

Problème technique

- * Caractériser le comportement aérien d'un drone en utilisant des mesures provenant d'un smartphone implanté sur l'appareil.

Compétences à mettre en œuvre

- * Analyser les principes d'intelligence artificielle.
- * Extraire un indicateur de performance pertinent à partir du cahier des charges ou de résultats issus de l'expérimentation ou de la simulation.
- * Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle.
- * Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle.

1. Mise en situation

Le support de l'activité est un drone quadrirotor industriel remplissant des missions de sécurité publique, de secours ou d'inspection d'infrastructures (voir documents techniques).

Figure 1 - Drone DJI
Matrice 300 RTK équipé
de la caméra Zenmuse H20T



Le pilotage de l'appareil est effectué à partir d'une télécommande ergonomique et configurable à la convenance du pilote.

En fonction des commandes de vol, le comportement aérien du drone est caractérisé suivant trois axes : tangage, roulis et lacet.

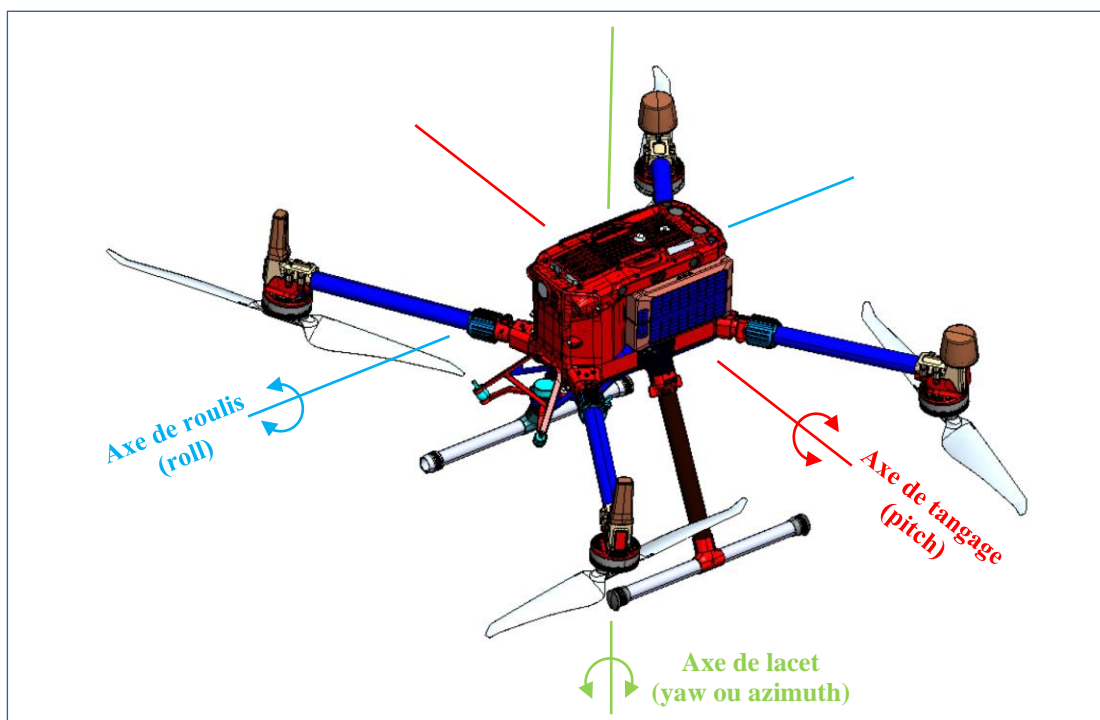


Figure 2 - Axes de vol

En vol stationnaire, les quatre rotors du drone tournent à la même vitesse et délivrent donc la même puissance. La puissance globale est suffisante pour le maintenir à une certaine hauteur sans qu'il ne descende et pas assez pour l'élever en altitude.

L'augmentation simultanée de la vitesse des quatre rotors entraîne l'élévation du drone. Inversement, la réduction simultanée de la vitesse des quatre rotors entraîne la descente de l'appareil vers la terre sous l'effet de la pesanteur.

Les quatre rotors R1, R2, R3 et R4 ne tournent pas dans le même sens. R1 et R3 tournent dans le sens horaire alors que R2 et R4 tournent dans le sens antihoraire pour annuler le couple induit par les hélices.

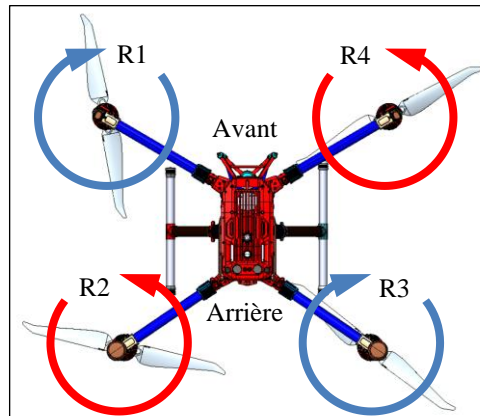


Figure 3 - Drone en vol stationnaire et désignation des rotors

Lorsque le drone avance, la puissance des deux moteurs avant se réduit et celle des deux moteurs arrière augmente (le drone s'incline légèrement vers l'avant autour de l'axe de tangage). Lorsque le drone recule, c'est exactement l'inverse.

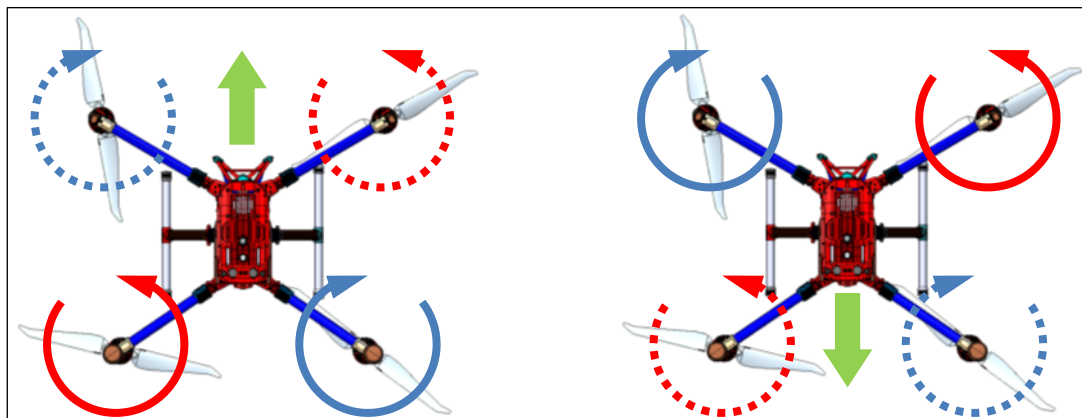


Figure 4 - Drone en vol vers l'avant et vers l'arrière

Lorsque le drone se déplace vers la gauche, la puissance des deux moteurs de gauche se réduit et celle des deux moteurs de droite augmente (le drone s'incline légèrement vers la gauche autour de l'axe de roulis). Lorsque le drone se déplace vers la droite, c'est l'inverse.

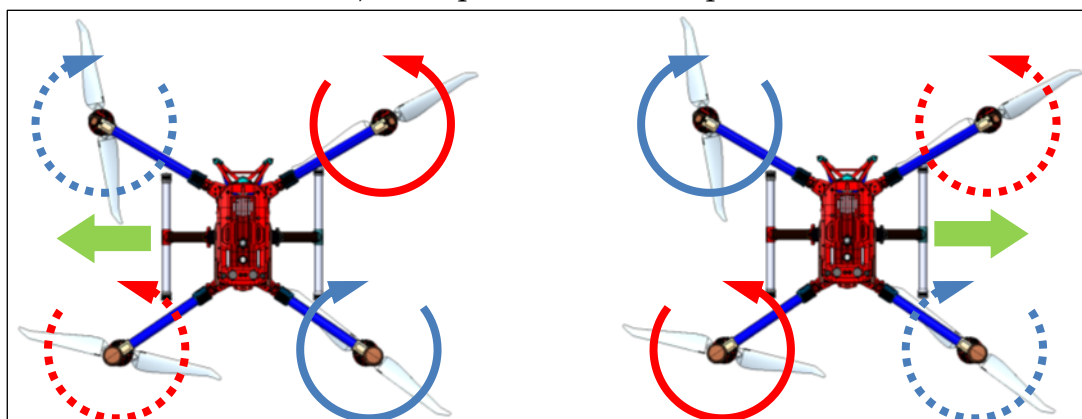


Figure 5 - Drone en vol vers la gauche et vers la droite

Lorsque le drone effectue une rotation à droite, la puissance des deux rotors 2 et 4 augmente et celle des rotors 1 et 3 se réduit (le drone pivote vers la droite autour de l'axe de lacet). Lorsque le drone effectue une rotation à gauche, c'est exactement l'inverse. Une hélice tournant vers la gauche induit un effet de couple inverse à droite.

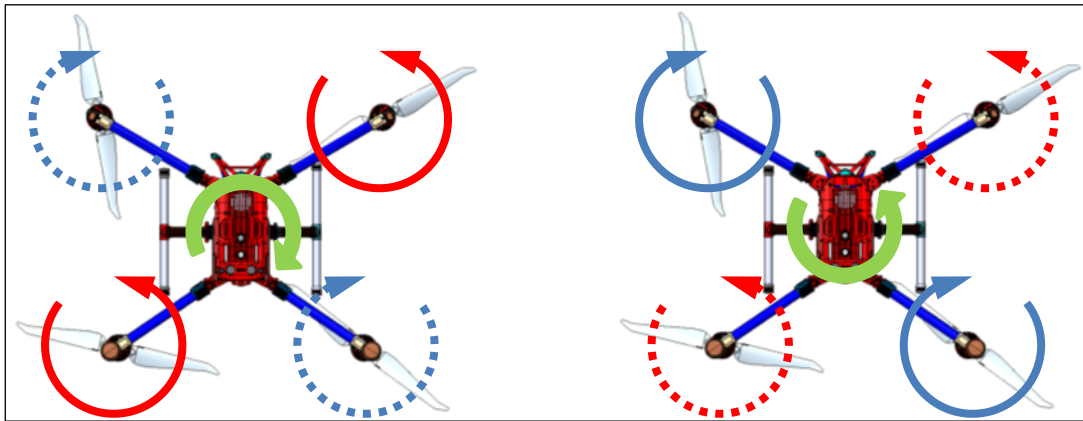


Figure 6 - Drone en vol en rotation à droite et à gauche

2. Apprentissage automatique

2.1 Problème à résoudre

L'activité suivante propose d'utiliser les données en provenance d'un smartphone implanté sur un drone pour produire un programme capable de déterminer automatiquement le comportement aérien de l'appareil.

2.2 Apprentissage supervisé

L'apprentissage automatique consiste à fournir à l'algorithme un certain nombre de signaux émis par les capteurs en lui précisant à quels comportements ils correspondent. Ce procédé est appelé l'entraînement. Le résultat de l'entraînement est l'obtention d'un modèle qui permet de prédire le comportement du drone à partir de nouvelles données émises par les capteurs.

Il existe un grand nombre d'algorithmes d'apprentissage, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients et pouvant être utilisés de manières plus ou moins satisfaisantes sur le problème donné.

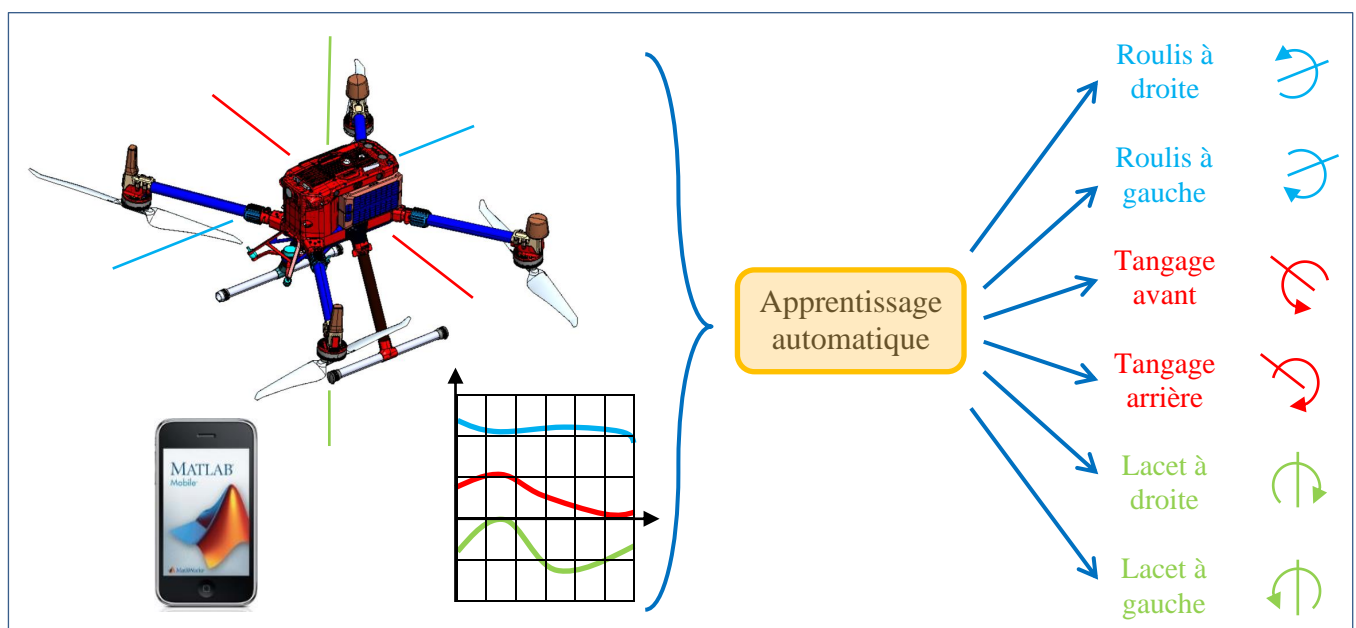


Figure 7 - Principe de l'apprentissage automatique

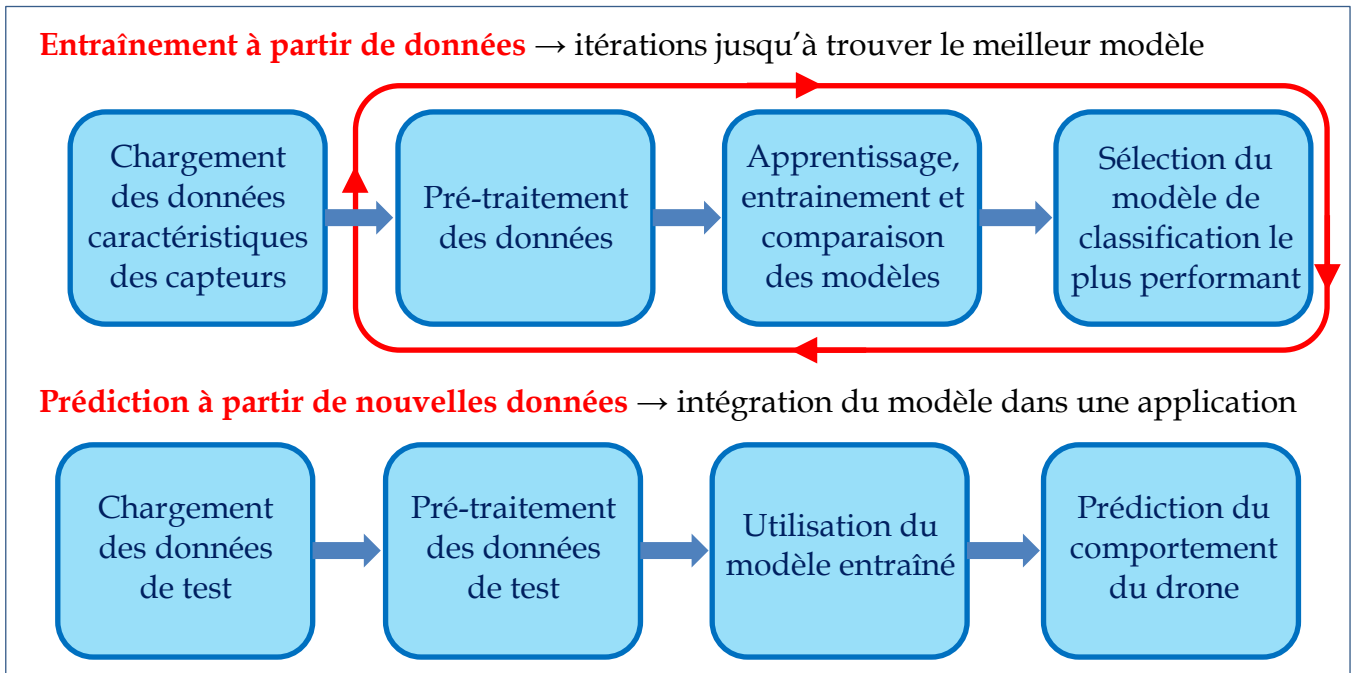


Figure 8 – Apprentissage automatique : entraînement et prédiction

3. Données disponibles pour l'apprentissage

Les angles de roulis, de tangage et de lacet sont obtenus expérimentalement à l'aide d'un smartphone fixé sur le châssis du drone. L'application *Matlab Mobile* installée sur le smartphone permet d'acquérir les mesures issues des capteurs du téléphone et de les déposer sur *Matlab Drive*. Ces fichiers de mesure, fournis dans l'activité proposée, seront utilisés sur un ordinateur équipé du logiciel *Matlab*.

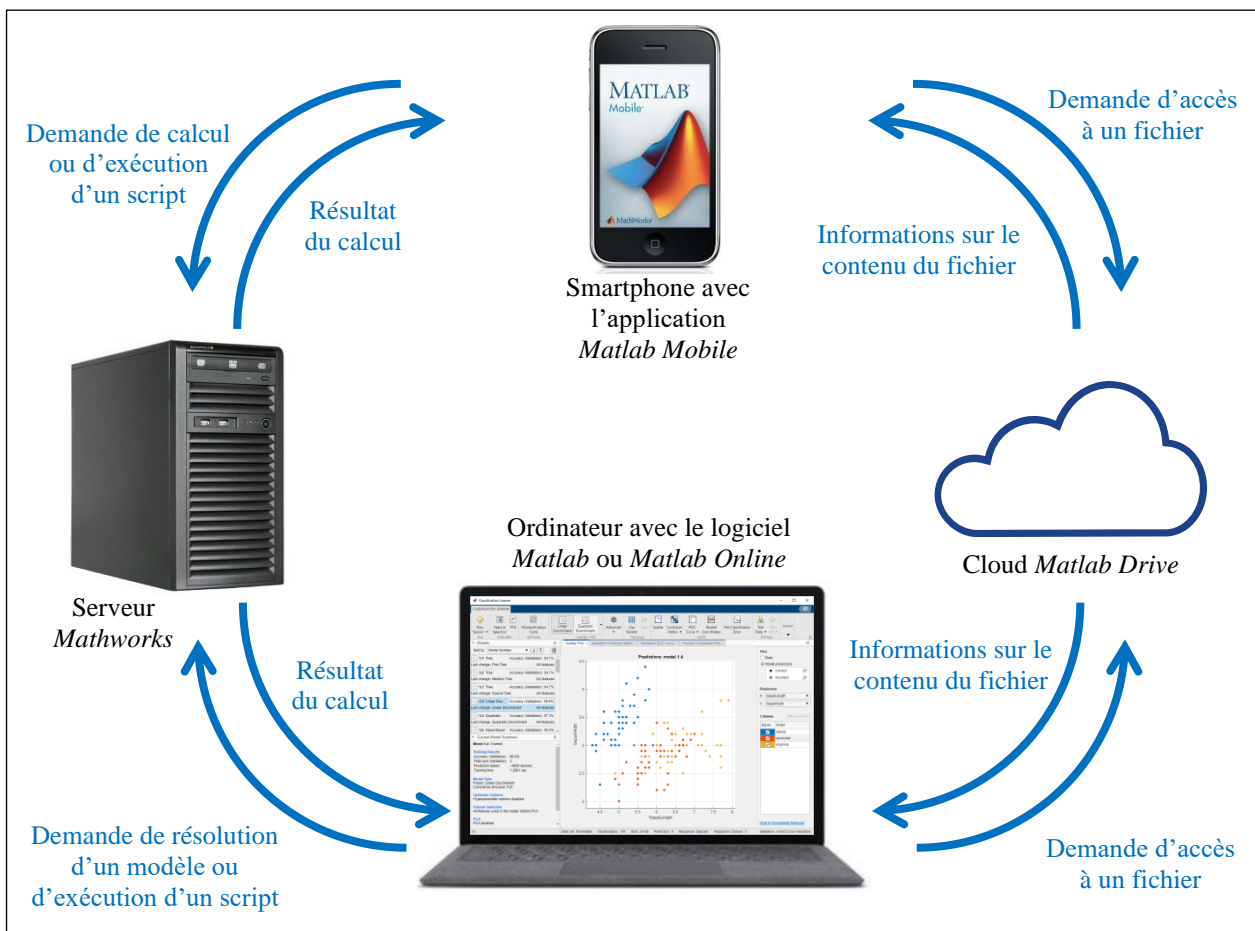


Figure 9 – *Matlab Mobile* et *Matlab Drive*

Les mesures expérimentales sont mises en forme et regroupées dans deux fichiers :

- *Donneesorientations123.xlsx* (acquisition de 3 mesures pour le tangage avant, 3 mesures pour le tangage arrière, 3 mesures pour le roulis droite, 3 mesures pour le roulis gauche, 3 mesures pour le lacet droite et 3 mesures pour le lacet gauche à la fréquence de 10 Hz et pendant une durée de 6 secondes).
- *Donneesorientations12345.xlsx* (acquisition de 5 mesures pour le tangage avant, 5 mesures pour le tangage arrière, 5 mesures pour le roulis droite, 5 mesures pour le roulis gauche, 5 mesures pour le lacet droite et 5 mesures pour le lacet gauche à la fréquence de 10 Hz et pendant une durée de 6 secondes).

Temps seconde	Degré lacet	Degré tangage	Degré roulis	Mouvement
0	167,222552	0,19109	-0,216484	Lacet à droite
0,1	167,222552	0,191115	-0,215674	Lacet à droite
...
...
5,9	-154,290572	0,036468	-0,635974	Lacet à droite
6	-153,113006	0,023314	-0,638857	Lacet à droite
0	78,391707	-0,561339	0,680284	Lacet à droite
...
6	152,414346	-0,011	-0,220989	Lacet à droite
0	13,661357	-1,153675	0,15505	Lacet à droite
...
6	113,926613	-0,5125	0,088134	Lacet à droite
0	158,00573	0,094242	-0,101106	Lacet à gauche
...
6	95,036106	-0,390107	0,718008	Lacet à gauche
0	78,880229	-0,627174	0,703011	Lacet à gauche
...
6	-5,632954	-1,363217	0,246396	Lacet à gauche
0	-15,928474	-1,236114	-0,221776	Lacet à gauche
...
6	-113,465814	-0,554776	-0,426146	Lacet à gauche
0	-169,47967	0,016539	-0,052847	Roulis à droite
...
6	-169,508302	-0,078447	21,632203	Roulis à droite
0	149,105557	0,053171	0,517464	Roulis à droite
...
6	147,820907	-0,44285	16,965758	Roulis à droite
0	72,204737	-0,973995	0,944197	Roulis à droite
...
6	70,674863	-0,697175	19,779512	Roulis à droite
0	-176,185768	0,44909	0,058082	Roulis à gauche
...
6	-177,69666	-0,140202	-10,614001	Roulis à gauche
0	133,013822	-0,072082	0,779843	Roulis à gauche
...
6	131,743926	-0,405389	-21,747194	Roulis à gauche
0	66,288229	-0,685469	0,562022	Roulis à gauche
...
6	64,989277	-0,10624	-21,539632	Roulis à gauche
0	-37,251524	-0,563147	-0,157879	Tangage arrière
...
6	-36,848341	-18,444989	0,439592	Tangage arrière
0	-98,94225	0,017829	0,418502	Tangage arrière
...
6	-98,129451	-19,183582	1,073569	Tangage arrière
0	172,949296	-2,301855	-0,327971	Tangage arrière
...
6	172,90893	-19,294041	-1,065706	Tangage arrière
0	-50,589866	1,04445	0,114378	Tangage avant
...
6	-50,54062	21,681684	-0,067467	Tangage avant
0	-109,131909	-0,604242	0,81489	Tangage avant
...
6	-109,06205	21,889725	0,358349	Tangage avant
0	-160,652934	-0,868005	0,457645	Tangage avant
...
6	-160,550673	20,458146	0,258575	Tangage avant

Figure 10 – Extrait du fichier de mesures *Donneesorientations123.xlsx*

4. Création du modèle d'apprentissage N°1

4.1 Utilisation de l'application *Classification Learner*

La résolution du problème s'appuiera sur l'utilisation de modèles d'apprentissages disponibles dans l'application *Matlab Classification Learner*. Une lecture attentive du tutoriel proposé est recommandée.

4.2 Importation des données d'apprentissage

Importer le premier fichier *Donneesorientations123.xlsx*

4.3 Choix d'un modèle d'apprentissage

Sélectionner les deux modèles suivants :

- classificateurs des plus proches voisins (*Nearest Neighbor Classifiers – All KNNs*),
- classificateurs des réseaux de neurones (*Neural Network Classifiers – All NN*).

Q1. Expliquer brièvement ces deux méthodes d'apprentissage automatique.

Q2. Avec l'application *Classification Learner*, rechercher des schémas sur lesquels les données relatives aux angles de roulis, de tangage et de lacet sont regroupées. Après leur entraînement, relever la précision de chaque modèle (*Accuracy*).

4.4 Matrice de confusion

Q3. Relever la matrice de confusion de chaque modèle. Comparer les résultats et rédiger quelques commentaires.

4.5 Courbe ROC

Q4. En relevant la surface minimale sous la courbe *ROC (AUC)*, identifier la qualité des classificateurs étudiés. Comparer les performances puis rédiger quelques commentaires sur les valeurs relatives aux sensibilités et aux spécificités proposées.

4.6 Exportation du modèle

Q5. Après avoir complété le tableau de synthèse ci-dessous, sélectionner le modèle d'apprentissage le plus performant puis l'exporter pour continuer à l'exploiter sous *Matlab*.

Modèle d'apprentissage fichier N°1	Caractéristiques	
Plus proches voisins (<i>KNN</i>)	Précision (<i>accuracy</i>)	
	Qualité minimale (<i>AUC</i>)	
	Taux de faux positifs (<i>FPR</i>)	
	Taux de vrais positifs (<i>TPR</i>)	
Réseaux de neurones (<i>NN</i>)	Précision (<i>accuracy</i>)	
	Qualité minimale (<i>AUC</i>)	
	Taux de faux positifs (<i>FPR</i>)	
	Taux de vrais positifs (<i>TPR</i>)	

4.7 Test du modèle d'apprentissage

Q6. Tester le modèle d'apprentissage sélectionné. Afficher la prédiction du modèle entraîné sous forme d'histogramme. Comparer la proposition de comportement du drone en s'appuyant sur un fichier test.

5. Création du modèle d'apprentissage N°2

Le nouveau modèle d'apprentissage est construit à partir de l'importation du deuxième fichier *Donneesorientations12345.xlsx*

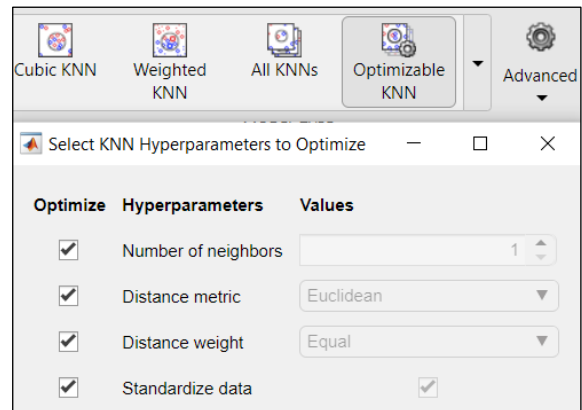
Q7. Suivre la procédure d'analyse utilisée dans la partie précédente pour ce nouveau fichier d'apprentissage. Compléter le tableau ci-dessous et comparer les résultats obtenus. Rédiger quelques commentaires.

Modèle d'apprentissage fichier N°2	Caractéristiques	
Plus proches voisins (KNN)	Précision (<i>accuracy</i>)	
	Qualité minimale (<i>AUC</i>)	
	Taux de faux positifs (<i>FPR</i>)	
	Taux de vrais positifs (<i>TPR</i>)	
Réseaux de neurones (NN)	Précision (<i>accuracy</i>)	
	Qualité minimale (<i>AUC</i>)	
	Taux de faux positifs (<i>FPR</i>)	
	Taux de vrais positifs (<i>TPR</i>)	

Q8. Le modèle d'apprentissage des plus proches voisins est optimisable en sélectionnant l'onglet *Optimizable KNN (Nearest Neighbor Classifiers)*.

Les paramètres par défaut sont modifiables en cliquant sur le bouton *Advanced* (par exemple l'augmentation ou la réduction du nombre de voisins). Les changements effectués apparaissent dans l'historique afin de pouvoir comparer un seul et même modèle avec différents paramètres.

Lancer l'entraînement de ce nouveau modèle et relever ses caractéristiques. Rédiger quelques commentaires.



6. Sélection du modèle d'apprentissage optimal

Q9. Compléter le tableau de synthèse des résultats ci-dessous et sélectionner le modèle optimal en rédigeant quelques commentaires :

Modèle d'apprentissage	Précision
Plus proches voisins N°1 (3 données d'apprentissage)	
Réseaux de neurones N°1 (3 données d'apprentissage)	
Plus proches voisins N°2 (5 données d'apprentissage)	
Réseaux de neurones N°2 (5 données d'apprentissage)	
Plus proches voisins N°3 (5 données d'apprentissage + optimisation)	

7 - Génération du code *Matlab* et synthèse

Q10. Générer le code *Matlab* correspondant au modèle d'apprentissage sélectionné. Identifier sommairement les différentes parties du programme (données d'apprentissage, modèle d'entraînement et affichage des résultats).

Q11. Commenter l'étude d'apprentissage automatique réalisée. Proposer une démarche ou un protocole permettant de qualifier plus complètement le comportement aérien du drone.