**WS1: Find your research topic and make a literature**

**review**

**Arthur ALLIE - Elysé RASOLOARIVONY - M2 BD ML APP - EFREI Paris - 2022/2023**

**—**

**Sujet :** *Reconnaissance et classification de l'espèce (faune puis flore) en milieu forestier, sur des espaces de chasse, à des fins de sauvegarde.*

→ Double approche : ***Détection gestuelle*** *et de* ***signaux sonores****, d’après l’étude de formes d’ondes émises par les espèces en temps-réel, par le biais d’un algorithme de classification par apprentissage automatique embarqué sur capteur radar, à l’intérieur d’un périmètre géographique circonscrit que nous voudrions sécuriser.*

→ Pour des raisons pratiques (temps, recentrage du sujet, nombre d’articles traitant du sujet que nous avons trouvés, etc.), nous avons choisi de nous concentrer uniquement sur la première des deux approches susmentionnées, à savoir la ***détection gestuelle en temps réel.***

—

1. Select keywords that interest you. From these keywords, analyse the article we found.

*→ classification wave signals machine learning*

*→ classification sound wave machine learning*

*→ classification gesture detection machine learning*

2. Compile a reference list of 10 scientific publications from different peer reviewed

academic journals, recent conferences or thesis that relate to your topic. Ensure that there

is a link between your research question, your key words and the publications. Add the

first page of each publication that includes the abstract to the portfolio.

→ Voir le portfolio sur le github : <https://github.com/ArthurA14/initiation_recherche/tree/main/portfolio>

3. For every publication, complete the following questions :

* a. What is the quality of the publications ? (Kind, reputations, indicators…)
* b. Do you think the title are relevant ? Y/N. Explain in one or two sentences.
* c. If Yes: do you think this abstract is relevant ? Y/N. Explain in one or two sentences.

**Premier article** : *Real-Time Gesture Detection Based on Machine Learning Classification of Continuous Wave Radar Signals*

* ***a. Quality of the publication*** : L'***IEEE Sensors Journal*** est une revue scientifique bihebdomadaire évaluée par des pairs, couvrant la recherche sur les capteurs.

Elle est associée à *l’IEEE*, qui est une association professionnelle comptant plus de 400 000 membres et possédant différentes branches dans plusieurs parties du monde.

Cette revue a une bonne réputation dans la communauté scientifique.

* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est pertinent; il correspond parfaitement à notre problématique technique. Généraliste, son contenu peut être aisément appliqué à notre cas d’utilisation métier (reconnaissance gestuelle d’espèces animales à des fins de sauvegarde, via l’étude de signaux ondulatoires captées par des radars).
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est pertinent dans le sens où il pose la problématique de la recherche de solutions d’algorithmes de type réseaux de neurones, à des fins de reconnaissances gestuelles diverses, embarquées sur des micro processeurs bon marché. Tout cela dans le but d’obtenir une solution concrète, implémentable et performante sur ces hardwares bon marché, en prenant en compte la puissance de calcul requise pour ce type d’algorithme.

**Deuxième article** : *Machine Learning Based Object Classification and Identification Scheme Using an Embedded Millimeter-Wave Radar Sensor*

* ***a. Quality of the publication*** : ***MDPI*** est un éditeur de revues scientifiques en [libre accès](https://fr.wikipedia.org/wiki/Libre_acc%C3%A8s_(%C3%A9dition_scientifique)) qui impose des [frais de publication](https://fr.wikipedia.org/wiki/Frais_de_traitement_des_articles).

Selon certaines personnes, *MDPI* publie de bons articles dans de bonnes revues, mais elle emploie également certaines stratégies propres aux éditeurs prédateurs. *MDPI* a choisi de donner le contrôle de la réputation de ses revues à des centaines de rédacteurs invités, avec un contrôle très faible ou inexistant de la part des rédacteurs originaux.

* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est pertinent; il correspond assez bien à notre problématique technique, évoquant notamment la notion de capteurs radar d’ondes embarqués. Généraliste, son contenu peut être aisément appliqué à notre cas d’utilisation métier (reconnaissance d’espèces animales par des capteurs radar embarqués).
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est assez pertinent dans le sens où il évoque la faisabilité et l’efficacité rencontrées dans l’utilisation d’un algorithme de machine learning (SVM), embarqué sur un dispositif d'amplificateurs micro-ondes à faible bruit, intégrés à un radar 24GHz, afin de détecter le mouvement d’un objet cible en temps réel. Alors, ces cibles sont classées dans une des quatre catégories proposées, selon leur surface équivalente radar détectée par l’algorithme, et sans pour autant utiliser des outils de traitement du signal conventionnels. Ce cas d’utilisation peut être éventuellement adapté à l’étude de la surface équivalente radar d’espèces animales.

**Troisième article** : *Gesture Classification with Machine Learning using Kinect Sensor Data*

* ***a. Quality of the publication*** : ***Emerging Applications of Information Technology (EAIT)*** est une conférence internationale, qui présente des solutions émergentes en termes d’ingénierie informatique, d’IoT, d’IA, etc. Elle est organisée par des acteurs locaux de Calcutta en Inde, regroupant des entreprises et l’université de Kalyani.

Cette conférence a une bonne réputation locale, et commence à avoir une petite renommée internationale. Ainsi, les papiers publiés et qui sont liés à des technologies présentées lors de cette conférence sont à prendre en considération.

* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est pertinent; il correspond assez bien à notre problématique technique. Généraliste, son contenu peut être aisément appliqué à notre cas d’utilisation métier (utilisation de capteurs gestuels *Kinect* utilisant du machine learning, à des fins de reconnaissance d’espèces animales).
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est plutôt pertinent dans le sens où il évoque la classification et la segmentation gestuelles, en appliquant du machine learning sur des données provenant d’un flux enregistré par des capteurs de type *Kinect*. En particulier, ce résumé évoque la détection et la classification de mouvements aléatoires inconnus, ce qui peut être une opportunité intéressante dans la problématique de classification de gestuelles d’espèces animales, qui sont par définition non exhaustives.

**Quatrième article** : *A Deep Learning-Based End-to-End Composite System for Hand Detection and Gesture Recognition*

* ***a. Quality of the publication*** : ***MDPI*** est un éditeur de revues scientifiques en [libre accès](https://fr.wikipedia.org/wiki/Libre_acc%C3%A8s_(%C3%A9dition_scientifique)) qui impose des [frais de publication](https://fr.wikipedia.org/wiki/Frais_de_traitement_des_articles).

Selon certaines personnes, *MDPI* publie de bons articles dans de bonnes revues, mais elle emploie également certaines stratégies propres aux éditeurs prédateurs. *MDPI* a choisi de donner le contrôle de la réputation de ses revues à des centaines de rédacteurs invités, avec un contrôle très faible ou inexistant de la part des rédacteurs originaux.

* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est plus ou moins pertinent; il peut correspondre à notre problématique, bien que son application pratique puisse être potentiellement cantonnée à un sujet d’étude bien précis : la détection de la gestuelle des mains et la reconnaissance gestuelle plus générale.
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est assez pertinent dans le sens où il met en exergue les potentielles applications diverses de l’approche étudiée, la détection des mains et la reconnaissance de gestes, telles que l’interaction humain-ordinateur. En outre, on peut penser que cette interaction puisse être étendue aux interactions espèces-ordinateur, via un algorithme de machine learning embarqué. C’est ce que le terme "*environnements complexes et encombrés*" laisse imaginer. Un milieu forestier est, par définition, complexe et encombré. Enfin, l’algorithme utilisé est un CNN (réseau de neurones convolutifs); or ce type d’algorithme est unanimement utilisé pour la détection et la classification d’images de toutes natures, comme la reconnaissance d’espèces animales par exemple.

**Cinquième article** : *Multi-scale Deep Learning for Gesture Detection and Localization*

* ***a. Quality of the publication*** : Le ***CNRS***, (Centre national de la recherche scientifique - ici l’antenne lyonnaise), est le plus grand organisme public français de recherche scientifique. Cet organisme dispose d’une renommée internationale. A ce titre, les publications de ses chercheurs sont généralement bien perçues par la communauté scientifique.
* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est assez pertinent; il correspond peut correspondre à notre problématique technique, bien que certainement surdimensionné pour notre travail. En effet, les méthodes de deep learning à échelles multiples pourraient apporter un niveau de complexité et de coût en termes de puissance de calcul rédhibitoires à l’incorporation de ce type de solution dans un dispositif embarqué, comme un capteur radar. Généraliste, son contenu peut tout de même être étudié dans le cadre de notre utilisation métier (reconnaissance d’espèces animales à des fins de sauvegarde).
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est plutôt pertinent dans le sens où il annonce la présentation d’une méthode de détection gestuelle et de localisation dans l’espace, s’appuyant sur du deep learning multimodal et à échelles multiples comme susmentionné. Ainsi, chaque modalité visuelle enregistre des informations spatiales à une échelle particulière (comme par exemple la partie du corps d’un animal). Dès lors, on comprend que ce type de méthode peut s’avérer très puissant pour notre cas d’utilisation métier.

**Sixième article** : *Robust Hand Detection and Classification in Vehicles and in the Wild*

* ***a. Quality of the publication*** : La ***Computer Vision Foundation*** est une organisation à but non lucratif qui encourage et soutient la recherche dans tous les aspects de la vision par ordinateur. Elle publie des papiers de recherche, propose des conférences et ses papiers sont aussi disponibles sur l’*IEEE Xplore*.

Cette fondation est suffisamment reconnue et respectée dans le domaine de la vision par ordinateur.

* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est plus ou moins pertinent; il peut correspondre à notre problématique, bien que son application pratique puisse être potentiellement cantonnée à un sujet d’étude bien précis : la détection de la gestuelle des mains, dans la nature cependant (ce qui est un point intéressant pour notre sujet).
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est assez pertinent dans le sens où il met en exergue les potentielles applications diverses de l’approche étudiée, la détection des mains, telles que l’interaction humain-ordinateur. En outre, on peut penser que cette interaction puisse être étendue aux interactions espèces-ordinateur, via un algorithme de machine learning embarqué. C’est ce que le terme "*nombreuses variations d'images (...) dans des scénarios du monde réel (...) dans diverses conditions difficiles*" laisse imaginer. Un milieu forestier contiendra, par définition, de nombreuses variations d’images du monde réel, dans diverses conditions difficiles (faible résolution, etc.). Enfin, l’algorithme utilisé est un FCN (réseaux convolutifs complets) à échelles multiples basées sur la “région” (comme par exemple la partie du corps d’un animal). Dès lors, on comprend que ce type de méthode peut s’avérer très puissant pour notre cas d’utilisation métier.

**Septième article** : *Falling motion detection algorithm based on deep learning*

* ***a. Quality of the publication*** : L'***IET (Institution of Engineering and Technology)*** est une institution d'ingénierie professionnelle multidisciplinaire. A ce titre, elle publie des papiers de recherches universitaires. Elle est de bonne réputation.
* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est plus ou moins pertinent; il peut correspondre à notre problématique, bien que son application pratique puisse être potentiellement cantonnée à un sujet d’étude bien précis : la détection de mouvement de chute, via le deep learning.
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est assez pertinent, dans la mesure où il peut correspondre à un sous-cas particulier de notre problématique métier (la détection et la classification d’espèces sauvages). En effet, si une espèce est braconnée ou chute pour une raison tierce, un détecteur intelligent, capable de signaler un mouvement de chute de l’animal (dans un fossé par exemple), pourrait être d’une grande utilité pour atteindre cet objectif de conservation de certaines espèces animales. En outre, cette méthode de deep learning s’appuie sur la computer vision pour détecter des mouvements de chute. Or, afin de classifier rapidement et précisément les mouvements rencontrés, la méthode utilise ici les points clés du squelette comme descripteurs de caractéristiques des mouvements humains (body features). Cette méthode pourrait aisément être étendue à la classification d’espèces animales autres qu’humaines.

**Huitième article** : *An automatic sound classification tool for biodiversity monitoring using machine learning*

* ***a. Quality of the publication*** : La ***British Ecological Society*** est une société savante centenaire, composée d’érudits et de scientifiques. Elle soutient les communautés scientifiques de recherches et d’enseignement afin qu’elles puissent continuer à être dynamiques et productives, de produire de nouvelles connaissances, de former des personnes qualifiées et d’améliorer la présence de l’écologie scientifique dans l’ensemble de la société. Il s’agit de la plus grande société en Europe dans le secteur; elle est internationalement reconnue.
* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est pertinent dans le cadre de l’approche n°2 (*détection de signaux sonores*) que nous avons abandonnée. En effet, les méthodes de machine learning qui y sont présentées (CNN sur spectrogrammes, enveloppes et formes d’onde) s’appliquent parfaitement à la recherche de la surveillance et donc de la sauvegarde de la biodiversité.
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est pertinent dans le sens où il pose la problématique de la détection et de la classification de centaines de milliers de signaux d'intérêt (événements sonores identifiés dans les enregistrements) provenant de différentes espèces animales, à l’aide d’un outil facile à mettre en oeuvre. Pour ce faire, résumé propose un CNN capable de réaliser ce travail de classification sur des signaux réels, provenant de différentes espèces : baleines, oiseaux, etc.

**Neuvième article** : *Sound Classification Using Convolutional Neural Network and Tensor Deep Stacking Network*

* ***a. Quality of the publication*** : L'***IEEE*** est une association professionnelle comptant plus de 400 000 membres et possédant différentes branches dans plusieurs parties du monde. La qualité de ses publications et de ses partenariats universitaires est reconnue.
* ***b. Relevance of the title*** : Le titre est pertinent dans le cadre de l’approche n°2 (*détection de signaux sonores*) que nous avons abandonnée. En effet, les méthodes de machine learning qui y sont présentées (CNN et Tensor Deep Stacking Network sur spectrogrammes) s’appliquent parfaitement à la recherche de la surveillance et donc de la sauvegarde de la biodiversité.
* ***c. Relevance of the abstract***: Le résumé est assez pertinent dans le sens où il pose la problématique de la surveillance sonore, via la détection et la classification de centaines de milliers de signaux d'intérêt (événements sonores identifiés dans les enregistrements) provenant de la vie réelle. Il s’agit ici de classifier les spectrogrammes d’inputs via un CNN et un tensor deep stacking network. Bien que l’application métier de cette étude soit l’environnement sonore des humains, cet outil pourrait aisément être étendu à l’étude plus large du monde animal, et permettre de surmonter les difficultés d’implémentation, inhérentes aux techniques actuelles.

4. Fill the following table for 3 publications that you estimate the more relevant. In minimum,

one of these publications must be a reputed academic journal.

| **Analysis of Scientific Publications** |  |
| --- | --- |
| **Full reference :** *Real-Time Gesture Detection Based on Machine Learning Classification of Continuous Wave Radar Signals.* |  |
| What is the research problem ? | Détection puis classification gestuelles en temps réel par apprentissage automatique sur des spectrogrammes, formes d’onde et enveloppes de signaux provenant de capteurs radars. |
| Why did you choose this publication ? | Cette publication est la plus proche de notre sujet d’étude - *Reconnaissance et classification de l'espèce en milieu forestier donc complexe* - et aussi la plus complète sur le sujet que nous avons trouvé. |
| Who are the authors ? | Matthias G. Ehrnsperger, Henri L. Hoese, Thomas Brenner, Uwe Siart, Thomas F. Eibert |
| What is the main research question/focus of the publication ? | - Comment choisir l’algorithme de classification de machine learning le plus performant possible, qui réponde également à une contrainte de limitation en termes de puissance de calcul, afin de pouvoir l’incorporer dans un microprocesseur de capteur radar bon marché, tout en se montrant suffisamment performant en temps réel ?  - Trouver le meilleur compromis possible entre la puissance de calcul nécessaire liée à la complexité algorithmique du modèle d’une part, et la conservation de très bonnes performances en termes de classification d’autre part. |
| Which topics are included in the literature  review for this publication ? | Reconnaissance gestuelle, radar, machine learning, réseau de neurones, temps réel, hardware embarqué |
| What is the theoretical foundation of the  research ? |  |
| What research methods were used to carry  out the research ? | Plusieurs approches différentes :   * approche de reconnaissance gestuelle dite “naïve” ou classique : *à détection de seuil (THD)* * approche par méthodologies classique de machine learning (cML) liées à la classification : *naïve Bayes (NB), support vector machine (SVM), stochastic gradient descent (SGD), decision tree (DT)* * approche par nouvelles méthodologies de machine learning (nML) : Réseaux de neurones convolutifs (CNN) pouvant être mis à l’échelle, ajustables et paramétrables.   Données traitées : spectrogrammes, formes d’onde et enveloppes de signaux. |
| What is the main finding/conclusion ? | Le meilleur compromis possible entre la puissance de calcul nécessaire liée à la complexité algorithmique du modèle d’une part, et la conservation de très bonnes performances en termes de classification d’autre part, a été trouvée.  Il faut pour cela utiliser les deux canaux de réception de signaux (en phase) du capteur (hardware) radar bon marché utilisé. Cela permet de bénéficier de suffisamment de données, malgré la contrainte du temps réel. Par ailleurs, le temps réel contraint le nombre de données à traiter simultanément, réduisant ainsi considérablement la puissance de calcul nécessaire.  De plus, il faut réduire au maximum le nombre de couches du réseau de neurones utilisé (3 stages de convolution, pooling, dropout).  Enfin, la puissance de calcul de l’algorithme est réduite quand le vecteur des caractéristiques (ensemble d’opérations mathématiques telles que le filtre passe bande ou la transformée de Fourier) est réduit aux features essentielles. |

| **Analysis of Scientific Publications** |  |
| --- | --- |
| **Full reference :** *Machine Learning Based Object Classification and Identification Scheme Using an Embedded Millimeter-Wave Radar Sensor.* |  |
| What is the research problem ? | Utilisation d’un algorithme de machine learning (SVM), embarqué sur un dispositif d'amplificateurs micro-ondes à faible bruit, intégrés à un radar 24GHz, afin de détecter le mouvement d’un objet cible en temps réel. |
| Why did you choose this publication ? | - Cette publication offre une approche assez semblable à la précédente, car elle fait appel à un algorithme de machine learning embarqué sur un dispositif radar, dans le but ici aussi de détecter le mouvement d’un objet cible en temps réel. L’algorithme utilisé, le SVM, offre de bonnes performances sur ce type de problèmes, cependant, il est assez gourmand en ressources de calcul. En cela, il est intéressant d’étudier notamment son incorporation à un dispositif électronique.  - La publication diffère également dans le type de donnée traitée; il ne s’agit plus de spectrogramme ou de formes d’ondes qui sont étudiées, mais la *surface équivalente radar* (radar cross-section) de cibles que l’on veut classifier. Or, cette approche est beaucoup utilisée dans la détection de navires ou d’avions mais beaucoup moins pour des êtres vivants. Nous voulions savoir si celle-ci serait pertinente ou non dans notre cas d’usage. |
| Who are the authors ? | Homa Arab, Iman Ghaffari, Lydia Chioukh, Serioja Tatu, Steven Dufour |
| What is the main research question/focus of the publication ? | Étudier la pertinence (et les limites éventuelles) de l’utilisation d’un algorithme de machine learning de type SVM multiclasses, embarqué sur un dispositif d'amplificateurs micro-ondes, intégrés à un radar 24GHz, afin de réaliser la classification d’objets cibles en temps réel. Ces limites peuvent être de l’ordre de la performance de la classification ou bien d’ordres technique et matériel (temps de réponse du dispositif, puissance nécessaire des microprocesseurs afin de pouvoir incorporer la donnée et la traiter en temps réel sur un tel dispositif embarqué). |
| Which topics are included in the literature  review for this publication ? | Fréquence doppler, démodulateur en phase/quadrature, machine learning, ondes millimétriques, SVM multi-classes, surface équivalente radar (RCS), scalogramme en ondelettes. |
| What is the theoretical foundation of the  research ? |  |
| What research methods were used to carry  out the research ? | L’approche est ici l’utilisation d’un algorithme de machine learning de type classifier, le SVM (Support Vector Machine) multi-classes, en particulier le RBF kernel SVC.  Données traitées : surface équivalente radar (radar cross section), déplacements, fréquence Doppler. |
| What is the main finding/conclusion ? | De bonnes performances sont atteintes avec le SVM, notamment pour la méthode de classification binaire one-against-one : *accuracy* de 96.6%, *F1-score* de 96.5%.  Cependant, dans le cas de cibles multiples, l’utilisation de SVM ne permet pas d’atteindre une grande précision de classification. Pour cela, l’utilisation de CNN est plus adéquate. |

| **Analysis of Scientific Publications** |  |
| --- | --- |
| **Full reference :** *Gesture Classification with Machine Learning using Kinect Sensor Data* |  |
| What is the research problem ? | Classification et segmentation gestuelles par le machine learning, sur des données gestuelles provenant d’un flux enregistré par des capteurs de type *Kinect*. |
| Why did you choose this publication ? | Ce papier est plutôt pertinent pour notre sujet dans la mesure où il évoque la classification et la segmentation gestuelles, en appliquant du machine learning sur des données provenant d’un flux enregistré par des capteurs de type *Kinect*.  En particulier, il évoque la détection et la classification de mouvements aléatoires inconnus, ce qui peut être une opportunité intéressante dans la problématique de classification de gestuelles d’espèces animales, qui sont par définition non exhaustives. |
| Who are the authors ? | Sambit Bhattacharya, Bogdan Czejdo, Nicolas Perez |
| What is the main research question/focus of the publication ? | Peut-on espérer classifier et segmenter des gestes par le machine learning, sur des données provenant d’un flux enregistré par des capteurs de type *Kinect*, données de mouvements pouvant être aléatoires et inconnues ?  Si oui, serait-ce utile à la construction d’un  modèle pour les systèmes supportant les interactions homme-machine, interactions  s’appuyant sur les gestes et les mouvements du corps humain ? |
| Which topics are included in the literature  review for this publication ? | Gestuelle humaine, machine learning, détection et classification gestuelles, capteur Kinect |
| What is the theoretical foundation of the  research ? |  |
| What research methods were used to carry  out the research ? | L’approche est ici l’utilisation d’algorithmes de machine learning de type classifier, le SVM (Support Vector Machine) à kernel linéaire, le SVM à kernel RBF et les Decisions Trees. |
| What is the main finding/conclusion ? | Le SVM à kernel linéaire possède la meilleure *accuracy* pour ce travail.  Les progrès décrits en matière de reconnaissance et de  classification des gestes humains contribueront à la construction d'un  modèle pour les systèmes supportant les interactions homme-machine, interactions  s’appuyant sur les gestes et les mouvements du corps humain. |

5. Propose criteria to start a literature review on your subject.

Le critère pertinent que nous avons retenu afin de démarrer l’analyse documentaire de notre sujet a été le degré de pertinence - proximité entre les articles trouvés et notre sujet. Comme notre application pratique n’est cas cas d’utilisation métier parmi tant d’autres, l’accent a été mis sur les techniques de reconnaissances gestuelles s’appuyant sur le machine learning au sens large. A ce titre, les données d’entrées pouvaient être diverses : spectrogrammes, formes d’ondes, images pixelisées plus traditionnelles, surface équivalente radar, filtres de Kalman, computer vision, etc.

Par ailleurs, la qualité supposée de la technique de machine learning employée a également été un critère important. Ainsi, la classification d’images et de tout type de données assimilées (spectrogrammes, formes d’ondes, etc.) nécessite bien souvent l’utilisation d’algorithmes bien spécifiques comme les CNN (réseaux de neurones convolutifs) ou à tout le moins de SVM (support vector machines).

6. Define all the important terms of your topic. Here an example with the “generic” term.

Check in the literature different scientific publications with different point of view.

Détection gestuelle, signaux ondulatoires, capteur radar, dispositif embarqué, puissance de calcul nécessaire, temps de calcul, CNN, SVM

7. Find the main further works on your topic. Write your research question(s) and your

hypotheses.

Comment choisir un algorithme de classification de machine learning, répondant à tous les critères que nous nous sommes fixés. Celui-ci devra être le plus performant possible (accuracy, f1-score), mais devra aussi répondre à des impératifs en termes de limitation en puissance de calcul, afin de pouvoir être embarqué dans un microprocesseur de capteur radar bon marché, tout en étant suffisamment performant en temps réel.

Il faudra alors trouver le meilleur compromis possible entre la puissance de calcul et la capacité de stockage nécessaires d’une part, tout en conservant de très bonnes performances en termes de classification d’autre part.

La puissance de calcul et la capacité de stockage (RAM, ROM) sont liées à la complexité algorithmique du modèle, à la réception et au traitement de la donnée en temps réel.