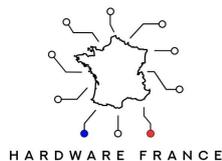




Image générée par IA

Septembre 2024

Produits intelligents : une nouvelle révolution industrielle



Septembre 2024 – Avènement des technologies IA embarquée, Edge AI, Machine Learning – Hardware France et Rtone

Table des matières

SYNTHESE.....	3
QU'EST-CE QUE L'IA EMBARQUEE ?.....	4
CAS D'USAGE.....	6
PERSPECTIVES DE MARCHÉ	14
ATOUTS DE L'IA EMBARQUÉE.....	16
ENJEUX.....	18
OPPORTUNITÉS POUR LA FRANCE	21
PROPOSITIONS.....	22
ANNEXE 1 - DEVELOPPEMENT ET INTEGRATION DU MACHINE LEARNING	26
ANNEXE 2 - LES CONTRIBUTEURS	30
ANNEXE 3 - A PROPOS.....	31
REMERCIEMENTS	32

SYNTHESE

Pendant que l'intelligence artificielle révolutionne le monde dématérialisé, elle est en passe également de révolutionner le monde physique.

Ainsi, nous voyons apparaître chaque jour des nouveaux produits intelligents, en connexion avec le réel et agissant sur lui. Ce n'est que le début.

Ces nouveaux produits présentent de multiples atouts : applications innovantes, réactivité instantanée, ultra frugalité, servicisation des produits physiques, sécurité renforcée des données, etc.

Les analystes¹ estiment que ce marché représentera, d'ici 2032, 140 milliards de dollars à l'échelle internationale.

La France dispose de nombreux atouts dans ce domaine : une créativité forte, une filière des semiconducteurs IA d'excellence, un savoir-faire reconnu dans le domaine des produits hardware, une industrie logicielle forte, une conscience écologique, une forte sensibilité au respect de la vie privée et au traitement responsable des données personnelles des utilisateurs.

Une nouvelle révolution industrielle est en marche, qui touche tous les secteurs de l'économie. La France ne doit pas la rater.

Le présent livre blanc fait le point sur les perspectives de ces nouvelles technologies et propose des actions concrètes pour répondre aux enjeux.

¹ Voir notamment l'étude de marché de market.us page 6

QU'EST-CE QUE L'IA EMBARQUEE ?

L'intelligence artificielle au plus près du réel

Appelées également “*Edge AI*”, les technologies d'intelligence artificielle (IA) embarquées sont des solutions informatiques et électroniques autonomes qui intègrent des capacités d'IA directement dans des appareils ou dispositifs électroniques, leur permettant de prendre, eux-mêmes, des décisions et d'exécuter des tâches complexes.

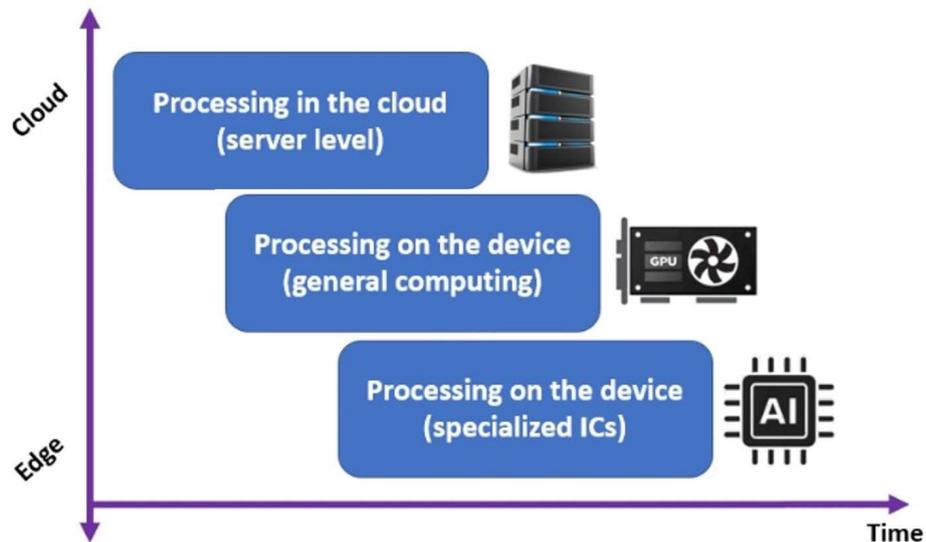
Ces possibilités nouvelles sont le fruit de travaux d'innovation dans deux champs complémentaires : le logiciel d'une part (ex : optimisation et “frugalité” de technologies de réseaux de neurones), et électronique d'autre part (ex : puces spécialisées en exécution de programme IA basse consommation).

Différences entre IA embarquée et IA générative

L'intelligence artificielle (IA) générative et l'IA embarquée sont deux sous-domaines distincts de l'IA, chacun ayant des caractéristiques, applications et objectifs spécifiques :

- D'un point de vue applicatif, l'IA générative est principalement tournée vers la création de services et contenus dématérialisés. L'IA embarquée vise, elle, à fournir des fonctionnalités d'IA sur des dispositifs matériels contraints (par exemple, des dispositifs non connectés à une source d'énergie fixe et/ou nécessitant une latence très courte).
- D'un point de vue technique, l'IA générative s'appuie généralement sur des serveurs distants capables d'effectuer des calculs intensifs, puis délivrés à l'utilisateur final via des services en ligne. L'IA embarquée utilise, elle, des capacités de calcul localisées dans les appareils fonctionnant avec une consommation électrique très basse.

Il est à noter un écart de quelques années entre l'avènement de l'IA générative et celui de l'IA embarquée. Il s'explique par la maturité plus tardive des technologies de semi-conducteurs embarqués, répondant à des contraintes plus exigeantes.



Le déploiement des réseaux 5G amplifie les potentialités des technologies d'IA embarquée. En effet, cette génération de réseaux mobiles a été conçue précisément pour offrir une connectivité à faible latence, ce qui est crucial pour les solutions d'IA embarquées connectées.

CAS D'USAGE

Santé

- **Aides auditives intelligentes** : Les dispositifs utilisent l'IA pour filtrer le bruit ambiant et améliorer la qualité sonore pour les utilisateurs, en se concentrant sur la parole ou des sons spécifiques.

Startup française innovante : WISEAR



Wisear est une entreprise française qui développe des oreillettes dotées d'algorithmes qui interprètent en temps réel l'activité neuronale afin de déclencher une action de commande, sans contact et silencieusement.

- **Diagnostics Médicaux** : Utilisation de l'IA pour l'analyse d'images médicales embarquée et la détection de maladies.
- **Médecine Personnalisée** : dispositifs d'analyse des données génétiques, implants surveillant des données physiologiques (ex : glycémie) pour maximiser l'efficacité des traitements
- **Robots Chirurgicaux** : assistance robotisée pour des interventions chirurgicales précises.
- **Réadaptation intelligente** : dispositifs accélérant la réadaptation musculaire

Smart Cities et Infrastructures

- **Surveillance des bâtiments, sécurisation d'espaces publics et privés par vision assistée par IA :** systèmes de caméras dotées d'IA embarquées permettant d'assurer la sécurité d'un bâtiment ou un espace public ou privé (comptage intelligent, contrôle des droits d'accès, etc.)
- **Contrôle temps réel d'infrastructures** (télécoms, routes, réseau gaz, électrique..)

Startup française innovante : ARTIFEEL



Artifeel est une entreprise française qui développe et commercialise les systèmes « Check'In », outils de monitoring, surveillance et de maintenance des infrastructures, répondant à de multiples cas d'usages. Notamment, ils permettent la détection d'intrusions, d'obstructions ou de vols survenant sur toute infrastructure (ex : réseaux télécom, voies ferrées, oléoducs, de distribution de gaz ou d'eau potable...). Ces systèmes sont basés sur une même technologie qui réalise une analyse intelligente des données des capteurs grâce à un outil d'Edge AI.

Leurs atouts sont multiples : Possibilité de surveiller de nombreux sites, parfois situés dans des zones reculées où il est impossible de disposer d'un raccordement au réseau électrique, grâce à un système économique en énergie (autonomie de 2 à 5 ans) ; Forte réduction des fausses alertes : le système divise par 10 le taux de fausses alertes grâce à un processus basé sur une IA autonome, embarquée et apprenante.

Les gestionnaires peuvent ainsi maximiser la sécurisation de leurs infrastructures, tout en réduisant considérablement leurs coûts.

Les groupes Orange et British Telecom ont ainsi choisi la technologie Check'In pour sécuriser leurs infrastructures.

Énergie

- **Gestion de l'Énergie** : Optimisation de la production et la distribution d'énergie, smart grid intelligente
- **Efficacité Énergétique** : les algorithmes d'IA embarquée permettent une gestion fine et instantanée des équipements électriques (chaudière, volets roulants, climatiseur, éclairage, panneaux solaires, etc.) d'un foyer ou d'un bâtiment pour en réduire la consommation électrique et/ou inviter aux meilleurs usages énergétiques (ex : report du démarrage d'un équipement électrique énergivore).

Collectivités

- **Surveillance des infrastructures critiques** : L'IA peut surveiller le bruit ambiant autour des infrastructures sensibles (ponts, barrages, châteaux d'eau, etc.) pour détecter des défauts structurels ou des activités de sabotage.
- **Contrôle visuel sur tournées, levée de doute** : les personnels des collectivités peuvent être aidés dans leur travail pour détecter, qualifier un événement (ex: déclenchement d'alarme) et/ou écarter des faux positifs, grâce à une analyse multicritère instantanée rendue possible par l'IA embarquée.
- **Détection de la pollution sonore** : Des systèmes d'IA embarquée peuvent identifier et cartographier les sources de bruit excessif dans les zones urbaines, guidant les efforts pour réduire la pollution sonore.
- **Détection des bruits anormaux** : Dans les bâtiments et/ou lieux gérés par les collectivités locales, des dispositifs dotés d'IA embarquée peuvent reconnaître des bruits spécifiques, indiquant une activité suspecte ou dangereuse, comme des bris de verre, des cris d'alarme ou des coups de feu et alerter les équipes de sécurité en conséquence.

Startup française innovante : SONAIDE



Sonaide est une entreprise qui a développé une technologie novatrice basée sur l'utilisation de capteurs acoustiques pour surveiller la santé et le bien-être des personnes âgées. Leur innovation consiste à détecter et analyser les sons de l'environnement quotidien pour fournir des informations précieuses sur l'activité physique, les habitudes de sommeil et les changements de comportement des individus, permettant ainsi une surveillance continue et non intrusive dans les lieux de vie. Cette approche offre une solution proactive pour détecter les signes précoces de détérioration de la santé et améliorer la qualité de vie des personnes âgées ou vulnérables, à leur domicile ou en maison de retraite.

Les produits de Sonaide utilisent l'IA embarquée pour analyser les sons ambiants. Les modèles développés par cette société peuvent discerner des indices auditifs non évidents. Les dispositifs, branchés sur les prises électriques standard, équipés de capteurs sensibles et alimentés par des algorithmes intelligents, sont conçus pour fonctionner discrètement et respectueusement de la confidentialité et la sécurité des informations personnelles.

Environnement

- **Surveillance Environnementale** : Utilisation de l'IA pour le suivi et la gestion des ressources naturelles.
- **Surveillance de la biodiversité** : les systèmes de vision dotés d'IA embarquée analysent et surveillent la présence et la diversité des espèces animales dans un écosystème, aidant à la recherche écologique et à la conservation des espèces en voie de disparition.

Industrie et Fabrication

- **Robots Industriels :** Utilisation de robots intelligents pour l'assemblage. Grâce à l'IA embarquée, leur fonctionnement peut, par exemple, permettre une collaboration optimisée et sécurisée avec les agents de production
- **Contrôle qualité automatisé :** systèmes de détection de défauts de fabrication en temps réel sur les lignes de production
- **Sécurisation des sites industriels :** technologies permettant la lutte contre les intrusions et vol de matières premières dans les sites industriels
- **Maintenance Prédictive :** Surveillance des équipements pour anticiper et prévenir les pannes

Startup française innovante : NKE WATTECO



Bob Assistant, de NKE Watteco, est un système de maintenance prédictive. Il analyse en permanence les données fournies par plusieurs capteurs pour anticiper les défaillances à l'aide de modèles de machine learning.

Cette capacité à anticiper les pannes s'avère cruciale, car elle permet d'identifier des anomalies avant qu'elles ne se transforment en défaut majeurs, pouvant parfois avoir des conséquences désastreuses.

Agriculture et agroalimentaire

- **Agriculture de Précision** : surveillance temps-réel des cultures et gestion des ressources pour maximiser les rendements.
- **Robots Agricoles** : l'IA embarquée concourt à l'efficacité et la sécurité des systèmes d'automatisation des tâches agricoles répétitives telles que la plantation, la récolte et le désherbage

Transport, mobilité, logistique

- **Véhicules autonomes** : voitures, camions et drones autonomes sûrs et efficaces, grâce à des dispositifs de pilotage embarqués à réactivité quasi instantanée
- **Véhicules électriques** : optimisation du fonctionnement et de la durée de vie de la batterie, grâce à des algorithmes embarqués
- **Maintenance prédictive** : le véhicule peut anticiper, lui-même, les pannes ou les entretiens à effectuer, grâce à l'analyse intelligente des informations provenant des capteurs (ex : vibrations ou consommation anormales)
- **Reconnaissance des panneaux de signalisation** : les systèmes de vision intelligente embarquée permettent une lecture automatique des panneaux de signalisation, concourant ainsi à l'optimisation de la sécurité routière
- **Sécurisation des infrastructures de transport** : les anomalies (ex : fissures dans un pont, dysfonctionnement d'un système de ventilation d'un tunnel) peuvent être détectées, voire anticipées, grâce à des systèmes d'IA embarqués, implantés sur l'ensemble de l'infrastructure, y compris dans les sites sans raccordement à un réseau électrique.

Entreprise française : ST Microelectronics

Grâce aux technologies de l'entreprise ST Microelectronics, la sécurité des infrastructures ferroviaires est assurée par la détection précise, minutieuse et continue des éventuels dysfonctionnements (Vapérail).

Ce système génère une alerte instantanée à destination des équipes de maintenance, leur offrant la possibilité d'intervenir rapidement, vérifier, voire résoudre le défaut identifié.

Domotique, électroménager

- **Robots ménagers** : les aspirateurs autonomes ont déjà fait leur apparition dans les foyers. Les systèmes robotisés dotés d'IA embarquée devraient de développer dans les prochaines années et multiplier les fonctionnalités
- **Alarmes intelligentes** : les systèmes d'alarmes de nouvelle génération font la différence entre, par exemple, l'intervention de techniciens pour la maintenance et l'intrusion de voleurs ou squatteurs, sans nécessairement complexifier l'accès au logement

Startup française innovante : ARTIFEEL



La société Artifeel développe et commercialise le système « Check'In » qui, parmi ses applications possibles, offre aux gestionnaires de parcs immobiliers une efficacité en continu du système de détection des tentatives d'intrusion, une dissuasion des éventuels squatteurs (l'IA reconnaît et distingue les tentatives d'intrusions avant ouverture et agit de façon autonome en activant l'alarme et en notifiant en parallèle les premiers intervenants du schéma d'alerte : agent, télésurveilleurs, police...).

Artifeel, après moins de 4 ans après sa création, compte déjà, parmi ses clients, des grands comptes comme Securitas ou les HLM de Turin, Lyon et Marseille.

Loisirs/médias

- **Création de Contenus** : génération automatique de textes, d'images et de vidéos.
- **Recommandation de Contenus** : algorithmes de recommandation pour les plateformes de streaming.
- **Analyse de Sentiments** : suivi et analyse des réactions du public aux contenus médiatiques

Sécurité et Défense

- **Surveillance et Reconnaissance** : analyse des images et vidéos pour la sécurité nationale et la surveillance
- **Cybersécurité** : détection des menaces et réponses automatisées aux attaques informatiques
- **Systèmes de Défense Autonomes** : développement de drones et autres systèmes autonomes pour la défense.

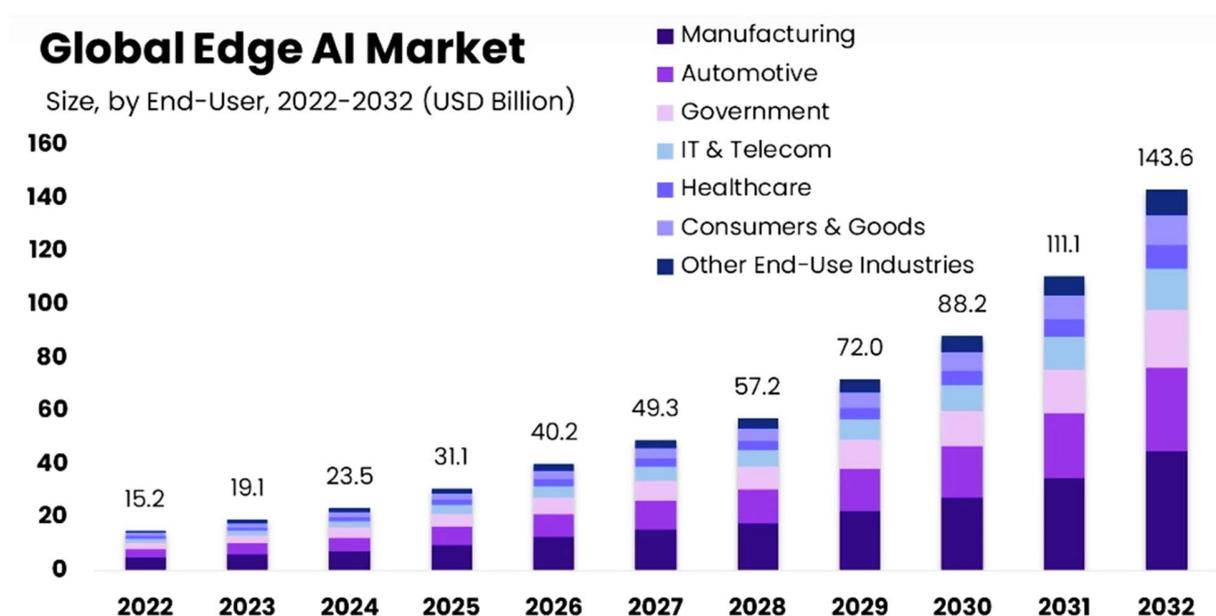
PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Un marché plus de 140 milliards de dollars en 2032

Le cabinet Gartner² prévoit que les technologies d'IA embarquée/*Edge computing* atteindront une maturité suffisante en 2024 pour rendre possible la commercialisation de « produits intelligents » à coût accessible.

La deuxième moitié de la décennie devrait ainsi voir la multiplication d'offres de produits et services « intelligents » adressant un grand nombre d'industries (voir illustrations de cas d'usage au chapitre suivant).

Selon une étude de Market.US (voir graphique ci-dessous), le marché devrait croître rapidement à partir de 2025 et atteindre les 140 milliards de dollars au niveau mondial d'ici 2032, soit un taux de croissance annuel de près de 26%.



Source : <https://market.us/report/edge-ai-market/>

² <https://www.gartner.com/en/documents/4850031>

Une opportunité pour les fabricants de produits électroniques/hardware

L'IA embarquée va constituer une opportunité majeure pour les fabricants de produits électroniques/hardware qui pourront doter leurs produits de fonctionnalités intelligentes et proposer des services innovants, à valeur ajoutée, potentiellement source de revenus récurrents. Leur évolution vers les métiers d'opérateur de services, constatée depuis l'avènement des technologies IoT, va se trouver amplifiée et générer une forte croissance.

ATOUTS DE L'IA EMBARQUÉE

Sécurité renforcée des données

Les technologies d'IA embarquée ou de *Edge Computing* permettent une confidentialité intrinsèquement renforcée des données personnelles. En effet, les données personnelles ne transiteront sur les réseaux de communication qu'après traitement et anonymisation. Par exemple, des images analysées le sont directement dans l'appareil de surveillance, sans être transmises à l'extérieur, protégeant totalement la vie privée.

Latence très faible

Ces technologies délivrent un service quasi instantanément, ce qui peut être crucial pour bien des applications (robotique, asservissement...). En traitant les informations de manière locale, elles n'ont pas besoin de communiquer d'informations vers un élément distant (ex : une infrastructure cloud) et d'attendre un retour - ce qui peut introduire (en fonction des technologies) des centaines de millisecondes, voire plusieurs secondes ou minutes.

Ultra-frugalité

Conçue pour être utilisée par des dispositifs contraints (produits mobiles ou sans accès à une source d'énergie constante), l'IA embarquée utilise une énergie très faible. Dès lors, ces technologies vont considérablement réduire l'impact environnemental de l'IA, à la fois directement, mais aussi indirectement grâce aux progrès induits sur la consommation des puces IA utilisées dans le cloud.

Utilisation efficace des ressources

L'IA embarquée va progressivement soulager les réseaux de télécommunication et les systèmes cloud. En effet, les objets connectés que nous utilisons aujourd'hui sont essentiellement des vecteurs d'accès ou de transmission de données brutes à des services distants, situés principalement dans le cloud. Compte tenu de leur multiplication exponentielle, même la 6G ne suffirait pas à acheminer l'ensemble du trafic qu'ils génèrent s'il n'y avait pas de délocalisation de l'intelligence pour traiter une grande partie des informations localement.

ENJEUX

Comme le montrent les cas d'usages cités en Annexe 1, l'IA embarquée offre aujourd'hui à la fois une opportunité de réinvention des offres matérielles et produits et également un défi de complexité face auquel l'action publique peut se révéler un facteur clé de dynamisme de l'écosystème.

En misant sur le secteur des produits *hardwares* dotés d'IA embarqué, la France gagnera sur de nombreux tableaux :

Contribution à la réduction de l'empreinte écologique de l'IA

Les applications d'IA embarquée fonctionnent dans des environnements nécessitant de très basses consommations énergétiques. Dès lors, les développements de technologies hardware et software d'IA embarquée frugale sont appelés à diffuser dans tout l'écosystème IA, contribuant ainsi à réduire l'empreinte écologique de celui-ci.

Décarbonation de nos sociétés

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, il n'y a pas d'autre choix que d'agir sur le réel. Les produits hardware font partie des solutions à mettre en œuvre pour répondre aux grands défis environnementaux.

Renforcement de notre industrie logicielle

Les secteurs software et hardware vont devenir davantage interdépendants avec l'avènement des produits *hardwares* dotés d'IA. Dès lors, des milliers d'emplois du secteur du logiciel seront sécurisés en identifiant l'industrie hardware comme étant également une priorité pour notre pays et pour l'Europe.

Dynamisation du secteur des services utilisant les données

Les données vont de plus en plus être stockées et traitées dans les produits hardware. Il s'agit là d'une opportunité unique pour que notre pays reprenne un avantage sur le marché des services et bénéficie de nouveaux gisements de valeur liés à l'exploitation des données.

Réduction des coûts des collectivités locales

L'automatisation de certaines tâches de maintenance, supervision et surveillance des infrastructures publiques peut, à elle seule, constituer un levier significatif pour la réduction des coûts supportés par les collectivités.

Création de milliers d'emplois

Le secteur de l'électronique fait aujourd'hui partie des secteurs clés de la réindustrialisation de la France. Ainsi, selon le rapport de la DGE de mai 2024 « où en est la réindustrialisation de la France ? »³, les secteurs de l'électricité et de l'électronique enregistrent la plus forte progression des emplois industriels dans notre pays entre 2016 et 2019.

L'avènement de l'IA embarquée constitue une opportunité majeure pour accompagner cette tendance et permettre, d'ici quelques années, la création de milliers d'emplois sur notre sol⁴.

Réduction du déficit de la balance commerciale

Le secteur des biens électroniques constitue un vecteur important pour résoudre le problème de déficit de la balance commerciale que connaît la France depuis près de vingt ans. Les importations de produits informatiques et électroniques sont l'un des postes qui ont le plus augmenté en 2021 en représentant 1/4 du déficit total de la balance commerciale de notre pays.

³ <https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/etudes-et-statistiques/2024-themas-dge-n20.pdf>

⁴ En supposant que la France capte 1% du marché mondial des produits intelligents évalué en p.6 (hypothèse conservatrice car 1% est sa part de marché actuelle), son industrie électronique verrait son CA augmenter de 1,4 milliards d'euros d'ici 2032, soit 10% de son chiffre d'affaires actuel, ce qui peut laisser penser que le nombre d'emplois (200 000 emplois aujourd'hui selon la Filière Electronique) augmenterait de 10% soit environ 20 000 emplois directs, auxquels s'ajouteraient des milliers d'emplois indirects et induits.

Préservation de la souveraineté de la France

L'actualité récente n'a cessé de nous alerter sur les enjeux en termes de souveraineté de l'électronique pour notre pays. La crise du Covid a été un révélateur de l'importance majeure de ce secteur pour le secteur médical notamment.

OPPORTUNITÉS POUR LA FRANCE

Un secteur bénéficiant de nombreux atouts

La France bénéficie d'atouts significatifs dans le domaine des produits électroniques :

- **créativité forte** en matière de conception de produits innovants, comme nous pouvons l'observer chaque année au CES de Las Vegas ou à Vivatech
- **savoir-faire** dans le domaine des produits hardware, grâce à une filière électronique solide et expérimentée
- **industrie logicielle forte** qui peut accompagner la révolution de l'IA embarquée
- **conscience écologique forte** des concepteurs et industriels français de produits électroniques, qui répond à l'attente des clients
- **forte sensibilité au respect de la vie privée** et au traitement responsable des données personnelles des utilisateurs

Une opportunité à ne pas rater

La France bénéficie aujourd'hui d'une fenêtre d'opportunité unique dans le secteur des produits électroniques qu'elle ne doit pas rater. Nous assistons à un « alignement des étoiles », c'est-à-dire une convergence de plusieurs facteurs clés de succès (cf atouts rappelés précédemment), comme nous n'en avons pas connu depuis au moins 20 ans.

Nous pensons qu'il est urgent de prendre conscience de cette « fenêtre d'opportunité » et de la saisir sans attendre pour créer de la valeur et des emplois sur notre sol.

PROPOSITIONS

Identifier l'industrie hardware comme l'une des priorités nationales et rétablir la confiance des investisseurs

D'une manière générale, la France n'a pas jusqu'ici identifié l'industrie hardware comme l'une de ses industries clés et, par conséquent, les investisseurs croient peu aux projets innovants portés par les startups et PME/PMI françaises.

Nous pensons qu'il convient d'inverser radicalement cet état de fait et **d'identifier l'industrie des produits finis électroniques comme l'une des priorités de notre pays.**

Cela pourrait passer par une communication massive des pouvoirs publics consistant à :

- promouvoir et valoriser les startups et françaises de produits hardware innovants à base d'IA embarquée, en France et à l'international
- rétablir la confiance des investisseurs privés dans ce secteur, en montrant les opportunités fortes que le secteur rend à présent possible grâce à l'essor attendu de l'IA embarqué

Favoriser l'investissement public et privé dans les projets de développement et dynamiser l'industrialisation de produits finis électroniques en France et en Europe

Nous appelons de nos vœux la mise en place d'une politique favorable à l'investissement public et privé dans les projets de développement et d'industrialisation de biens contenant de l'électronique, secteur qui représente des enjeux stratégiques significatifs pour notre pays et pour l'Europe.

Pour être pleinement efficace, cette politique devrait tenir compte des spécificités du secteur (échelle de temps des projets, niveaux d'investissement, réglementation, etc.) et inciter à la prise de risque des acteurs.

Notamment, nous proposons de mettre en place les mesures suivantes :

- **Stimuler la croissance de secteur stratégique des produits hardware innovants** : comme rappelé précédemment, ce secteur est en effet, d'un enjeu vital pour une nation. Dans d'autres parties du monde, des Etats en ont conscience et apportent des aides directes et indirectes à cette industrie. Nous pensons qu'il est temps que la France et l'Europe s'inspirent de ces politiques industrielles volontaires pour ne pas se retrouver définitivement distancées et dépendantes d'autres régions du monde. Par exemple, une politique d'aide à l'innovation pourrait être mise en place, sous la forme de subventions publiques et de fonds d'investissements alimentés par l'épargne populaire, stimulée par des incitations fiscales, et les acteurs institutionnels. Une telle politique gagnerait à être orientée vers les bénéfices attendus des innovations plutôt que vers des filières technologiques, en laissant aux startups et PME innovantes le choix des technologies et des fonctionnalités qu'elles utilisent et en se concentrant uniquement sur la proposition de valeur.
- **Créer un outil permettant de réduire le risque pris par les partenaires industriels vis-à-vis des startups et PME hardware innovantes** : la création de nouvelles usines a peu de sens dans notre secteur. En effet, les entreprises françaises de produits électroniques innovants ont à leur disposition un écosystème et des outils industriels très riches leur permettant d'industrialiser leur produit en France bien plus rapidement et sûrement qu'en créant leur propre usine. Plutôt que de subventionner la création de nouvelles usines, nous pensons qu'il serait, au contraire, opportun d'encourager les startups et PME de produits hardware innovants à nouer des partenariats avec des sous-traitants industriels afin de gagner en compétitivité. Il faut, pour cela, à la fois favoriser la mise en réseau des entreprises du secteur mais aussi, et surtout, mettre en place un mécanisme permettant de réduire les risques financiers encourus par les sous-traitants lorsqu'ils contractent avec des jeunes entreprises pour la pré-industrialisation ou l'industrialisation de leurs produits. Un tel dispositif devrait bien entendu être assorti d'engagements réciproques des entreprises concernées. Il pourrait être confié à la BPI et s'inspirer, par exemple, de l'expérience de la Coface en matière de couverture de risque export.
- **Créer un dispositif visant à privilégier, dans les commandes publiques, les solutions innovantes créées par des startups et PME innovantes françaises**. En effet, les startups et PME ont besoin de clients et notamment de clients bienveillants à l'égard de leur démarrage. Dès

lors, plutôt que de passer commande auprès d'acteurs historiques, les acheteurs publics pourraient être utilement incités à passer commande auprès des startups et PME innovantes nationales. Un tel dispositif existe déjà aux Etats-Unis⁵ pour répondre à la fois aux besoins des administrations et structures publiques et aux objectifs de politique industrielle.

De tels signaux dynamiseraient notre écosystème tout entier et permettraient de rassurer les investisseurs privés, en montrant la volonté de notre pays de faire émerger, dans les prochaines années, des champions mondiaux sur notre sol.

Aider et structurer l'écosystème des biens électroniques et technologiques français

Nous pensons que la réussite de l'industrie des biens électroniques innovants français passera nécessairement par une aide et une structuration de la filière, avec le concours des pouvoirs publics. La dominance actuelle de l'Asie s'explique, en grande partie, par son écosystème très organisé et très informé, dont nous devrions nous inspirer.

Nous proposons que l'association Hardware France et les organisations professionnelles représentatives des métiers de l'écosystème des biens électroniques soient mandatées pour constituer une plateforme d'échanges propre à ce secteur et mettre en réseau les acteurs.

En mettant en œuvre ces actions, nous pensons que les conditions essentielles seront réunies pour libérer les énergies et faire en sorte que l'excellence de notre écosystème se traduise par des succès et de la croissance.

⁵ Dispositifs IRA et Buy American Act

ANNEXES

ANNEXE 1 - DEVELOPPEMENT ET INTEGRATION DU MACHINE LEARNING

Dès lors que l'on intègre à son produit un algorithme d'apprentissage automatique, celui-ci aura deux grandes phases de vie :

- La mise en place d'un algorithme
- Son monitoring et sa maintenance.

En effet, davantage encore que pour un produit électronique traditionnel, « après le premier déploiement de votre produit sur le terrain vous n'êtes peut-être qu'à mi-chemin de l'objectif. Un travail considérable reste à faire en matière de surveillance et de maintenance du système » (Andrew Ng, fondateur de LandingAI et DeepLearning.AI). En voici les deux raisons principales d'après Andrew Ng :

Dérive de données : Votre modèle a été entraîné avec un certain jeu de données, mais les données entrantes peuvent changer avec le temps. Par exemple, un modèle peut avoir appris à estimer la demande d'électricité à partir de données historiques, mais le changement climatique provoque des changements météorologiques sans précédent, de sorte que la précision du modèle se dégrade.

Dérive conceptuelle. Le modèle a été entraîné pour apprendre une cartographie $x \rightarrow y$, mais la relation statistique entre x et y change, de sorte que la même entrée x exige désormais une prédiction y différente. Par exemple, un modèle qui prédit les prix des logements en fonction de leur superficie en mètres carrés perdra en précision à mesure que l'inflation entraînera une hausse des prix.

Ce qu'il faut retenir, c'est que **le développement de votre produit nécessitera peut-être une charge de travail supplémentaire après les premières livraisons.**

Intéressons-nous maintenant à la première phase, celle du développement de l'algorithme.

Pour savoir combien coûte son développement, regardons comment il est conçu.

On considère généralement qu'il se fait en **5 grandes étapes** :

Collecte de données

C'est l'enregistrement ou la récupération de données brutes issues des capteurs, correspondant aux cas d'usage cibles.

Par exemple, pour détecter la défaillance d'un moteur, on pourra choisir d'utiliser un accéléromètre fixé à un endroit stratégique sur le moteur pour détecter des anomalies vibratoires. Ces données seront fournies après traitement au modèle de machine learning, pour qu'il en extrait les règles qui permettent de distinguer les informations qui nous intéressent, l'anomalie vibratoire du moteur par exemple.

Pré-Traitement des données

Les données brutes sont transformées pour en extraire les données utiles et les formater de manière efficace.

Cela peut inclure des étapes telles que le nettoyage des données, la normalisation, le filtrage, la création de données synthétiques qui ressemblent aux données réelles (augmentation de data), la création et l'extraction de nouvelle feature, c'est à dire d'informations caractéristiques du problème qu'on cherche à résoudre. Par exemple, le spectre des fréquences des vibrations du moteur sera probablement utile pour aider à caractériser la vibration.

Développement du modèle de Machine Learning

La création ou la modification d'un modèle existant, son entraînement, son optimisation.

Les choix faits ici sont issus d'un compromis entre performance de l'algorithme et ressources utilisées sur la puce cible. Cette étape complexe requiert une expertise approfondie en intelligence artificielle, notamment la contribution essentielle d'un data scientist.

Évaluation du modèle

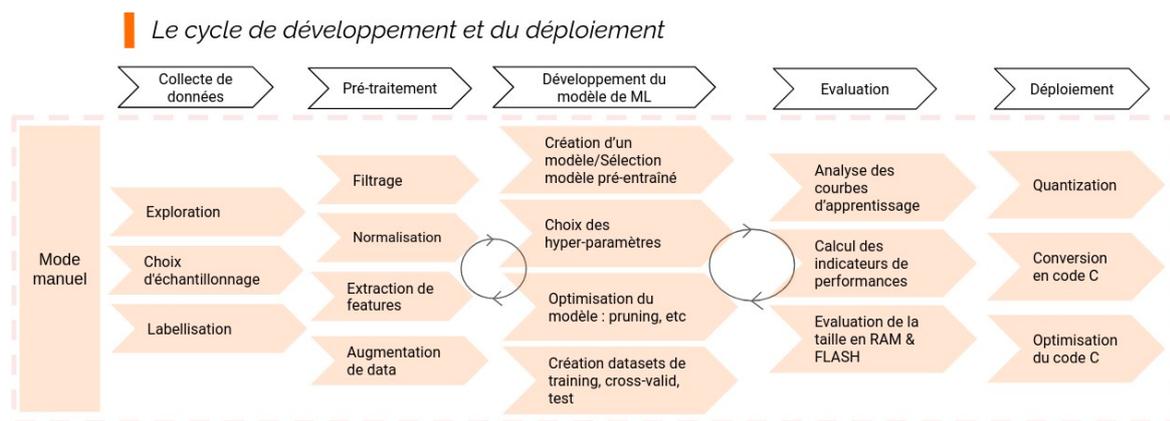
Analyse de la précision, de la robustesse et de l’empreinte mémoire (RAM et Flash). Si les résultats de cette étape ne sont pas concluants, les étapes précédentes doivent être répétées.

Déploiement

Dans cette dernière étape, l’algorithme est converti en langage C/C++ et optimisé pour la plateforme cible.

Chacune de ces grandes étapes en regroupent en fait de nombreuses autres, exigeant chacune des décisions techniques importantes. Il y a généralement plusieurs aller-retours entre chaque étape tout au long du développement, pour affiner ou reprendre les choix faits précédemment.

Le développement complet d’un système représente donc une charge de travail très lourde, nécessitant des compétences fortes dans différents domaines.



Certaines tâches comme les choix d'échantillonnage lors de la Collecte de données, ou le Filtrage dans la phase de prétraitement, demandent des connaissances en traitement du signal.

D'autres sont spécifiques au machine learning⁶, et demandent une certaine expérience pour les aborder. Nous n'allons pas les décrire ici, mais elles sont le cœur du système, leur maîtrise permet de s'adapter à un maximum de cas d'utilisation et optimiser au mieux la solution.

⁶ A noter l'auto-ML est une solution pour développer rapidement les projets d'informatique embarquée.

ANNEXE 2 - LES CONTRIBUTEURS

STEPHANE ELKON

Ancien Directeur Général de l'organisation professionnelle qui représente, en France, les grands équipementiers et fabricants d'équipements « hardware » électroniques, l'AFNUM, il participe, depuis plus de 20 ans, à l'élaboration des réglementations de ce secteur et en maîtrise les modalités.

Depuis 2018, il aide les entreprises hardware (startups, PME/PMI, grands groupes) à répondre à leurs obligations réglementaires sectorielles.

En 2022, il a co-créé l'association Hardware France avec Guillaume Gourdin, entrepreneur hardware, fondateur de Prisme Technologies et Prisme Studio.

CHARLY HAMY

X-Telecom, spécialisé en architecture IoT depuis près de 15 ans, Charly a fait ses armes comme développeur puis leader technique *cloud* chez Orange, architecturant des solutions de bout en bout pour l'industrie, la santé, le transport, dont la plateforme IoT groupe *Live Objects*.

Il rejoint en 2018 le studio produit Rtone, mettant ses compétences au service de projets mariant logiciel et *hardware* pour le compte de clients PME/ETI et grands groupes français.

Au poste de CTO depuis 2020, il assure l'animation et coordination des nombreux métiers Rtone dans l'amélioration continue des compétences, outils et process, et guidant la veille stratégique et technologique.

ANNEXE 3 - A PROPOS

HARDWARE FRANCE

Hardware France est une association créée en 2021 qui réunit les fabricants français de produits hardware et leur écosystème. Elle compte aujourd'hui une quarantaine de membres. Elle a pour objectif de rassembler cette profession, développer les mutualisations, promouvoir et accroître l'attractivité du métier.

RTONE

Rtone est un studio français de développement de produits qui s'appuie sur une équipe de plus de 100 ingénieurs aux spécialités multiples pour proposer une offre sur-mesure et complète.

Rtone accompagne ses clients dans l'étude, la conception, l'industrialisation, la production et la maintenance de solutions innovantes, intelligentes et connectées. Il est notamment membre de Hardware France.

En regroupant les expertises clés en interne, telles que la mécanique, le hardware, le firmware, le cloud, la cybersécurité, le mobile et la R&D, Rtone propose une approche globale pour concrétiser la vision de ses clients, avec un seul objectif : amener leur produit à prendre vie et répondre aux attentes de ses utilisateurs.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier l'ensemble des adhérents de Hardware France pour leur contribution à cette réflexion, et tout particulièrement Alain Staron, qui l'a initiée, Anne-Lise Marco (Artifeel), Alain Sirois (Wisear) et Nicolas Turpault (Sonaide).