

# ➤ Data

LIVRE BLANC

# L'IA EMBARQUEE : DU NUMERIQUE RESPONSABLE 'BY-DESIGN'

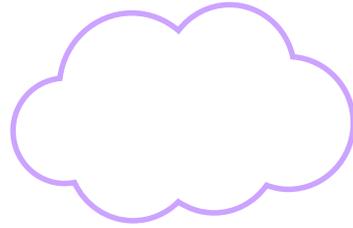
— Avril 2022



Une activité de



**KLEE  
GROUP**



# SOMMAIRE

<b>Le Numérique Responsable : Kesako ?</b>	<b>P. 4</b>
<b>Pourquoi l'Intelligence Artificielle embarquée ?</b>	<b>P. 6</b>
<b>L'IA embarquée : mieux comprendre les enjeux</b>	<b>P. 8</b>
<b>L'IA embarquée : un marché porteur</b>	<b>P. 11</b>
<b>IA embarquée : 4 réalisations inspirantes</b>	<b>P. 13</b>
<b>L'IA embarquée, un domaine d'expertise de Klee Innovative Services</b>	<b>P. 18</b>



# 01

## LE NUMÉRIQUE RESPONSABLE : KESAKO ?





A l'heure où le « numérique responsable » est un sujet porteur, les innovations permettant au digital d'être plus responsable se multiplient. Un sujet d'actualité, auquel le public accorde une importance croissante.

Mais le numérique responsable, c'est quoi ? Selon la définition donnée par la Chambre de Commerce et D'industrie, le Numérique Responsable est « une démarche d'amélioration continue qui tente de réduire l'empreinte écologique, économique et sociale des technologies de l'information et de la communication ».

Malgré tous les bénéfices qu'il apporte, le numérique a effectivement un coût social et environnemental important : en 2021, c'est 4% des émissions mondiales de Gaz à Effet de Serre ! Pire encore, ce chiffre devrait doubler d'ici 2025 !

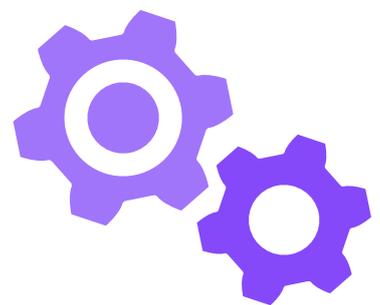
En outre, la « fracture numérique » (L'accroissement de l'écart à l'accès aux technologies de l'information) est bien réelle : entre pays du nord et pays du sud, entre zones urbaines et zones rurales, entre différentes catégories sociales et même entre genres !





En effet, selon le Conseil des droits de l'homme, la majorité des 3,7 Milliards de personnes non connectées dans le monde sont des femmes et des filles, provenant principalement de zones pauvres et rurales. Enfin, les nouvelles technologies font courir un risque au respect à la vie privée de l'individu, comme le montre le scandale de Cambridge Analytica : les données personnelles de 87 millions d'utilisateurs de Facebook ont été exploitées par le cabinet de conseil !

En Europe, l'adoption du Règlement Général sur la Protection des Données en 2018 a donné le ton : l'année dernière, la Chine a adopté la « Personal Information Protection Law », en quelque sorte un « RGPD made in China ». Impact environnemental, accès au numérique, données privées ... le message est clair : le numérique de demain devra **respecter l'environnement**, le **droit à la vie privée**, et être **accessible au plus grand nombre**. L'IA embarquée peut contribuer à remplir ces trois objectifs, comme nous allons le montrer.



# 02

## POURQUOI L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EMBARQUÉE ?





L'Intelligence Artificielle embarquée est une mouvance récente dans l'histoire de l'IA qui, en plus d'offrir des perspectives de progrès technologique enthousiasmantes, a de nombreux arguments à faire valoir en tant que solution adaptée aux problématiques contemporaines mentionnées ci-dessus. Les bénéfices apportés par l'IA embarquée sont légion : consommation énergétique drastiquement réduite, privacy « by-design », démocratisation de l'IA... la RGPD indique d'ailleurs que d'ici 2025, 80% des données devraient être traitées directement sur les capteurs concernés (contre 20% aujourd'hui).

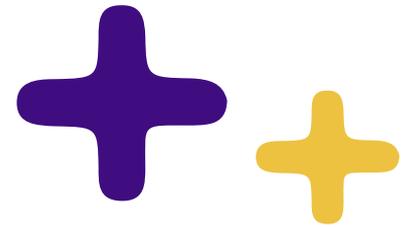
Par ailleurs, cette technologie est en forte croissance : d'ici 2030, l'IA embarquée devrait représenter un marché mondial de plus de 100 Milliards de Dollars. Mais qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle Embarquée ?



# 03

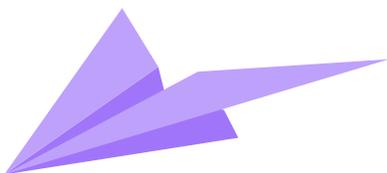
## L'IA EMBARQUÉE : MIEUX COMPRENDRE LES ENJEUX





Avec chaque année qui passe, les modèles « State Of The Art » en Intelligence Artificielle réalisent de nouvelles prouesses. Par exemple, AlphaGo, l'algorithme développé par Deepmind (une filiale de Google), qui, en 2015, a battu le champion européen au jeu de go : 5 victoires à zéro ! On peut aussi citer l'IA développée en 2019 par IBM et l'université de Haïfa (Israël), qui permet de détecter un cancer du sein un an avant qu'une confirmation par biopsie soit possible, et ce avec une précision de 87% !

Mais ces progrès ont un coût : de plus en plus imposants, les modèles d'IA consomment énormément de ressources de calcul pour être entraînés. A titre d'exemple, GPT-3, un modèle d'IA à la pointe en Traitement du Langage, comporte 175 milliards de paramètres. Son entraînement a consommé l'équivalent de 126 ans de consommation énergétique pour un foyer danois. Dans un contexte de dérèglement climatique croissant, réduire l'empreinte énergétique de l'IA est une nécessité.



C'est là qu'entre en jeu l'IA embarquée. Embarquer l'IA sur du matériel dédié, cela implique de se passer du Cloud Computing pour traiter ses données. En cela, l'IA embarquée rentre dans le champ de l'Edge AI. Mais la distinction est plus poussée : alors qu'avec l'Edge AI, on peut envoyer les données sur des serveurs proches (« on-premise servers »), l'IA embarquée (alias « Embedded AI » dans la langue de Shakespeare) suppose expressément de traiter ces données directement au niveau des capteurs concernés. A cet effet, il existe des techniques de réduction des réseaux de neurones (comme la « quantization ») qui permettent d'utiliser ces modèles d'IA sur du matériel modeste, comme un smartphone par exemple.

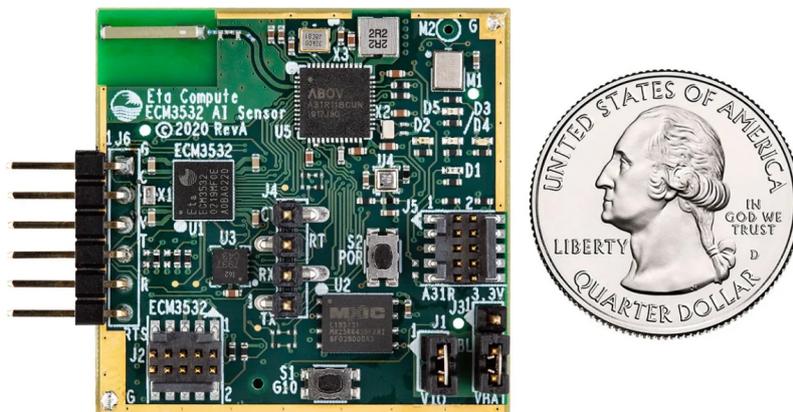


Figure 1 – Un microcontrôleur avec IA embarquée

Ainsi, au lieu d'avoir besoin d'un PC surperformant pour exploiter une IA, nous pouvons nous contenter d'un mini-PC, voire d'un microcontrôleur. Ainsi, la consommation énergétique est grandement réduite. D'ailleurs, les microcontrôleurs constituent un sous-domaine spécifique de l'IA embarquée : c'est le « TinyML ». Ce sous-domaine est défini par le fait que le matériel concerné consomme au maximum une puissance de 1 milliwatt. A titre de comparaison, un smartphone a une puissance électrique comprise entre 100 milliwatts et 1 watt. Pour un ordinateur portable, ce chiffre s'élève à 50 à 100 watts.

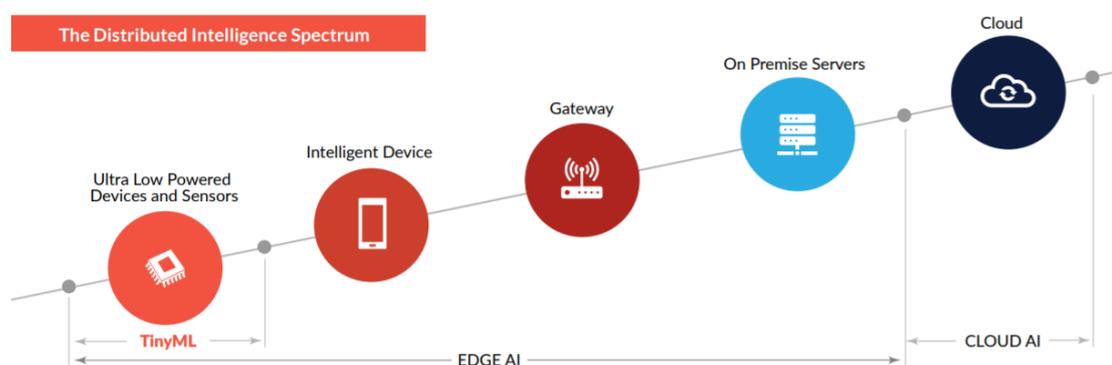


Figure 2 - TinyML, Edge AI et Cloud Computing

**[Source: TinyML, the Next Big Opportunity in Tech \(ABI Research\)](#)**

Avec l'IA embarquée, l'IA passe d'un paradigme où les données sont amenées au modèle d'IA (par exemple, en faisant remonter des quantités de données dans le Cloud pour les traiter) à un paradigme où le modèle d'IA est « amené » aux données : nous plaçons des capteurs intelligents comportant de l'IA embarquée au niveau de la donnée à traiter.

# 04

## L'IA EMBARQUÉE : UN MARCHÉ PORTEUR

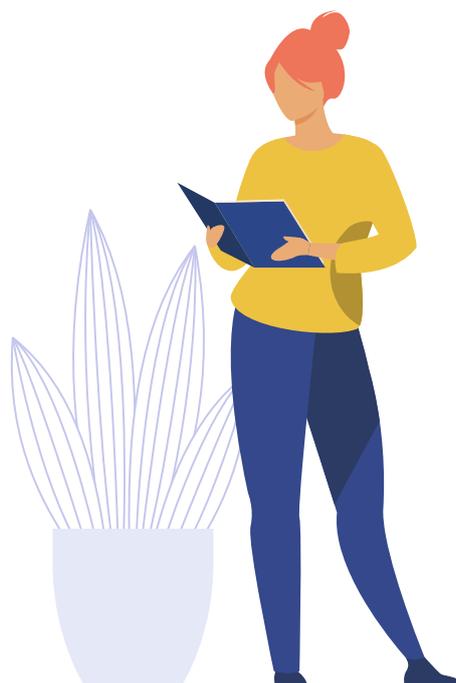




L'IA embarquée est une technologie dont le développement sera en partie porté par l'IoT : l'Internet Of Things, c'est autant d'objets que l'on peut rendre « smart » en y embarquant de l'IA.

Selon un rapport d'ABI Research, le nombre de connexions IoT devrait tripler d'ici 2026, pour atteindre 23.6 milliards d'objets. Le nombre d'objets « AIOT » devrait lui atteindre 2.5 milliards en 2030 (contre 15 millions en 2020, soit 160 fois plus !), avec des applications dans de très nombreux domaines : santé, industrie, villes intelligentes, agriculture, cybersécurité, secteur automobile, production et distribution de l'énergie, environnement... autant de perspectives d'innovation prometteuses !

Pour mieux comprendre les avantages apportés par l'IA embarquée, voici quatre réalisations innovantes en lien avec les problématiques de respect de l'environnement, de droit à la vie privée et de démocratisation de l'IA que nous avons soulevées plus haut.



# 05

## IA EMBARQUÉE : 4 RÉALISATIONS INSPIRANTES





## L'Intelligence Artificielle embarquée au service du secret médical

Pour tout individu diabétique, la prise en charge de sa pathologie induit une charge mentale importante : évaluation quotidienne du taux de glycémie, injection d'insuline...

Avec l'IA embarquée, il devient possible d'automatiser en grande partie ces tâches, à l'aide de capteurs de glucose intégrés au bras du patient, et d'une pompe à insuline : un pancréas artificiel. L'IA embarquée située par exemple au niveau d'un smartphone dédié, peut déterminer les quantités d'insuline à injecter au patient : le traitement est automatisé et personnalisé.

Le caractère embarqué de cette IA permet de s'assurer du respect de la vie privée des patients : leurs données médicales ne sont envoyées nulle part.

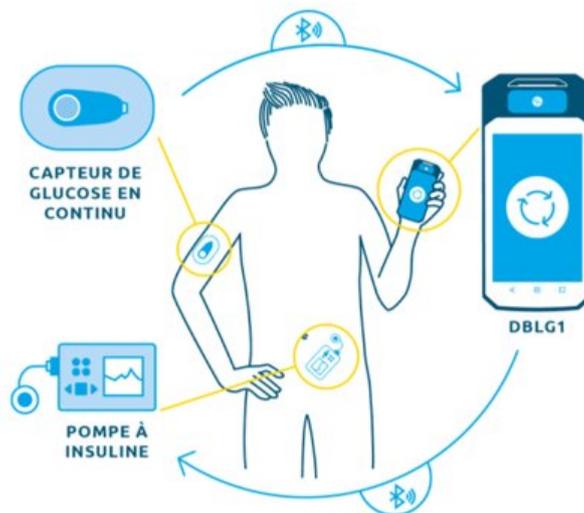


Figure 3 – La solution proposée par Diabeloop



## L'IA embarquée pour défendre l'environnement

Les capteurs intelligents embarquant de l'IA peuvent être utilisés pour exploiter des types de données variés, comme du son par exemple. Dans le cas de la **protection de l'environnement**, l'IA embarquée peut permettre de lutter contre la déforestation. En effet, on peut entraîner une IA embarquée à détecter le bruit de tronçonneuses, de camions, de voitures... Ce même appareil peut aussi posséder la connectivité nécessaire pour alerter en temps réel les autorités compétentes.



Figure 4 - La solution développée par RainForest Connection

## Assistants vocaux : respecter la vie privée grâce à l'IA embarquée

La voix est un puissant marqueur biométrique : avec un enregistrement de 10 secondes seulement, un programme peut apprendre à reconnaître la voix d'un individu, et ce pour toute sa vie. Dès lors, on peut comprendre la défiance parfois constatée envers les assistants vocaux (comme « Alexa » de l'entreprise Amazon), qui peuvent envoyer les commandes vocales reçues dans le Cloud, là où la sécurité des données peut être compromise.

Mais il existe aussi des assistants vocaux ne fonctionnant que de façon embarquée, sans faire appel au Cloud. Ces solutions sont **plus respectueuses de la vie privée**, au prix de fonctionnalités légèrement moins nombreuses ou personnalisées.

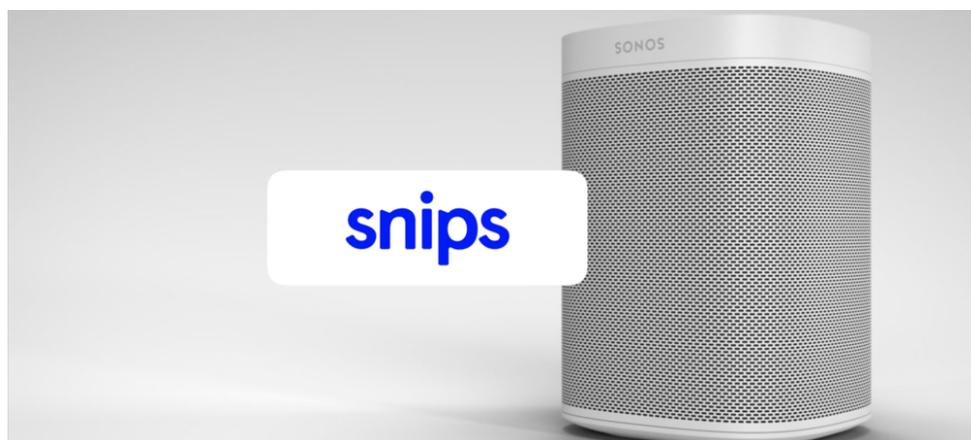


Figure 5 - Snips et Sonos, fabricants d'assistants vocaux avec IA embarquée



# Démocratiser l'IA par l'embarqué

Aujourd'hui, environ 90% de la planète a accès à l'électricité, et 60% de la population mondiale a accès à Internet. Dès lors, on peut supposer que bien moins de la moitié de la planète peut profiter des bénéfices apportés par l'IA. L'IA embarquée pourrait permettre de lutter contre l'inégalité d'accès à la technologie : en embarquant de l'IA sur des appareils indépendants (comme des microcontrôleurs, qui fonctionnent plusieurs années avec une pile et n'ont pas besoin de prise électrique), on peut développer des capteurs intelligents, qui peuvent être utilisés dans des régions n'ayant même pas accès à l'électricité ! Par exemple, un capteur intelligent permettant d'évaluer si une eau est potable ou non, ou bien une IA permettant de surveiller le développement d'espèces endémiques, comme des moustiques porteurs de maladies diverses. Pour faciliter cette démocratisation de l'IA, il existe des plateformes permettant de télécharger une IA sur un matériel, sans connaissances préalables.

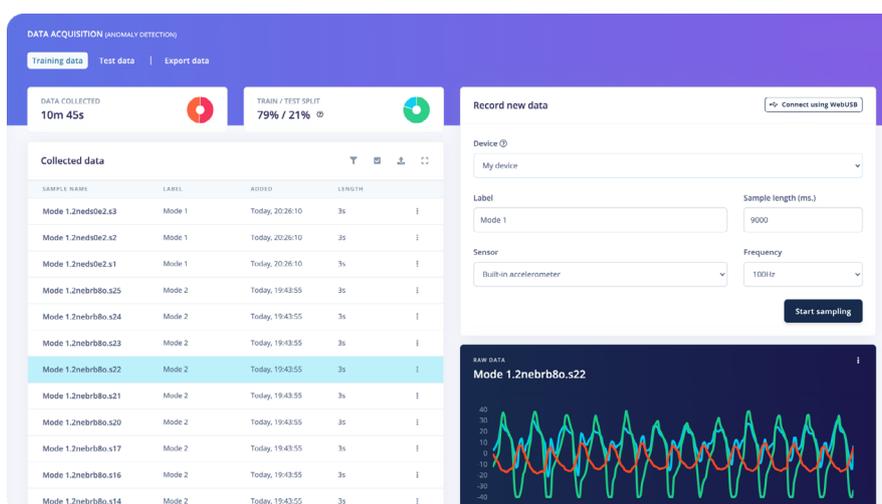
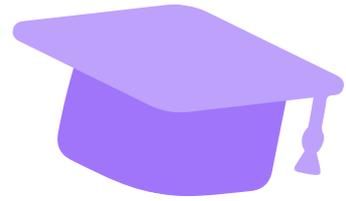


Figure 6 - La plateforme Edge Impulse



Le numérique responsable est une thématique de première importance pour Klee Group. De par son expertise historique dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie et des transports - autant de domaines où l'IA embarquée aura un fort impact - Klee Group s'est positionné sur ce segment d'activité, promesse d'innovation.

# 06

## L'IA EMBARQUÉE, UN DOMAINE D'EXPERTISE DE KLEE INNOVATIVE SERVICES





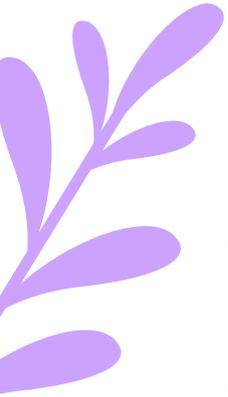
Soucieux de toujours mieux répondre aux besoins de ses clients, Klee Group a investi sur l'IA embarquée. En 2021, dans le cadre d'un partenariat avec une entreprise française, un capteur intelligent a été développé afin de répondre à son besoin d'innovation : une caméra « intelligente », pouvant reconnaître et dénombrer personnes et/ou véhicules, le tout embarqué dans un boîtier de taille réduite, à faible consommation énergétique, et pour un coût très réduit (150€ !).

L'utilisation de l'Infrarouge permet au capteur de fonctionner aussi sans luminosité, de nuit. Cet appareil possède de plus la connectivité Wifi, et 4G. Les progrès effectués en Computer Vision ces dernières années, ainsi que le développement de hardwares toujours plus efficaces (des marques Nvidia et Coral notamment) ont permis le développement de cet appareil.



Figure 7 – Un exemplaire de la caméra Intelligente développée



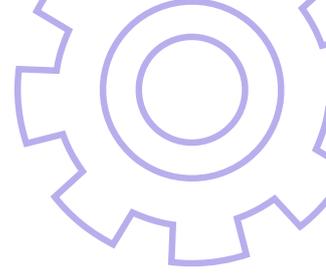


Ce capteur intelligent, de petite taille, permet de compter en direct des individus ou véhicules, et ce avec une précision supérieure à 95% ! Des recherches sont en cours pour rendre ce prototype robuste au fonctionnement en conditions météorologiques difficiles (pluie, vent, brouillard), notamment via l'utilisation de réseaux de neurones plus complexes et le prétraitement des images. L'espace mémoire disponible peut permettre par ailleurs d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires : détermination de la direction et de la vitesse des individus ou véhicules, reconnaissance du sexe ou de l'âge.

L'intérêt du TinyML pour ce cas d'usage ? Tout d'abord, le respect de la vie privée : les images ne sont pas enregistrées, mais traitées à la volée par l'IA, et aussitôt oubliées. Seuls les résultats (comme le nombre de véhicules ou d'individus comptés sur la journée) sont gardés en mémoire, et peuvent être transmis via Wifi ou 4G au destinataire pertinent. De plus, cette solution embarquée consomme peu d'énergie comparativement à une solution non embarquée, qui supposerait une architecture conséquente (envoi des données, traitement à distance).

Ce cas d'usage peut être généralisé sans difficulté à tout objet devant être reconnu et/ou dénombré : seul le modèle d'IA doit être re-entraîné, le matériel reste adapté. En effet, il est possible de télécharger n'importe quel réseau de neurones sur ce matériel, pourvu de respecter l'espace mémoire disponible et de réaliser les conversions de format nécessaires (en passant par le format ONNX : Open Neural Network Exchange). Grâce aux méthodes de Transfer Learning et de Few Shot Learning, il est ainsi possible de re-entraîner le modèle de détection à détecter n'importe quel objet spécifique, à condition d'avoir à sa disposition plusieurs images ou photos de l'objet en question.





Ce dernier point permet d'ailleurs de souligner la structure tripartite de l'IA embarquée : Hardware / Software / IA. Le software est ce qui permet de lier le modèle d'IA au matériel concerné. Dans le cas présenté ci-dessus, c'est TensorRT (de la marque Nvidia) qui joue ce rôle, en permettant de télécharger le réseau de neurones sur le Jetson Nano, un matériel choisi pour sa robustesse, ses performances de calcul impressionnantes et son coût réduit.

Une fois maîtrisées les méthodes de « tyinification » des réseaux de neurones, il est possible (via le format .onnx) de l'installer sur le Jetson Nano, via le Framework TensorRT. Ainsi, un capteur intelligent peut être amélioré au cours de sa vie, en modifiant l'IA qu'il embarque. Plusieurs softwares permettant de faire de l'IA embarquée existent : en plus de TensorRT de Nvidia, nous pouvons citer TensorFlow Lite et TensorFlow Lite Micro, de l'entité éponyme.

Par ailleurs, Klee Group mène une collaboration avec l'école d'ingénieur CentraleSupélec, dans l'objectif de développer plusieurs capteurs intelligents : contrôle automatique de la qualité sur une chaîne de production (computer vision), détection d'objets intrus sur une chaîne de tri automatique (rayons X), traitement audio pour la détection d'évènements significatifs (smart buildings).

Enfin, Klee Group s'est intéressé à de nombreuses réalisations en IA embarquée, touchant à différents domaines d'activité : médical, industrie 4.0, smart spaces, hardware, software, agriculture, automobile, ecosystem monitoring, smart grids... Vous souhaitez savoir si l'IA embarquée peut permettre de booster l'innovation de votre activité ? N'hésitez pas, contactez-nous !



LIVRE BLANC

# L'IA EMBARQUEE : DU NUMERIQUE RESPONSABLE 'BY-DESIGN'



## > Data

### CONTACT

#### Klee Group

Rue de la Boursidière - Bâtiment N  
92350 Le Plessis-Robinson, France  
+33 (0)1 58 29 25 25

[www.kleegroup.com](http://www.kleegroup.com)

### NOUS REJOINDRE

Découvrez nos offres de stages et  
nos offres d'emploi et postulez  
[en ligne !](#)

### NOUS SUIVRE

