes et résidus industriels : Transformation des sous-produits industriels (cendres, scories) pour les intégrer dans la fabrication de matériaux de construction.

Enjeux de décarbonation :

- Réduction des déchets industriels et matériaux à forte empreinte carbone.
- Réduction des transports internationaux de matières premières vierges en recyclant localement.

Tonnages supplémentaires :

- Métaux recyclés : Flux entrants de déchets métalliques pour le recyclage et flux sortants de matériaux réutilisables.
- Plastiques recyclés : Importation de déchets plastiques pour transformation en produits réutilisables.

3. Scénario « hub de logistique multimodale décarbonée »

Le port de Fos-sur-Mer pourrait se transformer en un hub logistique de haute performance, où l'accent serait mis sur les solutions de transport multimodal (rail, route, fluvial) à faibles émissions.

Objectifs :

- Faciliter le transport de marchandises tout en réduisant les émissions liées au transport routier.
- Attirer les industries dépendantes de la logistique verte, favorisant les flux de conteneurs.

Activités potentielles :

- Centre logistique intermodal : Développer une plateforme logistique dédiée à la réception et au transbordement des marchandises via des solutions bas carbone (ferroviaire et fluvial), connectée aux réseaux européens.
- Port sec ferroviaire : Extension du port sec dédié aux flux de conteneurs reliant le port aux principaux centres industriels en Europe via le rail.
- Terminal fluvial optimisé : Exploitation accrue des connexions fluviales avec le Rhône pour transporter des marchandises lourdes comme les céréales, matériaux de construction ou produits chimiques.

Enjeux de décarbonation :

- Réduction des émissions liées au transport en basculant vers des modes de transport plus propres (rail et fluvial).
- Soutien à l'adoption de chaînes d'approvisionnement bas carbone pour les industries.

Tonnages supplémentaires :

- Fret intermodal : Augmentation des volumes de conteneurs importés/exportés, notamment via les flux ferroviaires et fluviaux.
- Flux de matériaux lourds : Développement du transport de vrac solide et liquide par le Rhône.

4. Scénario « cluster industriel de transformation verte des hydrocarbures et de la chimie verte »

Fos-sur-Mer étant déjà un centre stratégique pour les hydrocarbures, ce scénario vise à redéfinir ce secteur en transformant les hydrocarbures traditionnels en biocarburants et en soutenant la chimie verte.

Objectifs :

- Tirer parti des infrastructures existantes de raffinage et de pétrochimie pour y implanter des activités liées à la transformation verte.
- Réorienter les flux d'hydrocarbures vers des productions à faible impact environnemental.

Activités potentielles :

- Usine de biocarburants avancés : Transformer les flux entrants d'hydrocarbures classiques et de biomasse en biocarburants de deuxième génération, plus propres et compatibles avec la transition énergétique.
- Raffinerie de chimie verte : Développement de procédés chimiques pour produire des matériaux biosourcés (bioplastiques, produits chimiques à faible empreinte carbone) à partir de ressources renouvelables et de déchets.
- Unités de capture et valorisation du CO₂ : Installation d'équipements pour capter le CO₂ des installations industrielles et le réutiliser pour la production de carburants synthétiques ou pour des applications chimiques.

Enjeux de décarbonation :

- Réduction des émissions de CO₂ dans le processus de transformation d'hydrocarbures.
- Production de carburants et produits chimiques à faible empreinte carbone.

Tonnages supplémentaires :

- Biocarburants : Importation de matières premières pour produire des carburants verts et exportation des produits finis.
- Matériaux biosourcés : Augmentation des volumes de produits chimiques et plastiques verts exportés.

5. Scénario « zone industrielle et portuaire zéro carbone »

Ce scénario ambitieux propose de transformer Fos-sur-Mer en une zone industrielle et portuaire complètement décarbonée d'ici 2035, avec des activités industrielles et logistiques à émissions nulles ou quasi-nulles.

Objectifs :

- Transformer l'ensemble des installations industrielles et portuaires pour qu'elles fonctionnent avec des énergies renouvelables.
- Devenir un leader en matière d'implantation industrielle décarbonée en Europe.

Activités potentielles :

- Utilisation massive de l'énergie renouvelable : S'appuyer sur l'énergie solaire, éolienne, et sur la biomasse pour alimenter les industries et les infrastructures du port.
- Industrie 4.0 : Intégrer l'automatisation, la robotisation, et l'intelligence artificielle pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions.
- Centre de stockage et de distribution d'hydrogène : Développer des infrastructures pour la production et le stockage d'hydrogène vert pour alimenter les industries et les navires.

Enjeux de décarbonation :

- Atteinte de la neutralité carbone dans l'ensemble des activités industrielles et portuaires.
- Réduction des coûts énergétiques grâce à l'utilisation massive d'énergies renouvelables.

Tonnages supplémentaires :

- Énergies renouvelables et hydrogène : Importation des matières premières pour les installations énergétiques, flux d'hydrogène exporté pour le transport maritime et industriel.

6. Synthèse des scénarios :

- Hydrogène et carburants propres sont des solutions clés pour réduire les émissions dans le secteur industriel et maritime, tout en augmentant les flux de tonnage.
- L'économie circulaire et le recyclage des matériaux apportent des bénéfices environnementaux tout en générant des flux constants de marchandises.
- La logistique multimodale décarbonée est essentielle pour limiter l'empreinte carbone du transport tout en augmentant les capacités de transport de marchandises.
- La chimie verte et la transformation des hydrocarbures s'alignent sur les infrastructures existantes pour proposer des alternatives bas carbone tout en augmentant les volumes d'import/export.

Ces scénarios permettent de répondre aux enjeux de décarbonation tout en maximisant le potentiel logistique et le développement industriel de Fos-sur-Mer, favorisant ainsi une croissance durable et compétitive.

Laboratoire Fos/Berre

Rapport du groupe d'experts industrie nouvelle

TOP25 Mobilité

Pour améliorer la mobilité dans la zone industrielle de Fos-sur-Mer à l'horizon 2035, il est crucial d'adopter une approche intégrée qui combine l'orchestration des transports, l'optimisation de la voirie et la création de stations de services multimodales.

Ces recommandations favorisent une meilleure coordination des transports, l'optimisation de la voirie et l'intégration de services multimodaux pour répondre aux besoins croissants des entreprises et des employés tout en respectant les enjeux écologiques et logistiques.

1. Orchestration des Transports

1. Développer un réseau de transport public électrique/hydrogène pour les employés de la zone industrielle, reliant les points stratégiques comme les zones résidentielles et les gares régionales.
2. Mettre en place un système de navettes autonomes connectant les entreprises de la zone pour faciliter les déplacements internes.
3. Créer une plateforme de mobilité partagée, centralisant les informations en temps réel sur les différents moyens de transport (transports publics, covoiturage, vélos électriques).
4. Encourager le covoiturage industriel, en mettant en place des incitations financières pour les entreprises qui adoptent ce modèle pour leurs employés.
5. Optimiser les horaires de transport public pour mieux s'adapter aux différents horaires des équipes travaillant dans la zone industrielle.
6. Créer des lignes de bus express directes entre la zone industrielle et les grands pôles d'habitation de la région.
7. Intégrer les entreprises dans une plateforme de gestion des flux de marchandises pour coordonner les livraisons et limiter les congestions aux heures de pointe.
8. Proposer des incitations fiscales pour l'utilisation des transports alternatifs comme les véhicules électriques ou les navettes partagées.
9. Mettre en place des stations de recharge électrique solaires sur les parkings d'entreprises, encourageant l'utilisation de véhicules électriques.
10. Connecter la zone industrielle avec les futures lignes de trains régionaux et TGV, facilitant l'accès des employés et des marchandises.

2. Optimisation de la Voirie

11. Créer des voies réservées aux poids lourds et aux véhicules industriels pour fluidifier la circulation des camions sans impacter le trafic léger.
12. Adapter la signalisation et les feux de circulation intelligents, capables de s'ajuster en fonction du flux de véhicules en temps réel, pour réduire les embouteillages.
13. Réaménager les intersections clés et les ronds-points pour une meilleure gestion des flux, en minimisant les points de congestion.
14. Étendre les capacités des parkings poids lourds, avec des aires de repos adaptées et sécurisées pour permettre aux conducteurs de faire des pauses tout en évitant le stationnement sauvage.
15. Prioriser le maintien et l'amélioration continue de l'état des routes avec des matériaux plus durables et des technologies de pavage intelligentes pour améliorer la durabilité des infrastructures.
16. Miser sur l'utilisation de capteurs connectés dans la voirie, permettant de surveiller l'usure des routes et d'intervenir plus rapidement pour éviter les dégradations majeures.
17. Optimiser la gestion des livraisons de marchandises, en créant des créneaux horaires spécifiques pour les poids lourds afin de limiter l'impact sur la circulation pendant les heures de pointe.
18. Aménager des voies cyclables sécurisées pour faciliter les déplacements doux des employés résidant à proximité de la zone industrielle.
19. Développer des corridors logistiques dédiés pour le transport des marchandises, réduisant les conflits entre véhicules légers et lourds.
20. Adopter une gestion intelligente des parkings, avec des places réservées aux covoitureurs et aux véhicules électriques, tout en encourageant l'utilisation de places mutualisées entre entreprises.

3. Création de Stations de Services Multimodales

21. Installer une station multimodale centralisée offrant des services de recharge pour véhicules électriques, des bornes de recharge rapide pour camions électriques et des infrastructures pour véhicules à hydrogène.
22. Aménager des espaces pour la location de véhicules et scooters électriques avec des bornes de recharge pour favoriser la mobilité douce.
23. Intégrer un centre de services de mobilité (maintenance de véhicules, location de voitures et de vélos, station de lavage) dans la station multimodale pour encourager la centralisation de moyens de transport partagés.
24. Renforcer l'usage d'une zone de transbordement dans la station multimodale pour faciliter le passage des marchandises entre différents modes de transport (ferroviaire, routier, fluvial).
25. Aménager des espaces de coworking, détente et de repos dans la station multimodale, permettant aux professionnels et chauffeurs de camion de travailler ou se reposer tout en rechargeant leurs véhicules.

Prérequis :

Sensibilisation des acteurs : Mettre en place des campagnes de sensibilisation auprès des entreprises et des salariés pour promouvoir les modes de transport durables.

Suivi et évaluation : Mettre en place un système de suivi et d'évaluation pour mesurer l'efficacité des différentes mesures mises en œuvre.

Partenariats avec les collectivités locales : Développer des partenariats avec les collectivités locales pour une meilleure coordination des actions.



INLAB

LABORATOIRE TERRITORIAL INDUSTRIE FOS / BERRE

Avec des groupes de travail constitués d'experts en lien direct avec les réalités opérationnelles de notre territoire, nous avons souhaité construire ce rapport intermédiaire avec pour vocation d'ouvrir les possibles et de proposer des horizons permettant de guider vos choix d'orientations collectifs à moyen terme. L'évolution de la zone industrialo-portuaire de Fos-Berre, étendue à Gardanne Meyreuil d'ici 2035, représente un enjeu crucial pour notre contribution à l'économie euroméditerranéenne des 50 prochaines années. En tant qu'interface tactique pour l'industrie et le commerce international, cette zone incarne un potentiel économique stratégique, dont la valorisation passe par une reconfiguration réfléchie et audacieuse.

L'étude menée met en évidence, à ce stade, la nécessité d'adopter une approche ouverte et innovante dans l'aménagement de ces espaces. L'intégration des nouvelles technologies, la transition vers des énergies plus propres, la mise en réseau des infrastructures et la flexibilité opérationnelle sont autant de facteurs déterminants pour assurer la pérennité et la compétitivité de cette zone dans un monde en mutation rapide.

Cependant, cette transformation ne peut se faire sans un changement profond de paradigme. Il est impératif d'adopter une vision systémique et collaborative, impliquant les acteurs publics, privés, et les citoyens dans une dynamique de co-construction. L'ouverture d'esprit, clé de voûte de cette démarche, doit permettre d'explorer des modèles économiques, sociaux et environnementaux novateurs, adaptés aux exigences de la modernité et des défis climatiques.

Ainsi, la reconfiguration de la zone industrialo-portuaire pourrait devenir un modèle de référence pour d'autres territoires en quête d'équilibre entre croissance économique et développement durable. Ce projet d'envergure, porté par une vision à long terme, répondra non seulement aux besoins immédiats de l'industrie, mais aussi à ceux des générations futures.

N'hésitez pas à me solliciter directement sur kevin@thecamp.fr pour toute demande d'information complémentaire, partage d'expérience dans la conduite de projets industriels complexes ou simple souhait de contribution aux travaux d'études du comité scientifique et d'experts.

Kevin POLIZZI
Président de la mission



RAPPORT GROUPE D'EXPERTS INDUSTRIE NOUVELLE

Kevin POLIZZI
PRÉSIDENT DE LA MISSION

Avec la collaboration de

ROMAIN LAFFONT
VICE-PRÉSIDENT AMU

En partenariat avec
Le monde socio-économique