

# AR.Drone de Parrot

## Dossier Technique



## Table des matières

I. Définition du produit réel.....	7
A. Présentation générale du produit réel.....	7
1. Définition.....	7
2. Historiques.....	8
2.1. Évolution des hélicoptères.....	8
2.2. Évolution des systèmes de drones.....	11
2.3. Évolution des modèles réduits d'hélicoptères.....	13
3. Présentation technique, commerciale, économique et environnementale.....	15
3.1. Présentation technique.....	15
3.1.1. Moteur et énergie.....	15
3.1.2. Vidéo.....	16
3.1.3. Ordinateur embarqué.....	17
3.1.4. Centrale Inertielle.....	18
3.1.5. Autres caractéristiques générales.....	19
3.1.6. Données échangées avec l'AR.Drone.....	20
3.1.7. Kit de développement logiciel.....	21
3.2. Présentation commerciale.....	22
3.2.1. Cible commerciale et secteur d'activité.....	22
3.2.2. Étapes de la campagne commerciales.....	22
3.2.3. Résultats.....	23
3.3. Présentation économique.....	24
3.3.1. La société Parrot.....	24
3.3.2. Données financières.....	24
4. Gamme de produits.....	25
5. Législation / Sécurité.....	26
5.1. Législation.....	26
5.1.1. Réglementation sur l'aéromodélisme.....	26
5.1.2. Réglementation sur les jeux vidéo.....	26
5.2. Sécurité.....	27
5.2.1. Consignes de sécurité.....	27
5.2.2. Procédure de consignation.....	28
6. Les principaux fabricants.....	29
B. Expression fonctionnelle du produit réel.....	31
1. Analyse SysML du système AR.Drone.....	31
1.1. Définition des environnements.....	31
1.2. Définition du contexte du système à étudier.....	32
1.3. Catalogue des acteurs pour l'AR.Drone.....	32
1.4. Diagramme de cas d'utilisation simplifié de l'AR.Drone.....	33
1.4.1. Le cas d'utilisation.....	33
1.4.2. Relations entre acteurs et cas d'utilisation.....	33
1.4.3. Recherche des cas d'utilisation.....	34
1.4.3.1. Cas d'utilisation pour l'acteur Station-Sol.....	34
1.4.3.2. Cas d'utilisation pour l'acteur Pilote.....	44
1.4.3.3. Relations entre cas d'utilisation : l'inclusion.....	48
1.4.3.4. Relations entre cas d'utilisation : l'extension.....	50
1.5. Diagramme détaillé de cas d'utilisation de l'AR.Drone.....	53
1.6. Étude du comportement du système.....	55
1.6.1. Introduction au diagramme de séquence.....	55
1.6.2. Diagramme de séquence « système ».....	56
1.6.3. Diagramme de séquence « système » du cas d'utilisation « Piloter l'AR.Drone ».....	57
1.6.4. Diagrammes d'états.....	59
1.6.5. Diagramme d'état du cas d'utilisation « Autopiloter ».....	61
1.7. Modélisation des exigences.....	62

1.7.1.Introduction au diagramme d'exigences.....	62
1.7.2.Diagramme d'exigences du système AR.Drone.....	64
1.7.2.1.Diagramme d'exigences global.....	64
1.7.2.2.Diagramme d'exigences Performance.....	64
1.7.2.3.Diagramme d'exigences Ergonomie.....	65
1.7.2.4.Diagramme d'exigences Maintenance.....	65
1.8.Modélisation de l'architecture du système.....	66
1.8.1.Notion de bloc.....	66
1.8.2.Diagramme de définition de blocs du système AR.Drone.....	67
1.8.3.Diagramme de bloc interne du système AR.Drone.....	68
1.8.4.Décomposition de l'AR.Drone.....	69
1.8.5.Diagramme de bloc interne de l'AR.Drone.....	72
1.8.6.Diagramme de bloc interne de la carte moteur de l'AR.Drone.....	74
1.8.7.Diagramme de bloc interne de la carte de navigation de l'AR.Drone.....	76
1.9.Diagramme des cas d'utilisation de la Station-Sol.....	78
2.Modélisation 3D.....	81
2.1.Plans d'ensemble.....	81
2.2.Ressources Solidworks.....	81
C.Définition des solutions en réponses aux fonctions techniques.....	87
1.Définition des solutions.....	87
1.1.Solution pour la communication entre la Station-sol et l'AR.Drone.....	87
1.1.1.Les différents types de réseaux sans fil.....	87
1.1.2.Les équipements Wi-Fi.....	88
1.1.3.Comparaison réseau filaire LAN - réseau sans fil WLAN.....	89
1.1.4.Principales normes pour les réseaux sans fil.....	89
1.1.5.Aspect physique de la transmission sans fil.....	90
1.1.6.Caractéristiques d'un réseau Wi-Fi.....	92
II. Définition du produit didactique.....	95
A.L'AR.Drone didactique.....	95
1.Identification du produit.....	95
2.Présentation générale de l'AR.Drone didactique.....	96
3.Déclaration de conformité CE.....	98
4.Notice d'instruction du produit didactique.....	99
4.1.Mise en service de l'équipement.....	99
4.1.1.Contenu du colis.....	99
4.1.2.Manutention.....	102
4.1.3.Assemblage et raccordement.....	102
4.1.4.Première mise en service.....	103
4.1.4.1.Documentation sur DVD.....	103
4.1.4.2.iPad.....	104
4.1.4.3.Téléchargement des applications SAE AR.Drone sur l'App Store.....	104
4.1.4.4.Gestion des licences.....	107
4.1.4.5.Les applications iPad.....	108
4.1.4.6.AR.Drone.....	118
4.1.4.7.Maquette didactique AR.Drone.....	123
4.2.Notice d'utilisation.....	125
4.2.1.Configuration « Sustenter ».....	125
4.2.1.1.Mise en service.....	125
4.2.1.2.Réglages et Instrumentation.....	125
4.2.1.3.Logiciel.....	126
4.2.1.4.Description informatique.....	126
4.2.1.5.Description des fonctionnalités.....	126
4.2.1.6.Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service.....	126
4.2.2.Configuration « Orienter ».....	127
4.2.2.1.Mise en service.....	127
4.2.2.2.Réglages et Instrumentation.....	127

4.2.2.3.Logiciel.....	128
4.2.2.4.Description informatique.....	128
4.2.2.5.Description des fonctionnalités.....	129
4.2.2.6.Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service.....	130
4.2.3.Configuration «Energie».....	131
4.2.3.1.Mise en service.....	131
4.2.3.2.Réglages et Instrumentation.....	131
4.2.3.3.Logiciel.....	132
4.2.3.4.Description informatique.....	132
4.2.3.5.Description des fonctionnalités.....	132
4.2.3.6.Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service.....	132
4.2.4.Configuration «Altitude».....	133
4.2.4.1.Mise en service.....	133
4.2.4.2.Réglages et Instrumentation.....	133
4.2.4.3.Logiciel.....	135
4.2.4.4.Description informatique.....	135
4.2.4.5.Description des fonctionnalités.....	135
4.2.5.Configuration «Communiquer».....	136
4.2.5.1.Mise en service.....	136
4.2.5.2.Application « Se connecter ».....	136
4.2.5.2.1.Description informatique.....	136
4.2.5.2.2.Description des fonctionnalités.....	137
4.2.5.3.Application « Analyser ».....	137
4.2.5.3.1.Description informatique.....	137
4.2.5.3.2.Description des fonctionnalités.....	138
4.2.5.4.Application « Commander ».....	140
4.2.5.4.1.Description informatique.....	140
4.2.5.4.2.Description des fonctionnalités.....	140
4.3.Entretien de l'équipement.....	143
4.3.1.Nettoyage.....	143
4.3.2.Charge de la batterie.....	143
4.4.Sécurité.....	144
4.4.1.Consignes de sécurité.....	144
4.4.2.Procédure de consignation.....	145
4.5.Maintenance Corrective.....	146
5.Documents Techniques.....	147
5.1.Approche fonctionnelle.....	147
5.1.1.Représentation Chaîne d'énergie / Chaîne d'information.....	148
5.2.Schémas électriques / électroniques.....	149
5.2.1.Câblage alimentation carte mère.....	149
5.2.2.Câblage des points de mesure U, V et W du moteur brushless ».....	150
5.2.3.Câblage des points de mesure VA, VB et VR du capteur à ultrasons.....	150
II.ANNEXES.....	152
A.Spécifications de la carte mère.....	153
B.Spécifications de la carte de navigation.....	156
C.Atmel AT73C246.....	159
1.Atmel analog companion chip enables ARM9-based multimedia solutions.....	159
D.Spécifications du chipset Wifi - Atheros AR6102G.....	167
E.Spécifications du gyroscope DG-500.....	168
1.DG-500 Integrated Dual-Axis Gyroscope .....	168
1.1.Overview.....	168
1.2.Applications.....	168
1.3.Features.....	168
Benefits.....	169
F.Spécifications du gyroscope XV-3500.....	170
G.BMA150.....	171

---

H. Les moteurs Brushless.....	172
1.Le moteur brushless : Introduction.....	172
1.1.Composition du moteur brushless : .....	172
1.2.Fonctionnement du moteur brushless simple: .....	172
2.Commande des moteurs brushless.....	172
2.1.Moteur brushless en régime établi : .....	172
2.2.Démarrage d'un moteur brushless : .....	173
2.3.Principe de commutation des moteurs brushless : .....	173
2.3.1.Moteurs brushless à Capteurs à effet hall : .....	173
2.3.2.Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem : .....	173
2.4.Régulation de vitesse d'un moteur brushless .....	173
3.Les différents types de moteurs brushless.....	173
3.1.Moteurs brushless ourturner : .....	174
3.2.Moteurs brushless inrunner .....	174
3.3.Moteurs brushless disques .....	174
III.Bibliographie - Licence.....	175

Cette page a été laissée intentionnellement blanche

## I. Définition du produit réel

### A. Présentation générale du produit réel

#### 1. Définition

L'AR.Drone de la société Parrot, est le premier quadricoptère piloté par un iPhone/iPod-Touch/iPad ainsi que par la plupart des appareils mobiles Wi-Fi basé sur Android. L'AR.Drone n'est pas simplement un quadricoptère télécommandé, c'est aussi le coeur d'une plate-forme de jeu à réalité augmentée multijoueur.

Il est conçu pour une utilisation en extérieur et en intérieur grâce à une carène prévue pour le protéger des chocs et pour éviter le contact avec les hélices en rotation.



Fig. 1: L'AR.Drone



Fig. 2: L'AR.Drone avec carène



Fig. 3: Présentation d'un jeu pour l'AR.Drone sur Parrot.com

En plus du pilotage intuitif de l'AR.Drone par de simples mouvements appliqués au mobile, les caméras embarquées nous permettent d'avoir une vision en direct de l'aéronef sur l'écran du mobile à quelques dizaines de mètres grâce au réseau Wi-Fi établi entre l'AR.Drone et son mobile de pilotage.



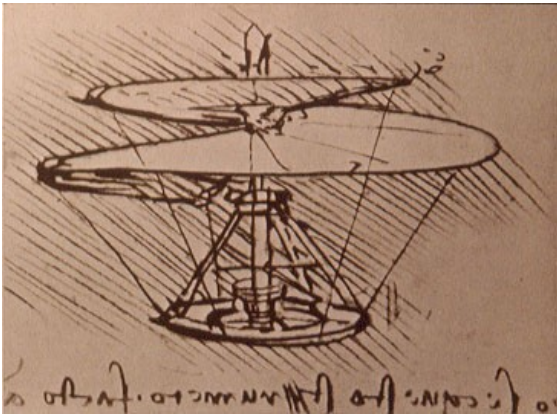
L'AR.Drone possède deux caméras, une frontale et l'autre verticale, pour donner une impression de perception en profondeur lors du vol et il est possible de sélectionner l'une ou l'autre des caméras (ou les deux) depuis l'application de pilotage.

L'AR.Drone dispose aussi de plusieurs fonctionnalités d'auto-pilotage permettant le décollage, l'atterrissage et le vol stationnaire. Le pilote automatique assure aussi le contrôle de l'AR.Drone en cas de perte de connexion Wi-Fi avec le mobile de pilotage.

Si l'AR.Drone est utilisé avec un jeu à réalité augmentée, plusieurs fonctions de reconnaissances de formes permettent la détection de marqueurs placés au sol ou sur d'autres drones facilitant ainsi le guidage de l'aéronef.

## 2. Historiques

### 2.1. Évolution des hélicoptères

<p><b>L'inspiration</b></p>		
<p><b>L'idée</b> <b>Léonard de Vinci</b> <b>1487 - 1490</b></p>		<p>Léonard a été, comme Icare, fasciné par le vol. Il a produit de nombreuses études sur ce phénomène en s'inspirant de la nature, dont les prémices d'hélicoptère nommées la « vis aérienne »</p>



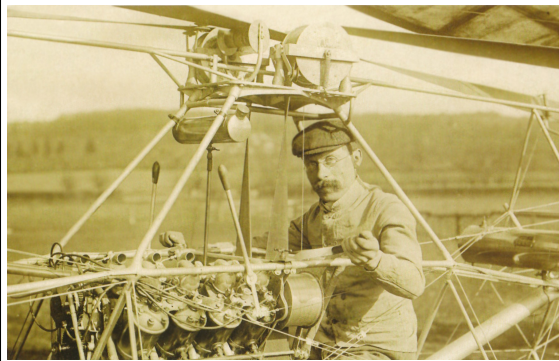
**Maquettes  
d'hélicoptère  
de Ponton  
d'Amécourt  
1863**



- Prise de vue en juin 1863, tirage postérieur (vers 1900) par Paul Nadar d'après le négatif original
- BnF, Estampes et Photographie. Eo 15 folio, tome 2. Acquisition 1949, fonds Nadar

**Premiers Vols  
1907 - 1950**

**Paul Cornu  
1907**






Paul Cornu inventa et fit décoller un engin plus lourd que l'air près de Lisieux en 1907.

**Louis Breguet  
René Dorand  
1935**




Le Gyroplane Laboratoire vola pendant une heure à 100 Km en 1936.

<p><b>Double rotors ou simple rotor ?</b></p>		<p>La question de la suppression du couple engendré par le rotor principal est primordiale pour pouvoir piloter l'hélicoptère : si un seul rotor soutient l'appareil, celui-ci tournera dans le sens inverse de la rotation du rotor, rendant l'appareil incontrôlable.</p> <p>Jusqu'à la Deuxième Guerre Mondiale, la seule solution retenue a été celle de l'utilisation de 2 rotors de sustentation, l'un tournant dans le sens inverse de l'autre afin de neutraliser l'effet de couple.</p> <p>La complexité et les coûts engendrés par cette solution a freiné la production en série des hélicoptères.</p> <p>On doit la solution à un ingénieur américain d'origine russe, <b>Igor Sikorsky</b> (à gauche sur la photo). Il eu l'idée de compenser le couple du rotor principal par un rotor secondaire dit « anti-couple », placé verticalement au bout de la queue de l'appareil. Cette innovation permit de simplifier la mécanique et de réduire les coûts facilitant ainsi la production en série des hélicoptères.</p>
<p><b>Les appareils opérationnels</b></p> <p><b>Depuis 1950</b></p>		<p>Le premier hélicoptère dénommé Alouette fut le <b>SE 3120</b>, triplace, qui effectua son premier vol le 31 août 1951.</p>
<p><b>Les dernières générations</b></p>		<p>L'<b>EC225</b> est un hélicoptère de la classe 11 tonnes fabriqué par Eurocopter qui a effectué son premier vol en novembre 2000.</p> <p>Nombre de pales : 5 sur le rotor principal et 4 sur le rotor anti-couple</p>

## 2.2. Évolution des systèmes de drones

L'histoire des UAS (Unmanned Aircraft System ou Système d'Aéronefs non habités) débute avec la première Guerre Mondiale avec la mise au point d'appareils capables de voler sans pilote (torpilles volantes).

<p><b>Les systèmes de drones</b></p>	 	<p>Pour l'auto-pilotage, les premiers engins étaient composés de gyroscopes pour la stabilisation et la direction, d'un baromètre pour réguler l'altitude, de servo-moteurs pour contrôler les ailerons et la gouverne ainsi que d'équipements de mesure de distance.</p> <p>L'évolution des systèmes de drone à globalement suivi l'évolution de l'aviation.</p> <p>La maturité et la miniaturisation des technologies associées depuis les années 80 ont permis de développer ce domaine et de diminuer les coûts de fabrication et d'exploitation.</p> <p>Cantonnés pendant longtemps dans le domaine militaire, les systèmes de drone se sont vus confier de nombreuses autres missions civiles.</p>
<p><b>Les missions</b></p>		<p>La majorité des fonctions que l'on trouve sur les systèmes de drones sont liées à la prise de mesures à distance (capteurs électromagnétiques, biologiques, chimiques, etc.).</p> <p>Les principales missions confiées aux systèmes de drone sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Environnementales</li> <li>• Météorologiques</li> <li>• Recherches scientifiques</li> <li>• Humanitaires</li> <li>• Militaires</li> <li>• Sécurité intérieure (Police, Gendarmerie, Douanes et gardes-côtes)</li> <li>• Sécurité civile (recherche, secours , etc.)</li> </ul>

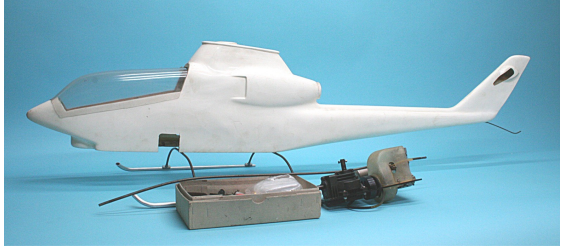

### Exemples de missions







- Surveillance des zones sensibles
- Inspection d'Ouvrages d'Art
- Photographie aérienne
- Cartographie, recherche et exploitation de pétrole, de gaz et de minerais
- Cinéma
- Surveillance de sites industriels, d'infrastructures routières et ferroviaires
- Formation au vol
- etc.

### 2.3. Évolution des modèles réduits d'hélicoptères

Les modèles réduits d'hélicoptères ont bénéficié des mêmes avancées technologiques que leurs aînés en matière de matériaux, de miniaturisation et de puissance des systèmes électroniques puis informatiques embarqués.

<p><b>Les Pionniers</b></p>		<p>Le premier véritable hélicoptère radiocommandé a été conçu en 1969 par Dieter Schlüter. Ce modèle a gagné le concours Harsewinkel. Il a réussi à faire voler son hélicoptère sur deux vols de 5 secondes, à 3 mètres du sol.</p>
		<p>Le premier modèle commercialisé a été le <i>Bell Huey cobra Schlüter</i>, qui a établi un nouveau record (non officiel) avec un vol de 10 minutes 36 secondes.</p>
		
<p><b>Hélicoptère birotor contrarotatif</b></p>		<p>Ces hélicoptères sont particulièrement destinés à l'apprentissage du pilotage d'hélicoptère radio-commandé. Ils sont plus stables et plus simples à contrôler que les hélicoptères normaux. Ils possèdent deux rotors de sustentation coaxiaux (tournant autour du même axe) tournant en sens inverse et ne possèdent pas de rotor de queue.</p>

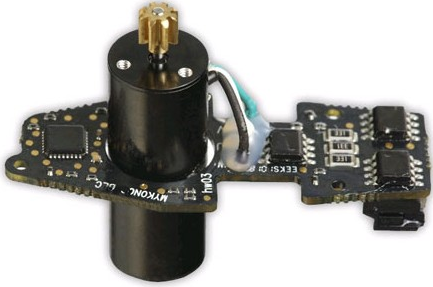

<p><b>Hélicoptère birotor en tandem</b></p>		<p>Ce modèle possède deux rotors de sustentation l'un derrière l'autre. Ce système dans lequel les rotors tournent en sens inverse permet d'annuler le couple de réaction du rotor sur la cellule.</p>
<p><b>Hélicoptère 3 rotors</b></p>		<p>La miniaturisation des systèmes de stabilisation et l'informatique embarquée sur l'appareil permettent d'augmenter le nombre de rotor afin d'améliorer la stabilité, la réactivité et le confort de pilotage.</p>
<p><b>Quadricoptère</b></p>		<p>Famille de drones dont fait partie le fameux AR.Drone...</p> <p>Sa mise au point a nécessité 5 ans de travail et a abouti au dépôt d'une vingtaine de brevets.</p>
<p><b>Hélicoptère 6 rotors</b></p>		<p>Toutes les configurations sont permises.</p>

### 3. Présentation technique, commerciale, économique et environnementale

#### 3.1. Présentation technique



##### 3.1.1. Moteur et énergie

La propulsion de l'AR.Drone est assurée par quatre moteurs alimentés par une batterie Lithium polymère.

<p><b>Moteurs brushless</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 moteurs brushless</li> <li>• 35 000 tr/min</li> <li>• Puissance : 15W</li> </ul>
<p><b>Batterie Lithium polymère</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 cellules</li> <li>• 11,1 V</li> <li>• 1000 mAh</li> <li>• Temps de charge : 90 mn</li> </ul>

### 3.1.2. Vidéo

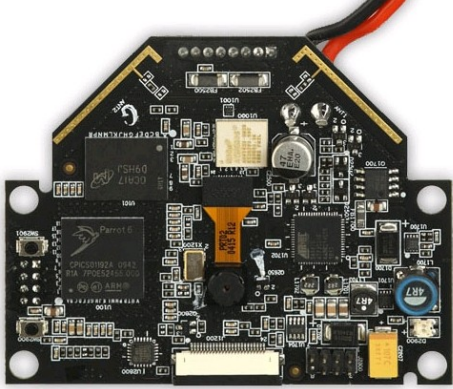

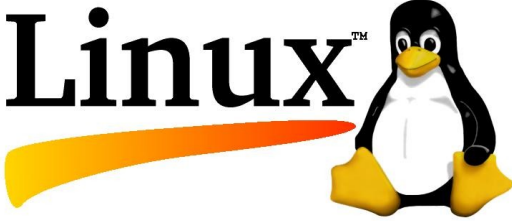
Le pilote est plongé dans le jeu à réalité augmentée grâce à deux caméras (frontale et verticale) dont les images sont diffusées sur l'iPhone en temps réel.

<p><b>Caméra frontale</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagonale de la lentille 93°, capteur CMOS.</li> <li>• Résolution 640x480 pixels (VGA)</li> <li>• 15 images/sec.</li> <li>• Retour vidéo sur l'écran de iPhone/iPod-Touch/iPad.</li> <li>• Détection des tags 2D et 3D pour la Réalité Augmentée.</li> </ul>
<p><b>Caméra verticale</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caméra haute vitesse, diagonale de la lentille 64°, capteur CMOS.</li> <li>• Résolution 176x144 pixels (QCIF).</li> <li>• 60 images/sec.</li> <li>• Permet la stabilisation.</li> </ul>




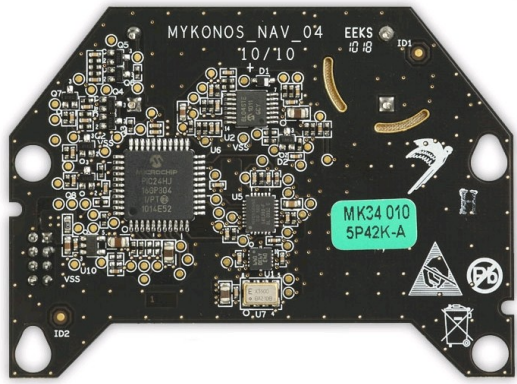
### 3.1.3. Ordinateur embarqué

L'intelligence de l'AR.Drone est concentrée dans la carte mère sous la forme de composants électroniques et de logiciels embarqués. La puissance de calcul de cet ordinateur embarqué, permet d'assurer des mouvement fluides et contrôlés de l'AR.Drone ainsi que la compression et la diffusion des vidéos des deux caméras.




<p><b>Carte mère</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ARM9 468MHz, DDR 128 Mo à 200 MHz</li> </ul>
<p><b>Communications</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wi-Fi b/g</li> <li>• USB Haute Vitesse</li> </ul>
<p><b>Système d'exploitation</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linux OS</li> </ul>

### 3.1.4. Centrale Inertielle

L'AR.Drone embarque un altimètre ultrason et une centrale inertielle basée sur des accéléromètres et des gyroscopes qui lui permet de se stabiliser (vol stationnaire) et de contrôler finement ses déplacements.




<p><b>Altimètre ultrason</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fréquence d'émission : 40 KHz</li> <li>• Portée : 6 m</li> <li>• Stabilisation verticale</li> </ul>
<p><b>Centrale inertielle</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capteurs Mems</li> <li>• Accéléromètre 3 axes</li> <li>• Gyroscopie 2 axes</li> <li>• Gyroscopie de précision 1 axe pour le lacet.</li> </ul>

3.1.5. Autres caractéristiques générales

<p><b>Sécurité</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blocage automatique des hélices en cas de contact</li> </ul>
<p><b>Structure</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube de carbone</li> </ul>
<p><b>Performances</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poids total de l'AR.Drone :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 360 g sans carène</li> <li>◦ 400 g avec carène</li> </ul> </li> <li>• Vitesse de déplacement :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 5 m/s ; 18 km/h</li> </ul> </li> <li>• Temps de vol : 12 minutes</li> </ul>

### 3.1.6. Données échangées avec l'AR.Drone

L'AR.Drone échange en permanence des données avec le logiciel de pilotage exécuté sur l'iPhone.

<p><b>Commandes et données de navigation</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commande du drone             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Décollage, atterrissage</li> <li>◦ Gauche/Droite, Avancer/Reculer</li> <li>◦ Pivot droit et gauche</li> </ul> </li> <li>• Réception des données de navigation             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Mesures inertielles (altitude, angles, vitesses XYZ, estimation du déplacement)</li> <li>◦ Niveau batterie</li> <li>◦ Détection des tags 2D et 3D</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Réception du flux vidéo</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décodage des trames vidéo (motion JPEG)</li> </ul>
<p><b>Configuration de l'AR.Drone</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuration intérieur/extérieur</li> <li>• Paramètres de vol</li> </ul>

### 3.1.7. Kit de développement logiciel

La société Parrot met à la disposition des développeurs amateurs et professionnels la documentation, les interfaces logicielles et des exemples permettant de créer des logiciels de pilotage de l'AR.Drone.

<p><b>API du drone</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://projects.ardrone.org">https://projects.ardrone.org</a></li> <li>• ArDroneLib (Code Source en C)             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Configuration du drone</li> <li>◦ Récupération de la vidéo et des NavData</li> <li>◦ Envoi des commandes</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Code Source d'exemples</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apple IOS (iPhone/iPod/iPad)             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FreeFlight (avec ihm)</li> </ul> </li> <li>• Linux :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Ardrone_navigation (interface de paramétrage complet)</li> </ul> </li> <li>• Windows :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Interface de pilotage</li> </ul> </li> <li>• Android :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Interface de pilotage</li> </ul> </li> </ul>

### 3.2. Présentation commerciale

#### 3.2.1. Cible commerciale et secteur d'activité

La cible principale de l'AR.Drone est la catégorie des Hommes de 15 à 30 ans dans le secteur des Loisirs et des Télécommunications.



Fig. 4: Campagne de lancement de l'AR.Drone sur Internet : « Pilots Wanted »

#### 3.2.2. Étapes de la campagne commerciales

L'aventure de la commercialisation de l'AR.Drone commence quelques mois avant le rendez-vous majeur de la profession : le salon CES (Consumer Electronic Show) de Las Vegas au début de l'année 2010.

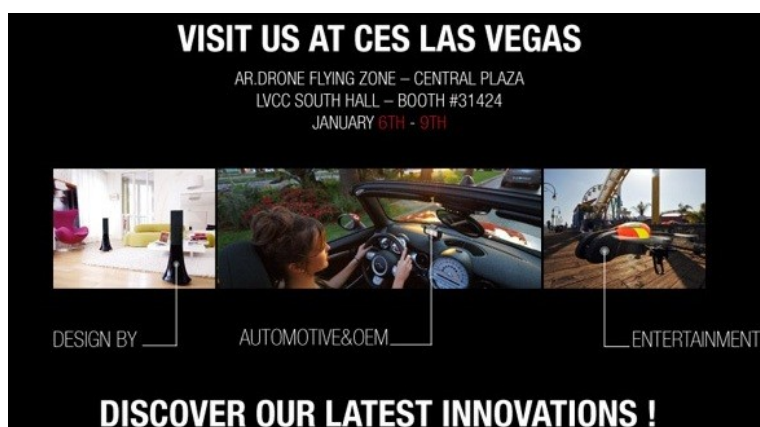


Fig. 5: Annonce CES 2011

L'idée est de faire connaître le produit en créant un buzz très fort sur Internet et fédérer une communauté de fans afin de préparer la commercialisation.

L'équipe marketing de Parrot a misé dès le départ sur la vidéo et les réseaux sociaux YouTube, Facebook et Twitter.

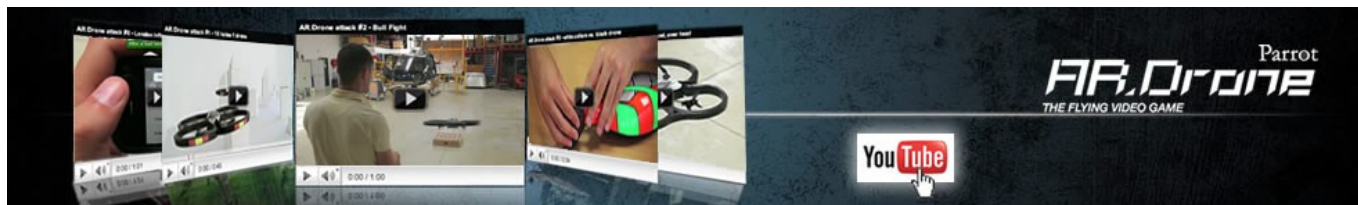


Fig. 6: Bannière YouTube sur parrot.com

Peu de temps avant le salon CES, quelques blogueurs sont invités en avant-première dans les locaux de Parrot à Paris sous le sceau de la confidentialité.

Dans le même temps, les outils web (site web, blog, liste de diffusion, etc.) sont préparés et calibrés pour recevoir un fort trafic. Le référencement auprès des moteurs de recherche est aussi soigné.

Dès le lancement, le buzz média a été important et le trafic du site est multiplié par 10. Le 6 janvier 2010, le passage sur CNN et ABC accélère le lancement entraînant un plantage du serveur Web de la société... Les infrastructures réseaux sont alors immédiatement mise à niveau pour absorber le trafic sur le site parrot.com.

L'audience de la vidéo principale de l'AR .Drone sur YouTube grimpe rapidement à plus d'un million de vues sans investissement dans de la publicité en ligne.

Jusqu'au lancement de l'AR.Drone en France en aout 2010, Parrot, accompagné par une agence de publicité renommée, a continué la promotion du drone (chaîne YouTube dédiée à l'AR.Drone, campagne interactive « AR.DRONE PILOTS WANTED », partenariat avec le site d'actualité hightech Gizmodo, etc.).

En aout 2010, le site de e-commerce dédié aux pièces détachées de l'AR.Drone est mis en place.

### 3.2.3. Résultats

En janvier 2010, la vidéo principale de l'AR.Drone a été vue plus d'un million de fois et l'ensemble des vidéos ont été vues plus de deux millions de fois en quelques jours. A la fin de l'année 2010, Parrot comptait plus de 8 millions de vidéos vues.

En 2011, Parrot compte environ 100 000 fans sur Facebook et près de 9000 followers suivent l'actualité de la société sur Twitter.

### 3.3. Présentation économique

#### 3.3.1. La société Parrot

En 2011, la société emploie environ 500 personnes rassemblées au siège parisien, en bordure du canal Saint-Martin. La Recherche-Développement absorbe 35% des effectifs et environ 15% du chiffre d'affaires.

Les points forts de la société sont les compétences dans les technologies sans fil dans le domaine de l'acoustique et du traitement du signal (Bluetooth, Wi-Fi), ainsi que le succès de l'AR.Drone.

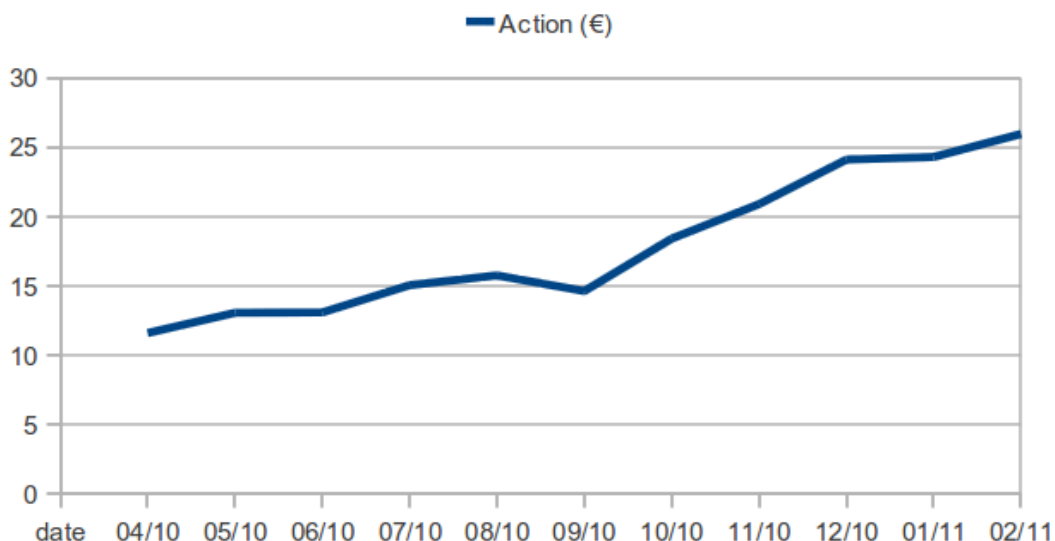
#### 3.3.2. Données financières

En M €	2008	2009	2010
Chiffre d'Affaire (CA)	206	168	241
Résultat net	14	9	27

La société Parrot, spécialiste des périphériques sans fil pour téléphones mobiles, a annoncé pour la fin 2010 un résultat en hausse de près de 60% sous l'impulsion des bonnes performances de l'AR.Drone.

Commercialisé à partir d'août 2010, l'AR.Drone a connu un succès commercial immédiat. La valorisation de l'entreprise a aussi augmenté durant la même période comme on peut l'observer sur le cours de l'action Parrot en 2010.

#### Evolution du cours de l'action Parrot en 2010



Fin 2010, les ventes de l'AR.Drone représentent 30% de son chiffre d'affaires Grand Public, qui totalise près de 75% de l'activité.



#### 4. Gamme de produits

L'AR.Drone est, pour l'instant, le seul produit de ce type proposé par la société Parrot. La société Parrot développe d'autres produits autour de l'AR.Drone comme :

- Les logiciels de jeux.
- Les accessoires
- Les pièces détachées



Fig. 7: Gamme de logiciels



Fig. 8: Les nouveaux accessoires



Fig. 9: Les pièces détachées

## 5. Législation / Sécurité

### 5.1. Législation

#### 5.1.1. Réglementation sur l'aéromodélisme

La réglementation des aéronefs non habités est gérée par la DGAC (Direction générale de l'Aviation Civile). Le lien ci-dessous recense les principaux documents liés à la législation des aéronefs non habités utilisé dans le cadre de l'aéro-modélisme (Fédération Française d'Aéro-Modélisme) :

[http://www.ffam.asso.fr/ffam\\_documentation.htm](http://www.ffam.asso.fr/ffam_documentation.htm)

#### 5.1.2. Réglementation sur les jeux vidéo

Reproduction des précautions de sécurité concernant l'utilisation des jeux vidéo présente dans la notice de l'AR.Drone :

Lisez attentivement les avertissements ci-dessous avant d'utiliser ou de laisser votre enfant utiliser l'AR.Drone. Tout manquement à ces recommandations pourrait entraîner une blessure.

##### Avertissement sur l'épilepsie

Certaines personnes (environ 1 sur 4000) sont susceptibles de faire des crises d'épilepsie ou de perdre conscience à la vue de certaines stimulations lumineuses fortes : succession rapide d'images, éclairs. Ces personnes s'exposent à des crises lorsqu'elles jouent à certains jeux vidéo comportant de telles stimulations alors même qu'elles n'ont pas d'antécédent médical ou n'ont jamais été sujettes elles-mêmes à des crises d'épilepsie.

Si vous-même ou un membre de votre famille avez déjà présenté des symptômes liés à l'épilepsie (crise ou perte de conscience) en présence de stimulations lumineuses consultez votre médecin avant toute utilisation. Les parents doivent également être particulièrement attentifs à leurs enfants lorsqu'ils jouent avec des jeux vidéos.

Si vous-même ou votre enfant présentez un des symptômes suivants : vertige, trouble de la vision, contraction des yeux ou des muscles, perte momentanée de conscience, trouble de l'orientation, crise ou mouvement involontaire ou convulsion, cessez immédiatement de jouer et consultez un médecin avant de reprendre. Pour réduire le risque de crise lors de l'utilisation des jeux vidéo :

- Jouez dans une pièce correctement éclairée et tenez-vous le plus loin possible de l'écran.
- Faites une pause de 15 minutes toutes les heures.
- Évitez de jouer lorsque vous êtes fatigué ou que vous manquez de sommeil.
- Mouvements répétés et fatigue oculaire

Jouer aux jeux vidéos pendant plusieurs heures peut fatiguer vos muscles et articulations, vos yeux ou même irriter votre peau. Suivez les instructions suivantes pour éviter des problèmes de tendinite, le syndrome du canal carpien, une fatigue oculaire ou des irritations de l'épiderme :

- -Évitez de jouer de manière excessive. Il est recommandé aux parents de vérifier que leurs enfants jouent de manière appropriée.
- Faites une pause de 10 à 15 minutes toutes les heures, même si vous vous sentez bien.
- Si vos mains, poignets, bras ou yeux sont fatigués ou douloureux quand vous jouez, reposez-vous plusieurs heures avant de recommencer à jouer.
- -Si la fatigue ou la douleur persiste pendant ou après une partie, arrêtez de jouer et consultez un médecin.

Aimants : Ne convient pas aux enfants de moins de 14 ans. Ce produit contient de petits aimants. Une fois avalés, les aimants peuvent se coller ensemble au travers des intestins et engendrer ainsi de graves blessures.

Consulter immédiatement un médecin en cas d'ingestion d'aimants.

## 5.2. Sécurité

### 5.2.1. Consignes de sécurité

Voici un extrait du guide d'utilisation fourni par la société Parrot concernant les consignes de sécurité :

#### Avertissement

Parrot vous rappelle que la loi vous oblige à utiliser l'AR.Drone de manière prudente et responsable afin d'éviter tout risque de dommage ou blessure sur une personne ou un bien. Parrot vous rappelle également que vous serez tenu pleinement responsable de toute perte ou tout dommage causé par une utilisation non autorisée ou à des fins illicites de l'AR.Drone.

#### Utilisation et entretien

- Pour utiliser l'AR.Drone à l'intérieur installez la carène avec arceaux afin de protéger l'AR.Drone en cas de collision avec un autre objet.
- Assurez vous de garder en permanence un contrôle visuel sur l'AR.Drone pendant que vous l'utilisez, notamment afin d'éviter de perdre le contact de l'appareil avec des personnes ou un bien.
- Assurez-vous que personne ne se tient à une distance inférieure à 1 mètre lors du décollage ou de l'atterrissage de l'AR.Drone.
- Les hélices de l'AR.Drone en vol peuvent causer des dommages à des personnes ou à des objets. Ne touchez pas l'AR.Drone en vol. Patientez jusqu'à l'arrêt total des hélices avant de manipuler l'AR.Drone.
- A proximité de forts champs magnétiques, d'ondes radio ou de radiations fortes, la caméra de l'AR.Drone peut ne pas diffuser correctement le flux vidéo. Si du sable ou de la poussière pénètre dans l'AR.Drone, celui-ci peut ne plus fonctionner correctement, de manière irréversible.
- Maintenez l'AR.Drone à l'écart de lignes de haute tension, arbres, bâtiments ou toute autre zone potentiellement dangereuse.
- Évitez d'utiliser l'AR.Drone dans un environnement surchargé de réseaux Wi-Fi® (routeurs, internet box). Un minimum de réseaux Wi-Fi à proximité permettra une meilleure utilisation de votre AR.Drone.
- N'utilisez pas cet appareil à proximité de substances liquides. Ne posez pas le AR.Drone sur l'eau ou sur une surface humide. Cela pourrait causer des dommages irréversibles.
- Assurez-vous que votre zone de vol est constamment libre. Sélectionnez une zone dégagée.
- Évitez de faire subir à l'AR.Drone des changements d'altitude trop importants (ex : fenêtre).
- Ne laissez pas l'AR.Drone au soleil.

#### Instructions de sécurité

ATTENTION : Afin de réduire le risque d'incendie n'exposez pas la maquette didactique à la pluie ou à l'humidité.

- Ne l'installez pas à proximité d'une source de chaleur. Radiateurs, fours ou autres appareils (amplificateurs inclus) qui produisent de la chaleur.
- Ne modifiez pas les connecteurs polarisés
- Utilisez uniquement les attaches / accessoires spécifiés par le constructeur.
- Lors de l'utilisation d'une alimentation externe, respectez la polarité (+ borne rouge ; - borne noire) et ne dépassez pas la tension +12V (régler l'alimentation avant de la connecter à la maquette didactique).

#### Avertissement concernant la batterie



Lisez entièrement la feuille d'instructions accompagnant cette batterie. Le non respect de l'ensemble des instructions peut entraîner des dommages permanents pour la batterie et son environnement, et provoquer des blessures.

- Ne JAMAIS rien utiliser À L'EXCEPTION d'un chargeur approuvé LiPo.
- TOUJOURS utiliser un chargeur à équilibrage de cellules LiPo ou un équilibreur de cellules LiPo.
- Ne JAMAIS charger via un fil de décharge.
- Ne JAMAIS effectuer de chargement à régime lent, ou en dessous de 2,5 V par cellule.
- La température de la batterie ne doit JAMAIS excéder les 60 °C (140 °F).
- Ne JAMAIS désassembler ou modifier le câblage du boîtier, ou percer les cellules.
- Ne JAMAIS placer sur des matériaux combustibles ou laisser sans surveillance pendant le chargement.
- TOUJOURS charger dans un endroit à l'épreuve du feu.

- TOUJOURS s'assurer que la tension de sortie du chargeur corresponde à la tension de la batterie.
- TOUJOURS TENIR HORS DE PORTÉE DES ENFANTS.
- UNE MAUVAISE UTILISATION DE LA BATTERIE PEUT PROVOQUER DES INCENDIES, DES EXPLOSIONS OU D'AUTRES DANGERS.

Avant toute intervention sur la maquette didactique il faut déconnecter l'alimentation de l'équipement (batterie ou alimentation externe).

### 5.2.2. Procédure de consignation

- En cas de problème lors du pilotage de l'AR.Drone, appuyez sur la touche Emergency présente dans toute les applications (  ou  ).

***Avertissement :** Appuyez uniquement sur le bouton Emergency en cas d'urgence. Les moteurs se couperont et l'AR.Drone tombera quelle que soit la hauteur à laquelle il se trouve. Dans la plupart des cas, un atterrissage de l'AR.Drone est suffisant.*

- Pour consigner l'équipement en cas de mauvais fonctionnement, suivre la procédure suivante :

*Débrancher la batterie, suivant le cas d'utilisation.*

## 6. Les principaux fabricants

La société Parrot est le seul fabricant de l'AR.Drone et, à l'heure actuelle, la concurrence est quasi nulle sur ce créneau particulier.



Fig. 10: iRemoco, concurrent de l'AR.Drone ?

Cette page a été laissée intentionnellement blanche

## B. Expression fonctionnelle du produit réel

### 1. Analyse SysML du système AR.Drone

#### 1.1. Définition des environnements

En situation réelle, un système de drone (UAS) est composé :

- d'une ou plusieurs Stations-Sol,
- d'un ou de plusieurs Drones,
- d'un ou de plusieurs Pilotes.

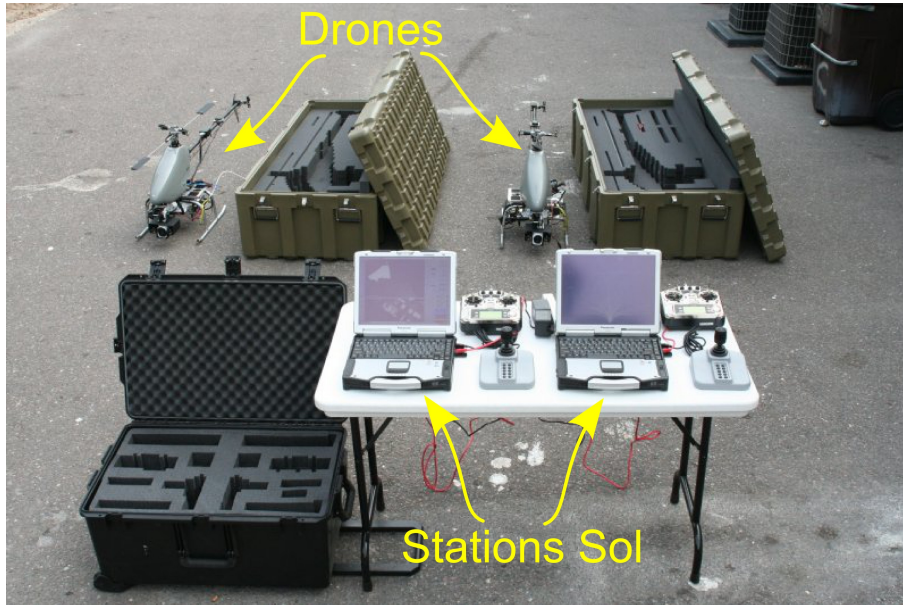


Fig. 11: Exemple de système de drones réel

On retrouve les mêmes éléments dans le système AR.Drone :



Fig. 12: Système AR.Drone

## 1.2. Définition du contexte du système à étudier

Pour faire l'analyse SysML d'un système, il faut dans un premier temps définir le contexte du système à étudier.

Dans le cas du système AR.Drone, deux sous-systèmes seront étudiés :

- l'AR.Drone lui-même,
- la Station-Sol.

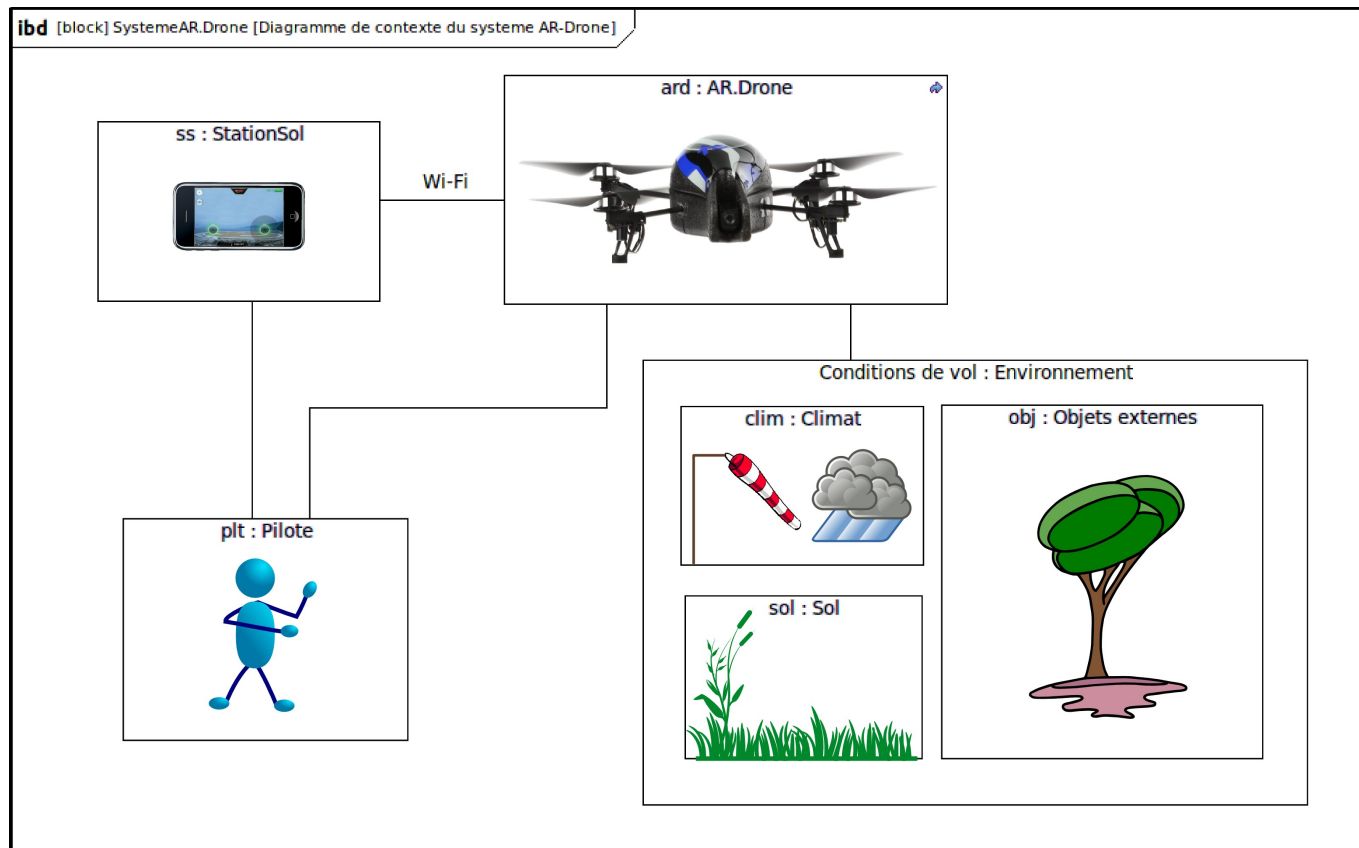


Fig. 13: Contexte du système étudié

Dans un premier temps, on choisit l'AR.Drone comme objet principal de l'étude.

## 1.3. Catalogue des acteurs pour l'AR.Drone

Définition : Un acteur est une personne, une organisation ou un système externe qui joue un rôle dans une ou plusieurs interactions avec le système.

On peut trouver les acteurs en interaction avec l'AR.Drone en répondant aux questions suivantes :

### - Qui utilise l'AR.Drone ?

D'après l'illustration précédente (Fig. 13), on peut dire que l'utilisateur principal de l'AR.Drone est le Pilote.

### - Avec quel(s) système(s) l'AR.Drone est-il en communication ?

Il faut un équipement mobile Wifi pour piloter l'AR.Drone depuis le sol (iPhone, etc.). Dans l'univers des systèmes de drones, cet équipement est nommé Station-Sol. On reprendra ce terme générique pour l'analyse SysML du système AR.Drone.

### - Qui peut provoquer des stimulus ou des perturbations sur l'AR.Drone ?

L'Environnement du drone est important et influence son comportement (vent, distance par rapport au sol, objets environnant, etc.).



**- Qui va assurer la maintenance de l'AR.Drone ?**

Pour maintenir le drone en état de voler, il est nécessaire de changer la batterie ou de réparer l'AR.Drone en cas de casse. Le pilote sera chargé d'assurer cette maintenance de premier niveau.

On en déduit la liste des acteurs :

Acteur	Rôle
Station-Sol	C'est terminal Wi-Fi permettant le pilotage de l'AR.Drone (iPhone, iPod, iPad, mobile Android, PC portable, etc.).
Pilote	Utilisateur principal du système AR.Drone.
Environnement	L'AR.Drone évolue dans un environnement qu'il filme et qui peut influencer son comportement (sol, vent, autres AR.Drones, etc.).

Représentation des acteurs :



Fig. 14: Exemple de représentation des acteurs

**1.4. Diagramme de cas d'utilisation simplifié de l'AR.Drone**

**1.4.1. Le cas d'utilisation**

Définition : Le cas d'utilisation modélise un dialogue entre un acteur et le système. Il représente une fonctionnalité ou un service offert par le système à l'acteur principal qui le déclenche. D'autres acteurs peuvent aussi interagir avec un cas d'utilisation, ce sont des acteurs secondaires.

Représentation d'un cas d'utilisation :

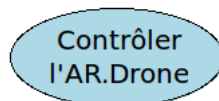


Fig. 15: Un cas d'utilisation

**1.4.2. Relations entre acteurs et cas d'utilisation**

Un diagramme de cas d'utilisation met en jeu des acteurs et des cas d'utilisation. Il permet aussi de représenter les communications entre les acteurs et les cas d'utilisation.

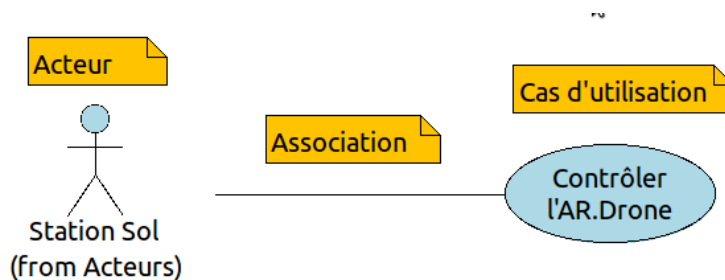


Fig. 16: Exemple de relation acteur/cas d'utilisation

### 1.4.3. Recherche des cas d'utilisation

Un cas d'utilisation représente une fonctionnalité du système pour un acteur. Il est donc nécessaire de se placer du point de vue des acteurs pour identifier les cas d'utilisation.

Une fois le cas d'utilisation identifié, on le nomme avec un verbe à l'infinitif suivi d'un complément.

Il faut aussi garder à l'esprit que, pour construire un diagramme de cas d'utilisation, il faut éviter de penser à l'aspect temporel : on ne cherche pas à trouver l'ordre de déclenchement des cas d'utilisation.

#### 1.4.3.1. Cas d'utilisation pour l'acteur Station-Sol

Afin de découvrir les cas d'utilisation concernant l'acteur Station-Sol, on peut observer l'Interface-Utilisateur du logiciel de pilotage « Free Flight », exécuté par la Station-Sol.

Remarque : La recherche des cas d'utilisation se base sur « Free Flight » car c'est la première application iPhone/iPod proposée gratuitement par la société Parrot pour piloter l'AR.Drone. Il existe maintenant de nombreuses autres applications dédiées au pilotage de l'AR.Drone pour différents équipements (mobiles, tablettes, ordinateurs, etc.) et systèmes d'exploitation (Android, Linux, Windows, etc.).



Fig. 17: Interface de contrôle de l'AR.Drone sur la Station-Sol

On remarque que quatre interfaces tactiles permettent de contrôler l'AR.Drone (Fig. 17):

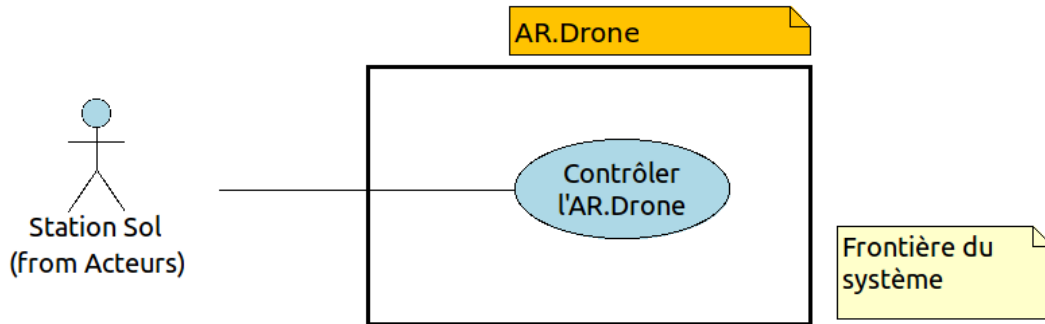
- un bouton pour le décollage et l'atterrissage,
- une manette pour faire monter/descendre/tourner l'AR.Drone,
- une manette pour faire avancer et reculer l'AR.Drone,
- un bouton pour stopper les moteurs en cas d'urgence.

La propulsion de l'AR.Drone est basée sur 4 moteurs/hélices qui, en tournant, vont créer une force de poussée qui va compenser le poids du quadricoptère. Lorsque la force de poussée est supérieure à la force exercée par l'effet de la gravitation sur le drone, celui-ci s'élève.

C'est la variation des vitesses des différents moteurs qui va entraîner les déplacements de l'AR.Drone.

Ces fonctionnalités seront regroupées dans le cas d'utilisation « Contrôler l'AR.Drone ».

On obtient un premier diagramme de cas d'utilisation (Fig. 18):



*Fig. 18: Première ébauche du diagramme de cas d'utilisation*

Remarque : On a complété le diagramme avec la frontière du système étudié avec l'extérieur ainsi qu'avec son nom.

On s'intéresse maintenant aux caméras embarquées sur l'AR.Drone (Fig. 19):

- une caméra frontale chargée de filmer devant l'AR.Drone,
- une caméra verticale chargée de filmer le sol.

Les flux vidéo des caméras sont envoyés en permanence par l'AR.Drone une fois que la communication avec la Station-Sol est établie.



Fig. 19: Diffusion des flux vidéo de l'AR.Drone sur la Station-Sol

On en déduit un nouveau cas d'utilisation de l'AR.Drone : « Diffuser les flux vidéo » chargé d'acquérir les flux vidéo de chaque caméra, de les compresser et de les envoyer en permanence vers la Station-Sol.

On complète alors le diagramme précédent avec le nouveau cas d'utilisation :

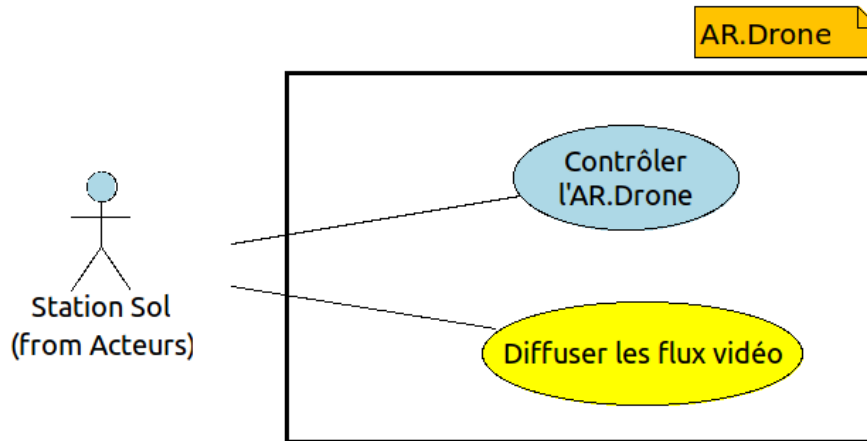


Fig. 20: Nouvelle ébauche du diagramme de cas d'utilisation

En observant à nouveau l'Interface-utilisateur du logiciel de pilotage de la Station-Sol, on remarque que l'AR.Drone nous diffuse aussi des informations sur son état interne :

- l'état de sa batterie,
- différents messages d'alerte (moteur, angle important, etc.).

De plus, la documentation technique (cf. AR.Drone Developer Guide) nous informe que l'AR.Drone transmet en permanence :

- son altitude,
- ses angles de roulis, tangage et lacet (en anglais : roll, pitch et yaw),
- sa vitesse,
- la vitesse de ses moteurs,
- etc.

Toutes ces informations sont nommées « données de navigation » (navdata dans la documentation technique). Définition : Angles de Roulis, Tangage et Lacet (Roll, Pitch et Yaw)

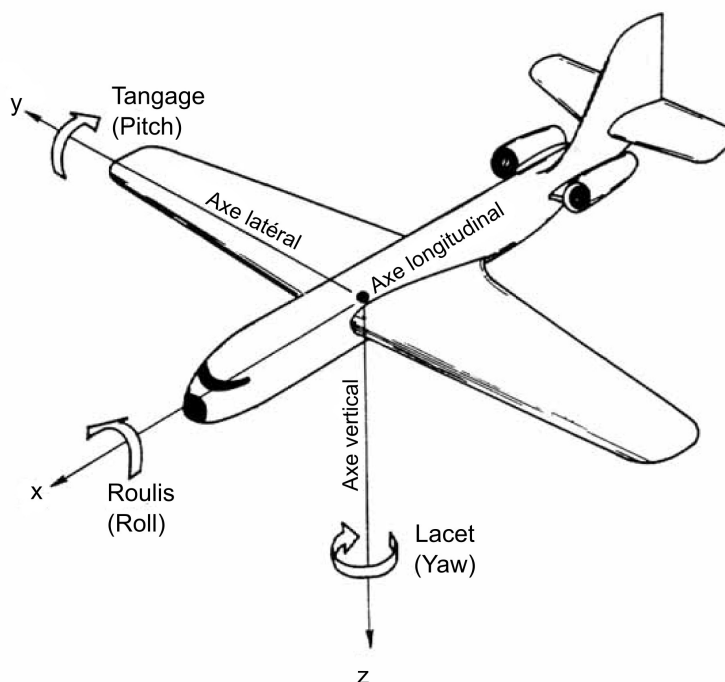


Fig. 21: Angles de Roulis, Tangage et Lacet



Diffuser les données de navigation

Fig. 22: Diffusion des données de navigation

On en déduit un nouveau cas d'utilisation de l'AR.Drone : « Diffuser les données de navigation » chargé d'acquérir ces informations et de les envoyer en permanence vers la Station-Sol.



Le diagramme de cas d'utilisation est enrichi avec le nouveau cas d'utilisation :

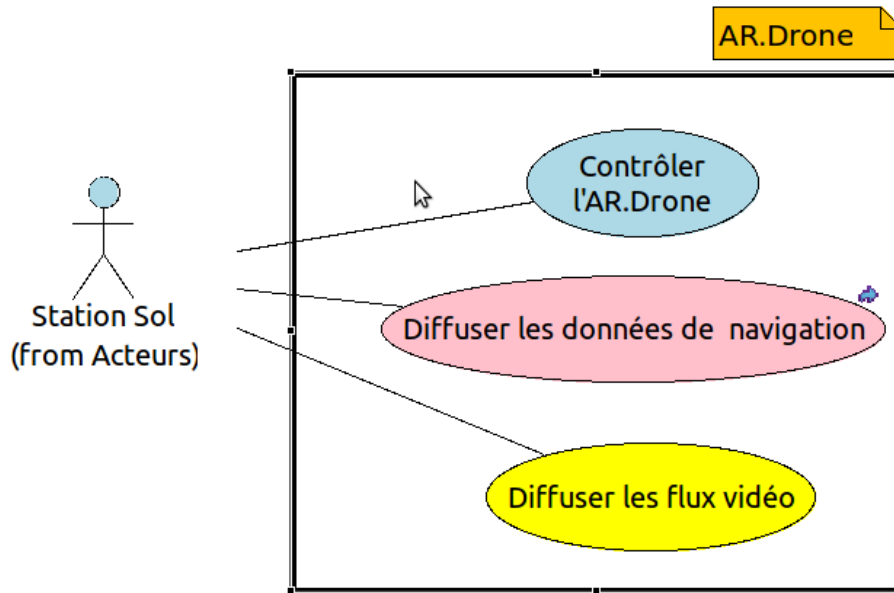


Fig. 23: Nouvelle ébauche du diagramme de cas d'utilisation

Un dernier élément de l'Interface-Utilisateur de la Station-Sol nous donne des indications sur les possibilités de paramétrage offerte par l'AR.Drone :



Fig. 24: Paramétrage du vol depuis la Station-Sol

Cette interface Homme-Machine permet de modifier quelques paramètres de vol dans l'AR.Drone comme la limitation d'altitude, les vitesses maximales, etc.

Il en découle un nouveau cas d'utilisation, « Paramétrer le vol » chargé de paramétrer l'AR.Drone avec les nouvelles consignes reçues de la Station-Sol.

Ce nouveau cas d'utilisation trouve sa place dans le diagramme précédent :

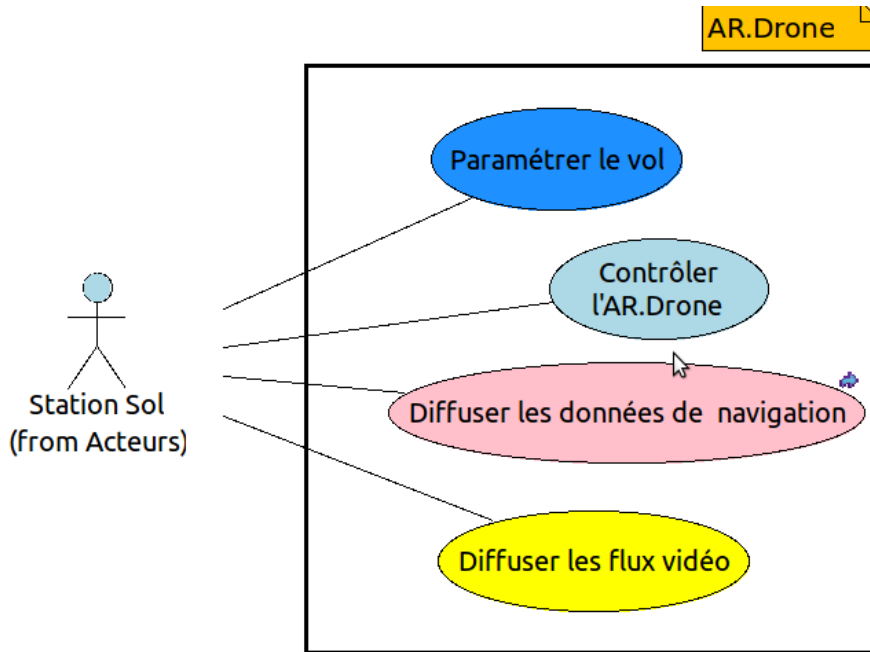


Fig. 25: Diagramme de cas d'utilisation enrichi

### 1.4.3.2. Cas d'utilisation pour l'acteur Pilote

La Station-Sol n'est pas le seul acteur en interaction avec l'AR.Drone. Les leds bicolores situées près des moteurs et sous l'AR.Drone donnent directement au Pilote des informations importantes sur l'état du système.

Exemple pour les leds situées près des moteurs :

- leds rouges : au sol, AR.Drone en cours d'initialisation ou problème moteur,
- leds vertes : au sol, AR.Drone prêt à décoller,
- leds clignotantes : en vol, tir de missile,
- etc.

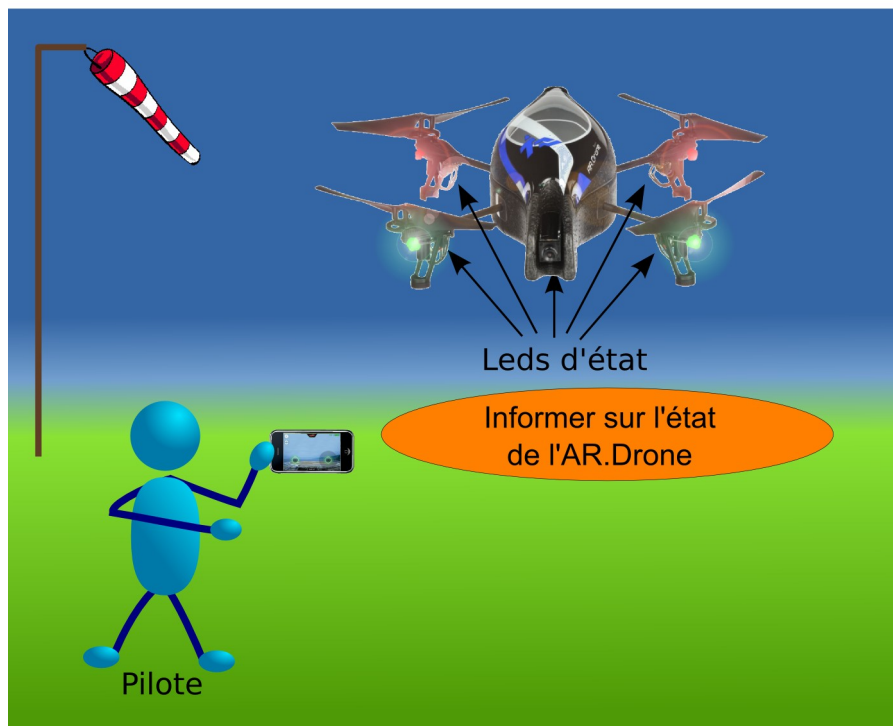


Fig. 26: Les leds informent sur l'état de l'AR.Drone

On complète alors le diagramme de cas d'utilisation avec le nouvel acteur « Pilote » et le nouveau cas d'utilisation « Informer sur l'état de l'AR.Drone » :

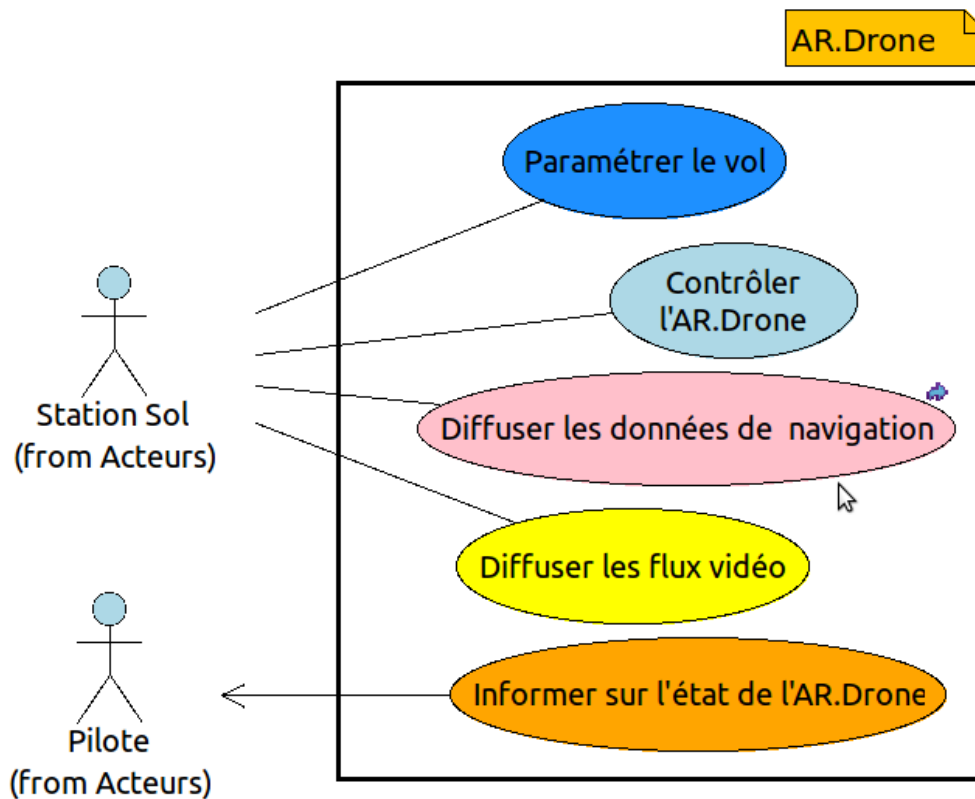


Fig. 27: Nouveau diagramme enrichi avec l'acteur Pilote

Dans le cas de l'interaction « Informer sur l'état de l'AR.Drone » / « Pilote », on peut utiliser une association uni-directionnelle car le Pilote n'agit pas sur le cas d'utilisation.

Le cycle de vie d'un système comprend généralement une phase de maintenance. L'AR.Drone n'échappe pas à cette règle pour qu'il soit toujours en état de voler :

- il fonctionne sur batterie et celle-ci doit être changée après 12 minutes de vol environ,
- en cas de chute depuis une altitude élevée ou de chocs répétés, il n'est pas rare d'avoir à changer quelques pièces mécaniques et/ou électroniques de l'AR.Drone.
- le constructeur livre régulièrement des versions améliorées du micro-logiciel (firmware) de l'AR.Drone qu'il faut transférer sur celui-ci pour profiter des correctifs et des améliorations.



Fig. 28: Maintenance de l'AR.Drone

On enrichit encore le diagramme précédent le cas d'utilisation « Maintenir l'AR.Drone en état de voler » (Fig. 29).

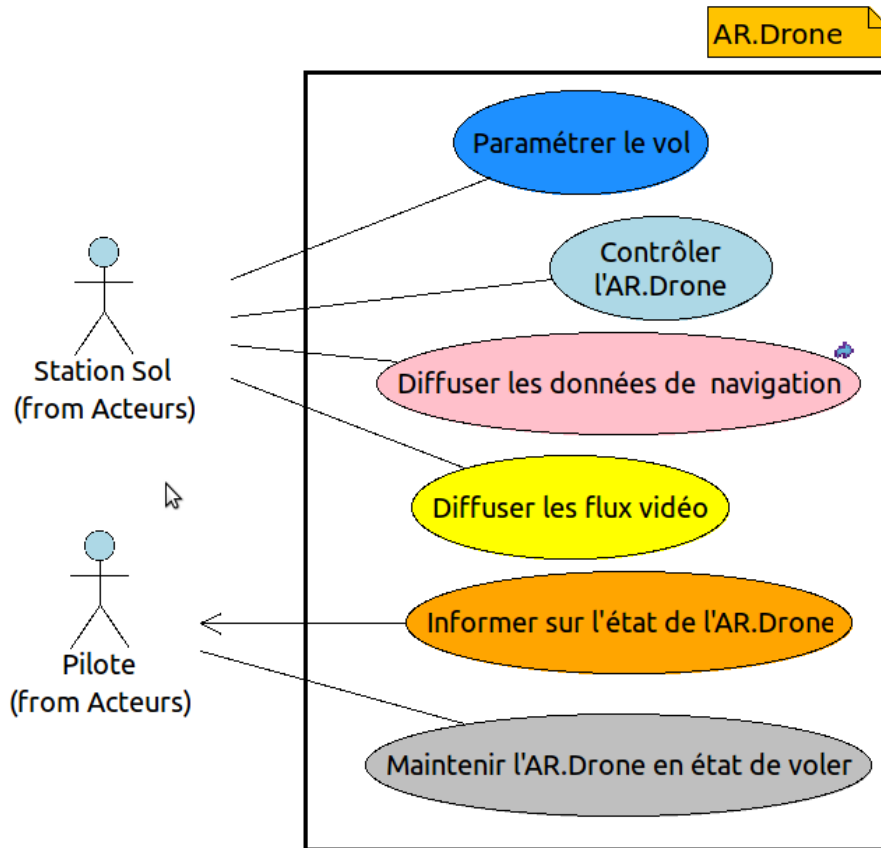


Fig. 29: Diagramme des cas d'utilisation simplifié de l'AR.Drone

### 1.4.3.3. Relations entre cas d'utilisation : l'inclusion

Il est parfois nécessaire de décomposer un cas d'utilisation complexe en plusieurs cas plus simple, on utilisera alors la relation d'inclusion. On utilise le stéréotype <<include>> pour signaler une relation d'inclusion entre deux cas.

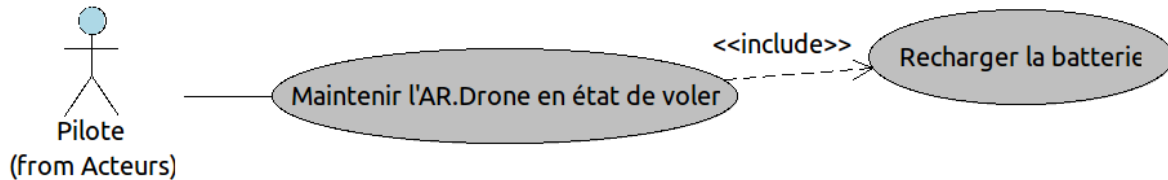


Fig. 30: Exemple de relation d'inclusion

L'inclusion a un caractère obligatoire : Le cas « Maintenir l'AR.Drone en état de voler » inclut forcément le cas « Recharger la batterie ».

**Note :** Un stéréotype noté entre guillemet « » permet d'enrichir le vocabulaire SysML de base pour l'adapter à un problème spécifique.

Autre exemple :

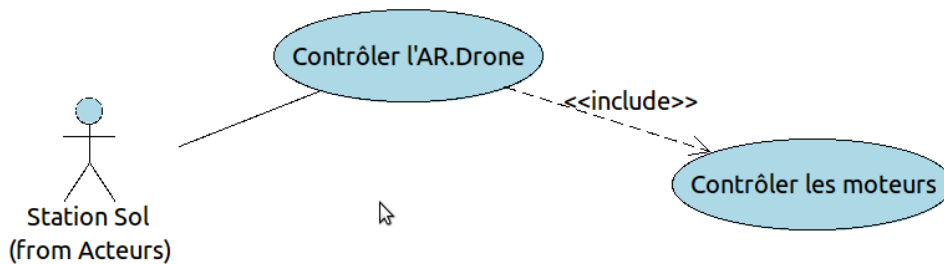


Fig. 31: Autre exemple de relation d'inclusion

La Station-Sol envoie des commandes pour contrôler l'AR.Drone. Les commandes comme « Décollage », « Atterrissage », « Prendre de l'altitude », auront une influence directe sur la vitesse de rotation des hélices (le contrôle de l'AR.Drone passe par le contrôle individuel de la vitesse de rotation de ses quatre hélices entraînées par des moteurs brushless). On peut donc conclure que le cas « Contrôler l'AR.Drone » inclut le cas « Contrôler les moteurs ».

Il faut faire attention à ne pas abuser de ce type de relation afin d'éviter de faire une décomposition fonctionnelle d'un cas d'utilisation avec le risque de rendre difficile la lecture du diagramme des cas d'utilisation.

Il peut être aussi parfois nécessaire de partager un cas d'utilisation entre plusieurs cas. Par exemple, pour « Contrôler l'AR.Drone », il est nécessaire d'obtenir sa localisation dans l'espace grâce, entre autre, à sa centrale inertielle. On en déduit que le cas « Contrôler l'AR.Drone » inclut le cas « Localiser l'AR.Drone dans l'espace ».

On a déjà évoqué le fait que les données de navigation, dont les données de localisation spatiale, étaient diffusées vers la Station-Sol. On en déduit que le cas « Localiser l'AR.Drone dans l'espace » est partagé entre « Contrôler l'AR.Drone » et « Diffuser les données de navigation ».



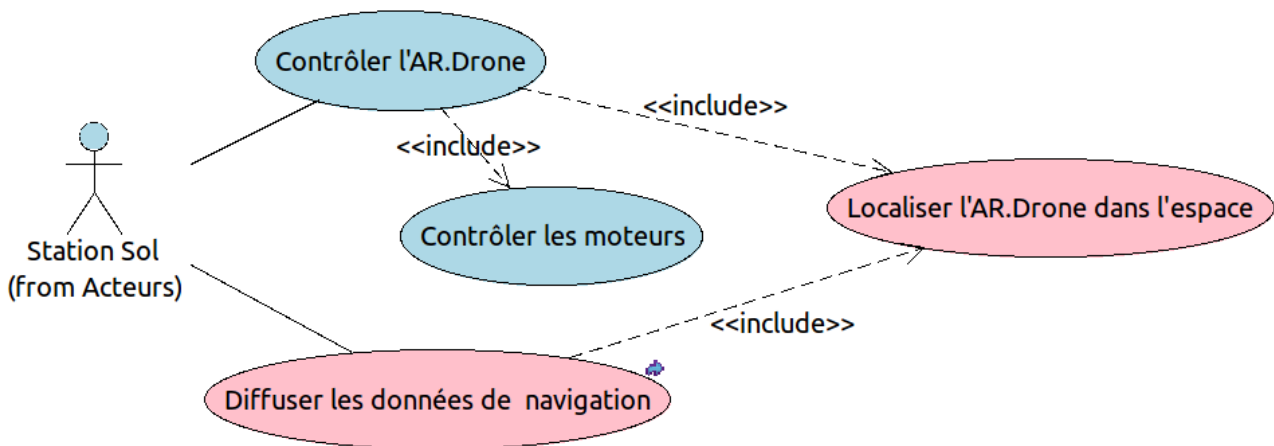


Fig. 32: Partage de cas d'utilisation

Afin de préciser encore le fonctionnement de l'AR.Drone, il peut être utile de préciser en quoi consiste la localisation de l'AR.Drone dans l'espace. Pour cela nous pouvons décomposer ce cas d'utilisation en utilisant la relation d'inclusion et faire apparaître les acteurs secondaires :

- L'AR.Drone utilise un altimètre à ultra-son pour mesurer l'altitude par rapport au sol qui dans ce cas peut être considéré comme un acteur secondaire.
- La centrale inertielle lui donne des informations d'accélérations linéaires sur les axes xyz et de vitesses angulaires (roulis, tangage et lacet) sur ces mêmes axes. En vol stationnaire, l'AR.Drone se stabilisera en maintenant ces accélérations et vitesses angulaires quasi nulles par des variations de vitesse de rotation des moteurs. Ici, c'est le vent (généré par la rotation des hélices et le vent naturel) qui peut perturber la position de l'AR.Drone et est considéré comme acteur secondaire.

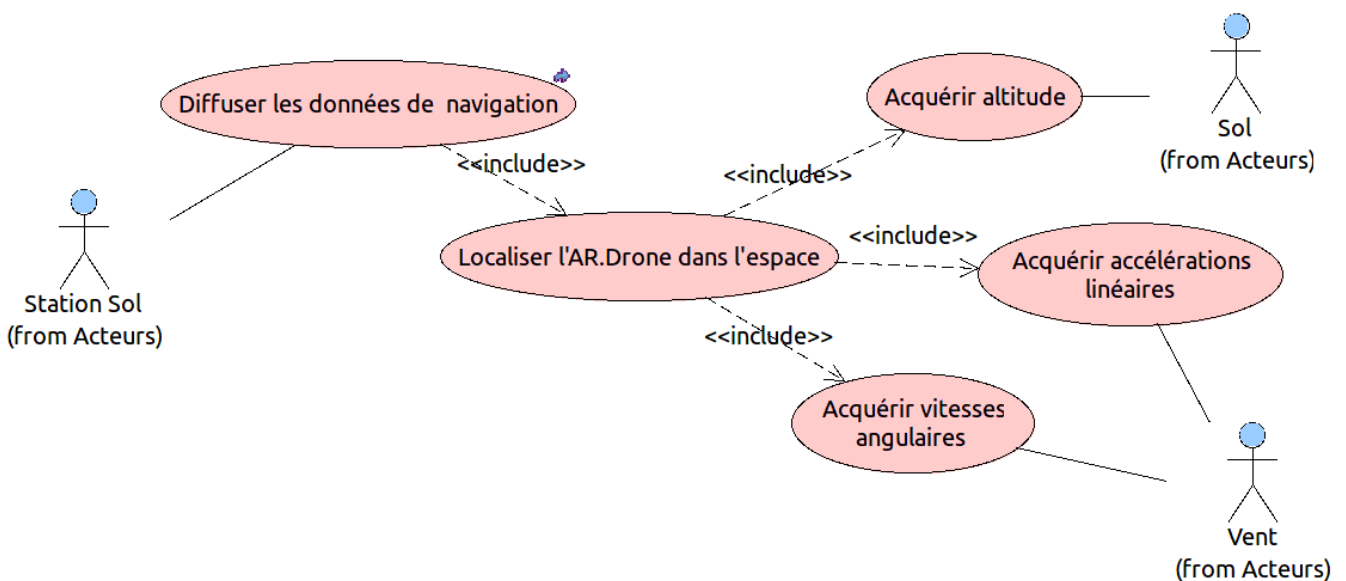


Fig. 33: Décomposition du cas d'utilisation "Localiser l'AR.Drone dans l'espace"

#### 1.4.3.4. Relations entre cas d'utilisation : l'extension

On utilisera également la relation d'extension qui permet de signaler que, lors du déroulement d'un cas d'utilisation, un autre cas peut se déclencher sous condition : c'est une extension possible du cas.

Pour ce type de relation, on utilise le stéréotype <<extend>>.

Contrairement à la relation d'inclusion qui a un caractère obligatoire, la relation d'extension signale que l'exécution du cas étendu est optionnelle.

En reprenant l'exemple du cas « Maintenir l'AR.Drone en état de voler », on peut enrichir ce cas avec le cas « Réparer l'AR.Drone » qui se déroulera si l'AR.Drone chute et se casse, ainsi qu'avec le cas « Mettre à jour le micro-logiciel » si la Société Parrot décide de faire évoluer le logiciel interne de l'AR.Drone (correction de bug, ajout de nouvelles fonctionnalités, etc.).

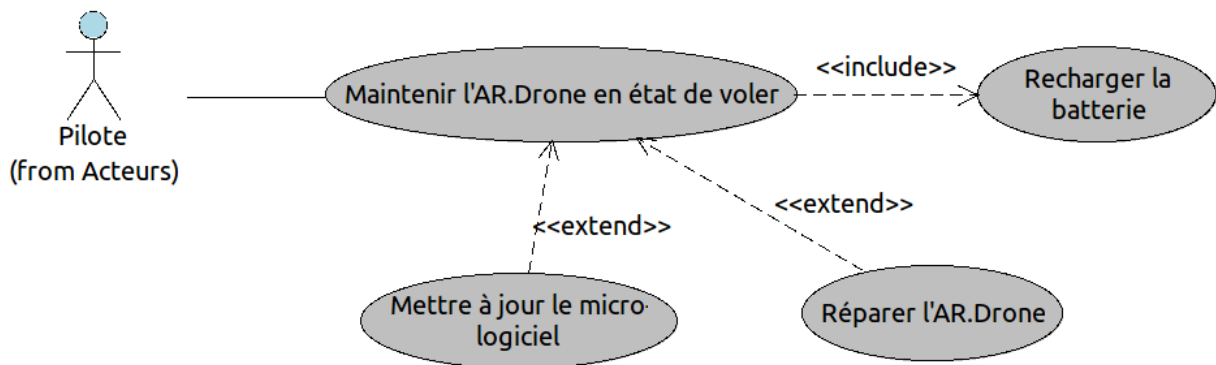


Fig. 34: Exemple de relations d'extension

De même, le cas d'utilisation « Contrôler l'AR.Drone » offre de multiples possibilités d'actions dont les principales sont :

- L'auto-pilotage pour les phases de décollage, vol stationnaire et atterrissage,
- L'orientation de l'AR.Drone (lacet et changement d'altitude) avec la possibilité d'effectuer le mouvement en assurant un vol stationnaire.
- Les déplacements tout azimut.
- L'arrêt d'urgence

On peut donc enrichir le cas d'utilisation « Contrôler l'AR.Drone » de la façon suivante :

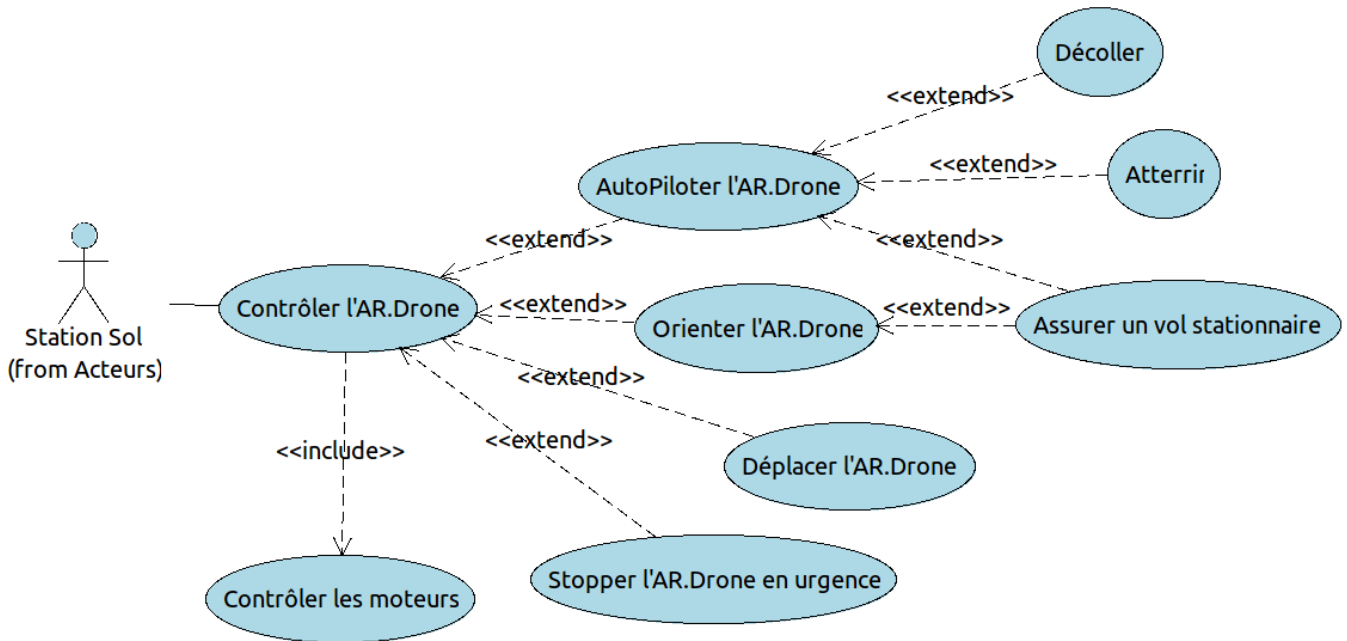


Fig. 35: Relations d'extension pour le cas d'utilisation "Contrôler l'AR.Drone"

On peut aussi préciser le cas d'utilisation « Diffuser les flux vidéo » en mettant en évidence qu'une acquisition préalable des flux des caméras frontale et verticale est nécessaire.

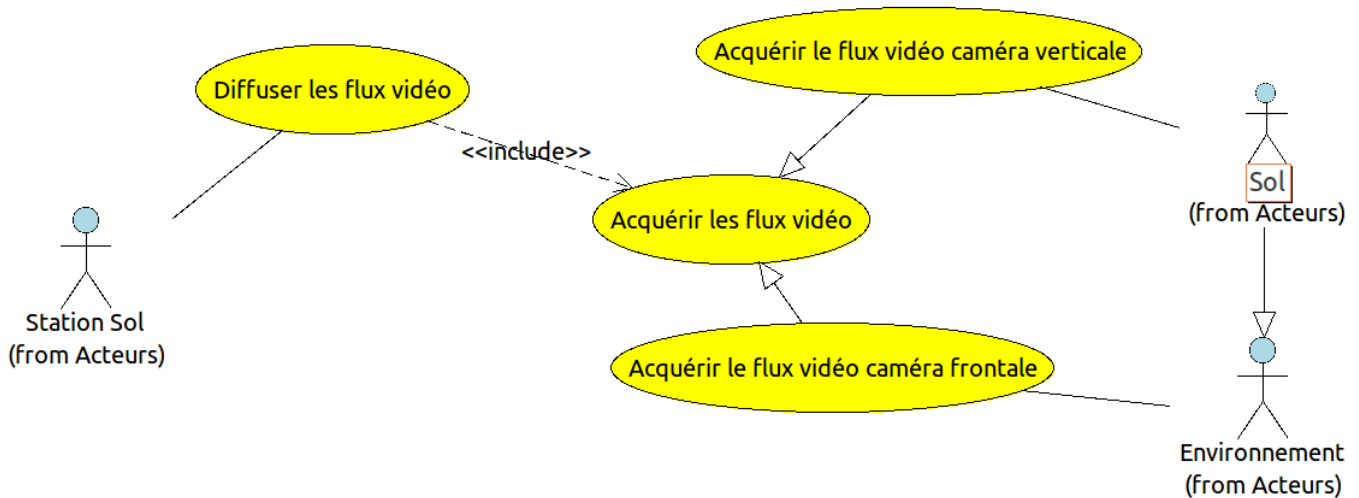


Fig. 36: Décomposition du cas d'utilisation "Diffuser les flux vidéo"

On remarque ici, la mise en place d'une relation de généralisation (ou héritage en terme de programmation objet) entre le cas d'utilisation « Acquérir les flux vidéo » qui est le cas général et « Acquérir le flux vidéo caméra frontale » ou « Acquérir le flux vidéo caméra verticale » qui sont les cas particuliers.

Cette notation permet de diminuer le nombre de relation entre les cas d'utilisation et d'orienter les choix de conception vers l'utilisation du mécanisme d'héritage.

### 1.5. Diagramme détaillé de cas d'utilisation de l'AR.Drone

Le diagramme suivant donne un aperçu détaillé des cas d'utilisation de l'AR.Drone ainsi que les interactions avec les acteurs primaires et secondaires.

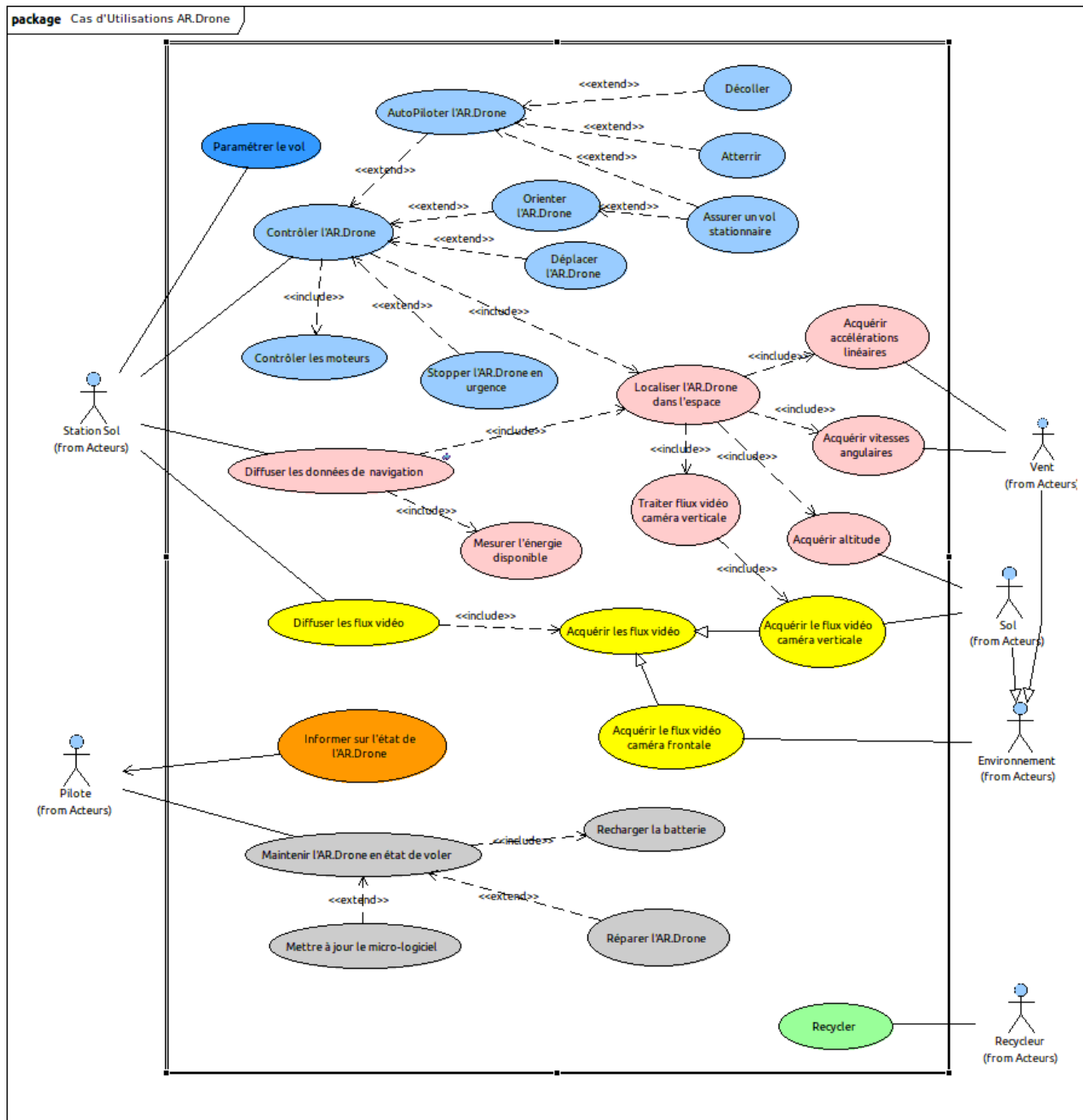


Fig. 37: Cas d'utilisation complet de l'AR.Drone

**Remarques :**

- On a ajouté le cas d'utilisation « Traiter flux vidéo caméra verticale » afin de montrer l'utilisation de la caméra verticale pour la localisation de l'AR.Drone dans l'espace.

- La fin de vie de l'AR.Drone a été prise en compte en ajoutant le cas d'utilisation « Recycler » en interaction avec l'acteur secondaire « Recycleur » englobant les principaux acteurs du système de tri et de recyclage.

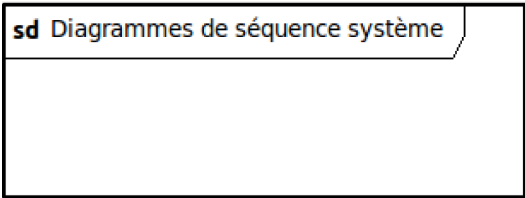
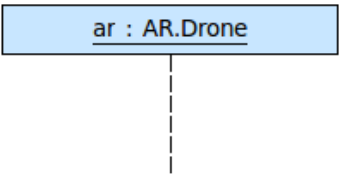
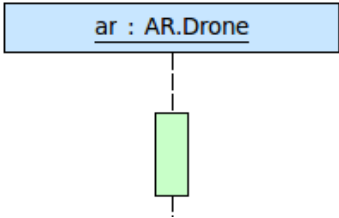
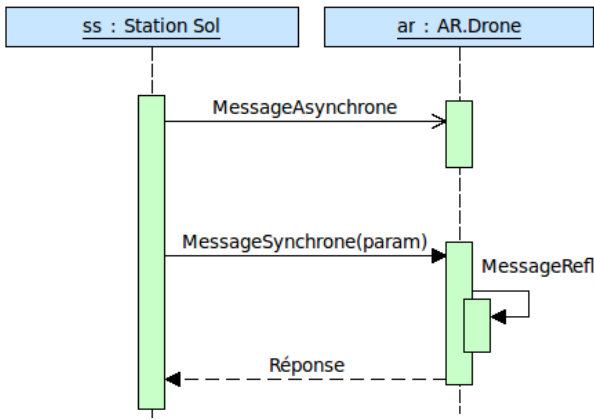
## 1.6. Étude du comportement du système

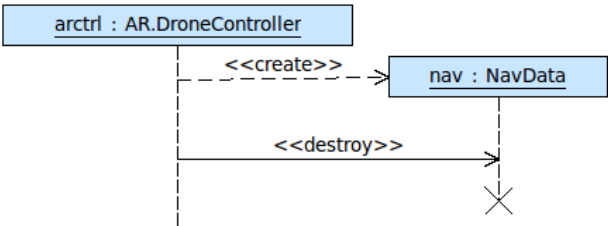
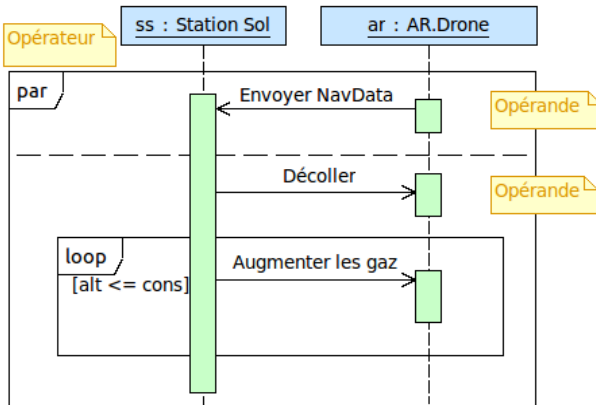
### 1.6.1. Introduction au diagramme de séquence

Le diagramme de séquence décrit les flots de contrôle entre acteurs et le système (point de vue « système ») ou entre les blocs qui composent le système.

Ce diagramme présente les messages émis ou reçus entre les éléments en interaction et où le temps est représenté le long de l'axe vertical (ligne de vie). Le diagramme de séquence peut représenter des situations complexes en utilisant des fragments combinés (boucle, option, etc.) et en décomposant une ligne de vie d'un bloc complexe en plusieurs lignes de vie de ses constituants.

Les principaux éléments graphiques utilisés dans les diagrammes de séquence :

<p><b>Diagramme de séquence</b></p>		<p>Diagramme décrivant les interactions entre les instances de blocs ou de classes afin d'illustrer un scénario d'un cas d'utilisation.</p>
<p><b>Ligne de vie</b></p>		<p>Une ligne de vie est une instance d'un bloc ou d'une classe participant à une interaction. Ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ar : instance</li> <li>• AR.Drone : bloc</li> </ul> <p>Le temps se déroule vers le bas.</p>
<p><b>Activation</b></p>		<p>Permet de visualiser les moments pendant lesquels la ligne de vie est activée suite à l'émission ou la réception de messages.</p>
<p><b>Message</b></p>		<p>Les messages représentent des communications entre instances (lignes de vie) : envoi d'un signal ou invocation d'une opération dont on attend un résultat. Les messages sont donc :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• asynchrones (simple flèche) : l'émetteur n'attend pas la réponse du récepteur pour continuer sa tâche (métaphores : l'envoi d'un SMS, interruptions matérielles, etc.)</li> <li>• synchrone (flèche pleine) :</li> </ul>

		<p>l'émetteur est bloqué le temps de l'exécution du traitement du message jusqu'à la réception d'une réponse (métaphores : un appel téléphonique). En programmation objet, les appels aux méthodes sont synchrones.</p> <p>Les messages réflexifs permettent de modéliser les traitements internes. On retrouve souvent en programmation, des messages qui permettent la création et la destruction d'instance de classe.</p>
<p><b>Fragment combiné</b></p>		<p>Les fragments combinés permettent de spécifier des interactions complexes.</p> <p>Un fragment possède un opérateur d'interaction et un ou plusieurs opérandes. Le choix entre plusieurs opérandes se fait à l'aide d'expressions booléennes entre crochet [ ] : les conditions de garde.</p> <p>Les principaux opérateurs d'interaction utilisés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>opt</b> (option) : s'exécute si la condition de garde associée est vraie.</li> <li>• <b>alt</b> (alternative) : l'opérande possédant la condition de garde vraie s'exécute.</li> <li>• <b>loop</b> : l'exécution se fait en boucle selon la condition de garde.</li> <li>• <b>par</b> (parallèle) : les opérandes séparés par une ligne pointillée s'exécutent en parallèle.</li> </ul>

### 1.6.2. Diagramme de séquence « système »

La figure suivante présente les interactions entre le Pilote, la Station-Sol et l'AR.Drone. Seules les interactions avec les éléments extérieurs sont décrites ici. Les détails internes au fonctionnement de l'AR.Drone et de la Station-Sol sont masqués.

Le diagramme de séquence montre que le pilote peut régler quelques paramètres de vol avant le décollage (fragment combiné **opt**), puis plusieurs fonctions s'exécutent en parallèle (fragment combiné **par**) :

- La Station-Sol affiche le flux vidéo des caméras de l'AR.Drone.



- Quelques informations issues des données de navigation reçues par la Station-Sol sont affichées (état de la batterie, état des moteurs, etc.)
- Le Pilote peut piloter l'AR.Drone grâce aux commandes disponibles sur la Station-Sol.

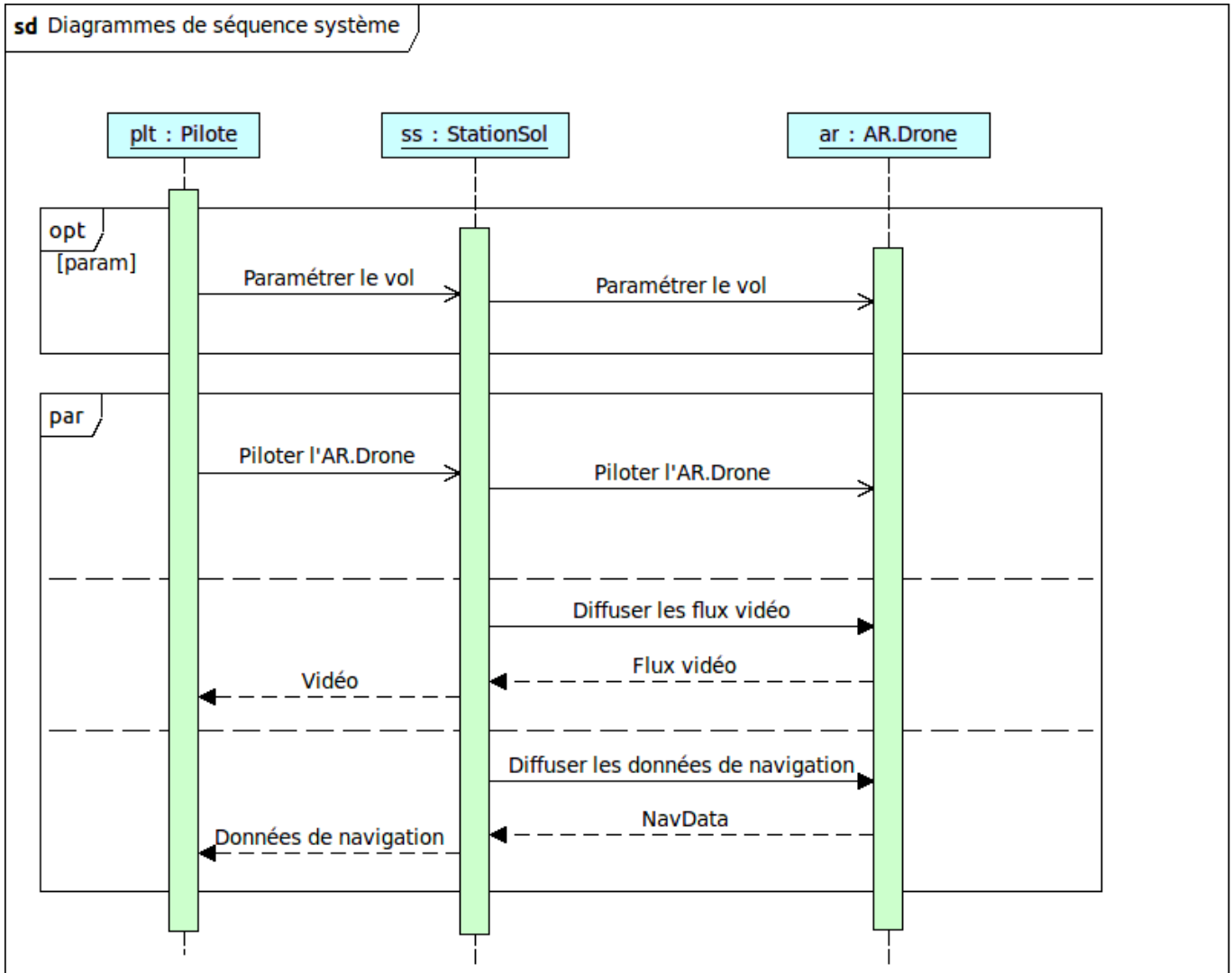


Fig. 38: Diagramme de séquence système

### 1.6.3. Diagramme de séquence « système » du cas d'utilisation « Piloter l'AR.Drone »

La figure suivante détaille le cas d'utilisation « Piloter AR.Drone », toujours du point de vue système.

Une fois le décollage effectué, plusieurs options s'offrent au Pilote (fragment combiné **par**) :

- Faire monter/descendre, tourner à droite ou à gauche l'AR.Drone.
- Effectuer un vol stationnaire ou un déplacement si la commande de déplacement est activée.
- En cas de problème, demander un atterrissage d'urgence.

Certaines de ces actions peuvent s'effectuer en parallèle (ex. monter en se déplaçant, ou descendre en vol stationnaire, etc.).

Le pilote termine le scénario en demandant l'atterrissage de l'AR.Drone.

sd Diagramme de séquence "Piloter l'AR.Drone"

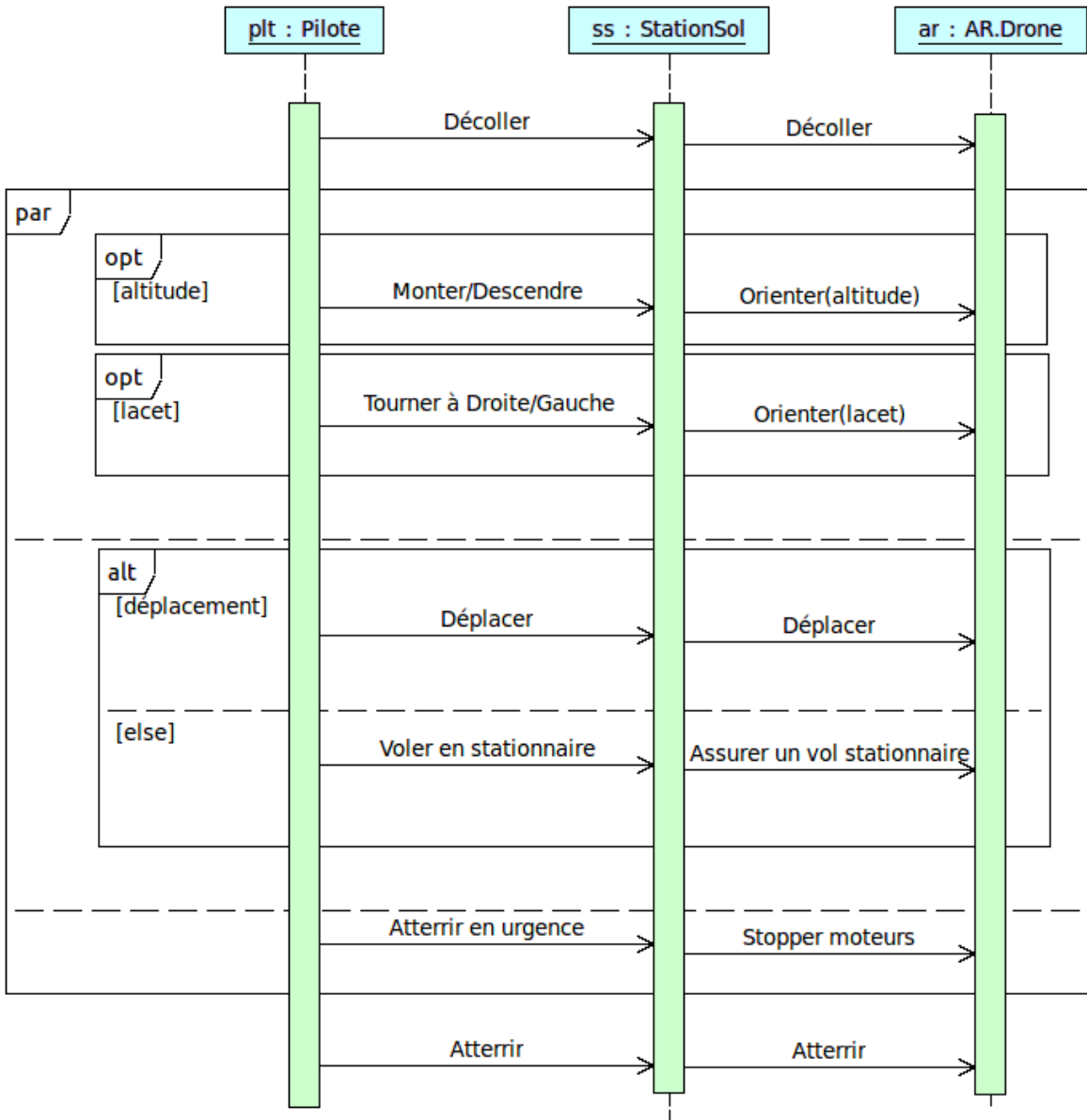


Fig. 39: Diagramme de séquence "Piloter l'AR.Drone"

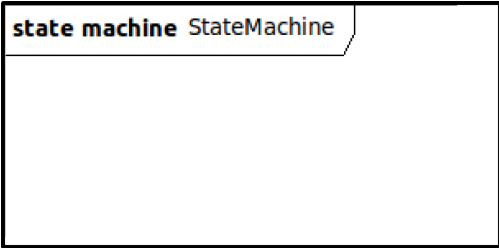
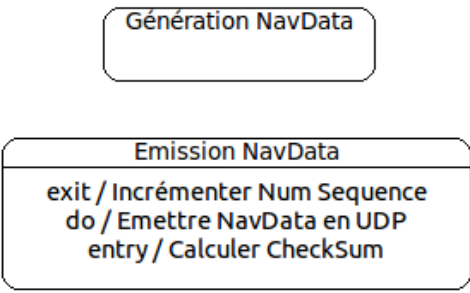
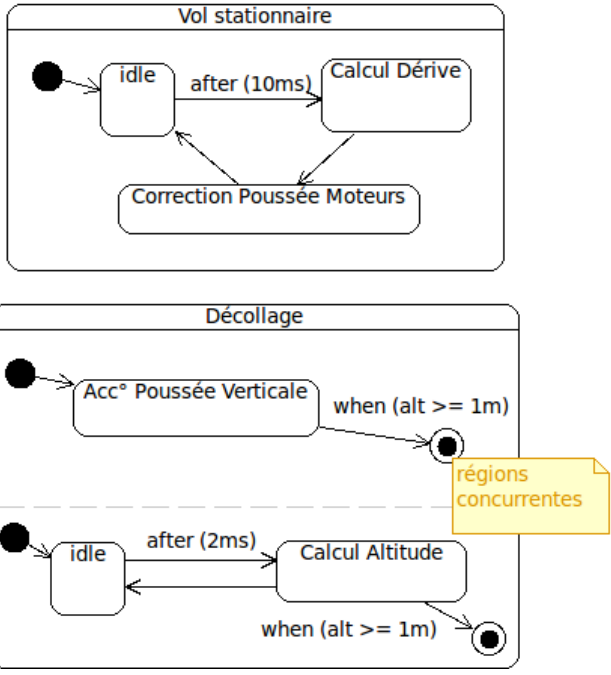
### 1.6.4. Diagrammes d'états



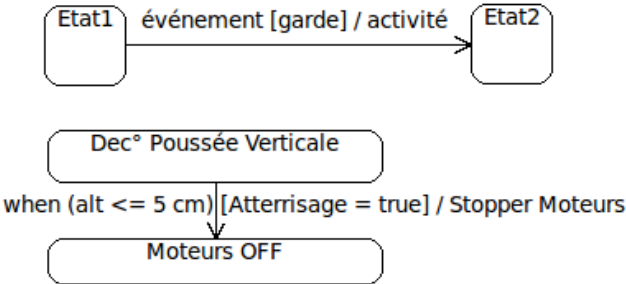
Certains comportements complexes d'un système peuvent être modélisés au travers de machines à états finis. Une machine à états décrit les comportement d'un objet en terme d'états et de transitions.

Les activités, qui sont déclenchées durant une transition, en entrée ou en sortie d'un état, sont spécifiées avec les événements et les conditions de garde associés.

Les états complexes peuvent être décrit sous la forme d'états composites. Dans ce cas ils sont composés de plusieurs états pouvant être séquentiels ou concurrents, c'est à dire fonctionner en parallèle.

Les principaux éléments graphiques utilisés dans les diagrammes d'états :

<b>Diagramme d'états</b>	 <p>state machine StateMachine</p>	<p>Diagramme décrivant les comportements internes d'une instance de blocs, de classes, d'un cas d'utilisation ou d'une méthode de classe.</p>
<b>État simple</b>		<p>Un état représente la période de la vie d'un objet ou d'un composant pendant laquelle il accomplit une activité ou il attend un événement. On peut spécifier les activités déclenchées à l'entrée (<b>entry</b>), à la sortie (<b>exit</b>) de l'état. On peut aussi décrire l'activité principale de l'état (<b>do</b>).</p>
<b>État composite</b>		<p>Un état composite permet de modéliser un comportement interne d'un état par un ou plusieurs autres automates à états finis. Dans le cas où plusieurs <b>régions</b> sont définies dans un état composite, les automates de chaque région sont concurrents (exécutés en parallèle).</p>

<p><b>État initial</b></p>		<p>État de départ (pour une classe, création d'une instance).</p>
<p><b>État final</b></p>		<p>Fin d'une machine à état (pour une classe, destruction d'une instance).</p>
<p><b>Transition</b></p>		<p>Une transition permet le changement d'état de la machine à états.</p> <p>Une transition peut être :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatique (flèche sans texte) : la fin de l'activité d'un état entraîne le passage à l'état suivant.</li> <li>• Sur événement (when, after, etc.) : l'occurrence de l'événement entraîne le passage à l'état suivant.</li> <li>• Sur événement gardé (ev [condition de garde]) : l'occurrence de l'événement ET la condition de garde VRAIE entraîne le passage à l'état suivant.</li> </ul> <p>Une activité peut être déclenchée lors d'une transition.</p>

1.6.5. Diagramme d'état du cas d'utilisation « Autopiloter »

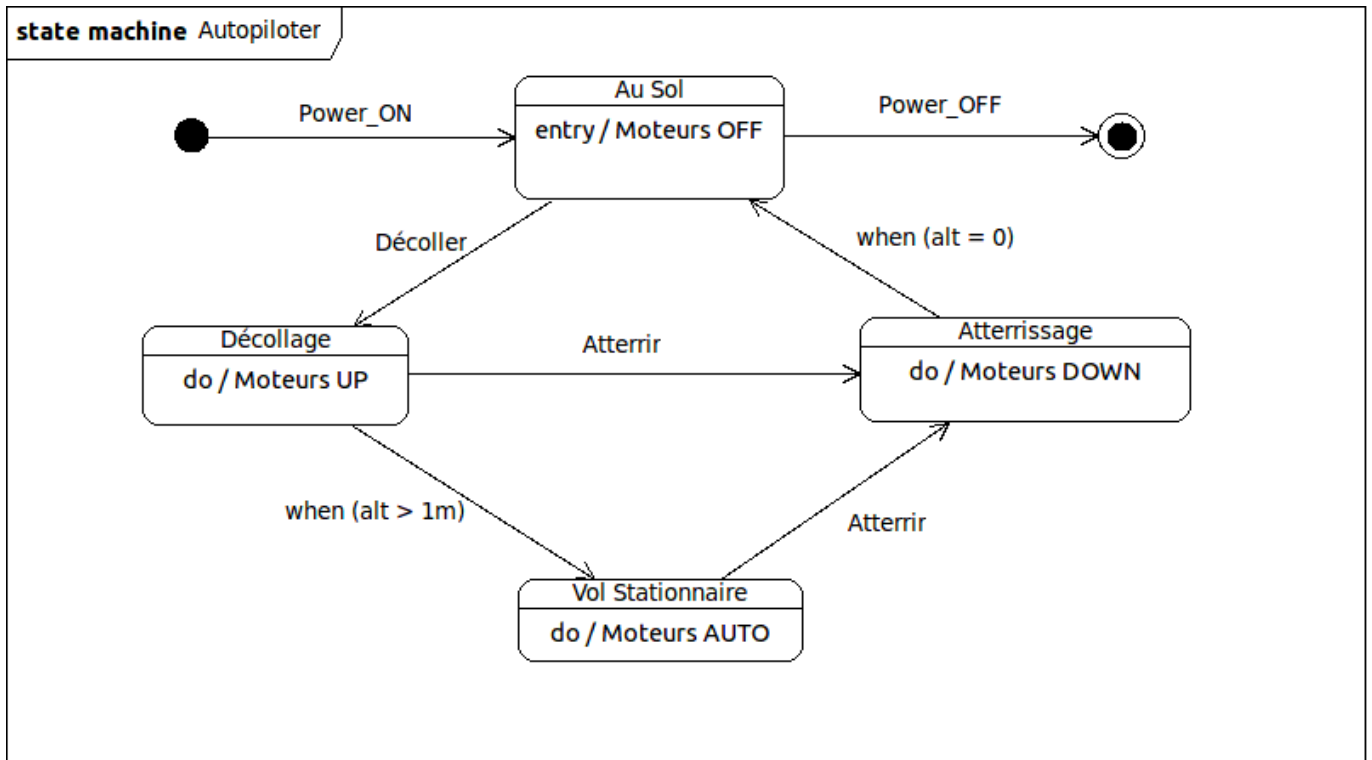


Fig. 40: Diagramme d'états du CU "Autopiloter"

## 1.7. Modélisation des exigences

### 1.7.1. Introduction au diagramme d'exigences

Une exigence spécifie une capacité ou une condition qui doit (ou devrait) être satisfaite. Dans le cas d'une modélisation d'un système, une exigence spécifie un niveau de performance qu'une fonctionnalité de ce système doit atteindre (en terme de sécurité, fiabilité, etc.).

Un diagramme des exigences permet de hiérarchiser et de décrire les exigences d'un système sous la forme de graphiques, de tableaux ou d'arborescences.

On retrouvera aussi des exigences dans d'autres diagrammes SysML afin de les mettre en relation avec d'autres éléments de modélisation (cas d'utilisation, bloc, etc.).

Les principaux éléments graphiques utilisés dans les diagrammes d'exigences :

#### Diagramme d'exigences

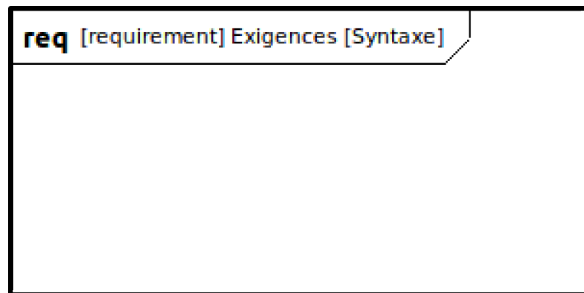
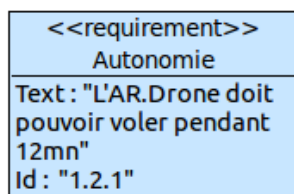


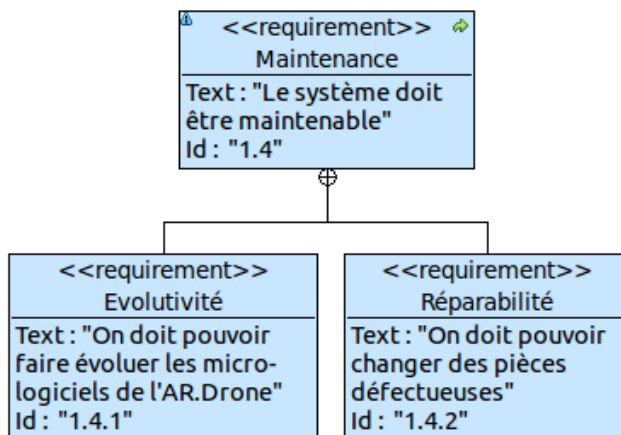
Diagramme décrivant les exigences d'un système.

#### Exigence



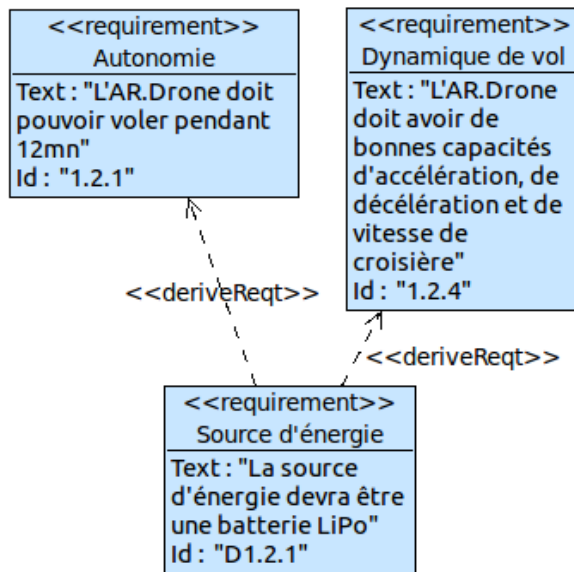
Une exigence possède un nom, une description sous la forme d'un texte et un identifiant unique permettant un référencement correct dans le système.

#### Relation de contenance



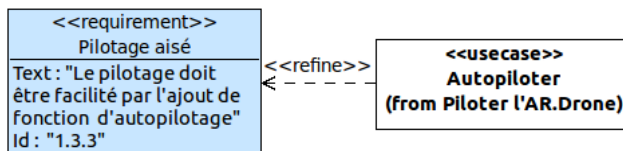
La relation de contenance permet de décomposer une exigence complexe en exigences unitaires plus faciles à relier aux autres éléments de modélisation (cas d'utilisation, blocs, etc.).

### Relation de dérivation « deriveReq »



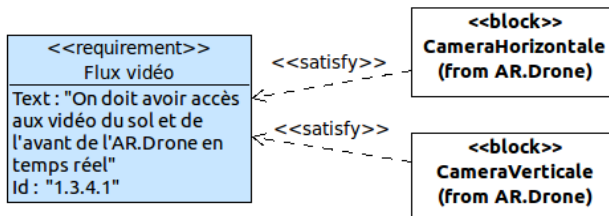
Des exigences « métiers » peuvent se traduire en exigences « techniques » issues de choix de conception. La relation de dérivation permet de modéliser cela.

### Relation de raffinement « refine »



La relation de raffinement peut être utile pour décrire comment un ou plusieurs éléments de la modélisation peuvent préciser une exigence (un cas d'utilisation, un diagramme de séquence, etc.).

### Relation de satisfaction « satisfy »



La relation de satisfaction décrit comment un élément d'architecture ou d'implémentation du modèle satisfait une exigence.

### 1.7.2. Diagramme d'exigences du système AR.Drone

On donne quelques diagrammes d'exigences du système AR.Drone à titre d'exemple.

#### 1.7.2.1. Diagramme d'exigences global

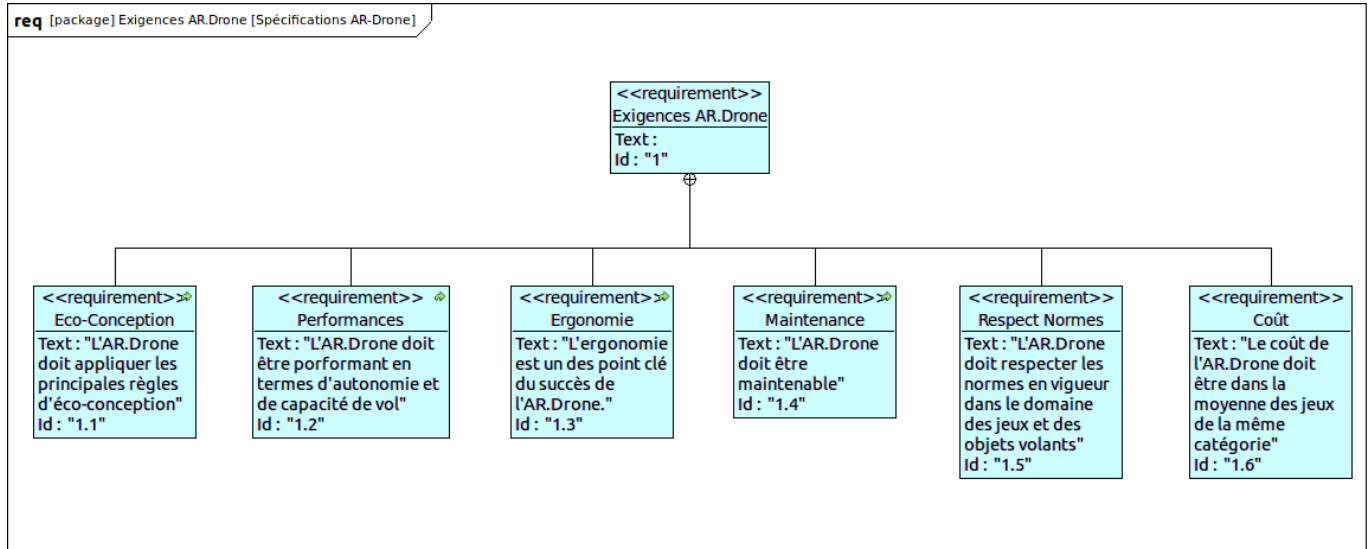


Fig. 41: Exigences AR.Drone

#### 1.7.2.2. Diagramme d'exigences Performance

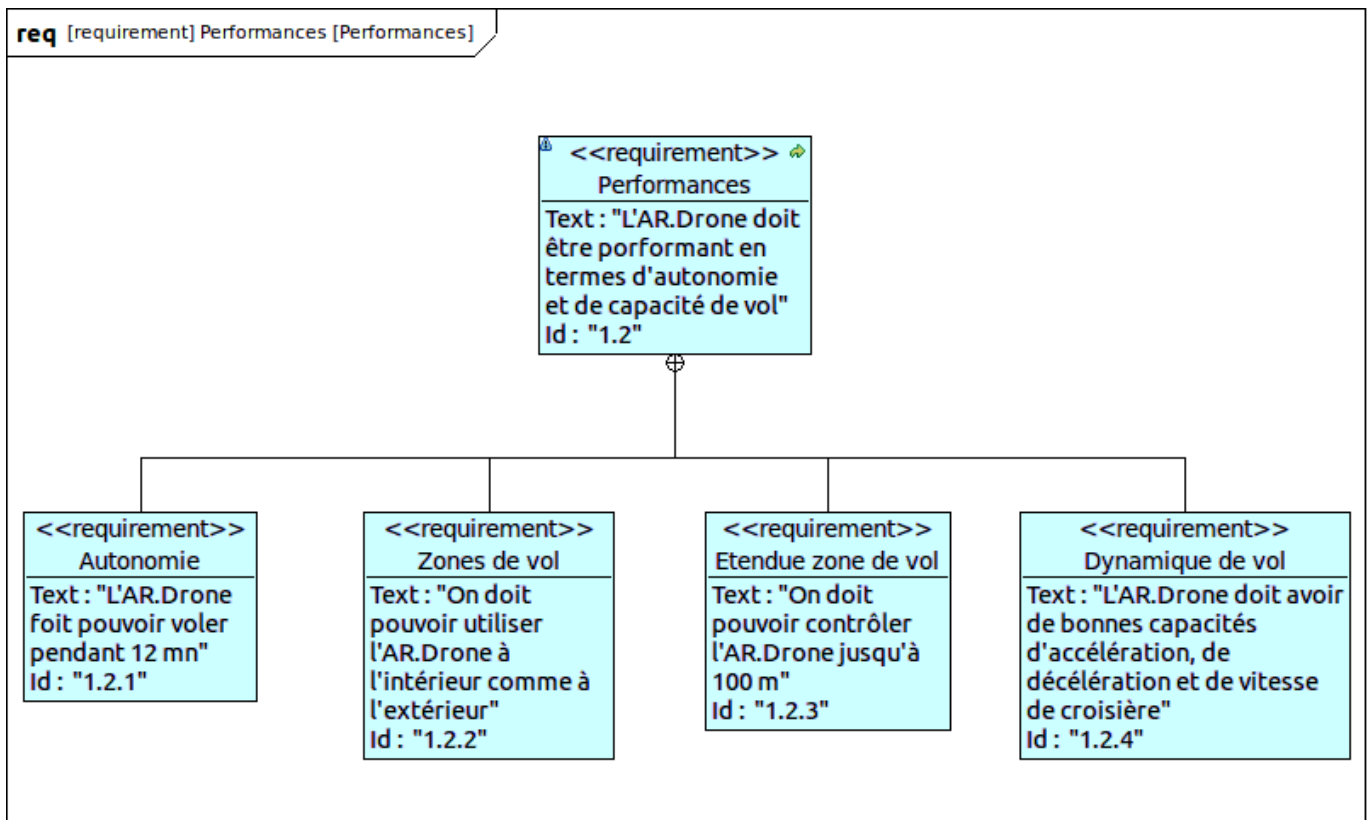


Fig. 42: Performances AR.Drone



1.7.2.3. Diagramme d'exigences Ergonomie

1.7.2.4. Diagramme d'exigences Maintenance

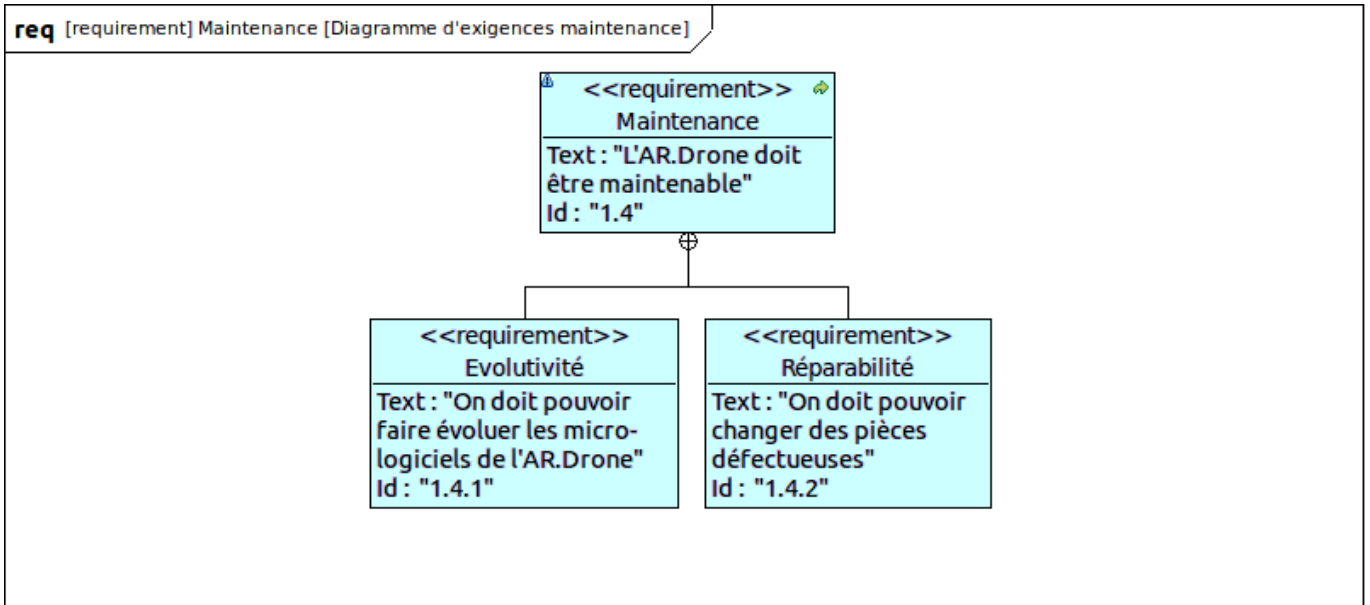


Fig. 43: Maintenance AR.Drone

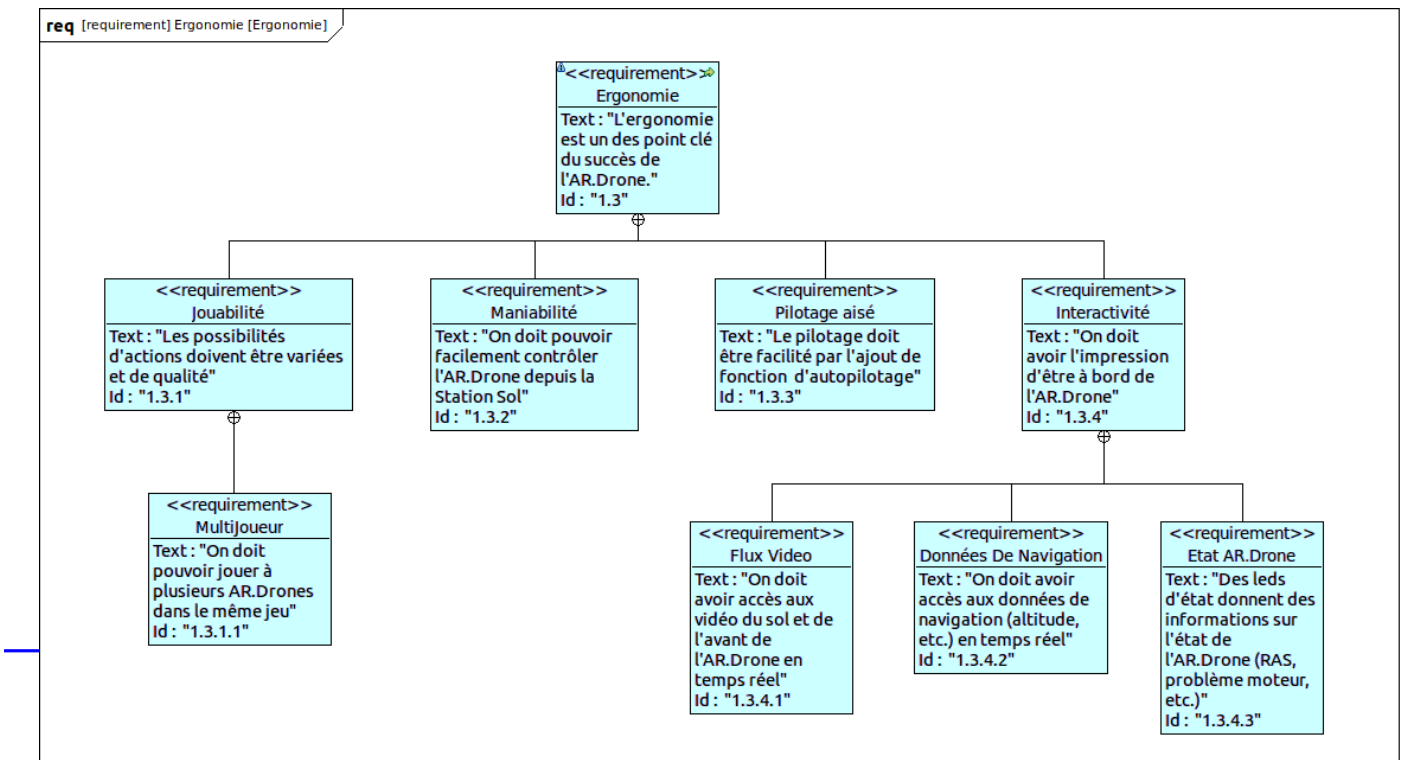


Fig. 44: Ergonomie AR.Drone

## 1.8. Modélisation de l'architecture du système

### 1.8.1. Notion de bloc

L'architecture du système est modélisée à l'aide du concept de « bloc » proposé par SysML.

Un bloc est une brique de base utile pour réaliser une décomposition logique ou physique d'un système complexe. Un bloc pourra être de nature logicielle (une classe, une bibliothèque, etc.), matérielle (sous-système électronique ou mécanique, etc.) ou même humaine.

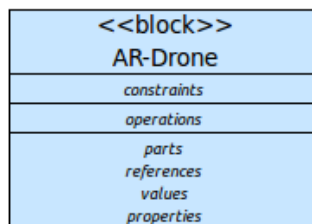


Fig. 45: Exemple de bloc

La première zone du bloc contient son nom et un stéréotype (<<block>> par défaut) pouvant être redéfini (<<system>>, <<extern>>, etc.).

Les autres zones seront spécifiées au fur et à mesure de l'analyse et formeront les propriétés du bloc.

Par exemple, on pourra trouver dans la zone « parts » d'un bloc les parties qui composent celui-ci ; on trouvera dans la zone « operations », les différentes opérations (comportements) possibles sur ce bloc et dans la zone « value » des valeurs qui permettent de caractériser un bloc :

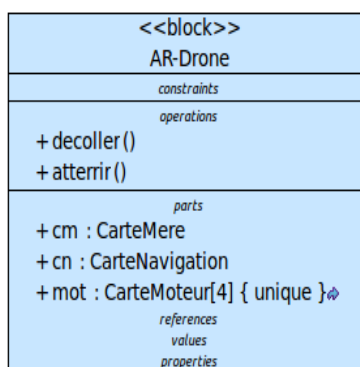


Fig. 46: Bloc avec des propriétés

Un bloc va définir un modèle qui sera utilisé pour la création d'instances de bloc qui vont partager quelques unes des propriétés communes et en personnaliser d'autres.

Par exemple, tous les drones pourront décoller et atterrir, par contre, chaque drone aura une altitude, une vitesse et une réserve de batterie différentes.

Une fois les blocs identifiés, on utilisera deux types de diagrammes différents pour compléter la modélisation :

- Le Diagramme de Définition de Blocs (Block Definition Diagram ou BDD) : ce diagramme permet de décrire la façon dont un système est conçu. Le BDD est construit en listant les blocs en interaction dans un système ou sous-système, puis en spécifiant les relations entre les blocs et/ou les acteurs du système.
- Le Diagramme de Bloc Interne (Internal Bloc Diagram ou IBD) : ce diagramme montre les interactions et les échanges de flux (physiques ou informationnels) entre instances de bloc.

### 1.8.2. Diagramme de définition de blocs du système AR.Drone

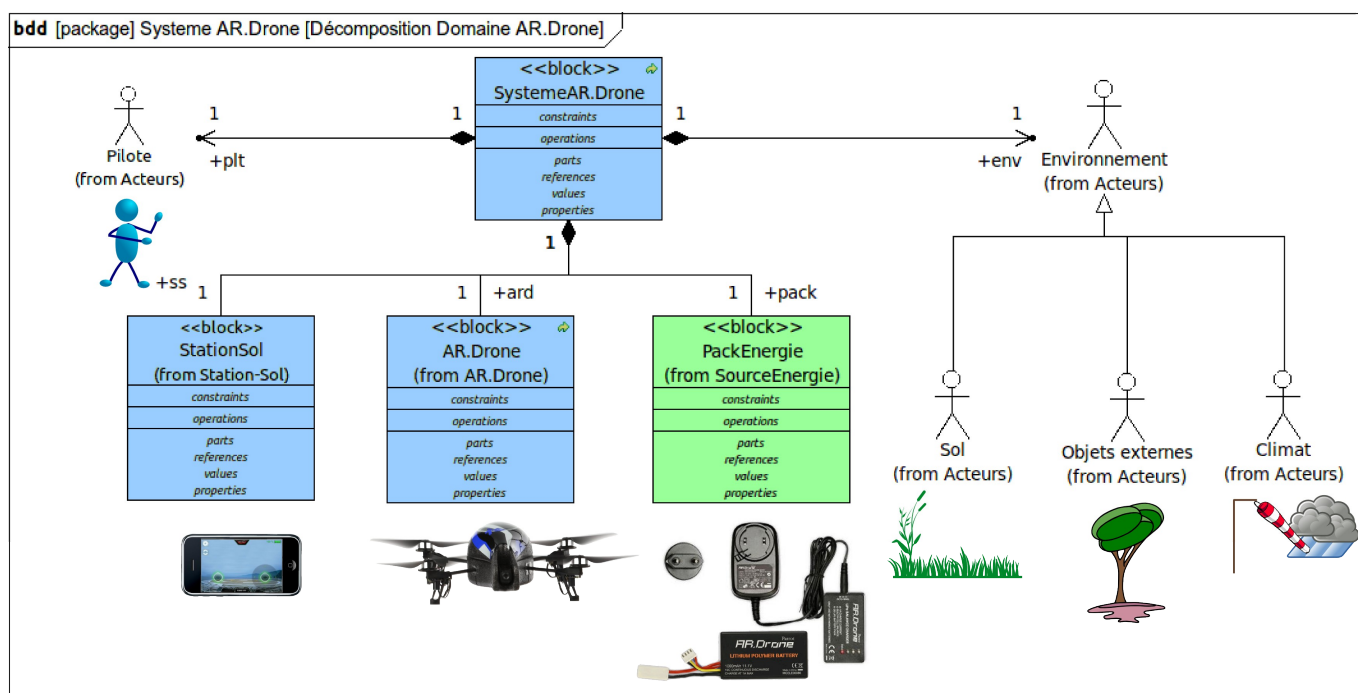


Fig. 47: BDD Domaine AR.Drone

Ce diagramme montre que le système AR.Drone est composé de :

- Un AR.Drone
- Une station-sol (iPhone/iPad, etc.)
- Un pack Énergie composé d'au moins une batterie, d'un transformateur et d'un chargeur LiPo avec équilibrage étudié pour optimiser la recharge de chaque cellule et ainsi assurer une longue durée de vie à la batterie.

Pour que le système soit opérationnel, il doit aussi y avoir un pilote et l'AR.Drone évoluera dans un environnement qui pourra influencer son comportement (vent, sol, arbres, etc.).

### 1.8.3. Diagramme de bloc interne du système AR.Drone

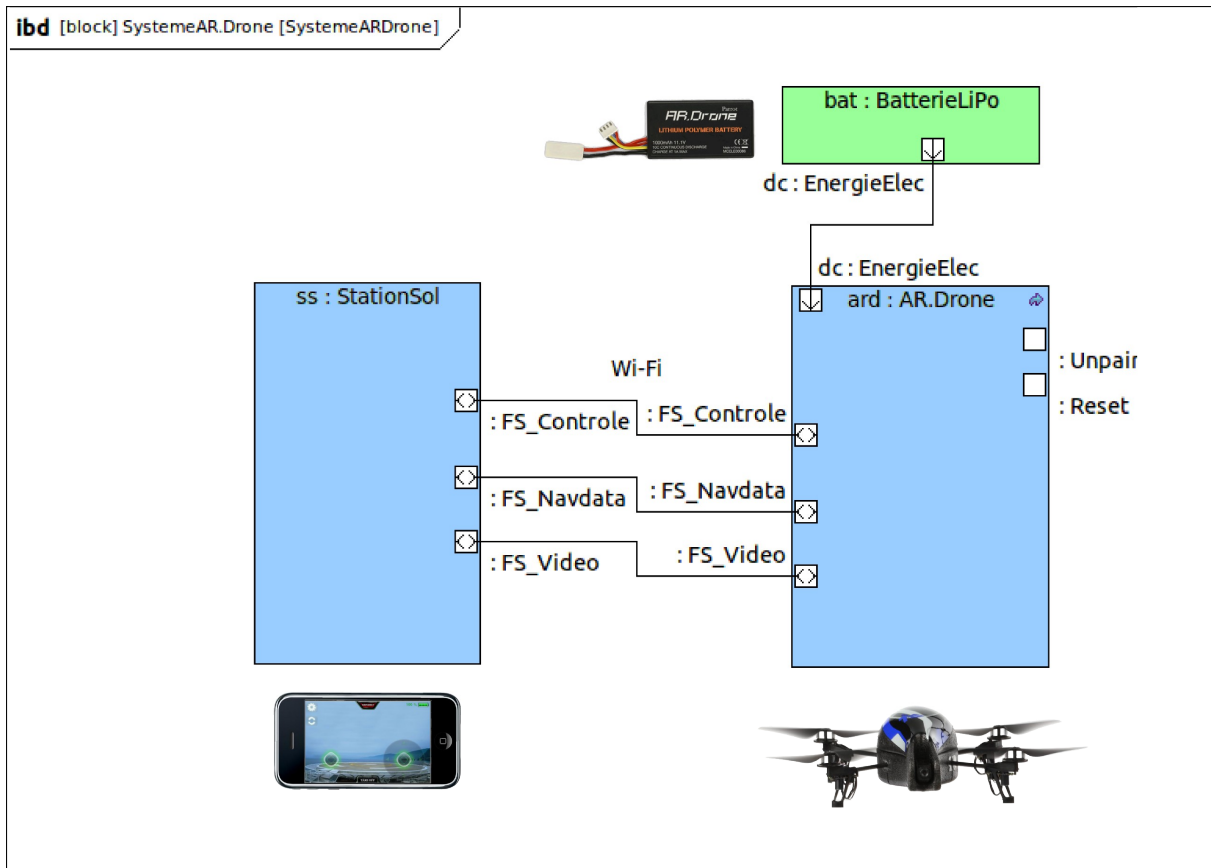


Illustration 1: IBD Système AR.Drone

Le diagramme de bloc interne du système met en jeu les instances des blocs qui compose le système ainsi que les flux qui sont échangés entre les instances de bloc.

Les échanges entre les éléments se font par l'intermédiaire de ports pouvant être de deux types :

- Port de flux ou Flux (*flow port*) : un port de ce type permet l'échange de fluide, d'énergie ou de données . Par exemple :
  - Le flux d'énergie entre la batterie et l'AR.Drone est noté de manière exhaustive de la façon suivante . :
    - `dc : EnergieElec` : avec `dc`, le nom du Flux, `EnergieElec` le type de flux (*value type*).
  - Les flux de données échangées sur le réseau Wi-Fi entre l'AR.Drone et la Station-Sol :
    - `:FS_Video` : flux transportant la vidéo des caméras. Ici, on précise uniquement le type de flux pour ne pas surcharger l'IBD.
    - `:FS_Navdata` : données de navigation émises par l'AR.Drone (altitude, etc.)
    - `:FS_Controlle` : données de configuration et commandes envoyées à l'AR.Drone pour le piloter.
- Port standard (*port*) : typiquement, on utilisera des ports standards pour décrire des services rendus par un bloc (ex. : bouton Reset ou Unpair de l'AR.Drone). Les ports standards seront aussi utiles pour décrire les services logiciels (appel de méthodes de classe, etc.).

### 1.8.4. Décomposition de l'AR.Drone

Afin de comprendre la structure interne de l'AR.Drone, il est utile de proposer, dans un premier temps, une décomposition du bloc « AR.Drone » sous la forme d'un diagramme de définition de blocs (voir BDD page suivante), puis dans un deuxième temps, d'étudier les flux entre les différentes parties.

Les principaux blocs sont :

- « **CarteMère** » : C'est l'unité de traitement (le nom « Carte Mère » choisi pour ce bloc vient de l'appellation donnée par la société Parrot aux pièces détachées remplaçables par l'utilisateur comme les moteurs, les hélices, etc.). C'est sur cette unité de traitement que s'exécute le système d'exploitation Linux et le micro-logiciel responsable du fonctionnement global de l'AR.Drone (voir Annexe A). On rappelle les principales caractéristiques de la carte mère dans le tableau suivant :

Processeur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processeur P6 conçu pour Parrot basé sur l'ARM9 468 MHz</li> </ul>
Mémoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mémoire flash NAND 32Mo</li> <li>• RAM DDR 128 Mo à 200MHz</li> </ul>
Système d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linux</li> </ul>

- « **CarteMoteur** » : cette carte embarque une unité de traitement spécifique et l'électronique nécessaire pour contrôler la vitesse d'un moteur. On y adjoint le réducteur et l'hélice pour compléter la description. Comme l'indique la multiplicité, l'AR.Drone possède 4 cartes moteur.
- « **CarteNavigation** » : cette carte est aussi composée d'une unité de traitement et des composants électroniques et MEMS (*Microelectromechanical systems*) nécessaires pour relever l'altitude, les vitesses angulaires et les accélérations linéaires de l'AR.Drone (blocs « Altimètre » et « CentraleInertielle »). Le but de cette carte est de fournir les données permettant à la carte mère de calculer l'altitude, les angles de roulis, tangage et lacet (*roll, pitch* et *yaw*) et les vitesses linéaires pour les axes X, Y et Z de l'AR.Drone.
- « **CameraFrontale** » et « **CameraVerticale** » : caméras embarquées sur l'AR.Drone permettant au joueur de visualiser en temps réel l'avant et le sol vue de l'AR.Drone. Les images de la caméra verticale sont aussi utilisées pour la stabilisation de l'AR.Drone. On rappelle les principales caractéristiques des caméras :

Caméra Frontale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagonale de la lentille 93°</li> <li>• Capteur CMOS.</li> <li>• Résolution 640x480 pixels (VGA)</li> <li>• 15 images/sec.</li> </ul>
Caméra Verticale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagonale de la lentille 64°</li> <li>• Capteur CMOS.</li> <li>• Résolution 176x144 pixels (QCIF)</li> <li>• 60 images/sec.</li> </ul>

- « **ReseauWifi** » : permet la communication sans fil de l'AR.Drone avec la Station-Sol. Le réseau Wi-Fi mis en place par l'AR.Drone est de type Ad-Hoc et respecte le standard IEEE 802.11g. Les principales caractéristiques de ce réseau sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Composant Wi-Fi AR.Drone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chipset Atheros AR6102 (voir Annexe D)</li> </ul>
Standard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.11g</li> </ul>
Vitesse des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1~54 Mbits/s</li> </ul>

Bande de fréquences	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz</li> </ul>
Distances de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En théorie :             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ jusqu'à 40m en intérieur</li> <li>◦ jusqu'à 140m en extérieur</li> </ul> </li> <li>• En pratique : la portée de l'AR.Drone dépend de l'environnement dans lequel il évolue : elle sera d'autant plus grande que l'AR.Drone évoluera dans un espace plus ouvert et plus pauvre en ondes Wi-Fi. À titre d'indication, la portée moyenne est de 50 mètres.</li> </ul>

- « **BatterieLiPo** » : batterie embarquée sur l'AR.Drone fournissant l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les moteurs, l'intelligence de contrôle et les communications avec la Station-Sol. Les principales caractéristiques de la batterie sont rappelées dans le tableau suivant :

Type	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lithium polymère</li> </ul>
Nombre de cellules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 cellules de 3.7V</li> </ul>
Tension	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 11.1V</li> </ul>
Capacité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000mAh</li> </ul>
Temps de charge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90 minutes</li> </ul>
Capacité de décharge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10C = 10 A (peut fournir instantanément 10 fois sa capacité soit 10 x 1000mAh)</li> </ul>

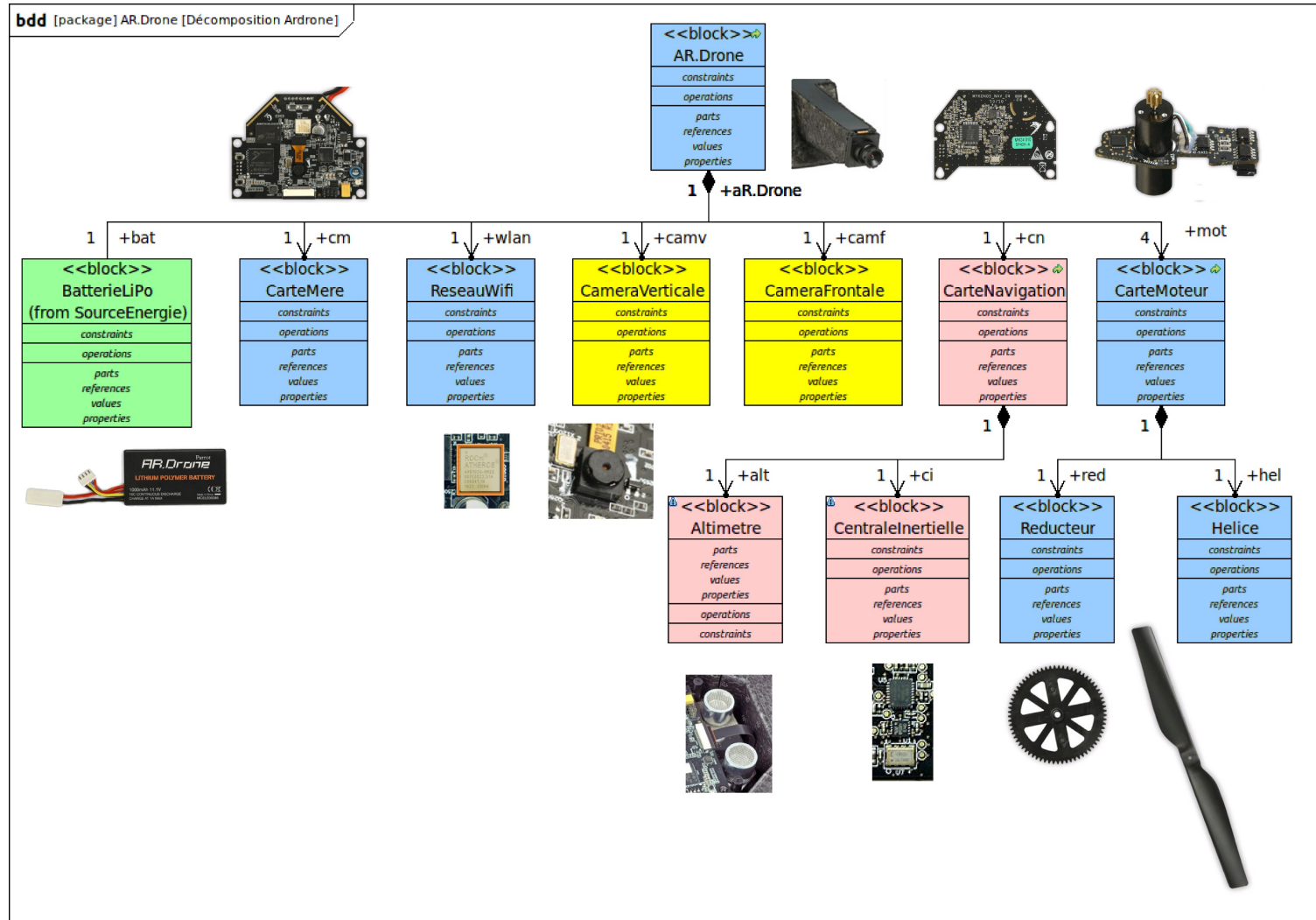


Fig. 48: BDD AR.Drone

### 1.8.5. Diagramme de bloc interne de l'AR.Drone

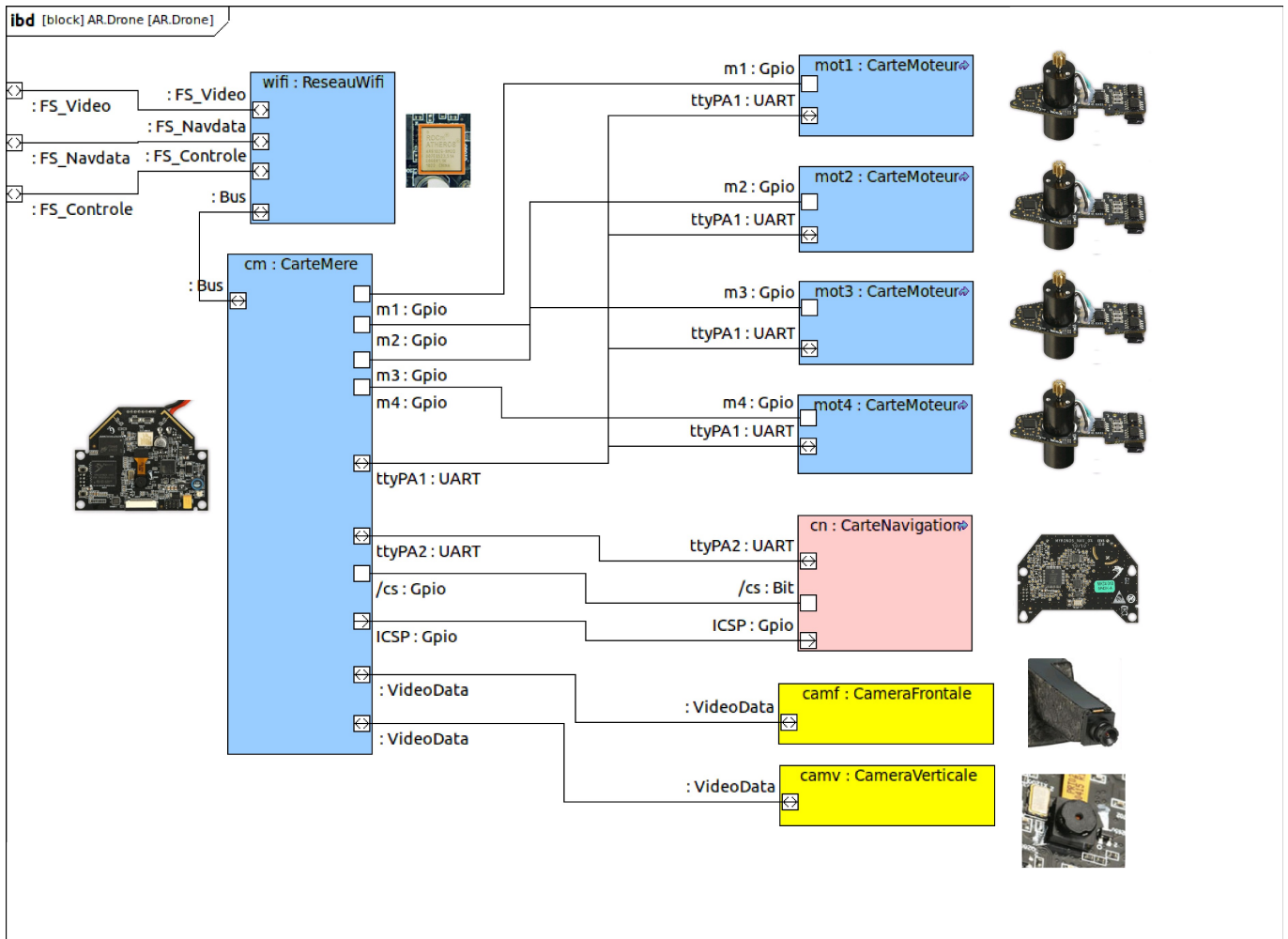


Fig. 49: IBD AR.Drone

On donne les principales caractéristiques des liaisons entre les instances de blocs :

- Liaison « **CarteMere** » - « **CarteMoteur** » : elle est constituée de deux ports :
  - un port standard pour la sélection du moteur. Exemple : m1:Gpio
  - un flux ttyPA1:UART : c'est une liaison série de type RS232 servant de support aux données échangées entre la carte mère et le moteur (commandes et états du moteur, commande led, etc.) selon un protocole propriétaire (non documenté).
- Liaison « **CarteMere** » - « **CarteNavigation** » : elle est constituée de 3 ports :
  - un port standard pour la sélection de la carte de navigation : /cs:Bit
  - un flux ttyPA2:UART : c'est aussi une liaison série de type RS232 servant de support aux données échangées entre la carte mère et la carte de navigation (données brutes des accéléromètres, gyroscope, et altimètre) selon un protocole propriétaire (non documenté).
  - un flux ICSP:Gpio : (re)programmation du micro-logiciel de la carte de navigation
- Liaison « **CarteMere** » - « **CameraFrontale** » et « **CarteMere** » - « **CameraVerticale** » : flux à différentes composantes (contrôle de la caméra et données vidéo).



- Liaison « **CarteMere** » - « **ReseauWifi** » : bus de données et de contrôle entre l'unité de traitement et le composant chargé de la communication sur le réseau Wi-Fi.

Un deuxième diagramme de bloc interne orienté « Énergie » montre les différentes liaisons pour l'alimentation en énergie des blocs.

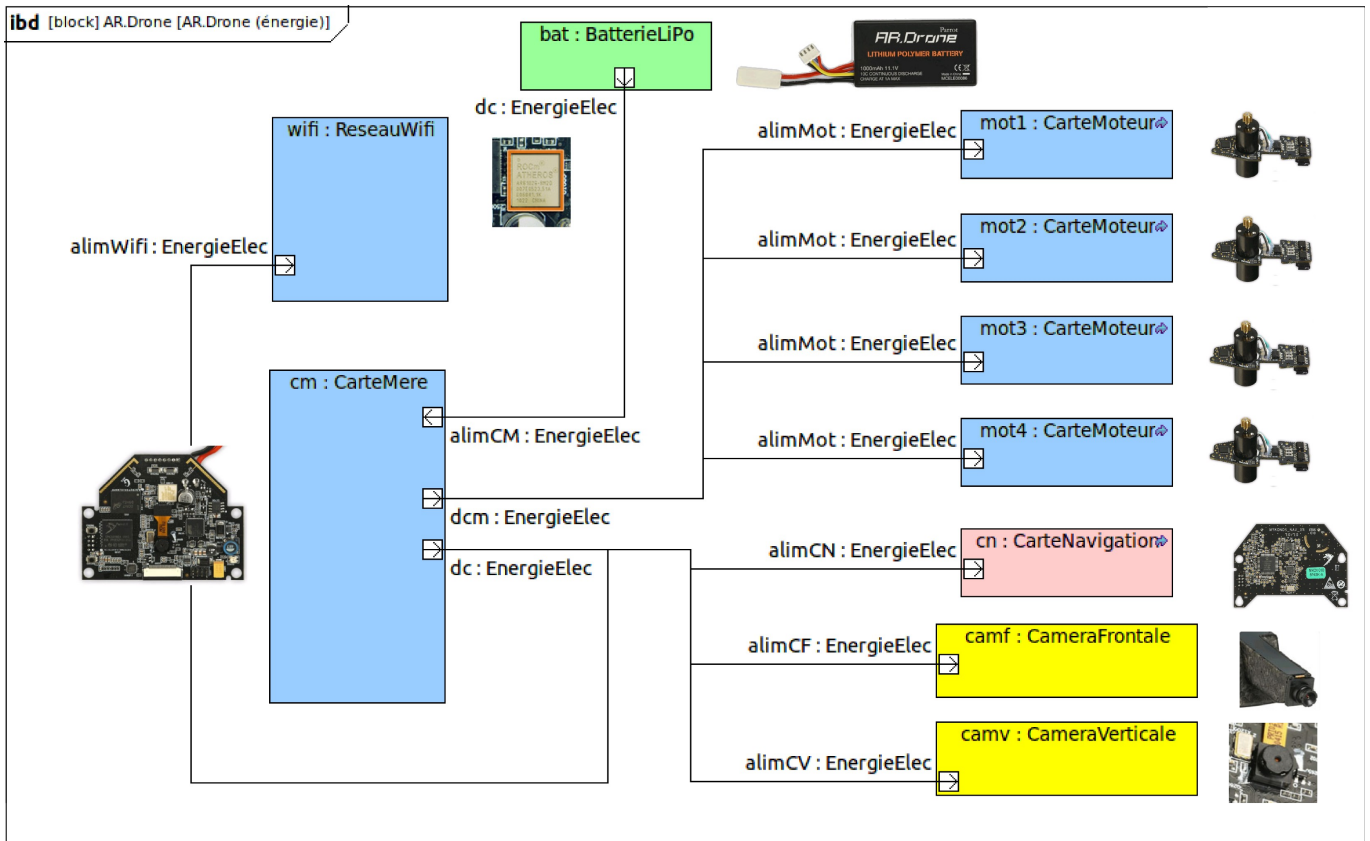


Fig. 50: IBD AR.Drone - Énergie

### 1.8.6. Diagramme de bloc interne de la carte moteur de l'AR.Drone

Le diagramme de la page suivante montre une décomposition de haut niveau de la carte moteur. On y retrouve les blocs suivants :

- « **UniteControlMoteur** » : unité de traitement chargée d'appliquer les consignes moteurs issues de la carte mère.
- « **PontInverseur** » : système de commutation d'énergie vers les enroulements du moteur.
- « **CircuitDetectionPosRotor** » : système de détection de la position du rotor (contrôle du sens/vitesse de rotation).
- « **Moteur** » : le tableau suivant donne les principales caractéristiques du moteur :

Rated voltage	12V DC
No phase	3 phases
Operating voltage	5.0 - 12.0V DC
Rated load	Propeller
Rated speed	42000+-7%rpm
Temperature range	Working temp : 0°C - 30°C
No load speed	52000+-7%rpm
No load current	600mA Max
Insulation resistance	10M Ohm Min
Terminal resistance	600+-50mOhm

- « **Reducteur** » et « **Helice** » : propulsion
- « **Led** » : led de statut de l'AR.Drone (prêt à voler, urgence, animations, etc.)

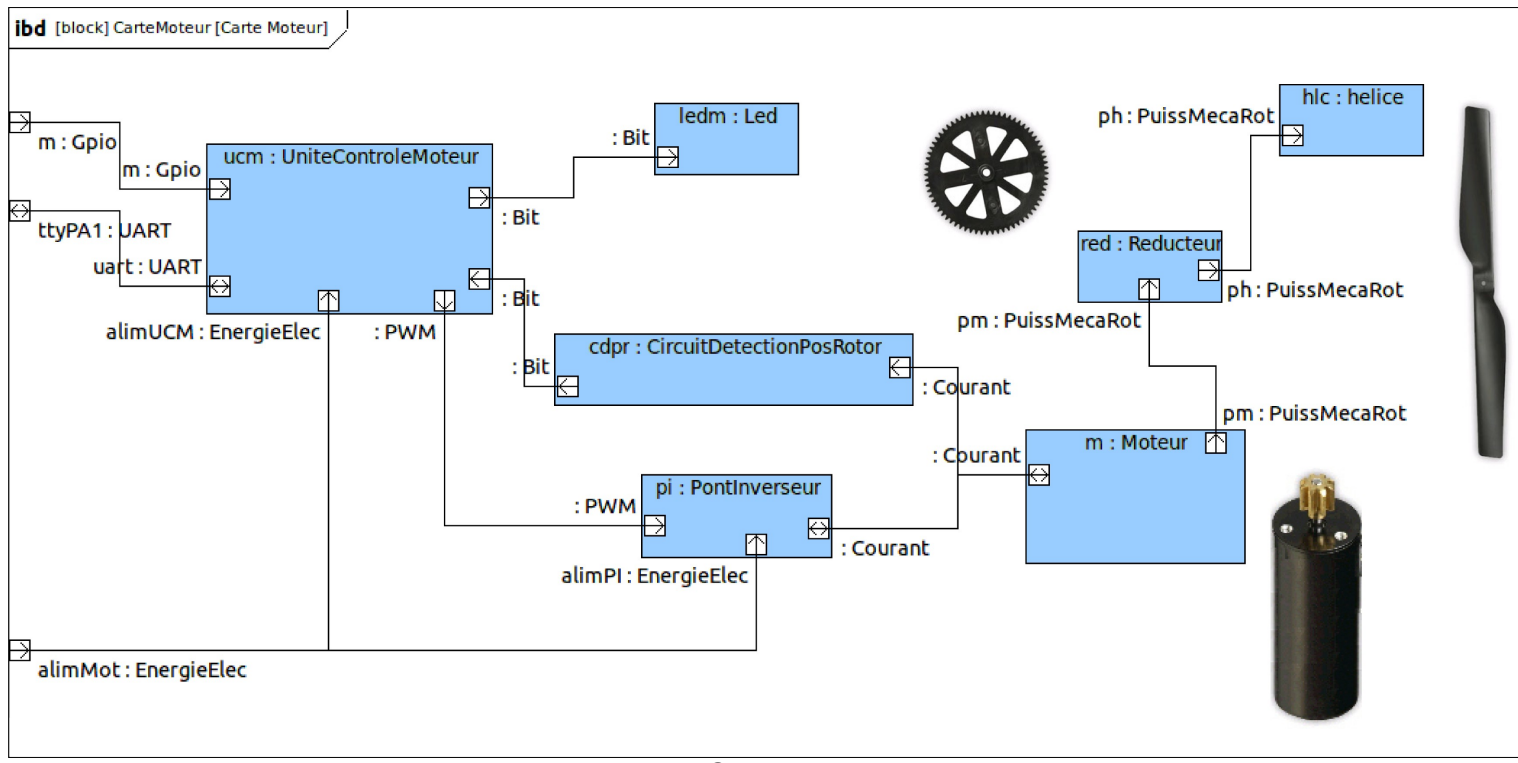


Fig. 51: IBD Carte Moteur AR.Drone

### 1.8.7. Diagramme de bloc interne de la carte de navigation de l'AR.Drone

Le diagramme de la page suivante montre une décomposition de haut niveau de la carte mère. On y retrouve les blocs suivants :

- « **UniteControleNavigation** » : unité de traitement chargée d'envoyer à la carte mère les mesures brutes issues des capteurs de la centrale inertielle, et de l'altimètre. C'est le micro-contrôleur Microchip PIC24HJ16GP304 qui est chargé de cette tâche.
- « xyz :**Accelerometre** » : cette instance de bloc est réalisée grâce au composant Bosch BMA 150 (voir Annexe G). Ce composant mesure les variations de vitesse linéaire sur les axes x, y et z et les transmet à l'unité de traitement de la carte de navigation par un bus i2c puis à la carte mère via la liaison série RS232. Ces informations sont importantes pour l'asservissement de l'AR.Drone : en l'absence d'ordre de la Station-Sol, pour stabiliser l'AR.Drone, le logiciel embarqué sur la carte mère va chercher à compenser les perturbations détectée par les accéléromètres (vent, etc.) en faisant varier la vitesse des moteurs.

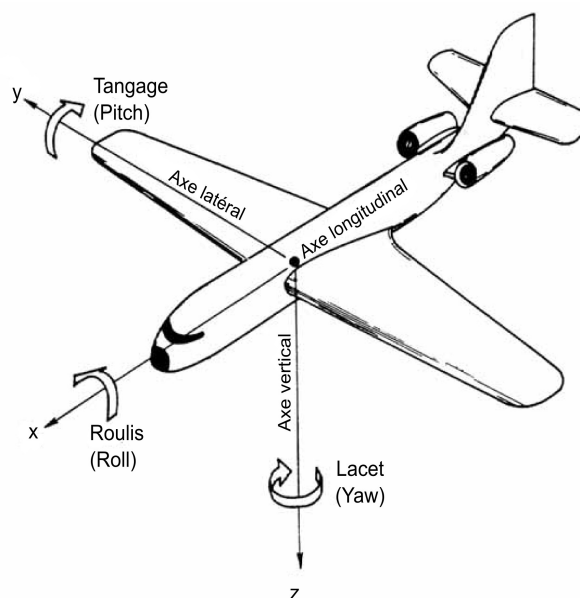


Fig. 52: Rôle de la centrale inertielle : stabiliser l'AR.Drone

- « xy :**Gyroscope** » : cette instance de bloc est réalisée grâce au composant Invensense IDG500 (voir Annexe E). Ce composant mesure les variations de vitesse angulaire autour des axes x pour le roulis et y pour le tangage. Ces mesures sont transmises à l'unité de traitement de la carte de navigation par bus i2c puis à la carte mère via la liaison série RS232. C'est l'asservissement de ces angles qui permettent à l'AR.Drone de se déplacer sur le plan xy. De même, pour stabiliser l'AR.Drone en cas de perturbation entraînant une variation de vitesse angulaire sur les axes x ou y (vent, etc.), le logiciel de la carte mère va jouer sur la vitesse des moteurs jusqu'à ce que le gyroscope ne détecte plus de variation. Les dérives sur le plan xy sont aussi détectées par la caméra verticale par l'analyse de l'image du sol. Le couplage du gyroscope et de la caméra permet d'avoir une bonne stabilisation à condition avoir une image du sol présentant des contrastes (éviter les sols unicolores).
- « z:**Gyroscope** » : le guidage de l'AR.Drone nécessite que la mesure du lacet se fasse avec une plus grande précision. Cette instance est réalisée grâce au composant Epson XV3500CB (voir Annexe F). C'est l'unité de traitement de la carte de navigation qui est chargé de la conversion Analogique-Numérique du signal issu du gyroscope

- « **EmetteurUltraSon** », « **RecepteurUltraSon** » et « **Ampli-Filtre** » : ces trois instances de blocs constituent l'altimètre. Les trains d'impulsions (pwm) envoyés par l'émetteur ultra-son sont réfléchis par le sol (jusqu'à une altitude de 6 mètres environ) et l'écho est capté par le récepteur à ultra-son. Après amplification et filtrage, le retard temporel de l'enveloppe du signal d'écho sur le train d'impulsions correspondant donne des indications sur la distance de l'AR.Drone par rapport au sol. Les données brutes issues de l'altimètre sont transférées vers la carte mère par l'unité de traitement de la carte de navigation. C'est le logiciel embarqué sur la carte mère qui est chargé du calcul de l'altitude. L'altimètre seconde l'accéléromètre de l'axe z pour la mesure des variations d'altitude et permet aussi la stabilisation de l'AR.Drone.

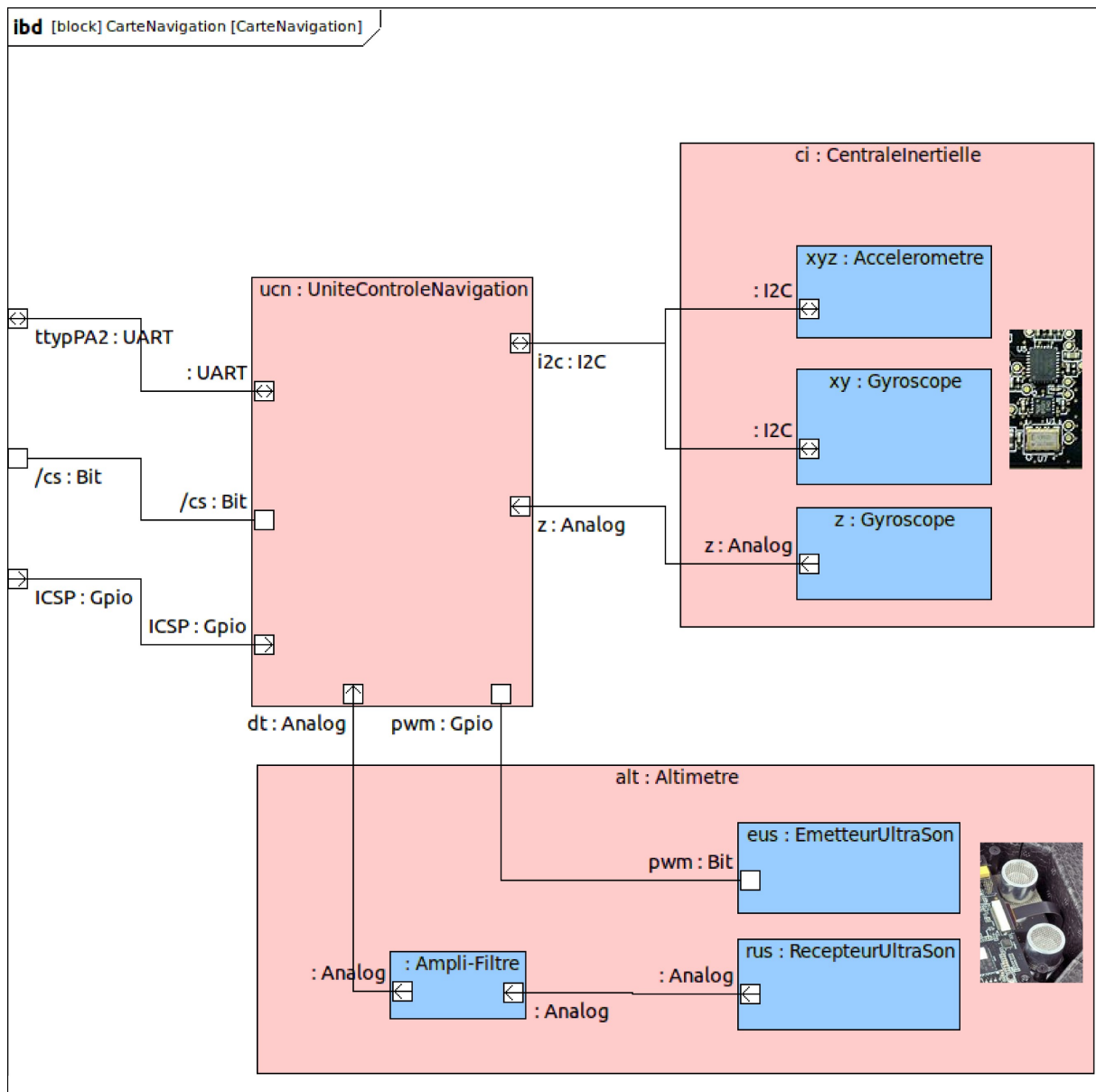


Fig. 53: IBD Carte de navigation de l'AR.Drone

### 1.9. Diagramme des cas d'utilisation de la Station-Sol

Il existe de nombreuses applications de pilotage de l'AR.Drone sur différentes plate-formes mobiles et différents systèmes d'exploitation.



Fig. 54: Freeflight sur iPod



Fig. 55: Application « Piloter » sur iPad



Fig. 56: AR.Race sur iPhone

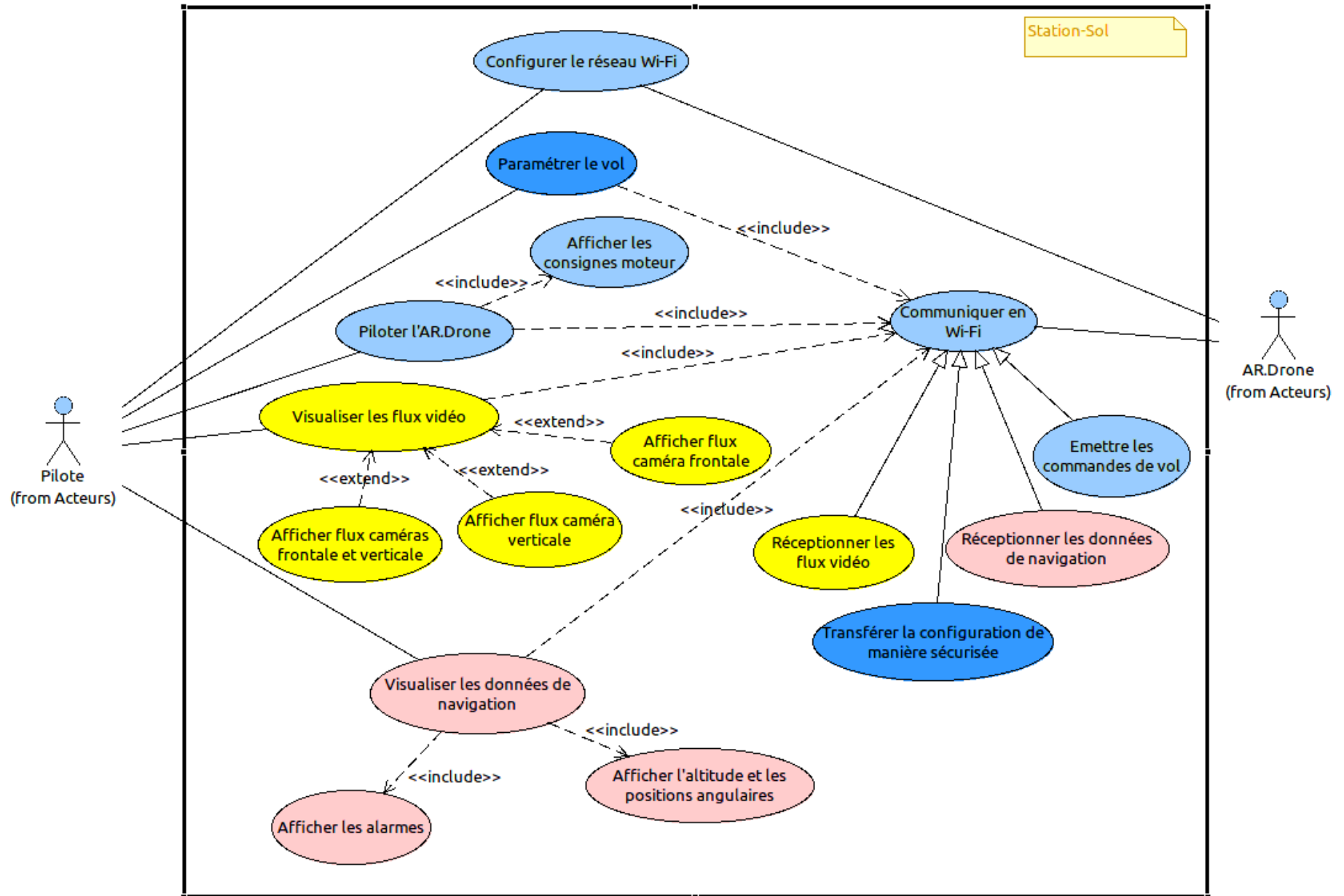


Fig. 57: AR.Pro sur mobile Android

Pour chacune de ces applications, il serait nécessaire d'établir un diagramme des cas d'utilisation.

Le diagramme de cas d'utilisation de la page suivante permet de recenser les principaux cas d'utilisation à implémenter dans un logiciel de pilotage de l'AR.Drone.

package Cas d'utilisation Station-Sol



Pour concevoir le logiciel, l'équipe de développeur se basera sur l'étude des cas d'utilisation pour prototyper l'interface Homme-Machine puis l'équipe développera l'ensemble des briques logicielles (les classes) adaptées à la plate-forme et au langage informatique choisis.

Les fichiers sources de l'application Freeflight sont donnés à titre d'exemple par la société Parrot et sont disponible avec le Software Development Kit (SDK) de Parrot (téléchargeable sur le site de Parrot après inscription).

Le diagramme des classes suivant montre l'architecture logicielle de l'application Freeflight.

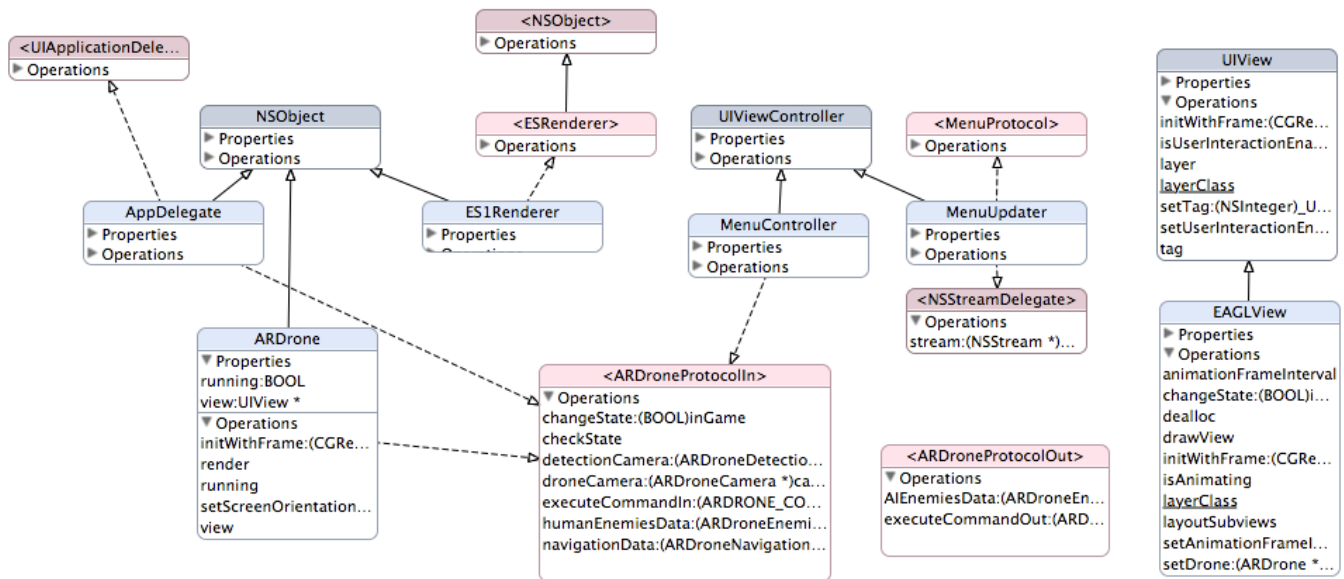


Fig. 58: Diagramme de classes de l'application Freeflight



## 2. Modélisation 3D

### 2.1. Plans d'ensemble

Voir pages suivantes.

### 2.2. Ressources Solidworks

Les éclatés et les nomenclatures se retrouvent dans l'arborescence Solidworks :

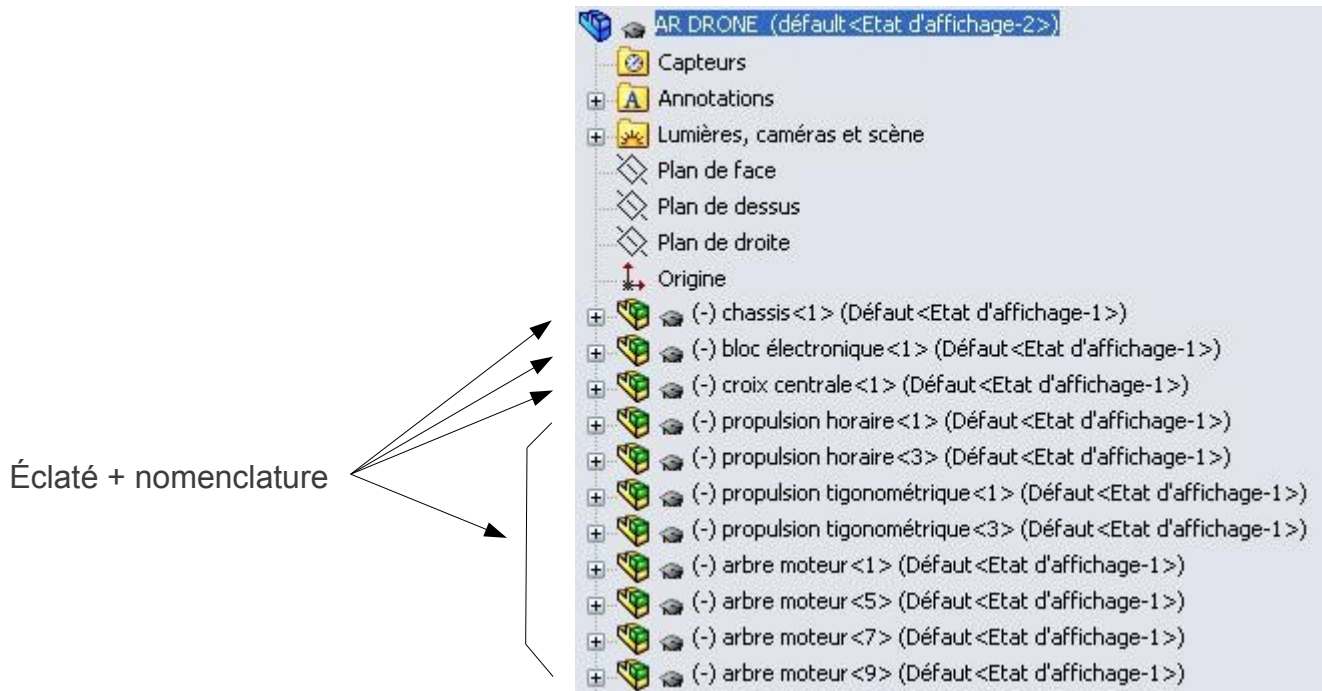


Fig. 59: Arborescence Solidworks

Pour les obtenir sous Solidworks Consulter les configurations



Fig. 60: Détails éclatés et nomenclatures

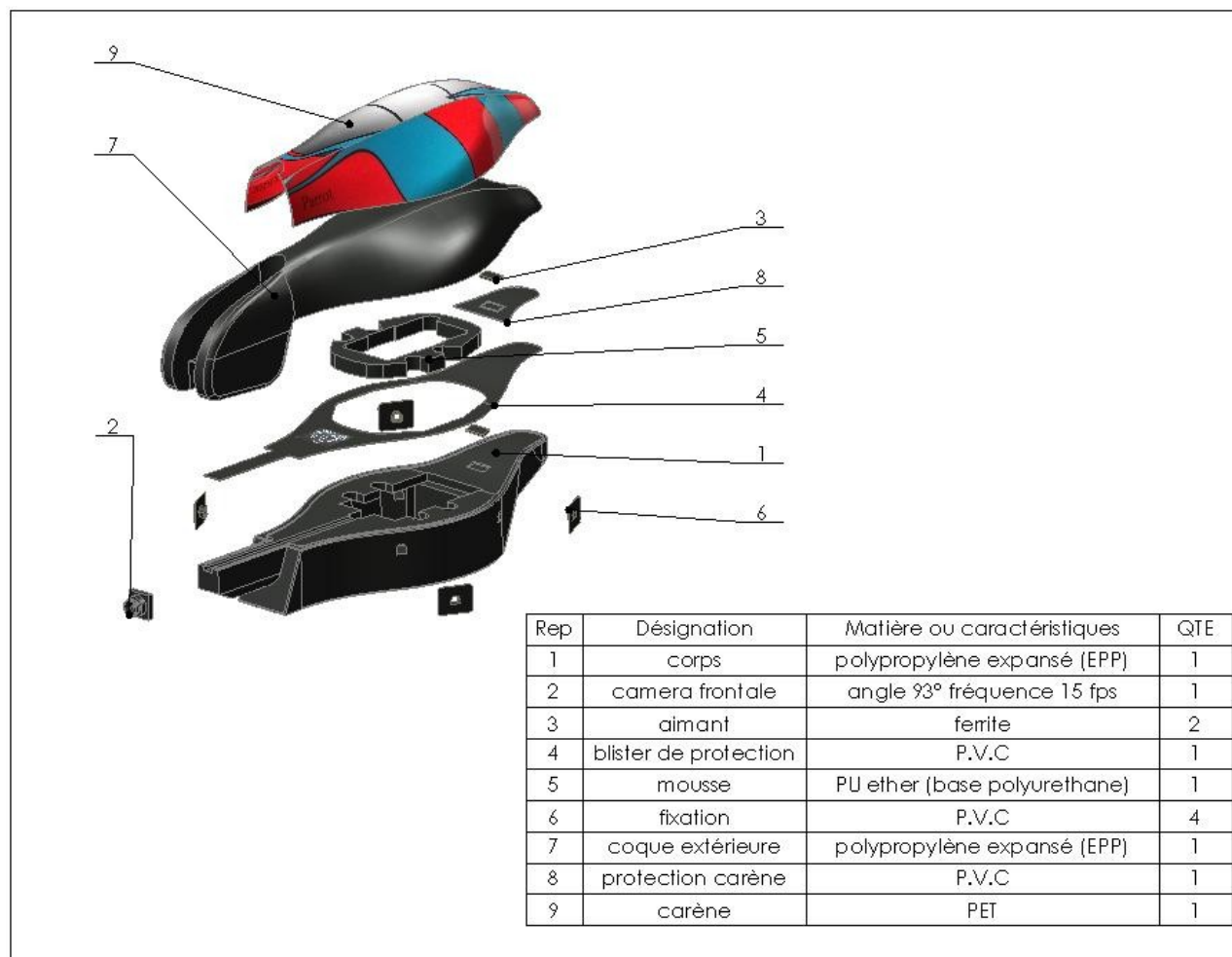
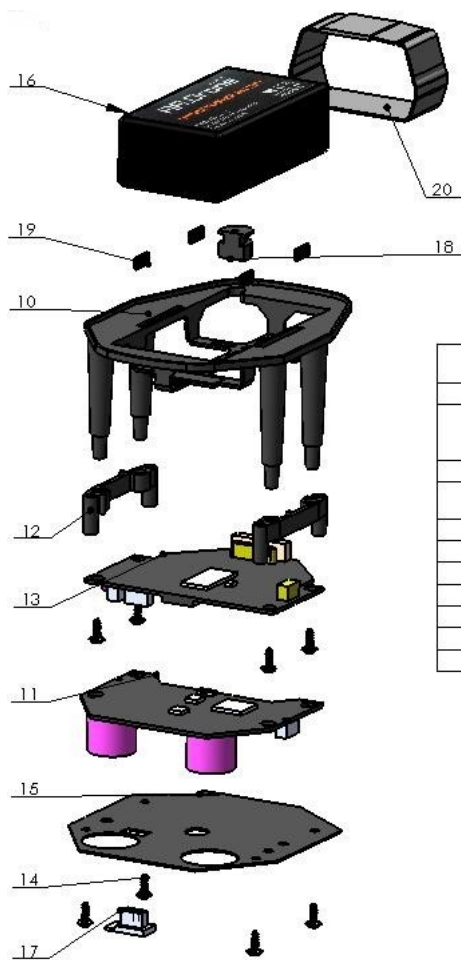
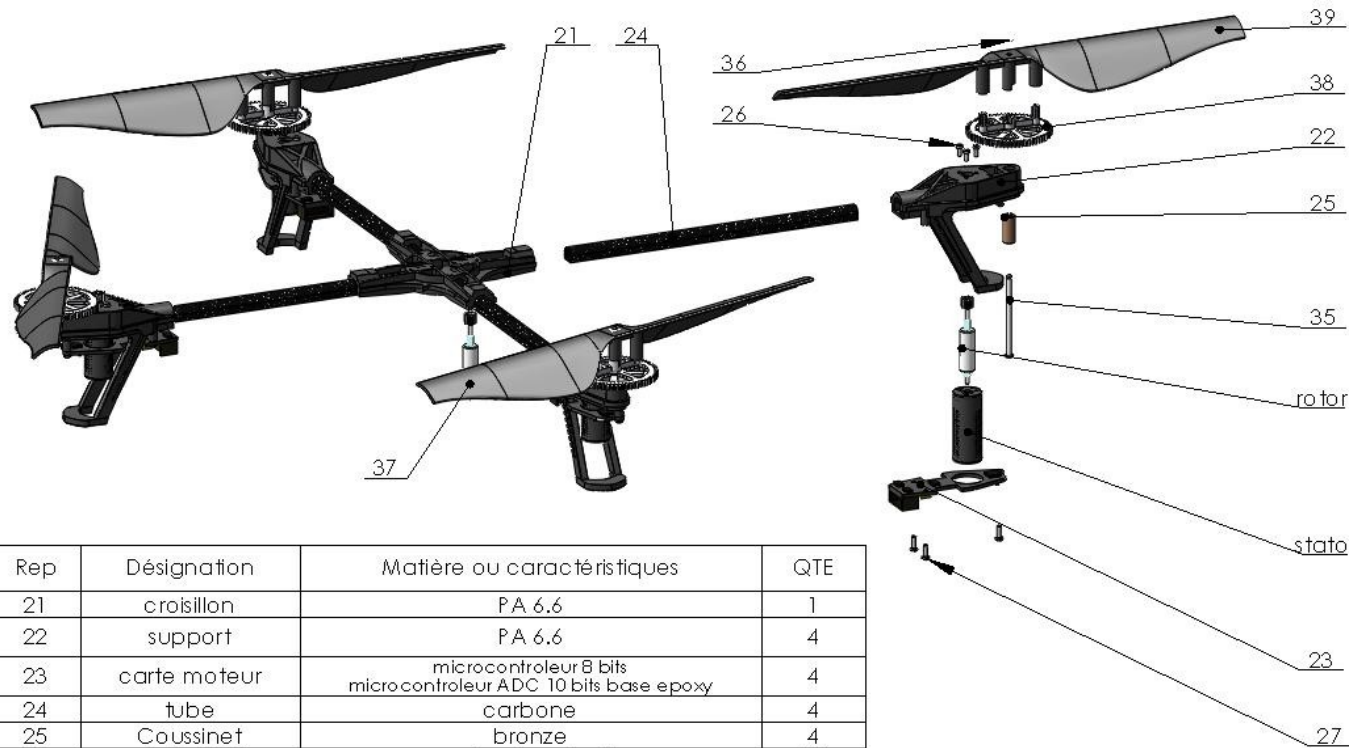


Fig. 61: Chassis AR.Drone



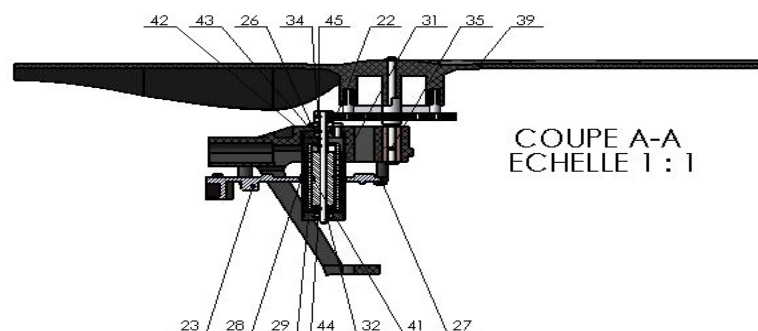
Rep	Désignation	Matière ou caractéristiques	QTE
10	berceau	PA 6.6	1
11	carte de navigation	microcontrôleur 12 bits + convertisseur ADC accéléromètre 3 axes, 2 gyromètres, capteur ultrasons base epoxy	1
12	entretoise	PA 6.6	2
13	carte mère	processeur 468 MIPS ARM926EJ Ricc 256 Mb MDDR RAM 32 bits (200MHz) base epoxy	1
14	Vis Cx M2	S 235 phosphaté	8
15	cache inférieure	P.V.C	1
16	batterie	3 cellules 1000 mAh	1
17	bouchon	POM	1
18	passe-cable	POM	1
19	tampon	POM	4
20	sangle	PET	1

Fig. 62: AR.Drone : bloc électronique



Rep	Désignation	Matière ou caractéristiques	QTE
21	croisillon	PA 6.6	1
22	support	PA 6.6	4
23	carte moteur	microcontrôleur 8 bits microcontrôleur ADC 10 bits base epoxy	4
24	tube	carbone	4
25	Coussinet	bronze	4
26	vis Cz M1.5	acier phosphaté	12
27	vis Cz M1.75	acier phosphaté	12
35	axe hélice	acier inoxydable	4
36	Segment d'arrêt	S 185	4
37	hélice horaire	PET ( C: clockwise)	2
38	roue	PA 6.6	4
39	hélice trigo	P ET ( A: Anticlockwise )	2

Fig. 63: AR.DRone : ensemble croix centrale - moteurs



Rep	Désignation	Matière ou caractéristiques	QTE
22	support	PA 6.6	4
23	carte moteur	microcontrôleur 8 bits / microcontrôleur ADC 10 bits	4
25	Coussinet	Cu Zn 39 Pb 2	4
26	vis Cz M1.5	S 235 phosphaté	12
27	vis Cz M1.75	S 235 Phosphaté	12
28	carcasse	1050 A	4
29	tole	S 185	216
30	goupille	s 185	12
31	bobinage	Cu OF	4
32	fond	1050 A	4
33	Roulement	d=1.5 D= 5 B= 2	8
34	couvercle	1050 A	4
35	axe hélice	X6 Cr 13	4
36	Segment d'arrêt	C 60 phosphaté	4
38	roue	PA 6.6	4
39	hélice trigo	PET	2
41	aimant moteur	ferrite	4
42	entretoise 2	POM	4
43	cale	POM	24
44	entretoise 1	POM	4
45	pignon moteur	acier	4

Fig. 64: AR.Drone : bloc moteur

Cette page a été laissée intentionnellement blanche

## C. Définition des solutions en réponses aux fonctions techniques

### 1. Définition des solutions

#### 1.1. Solution pour la communication entre la Station-sol et l'AR.Drone

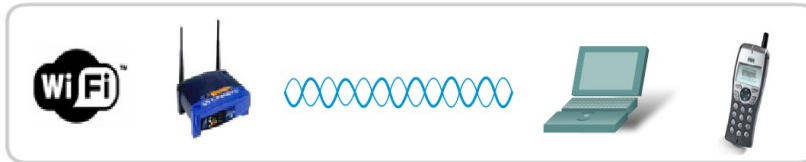
##### 1.1.1. Les différents types de réseaux sans fil

Les standards IEEE couvrent la couche Physique et la couche Liaison de données du modèle OSI.

Le plus important de ces standards est l'IEEE 802.11a/b/g/n plus connu sous le nom commercial de Wi-Fi. On le retrouve souvent aussi sous l'appellation Wireless LAN ou WLAN.

Les principales caractéristiques du Wi-Fi sont :

- Longue portée pour les réseaux de grande taille
- Architecture réseau principalement basée sur des points d'accès
- Vitesses 11 – 54 - > 270 Mbits/s



La norme IEEE 802.15 couvre les réseaux personnels : Wireless Personal Area Network ou WPAN. Les réseaux les plus connus de cette famille sont :

- Bluetooth : IEEE 802.15.1
  - Beaucoup d'applications variées (smartphones, PDA, périphériques, etc.)
  - Portée de quelques dizaines de mètres à 1 Mb/s.



- Zigbee : IEEE 802.15.4
  - Communication de petites radios, à consommation réduite pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs)
  - Portée de quelques dizaines de mètres à 250Kb/s.



### 1.1.2. Les équipements Wi-Fi

Les équipements Wi-Fi les plus courants sont :

- Points d'accès Wi-Fi (Access Point) chargés de concentrer les signaux sans fil des clients et de faire l'interface avec le réseau filaire (LAN)
- Cartes Wi-Fi qui se connectent à un point d'accès

De nos jours, les composants Wi-Fi intègrent les équipements mobiles afin de les rendre communicants.

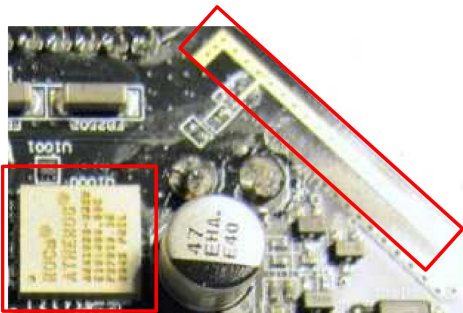


Fig. 66: Composant et antenne Wi-Fi de l'AR.Drone



Fig. 65: Point d'accès et carte Wi-Fi

Les autres équipements Wi-Fi

- Tablette (iPad, Android, etc)
- Téléphones
- Imprimantes
- Vidéo-projecteur
- Tablet PC/PDA
- Caméra de sécurité
- Scanner code à barres
- Equipements divers pour:
  - Les jeux,
  - La santé,
  - Les restaurants,
  - Le suivi de production,
- etc.





### 1.1.3. Comparaison réseau filaire LAN - réseau sans fil WLAN

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques et différences entre un réseau filaire et un réseau sans fil.

Caractéristiques	802.11 WLAN	802.3 Ethernet LAN
Couche Physique	Fréquence radio	Câble
Accès au média	Évitement de collision (écoute du média avant d'émettre)	Détection de collision (écoute du média pendant l'émission)
Disponibilité	Tout équipement avec une puce Wi-Fi situé dans la couverture radio d'un point d'accès.	Nécessite une connexion par câble au réseau
Interférences entre signaux	Oui	Aucune (seule les perturbations électromagnétiques de l'environnement peuvent compter)
Réglementation	Locale. Pour la France : Autorité de Régulation des Télécommunications (ART)	Voir standard IEEE

### 1.1.4. Principales normes pour les réseaux sans fil

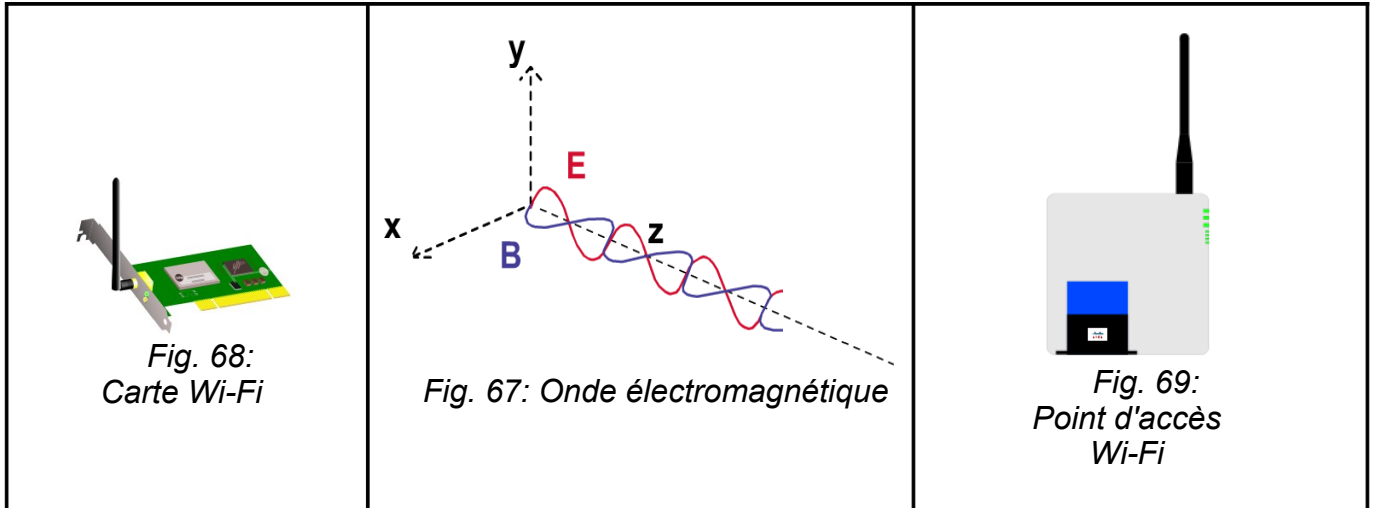
Le tableau suivant donne les principales caractéristiques des différentes normes de réseaux Wi-Fi.

	802.11a (US)	802.11b	802.11g		802.11n
Bande	5,7 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz		2,4 GHz ou 5 GHz
Canaux (sans recouvrement)	jusqu'à 23	3	3		
Modulation	OFDM	DSSS	DSSS	OFDM	MIMO-OFDM
Débit	jusqu'à 54Mbits/s	jusqu'à 11Mbits/s	→11Mps	→54Mps	270 Mbits/s (2,4GHz)
Distance en intérieur	35m	35m	35m (140m ext)		70m
Date norme	1999	1999	2003		2009

### 1.1.5. Aspect physique de la transmission sans fil

La transmission sans fil est basée sur la propagation d'ondes électromagnétiques entre une antenne émettrice et une ou plusieurs antennes réceptrices.

Une onde électromagnétique est la superposition d'une onde électrique perpendiculairement à une onde magnétique.



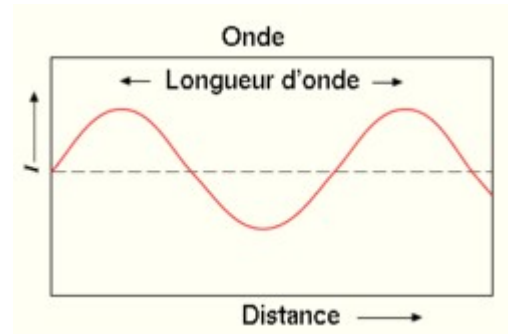
Dans le vide, les micro-ondes 2.4GHz voyagent à la vitesse de la lumière (299 792 458 m/s) et se propagent à l'infini jusqu'à ce qu'elles interagissent avec de la matière. Dans l'atmosphère, les micro-ondes traversent l'air (et non le vide). Cela influence très peu leur vitesse.

L'équation d'une onde électromagnétique donne la relation entre sa fréquence, sa longueur d'onde et la vitesse de la lumière :

$$f \times \lambda = c$$

avec :

- f : fréquence
- $\lambda$  : longueur d'onde
- c = vitesse de la lumière



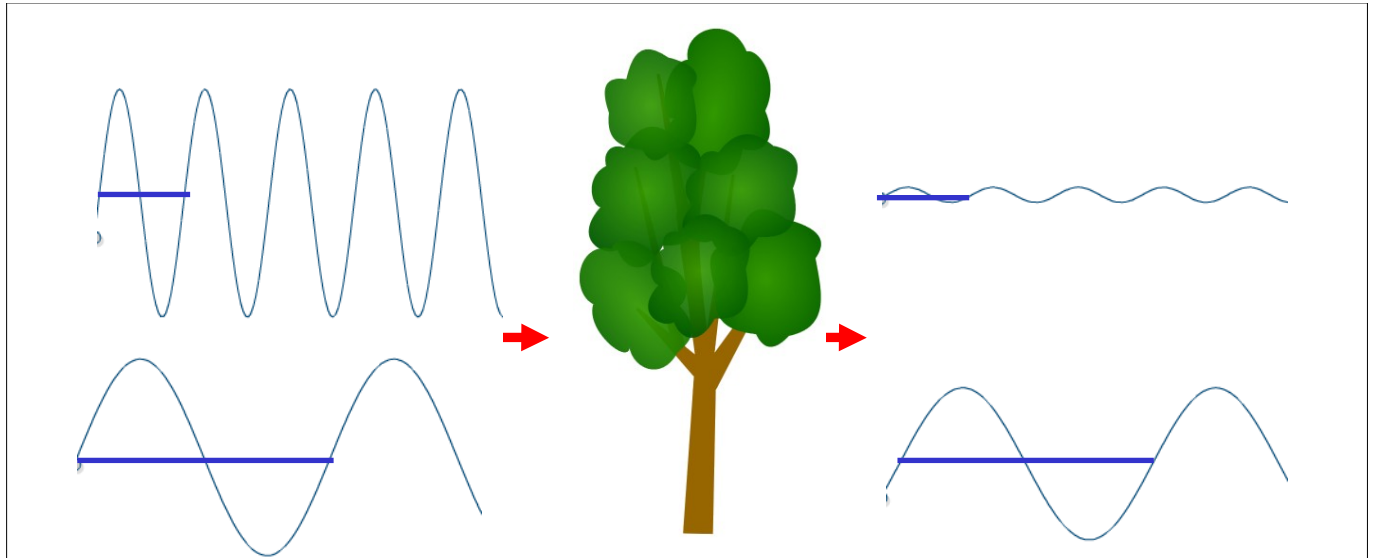
*Fig. 70: Longueur d'onde*

En appliquant cette équation à la fréquence du Wi-Fi 802.11g (2,4 GHz) on retrouve sa longueur d'onde :

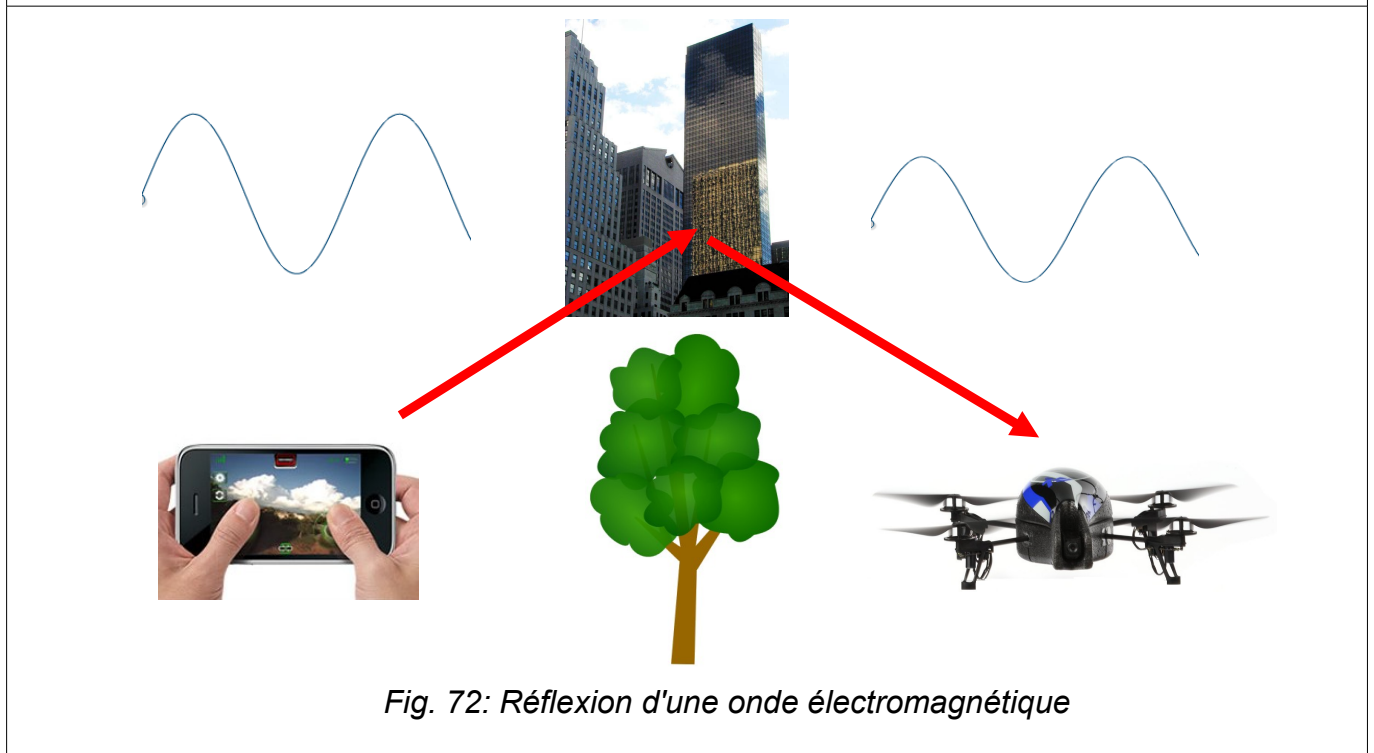
$$\lambda = c/f = 299\,792\,458 / 2,4 \cdot 10^9 = 0,125 \text{ m}$$

Une onde électromagnétique qui se propage dans l'atmosphère rencontre des obstacles et plusieurs phénomènes peuvent se produire :

- atténuation et obstruction : l'onde perd plus ou moins d'amplitude en fonction de sa longueur d'onde. Plus la longueur d'onde est grande (basses fréquences), moins le signal est atténué.
- réflexion : sur une surface plus grande que sa longueur d'onde, une onde peut se réfléchir (rebondir) en perdant un peu d'amplitude. Ce phénomène a des avantages car il augmente les chances d'une onde électromagnétique d'atteindre l'antenne de réception.



*Fig. 71: Obstruction et atténuation d'une onde électromagnétique*



*Fig. 72: Réflexion d'une onde électromagnétique*

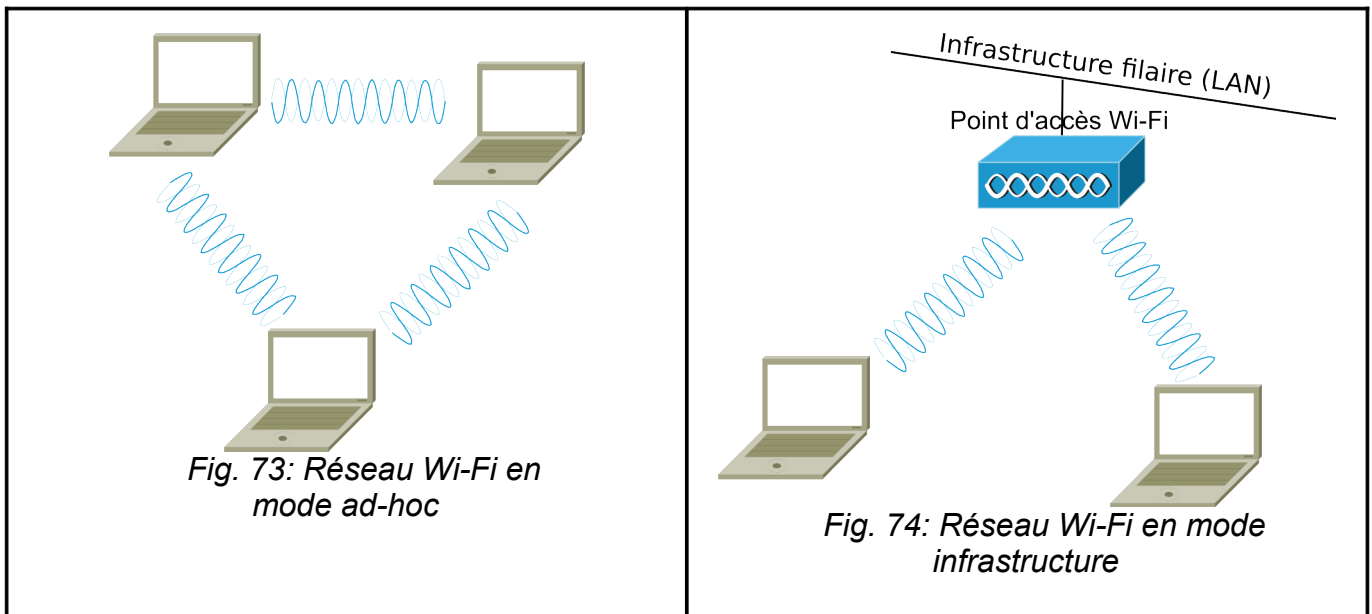
La puissance d'un signal Wi-Fi réceptionné par l'antenne de l'iPhone ou de l'AR.Drone se mesure en dBm ou en mW. L'équation suivante permet le passage du dBm en mW :

$$\text{dBm} = 10.\text{Log}_{10}(P_{\text{mW}})$$

### 1.1.6. Caractéristiques d'un réseau Wi-Fi

Un réseau Wi-Fi se caractérise par :

- Son **SSID** (Service Set ID) : C'est le nom du réseau auquel les clients Wi-Fi s'associent. Par exemple, pour l'AR.Drone le SSID par défaut est ardrone\_xxxx avec xxxx un numéro propre à chaque AR.Drone.
- Le mode d'accès :
  - **Mode infrastructure** : dans ce cas, c'est un point d'accès Wi-Fi qui propose un ou plusieurs SSID. Les clients Wi-Fi s'associent au point d'accès avant de pouvoir communiquer sur le réseau. Généralement les points d'accès sont reliés à une infrastructure filaire (LAN).
  - **Mode Ad-hoc** : dans ce mode décentralisé, chaque entité dialogue directement avec sa voisine à partir du moment où elles utilisent le même SSID.



- Le **canal de communication** : les entités présentes sur un même réseau Wi-Fi (ad-hoc ou infrastructure) communiquent sur un seul et même canal. C'est l'équipement qui met en place le réseau (point d'accès ou premier nœud ad-hoc) qui impose le numéro de canal pour les autres. Ce canal peut être configuré manuellement dans les équipements, mais il est aussi possible de choisir automatiquement une fréquence libre après une étude de l'environnement radio.

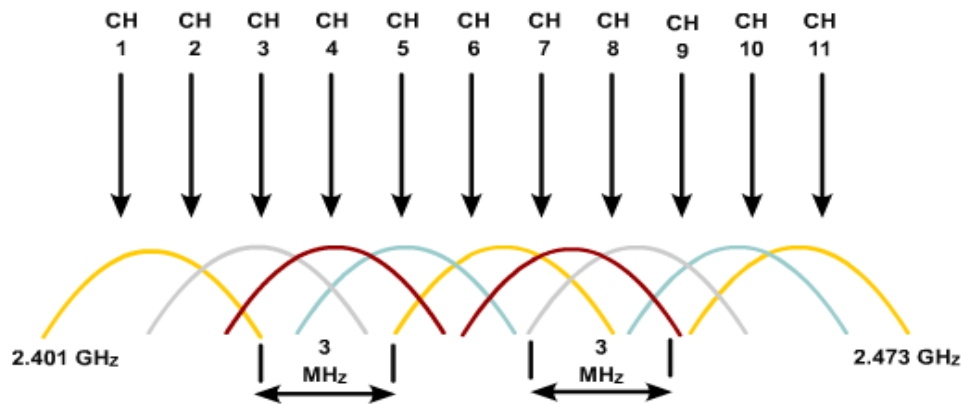


Fig. 75: Canaux Wi-Fi 802.11g (USA)

- **Sécurité** : il est possible de chiffrer les communications entre les différents nœuds afin de sécuriser les échanges (mécanismes WEP, WPA2, etc.).
- Diffusion des informations de connexion : des trames spéciales appelées balises ou « **beacon** » sont émises régulièrement par les points d'accès pour informer les clients de leur présence avec toutes les informations nécessaires pour mettre en place la communication (SSID, vitesses acceptées, sécurité demandée, etc.).
- **Adressage IP** : une fois le réseau Wi-Fi opérationnel au niveau des couches Physique et Liaison de données, il reste à configurer la couche Réseau du modèle OSI en affectant une adresse IP et un masque de sous-réseau à chaque élément du réseau. Là encore la configuration IP peut se faire manuellement, mais généralement, on trouvera sur une architecture réseau sans fil classique, un nœud (point d'accès, serveur, etc.) possédant un service DHCP chargé de distribuer dynamiquement les adresses IP, masques de sous-réseau et autres paramètres aux équipements qui en font la demande. Dans le cas de l'AR.Drone, c'est l'AR.Drone lui-même qui est serveur DHCP.

La capture d'écran suivante montre les caractéristiques Wi-Fi de l'AR.Drone reçu par un ordinateur portable équipé d'une interface Wi-Fi placé à 10m de l'AR.Drone (commande Linux iwlist interface scan).

```

...
Cell 03 - Address: EA:07:7E:4F:DF:5C
ESSID:"ardrone_046565"
Protocol:IEEE 802.11g
Mode:Ad-Hoc
Frequency:2.437 GHz (Channel 6)
Quality:56/100 Signal level:-60 dBm Noise level:-96 dBm
Encryption key:off
...

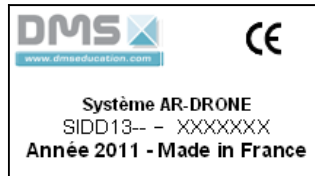
```

Cette page a été laissée intentionnellement blanche

## II. Définition du produit didactique

### A. L'AR.Drone didactique

#### 1. Identification du produit



## 2. Présentation générale de l'AR.Drone didactique

Pour étudier les principales fonctions de l'AR.Drone en laboratoire, l'AR.Drone est présenté sur un support bi-positions permettant d'étudier :

- la force de poussée d'un moteur, afin de comprendre comment sustenter l'AR.Drone,
- les effets des variations de vitesses des moteurs sur l'orientation de l'AR.Drone,
- les caractéristiques de la motorisation de l'AR.Drone,
- le système de relevé d'altitude de l'AR.Drone basé sur l'altimètre à ultrason.



Fig. 76: Maquette AR.Drone



Le système didactique est aussi livré avec un AR.Drone complet, une base et un filin de retenue permettant les utilisations sécurisée en laboratoire pour étudier :

- les communications Wi-Fi entre la Station-Sol (iPad) et l'AR.Drone,
- la chaîne d'énergie de l'AR.Drone,
- le pilotage de l'AR.Drone.

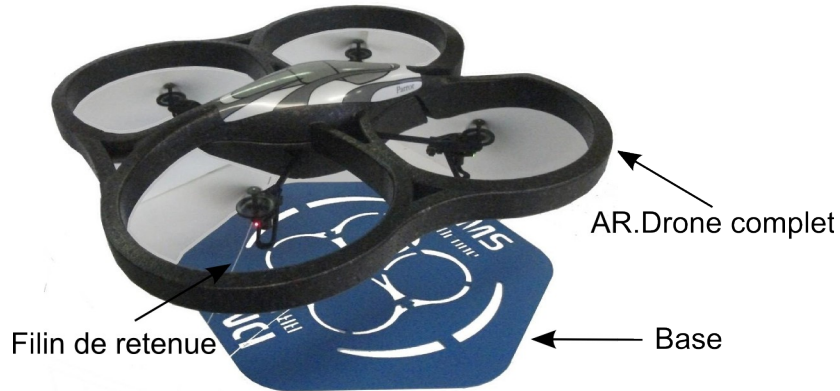


Fig. 77: AR.Drone volant et sa base

### 3. Déclaration de conformité CE

## DECLARATION DE CONFORMITE CE



www.dmseducation.com

**Société DMS**  
**Aeroparc St Martin du Touch**  
**12 rue de Caulet**  
**31300 - TOULOUSE**  
**FRANCE**  
Téléphone : + 33 (0)5 62 88 72 72  
Télécopie : + 33 (0)5 62 88 72 79

La Société DMS, déclare ci-après que :

La machine référencée ci-dessous :

Nom : AR-Drone

Type : SIDD13

Numéro de série : XXXXXX

Est conforme aux dispositions de la directive "machines" (directive 2006/42/CE) et aux législations nationales la transposant (Décret no 2008-1156 du 7 novembre 2008).

Sous réserve de son utilisation dans le respect des recommandations de la notice d'instruction qui lui est jointe.

Fait à Toulouse, le 22 juin 2011

Nom : DUBOUE  
Prénom : Jean-Paul  
Position : Responsable industriel

Signature

## 4. Notice d'instruction du produit didactique

### 4.1. Mise en service de l'équipement

#### 4.1.1. Contenu du colis

Le système didactique AR.Drone est livré dans un colis de dimensions 600 x 600 x 600 mm et de poids 11kg. Le colis contient :

- le portique bi-position avec l'ensemble croix centrale-moteurs
- un AR.Drone complet
- une base de décollage et son filin de retenue
- une balance
- un poids de 500g et un filin
- quatre clefs Wi-Fi
- un kit de réparation :
  - un tournevis et un chasse segment d'arrêt
  - un lot de 4 hélices
  - un lot de vis
- Un DVD de documentation d'accompagnement

#### En option :

- un iPad (ref. SIDD1350)
- une rallonge d'alimentation pour l'AR.Drone volant (ref.SIDD1360)



Fig. 78: Portique et croix centrale



Fig. 79: AR.Drone complet



Fig. 80: base, filin de retenue



Fig. 81: Clef Wi-Fi x4



Fig. 82: Balance



Fig. 83: Kit de réparation



Fig. 84: Lot d'hélices



Fig. 85: Lot de vis



Fig. 86: *En option* : Rallonge AR.Drone (ref SIDD1360)



Fig. 87: *En option* : iPad (ref. SIDD1350)

### 4.1.2. Manutention

La manutention du colis se fait par une personne. Cet ensemble est fragile et il doit être manipulé avec précautions. Vous devez conserver l'emballage qui vous sera utile pour tout retour de matériel, tout emballage qui ne sera pas d'origine sera remplacé et facturer lors du retour du matériel.

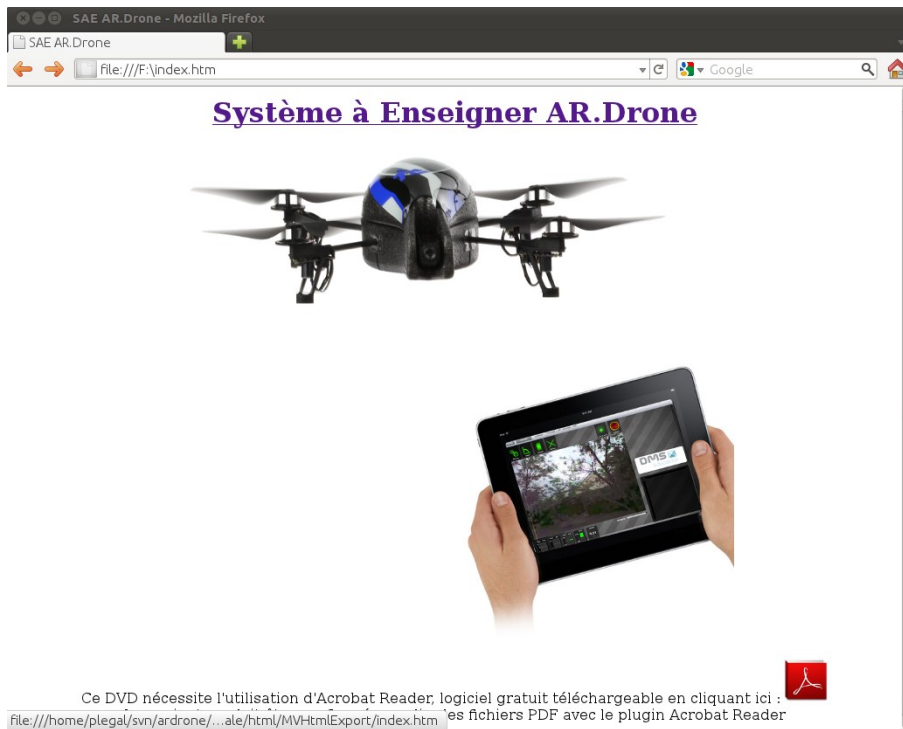
### 4.1.3. Assemblage et raccordement

Le SAE AR.Drone est livré déjà câblé. De ce fait, aucun assemblage particulier n'est nécessaire pour débiter la phase de première mise en service.

#### 4.1.4. Première mise en service

##### 4.1.4.1. Documentation sur DVD

L'insertion du DVD lance automatiquement la page suivante dans un navigateur Web :



Si la page précédente ne se charge pas automatiquement, charger le fichier index.htm se situant à la racine du DVD dans un navigateur Web. Puis cliquer sur le lien « Système à Enseigner AR.Drone ».

L'interface de navigation dans documentation du DVD se charge :



Remarques :

- la documentation peut aussi se parcourir directement en cliquant sur les fichiers présents dans l'arborescence du DVD.

- Les fichiers de documentation et les activités pédagogiques sont livrés dans les formats Microsoft Office, Open Office (Libre Office) et PDF.

#### 4.1.4.2. iPad

L'iPad est une option du SAE AR.Drone.

A sa première mise en service, l'iPad doit être enregistré par le logiciel Apple iTunes (pour Windows ou Mac OS X) :

- les éléments nécessaires au démarrage :
  - Un Mac ou un PC équipé d'un port USB 2.0 et de l'un des systèmes d'exploitation suivants :
    - - Mac OS X version 10.5.8 ou ultérieure
    - - Windows 7, Windows Vista, Windows XP avec Service Pack 3 ou ultérieur
  - iTunes 9.1 ou ultérieur, disponible à la page [itunes](#)
  - Un compte iTunes Store
  - Un accès à Internet
- installer iTunes
  - Si votre ordinateur est déjà équipé d'iTunes, vérifiez que sa version est à jour en sélectionnant Rechercher les mises à jour dans l'onglet Aide du logiciel.
  - Si vous ne possédez pas le logiciel iTunes :
    - Rendez-vous sur le site internet [iTunes](#).
    - Téléchargez le logiciel.
    - Installez-le sur votre ordinateur.
- créer un compte iTunes Store
  - Si vous ne possédez pas déjà un compte i-Tunes, il vous faut créer un compte iTunes Store.
    - 1 Sélectionnez Store sur le logiciel iTunes.
    - 2 Puis sélectionnez Créer un compte. Vous devez disposer d'une adresse e-mail valide.
- configurer votre iPad
  - Allumez votre iPad.
  - Reliez l'iPad à votre ordinateur à l'aide du câble USB fourni dans le pack. Votre ordinateur détecte alors automatiquement l'iPad.
  - Votre iPad est maintenant configuré

Si vous souhaitez en savoir plus sur l'utilisation de votre iPad, nous vous invitons à consulter [l'assistance Apple pour l'iPad](#).

#### 4.1.4.3. Téléchargement des applications SAE AR.Drone sur l'App Store

Toutes les applications nécessaires au fonctionnement du SAE se téléchargent gratuitement sur l'App Store d'Apple :

- Connecter votre iPad à un réseau Wi-Fi ayant accès à Internet (« Réglages » - « Wi-Fi »)
- Lancer l'application « App Store » et chercher les applications du système à enseigner AR.Drone en saisissant les mots clés suivants : **dms ardrone**



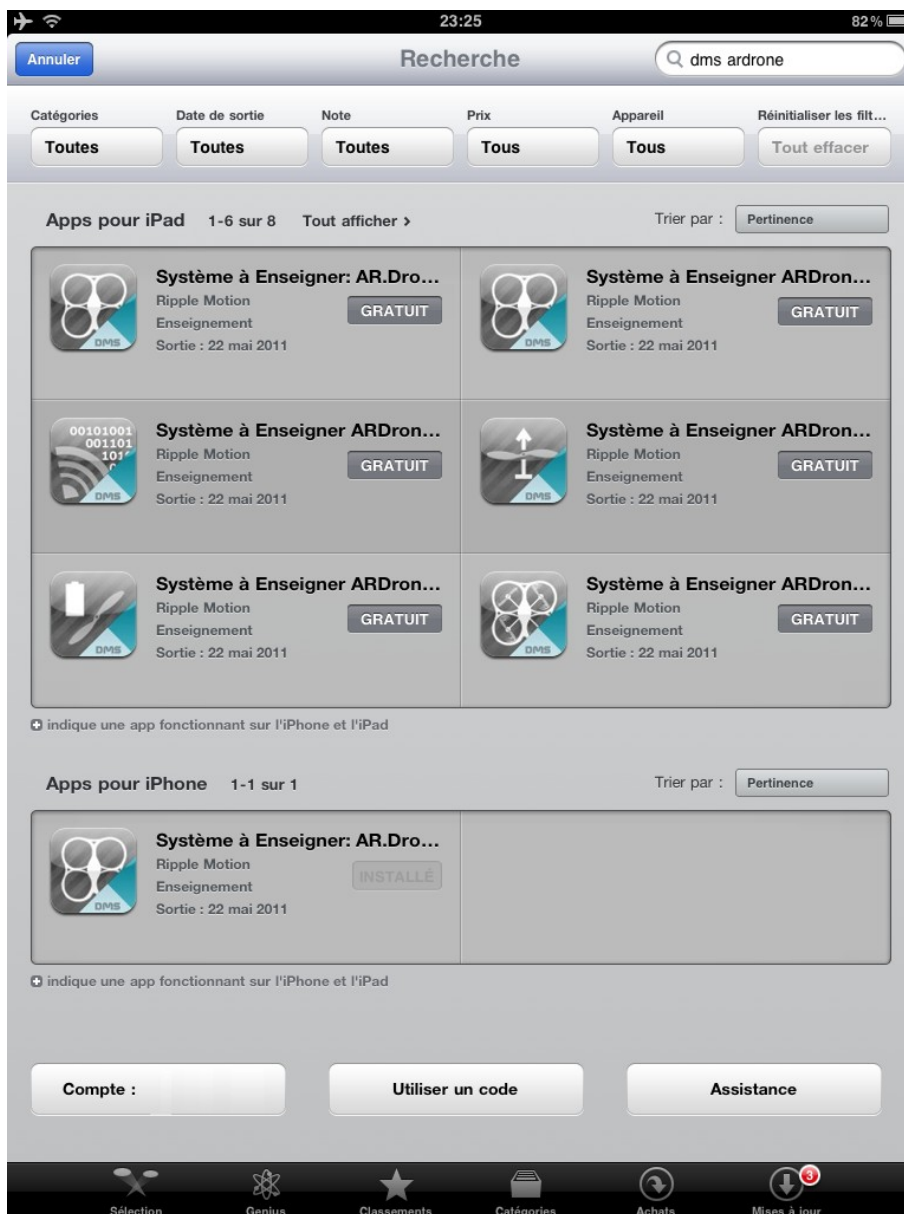


Fig. 88: Résultat de la recherche "dms ardrone" sur l'App Store

- Cliquez sur « Tout afficher » puis installer les 8 applications proposées.

- Une fois les applications installées, les icônes suivantes doivent apparaître sur le SpringBoard de l'iPad (faire glisser l'index sur l'iPad pour faire défiler). Chaque catégorie est identifiée par un type d'icône particulier : icône Wi-Fi pour les applications orientées réseau, icône hélice pour les applications orientées moteur.



*Fig. 89: SAE  
AR.Drone*



*Fig. 90:  
Sustenter*



*Fig. 91:  
Orienter*



*Fig. 92:  
Energie*



*Fig. 93:  
Piloter*



*Fig. 94: Se  
connecter*



*Fig. 95:  
Analyser*



*Fig. 96:  
Commander*



*Fig. 97:  
Mise à jour*

Note : La mise à jour des applications s'effectue par l'App Store. Une notification sera présentée sur l'icône App Store dans le cas où des mises à jour sont disponibles pour des applications installées sur l'iPad.

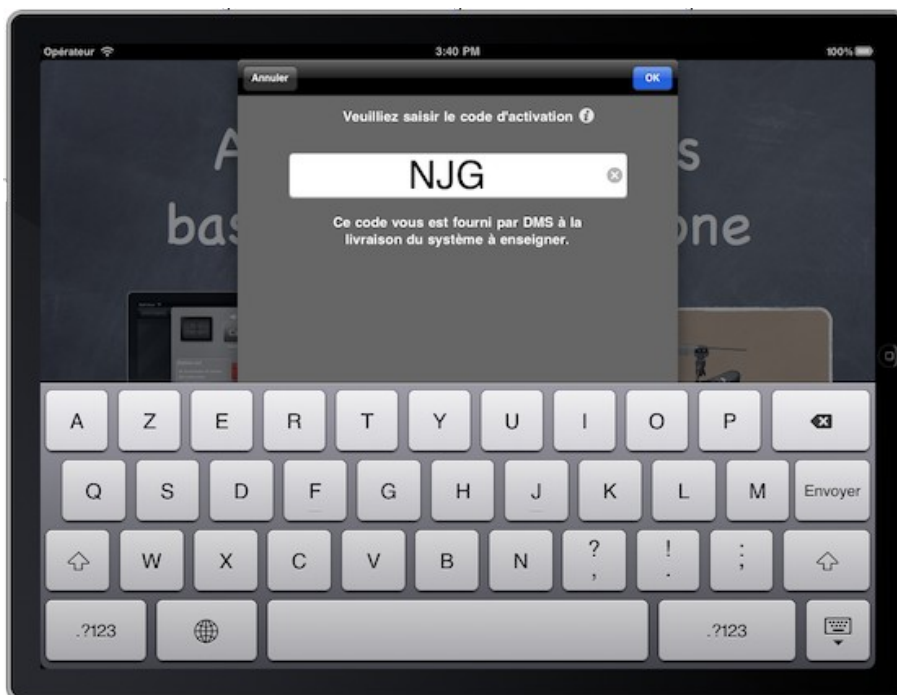
#### 4.1.4.4. Gestion des licences

Chaque application est protégée par un système de gestion de licences.

- Identification des éléments du système :
  - Licence : identifiée par son code (par exemple NJGWNDA0)
  - iPad : identifié par son Unique Device Identifier (UDID)
  - AR.Drone : chaque drone est identifié par son adresse MAC.
- Activation des licences
  - Le code de licence se trouve sur l'étiquette collée sur la maquette didactique du SAE AR.Drone : suite de caractères situés après SIDD13-- - (à la place des XXXXXXXX ci-dessous).



L'activation des licences se fait en entrant le code de licence dans l'interface utilisateur.



*Fig. 99: Activation des applications*




Une fois le code saisi, l'iPad est associé avec la licence. Chaque licence autorise l'activation sur deux iPads distincts. Lorsqu'un iPad essaie d'utiliser un code déjà associé à deux iPads, alors l'activation échoue, et l'utilisateur est informé que sa licence ne peut pas être utilisée.

L'application valide automatiquement et de façon périodique sa licence. Pour cela, un accès internet est nécessaire.

Par mesure de commodité, l'application se rappelle de la dernière clé de licence valide entrée, et cette information est partagée entre toutes les applications SAE AR.Drone.

**4.1.4.5. Les applications iPad**

Les applications sont décrites de façon succincte dans cette partie. Elles seront détaillées dans les chapitres suivants.

<p><b>SAE AR.Drone</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'application SAE AR.Drone est une application universelle iPhone + iPad qui offre deux fonctions :             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ – présentation du catalogue AR.Drone</li> <li>○ – permet de lancer les autres applications du SAE.</li> </ul> </li> <li>• Feuilletter la présentation en faisant glisser le doigts sur l'iPad</li> </ul>	
	

**Piloter le drone**



L'AR Drone de Parrot est un objet volant de type quadricoptère qui se pilote depuis un iPhone ou un iPad. Les interfaces de commandes mises à disposition des utilisateurs sont basées sur l'analyse des accélérations et des positions gyroscopiques de l'organe de commande et la transmission de ces informations vers l'objet volant.

Cette interface ludique ne permet pas une bonne compréhension des éléments de vols nécessaires au pilotage du drone aussi DMS et Ripple Motion vous propose une interface de commande plus intuitive et plus adaptée à la démarche didactique.

Cette application a donc pour objectif de permettre aux élèves et aux professeurs de prendre en main le drone. En déplaçant les doigts sur le "track pad" de pilotage, les commandes sont transmises au drone. L'interface permet de visualiser les différents états de l'objet volant ainsi que les commandes envoyées. Par ailleurs, l'utilisateur peut obtenir les données de flux vidéo capturés par le drone.



Fig. 100: Écran de "Piloter"

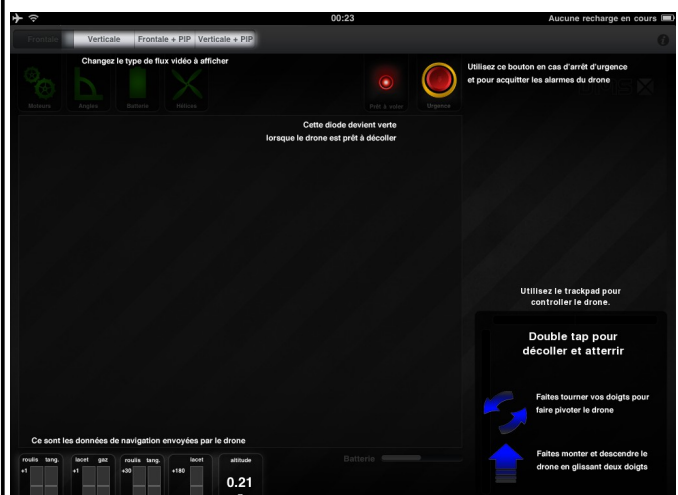


Fig. 101: Aide intégrée (i)

**Sustenter le drone**



L'application propose une interface permettant de contrôler la commande de puissance envoyée au moteur N° 2 afin de déterminer la force nécessaire à appliquer.

Le moteur est repéré par son numéro et symbolisé par une couleur.

La commande envoyée est donnée dans l'unité demandée par le système réel laissant l'élève réaliser les éléments de conversion entre ces unités arbitraires discrètes et la vitesse de rotation du moteur.

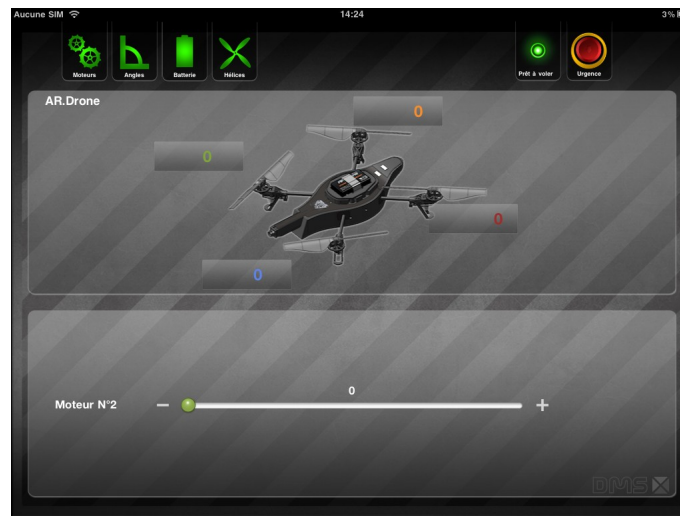


Fig. 102: Écran d'accueil de « Sustenter »

**Orienter le drone**



L'orientation d'un quadricoptère se fait par la modification des poussées des différentes hélices.

L'application propose une interface permettant de contrôler chaque moteur un à un, soit les couples de moteurs opposés afin de déterminer l'influence des vitesses de rotation des moteurs sur l'orientation du drone (dans le plan horizontal)

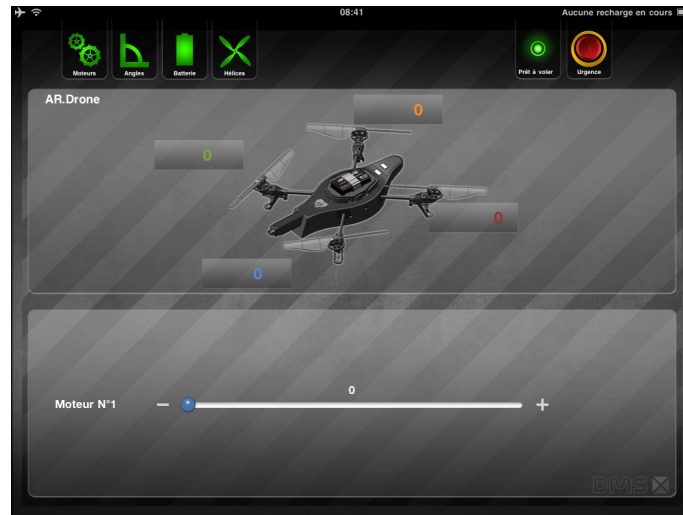


*Fig. 103: Écran d'accueil de "Orienter"*

**Transformation d'énergie**



L'application propose une interface permettant de contrôler la commande de puissance envoyée au moteur N° 1 afin de déterminer la consommation énergétique qui en découle.



*Fig. 104: Écran d'accueil "Energie"*



**Tester la connectivité avec l'AR.Drone**



Se connecter

La communication entre machines est un processus complexe qui nécessite de franchir plusieurs étapes.

Cette application permet une interface simple pour vérifier que la communication entre la Station-Sol et l'AR.Drone est possible par l'envoi de messages ICMP (ping).

L'application permet aussi d'étudier le protocole de résolution d'adresses ARP et d'aborder les notions d'adresses physiques et logiques.

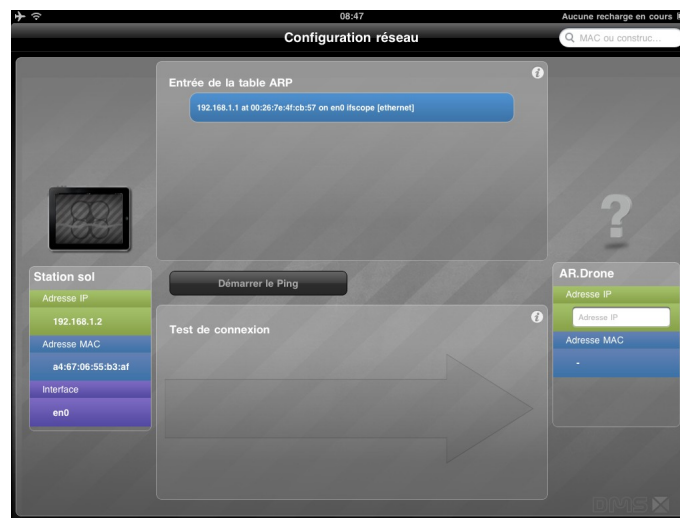


Fig. 105: Écran d'accueil "Se connecter"

## Analyser les protocoles de communications

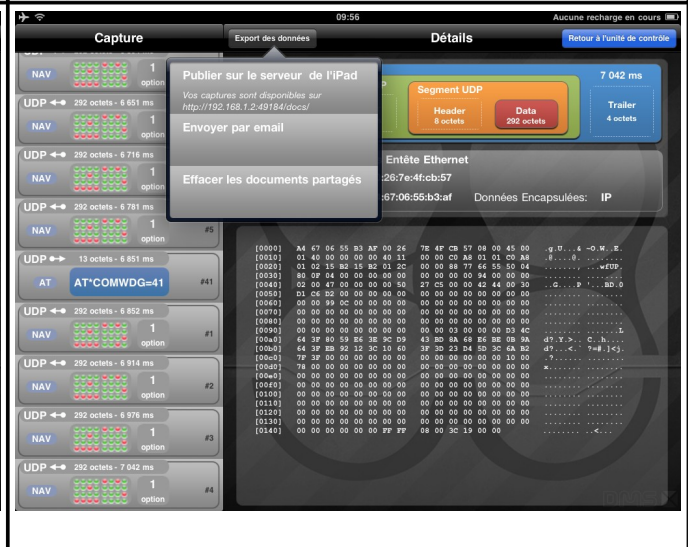
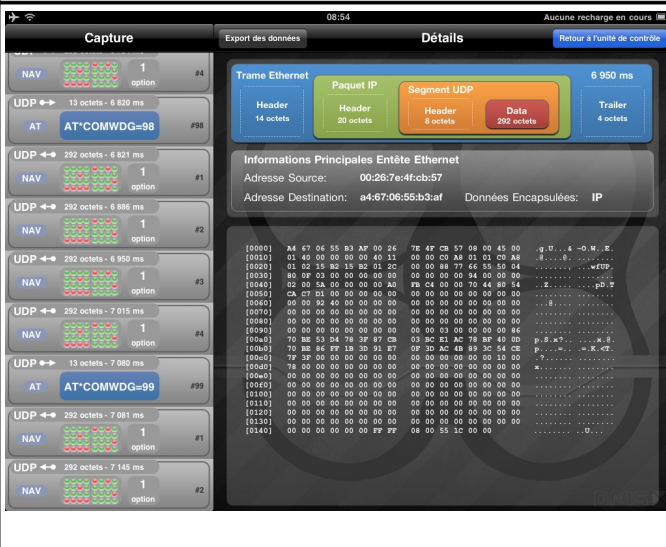
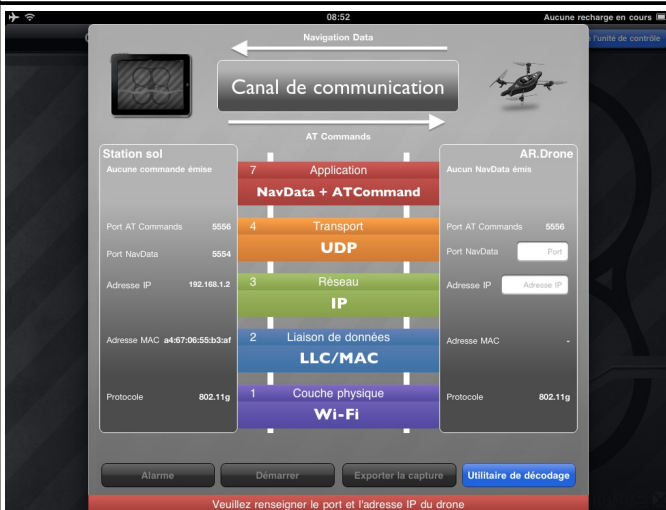


L'application propose une interface simplifiée permettant l'analyse de protocoles de communication entre la Station-Sol (iPad) et l'AR.Drone.

La première interface propose une vision claire du modèle OSI avec le positionnement des principales caractéristiques sur chaque couche du modèle.

Après avoir lancé la capture de trafic entre la Station-Sol et l'AR.Drone, on peut passer à l'interface de décodage qui permet d'illustrer les mécanismes d'encapsulation et d'analyser finement les paquets de données de la couche Ethernet à la couche Application.

Pour faciliter le travail d'analyse, les captures peuvent être exportées au format texte et publiées sur le serveur web embarqué de l'iPad. La consultation en ligne et le téléchargement peut se faire depuis n'importe quel PC équipé d'un navigateur situé sur le même réseau Wi-Fi que l'iPad (l'application Analyser doit être lancée).





```
A4 67 06 55 Destination MAC address
B3 AF -- -- Destination MAC address: a4:67:06:55:b3:af
00 26 7E 4F Source MAC address
CB 57 -- -- Source MAC address: 00:26:7e:4f:cb:57
08 00 -- -- Embedded protocol: IP

===== IP packet =====

-- IP header --

45 -- -- -- Version + Header length
00 -- -- -- Differentiated Services Field: DSCP
01 40 -- -- Total Length: 320
00 00 -- -- Identification
00 00 -- -- Flags Fragment Offset
40 -- -- -- Time To Live
11 -- -- -- Protocol: UDP
00 00 -- -- Header Checksum
C0 A8 01 01 Source IP address : 192.168.1.1
C0 A8 01 02 Destination IP address: 192.168.1.2
```

## Commander le drone



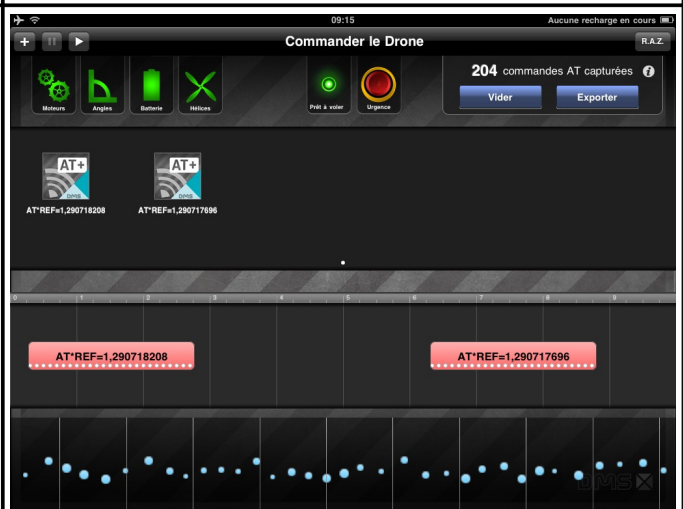
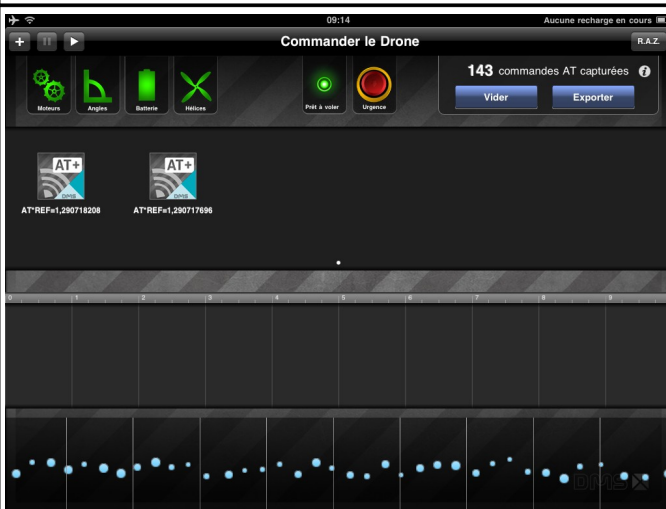
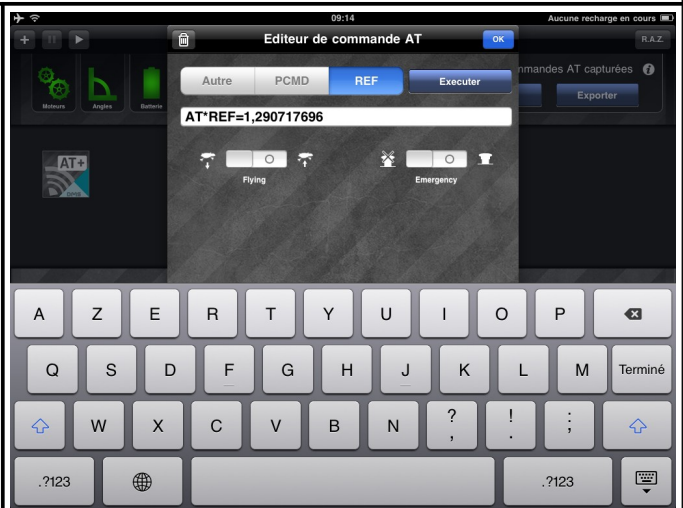
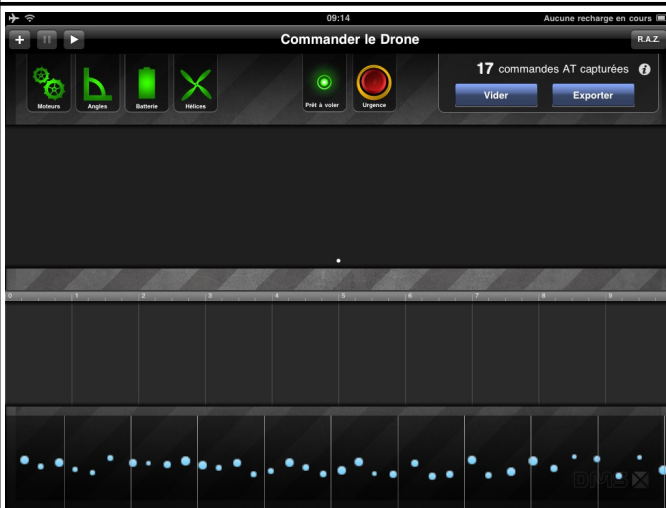
La société Parrot a choisi d'utiliser le protocole AT pour commander le drone.

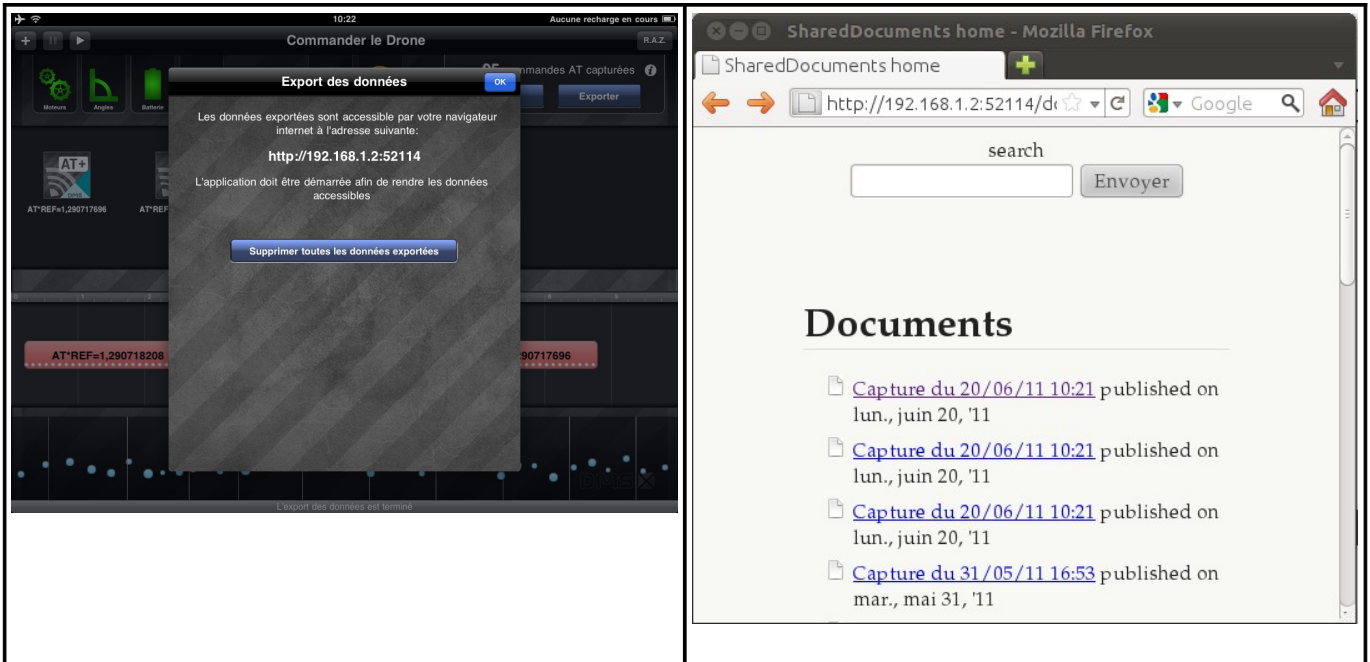
Cette application permet de créer les commandes AT dans une interface conviviale à l'aide de la documentation et de les envoyer au drone.

L'enchaînement des commandes est représenté sous la forme d'une ligne de temps sur laquelle on positionne les commandes à envoyer.

L'application représente en permanence les commandes envoyées par l'iPad permettant ainsi de visualiser en temps réel les échanges entre l'organe de commande et le drone.

Les commandes envoyées au drone sont enregistrées en temps réel sur l'iPad et peuvent être exportées au format texte afin d'être publiées sur le serveur web embarqué de l'iPad. La consultation en ligne et le téléchargement peut se faire depuis n'importe quel PC équipé d'un navigateur situé sur le même réseau Wi-Fi que l'iPad (l'application Commander doit être lancée).





**Exemple de capture :**

Export time: 2011-06-20 08:21:58 +0000  
 Number of frames: 69  
 First frame timestamp: 2011-06-20 08:21:40 +0000

```
=====
+0.000 ms AT*CONFIG=1,"video:bitrate_ctrl_mode","0"
+1.883 ms AT*CONFIG=2,"general:navdata_demo","TRUE"
+2.792 ms AT*CTRL=3,4,0
+4.154 ms AT*FTRIM=4
+6.104 ms AT*COMWDG=5
+341.166 ms AT*COMWDG=6
+600.452 ms AT*COMWDG=7
+861.131 ms AT*COMWDG=8
+1121.371 ms AT*COMWDG=9
+1382.157 ms AT*COMWDG=10
+1642.461 ms AT*COMWDG=11
+1904.730 ms AT*COMWDG=12
```

**4.1.4.6. AR.Drone**

Ressources nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une batterie Lithium-Polymère, Une alimentation stabilisée (12V, 15A)</li> <li>l'AR.Drone, un iPad (Station-Sol)</li> <li>La base de décollage/atterrissage « DMS AR.Drone »,</li> <li>Le filin de retenue, la rallonge d'alimentation AR.Drone.</li> </ul>
------------------------	--

**Première charge de la batterie :**

- Utiliser exclusivement le chargeur Parrot pour recharger la batterie Parrot.
- Sélectionner l'adaptateur correspondant au pays d'utilisation. Insérer l'adaptateur sur le transformateur (jusqu'au « clic » confirmant l'insertion).
- Connecter la batterie au chargeur.
- Connecter le câble du transformateur au chargeur, et brancher le transformateur sur le secteur.

- Les LEDs numérotées 1 à 3 correspondent aux 3 cellules de la batterie. Elles clignotent indiquant ainsi que les cellules correspondantes sont en cours d'équilibrage.
- La LED de statut devient verte lorsque la charge est terminée (temps de charge de la batterie : environ 1h30).

### Préparation de l'AR.Drone et de la base



Pour des raisons de sécurité, l'AR.Drone sera utilisé en situation captive à l'intérieure d'une salle de cours et/ou TP, et il sera toujours équipé de sa carène intérieure. L'AR.Drone sera placé sur sa base située au centre d'une surface dégagée d'environ 4m de coté.

Rende l'AR.Drone captif à la base de décollage, en attachant le filin à cette dernière et à l'AR.Drone, selon les figures ci-dessous (l'envergure du déplacement possible est ainsi limitée à une ½ sphère d'environ 2 mètres de rayon).



Faire un simple nœud du filin, qui passe au travers des trous situés au centre de la base de décollage.



Faire passer le filin au travers du Drone en le faisant ressortir à proximité des fils rouge et noir, puis le nouer à ces 2 fils.

### Installation de la batterie :

- Carène d'intérieure de l'AR.Drone enlevée, installer la batterie dans l'emplacement prévu à cet effet, l'immobiliser avec le système d'attache.
- Connecter la batterie à l'AR.Drone. Remettre la carène intérieure sur le corps de l'AR.Drone.
- Dès la mise sous tension, la LED système (située en dessous de l'AR.Drone) et les 4 LEDs moteurs (situées au niveau des hélices) sont de couleur rouge.
- Au bout de quelques dizaines de secondes la LED système et les 4 LEDs moteurs doivent être de couleur verte, indiquant ainsi que l'AR.Drone est prêt à être configuré (configuration communication avec iPad).
- Pour vérifier la couleur de la LED système, il est préférable de simplement soulever l'appareil (ne pas le retourner).

### Connexion Wi-Fi de l'iPad avec l'AR.Drone

- Mettre sous tension l'iPad, sur lequel les différentes applications faisant partie du système à enseigner AR.Drone auront été installées au préalable.
- Vérifier que la batterie de votre iPad est bien chargée. Un niveau de batterie faible ou moyen peut entraîner de moins bonnes performances de l'AR.Drone (réactivité des commandes, qualité du flux vidéo...).
- Pour configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de l'AR.Drone, suivre la procédure suivante
- Sur l'iPad, lancer l'application « Réglages » :



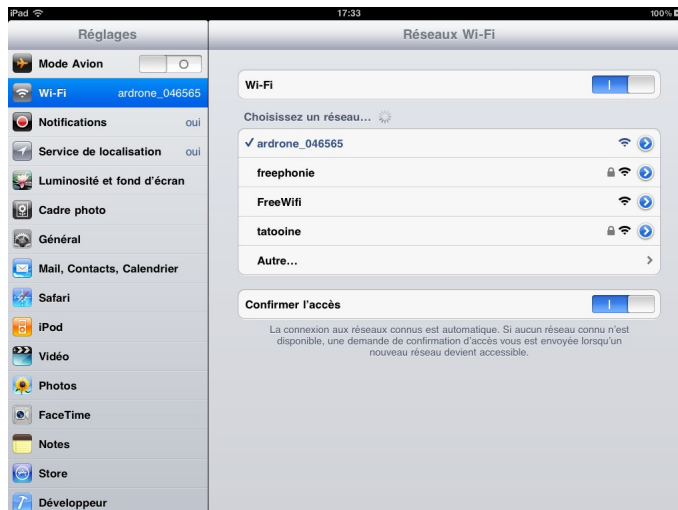
- Choisir menu « Wi-Fi »




- Le réseau Wi-Fi de l'AR.Drone doit apparaître dans la liste des réseaux



- Sélectionner le réseau de l'AR.Drone



- Vérifier que l'iPad a reçu la bonne adresse IP (192.168.1.2 ou 1.3 ou 1.4) en cliquant sur la flèche  au bout de la ligne.
- Le symbole  doit apparaître à gauche de la barre supérieure.



### Lancement de l'application « Piloter » sur l'iPad :

- Lancer l'application nommée « Piloter » (voir description de cette application plus haut).



### Vérification du fonctionnement de l'AR.Drone sur batterie :

- Faire décoller l'AR.Drone, le laisser voler en vol stationnaire.
- les 4 LEDs moteurs (situées au niveau des hélices) sont pour les 2 situées à l'avant de l'AR.Drone de couleur verte, pour les 2 situées à l'arrière de l'AR.Drone de couleur rouge.
- Faire atterrir l'AR.Drone. Déconnecter la batterie. Rendre l'AR.Drone libre en enlevant le filin de retenue.
- Fermer l'application sur l'iPad.

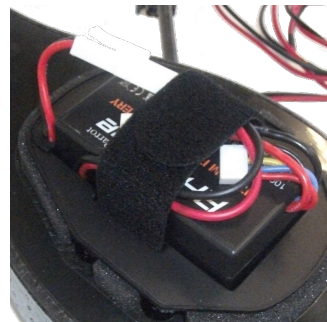
**Vérification du fonctionnement de l'AR.Drone avec rallonge d'alimentation :**

En vue de connaître le courant consommé lors du vol stationnaire, il sera possible d'alimenter l'AR.Drone à partir d'une alimentation stabilisée, ajustée à 12V, via le câble fourni.

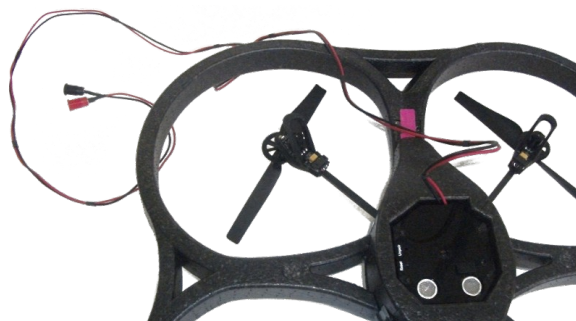
- Effectuer la connexion de la rallonge d'alimentation à l'AR.Drone comme décrit sur les figures ci-dessous.



*Fig. 106: Passage du connecteur*



*Fig. 107: connexion avec carte-mère  
(connecteur de l'accumulateur non utilisé, et tenu sous l'attache)*



*Fig. 108: Vue globale avant retournement de l'AR.Drone*

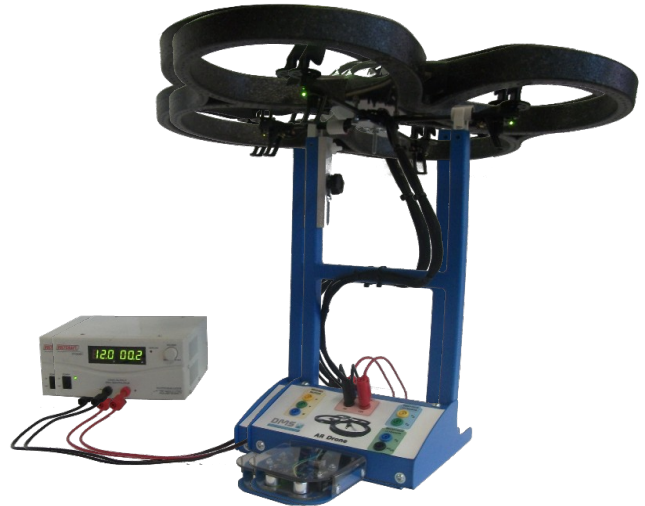
- Retourner l'AR.Drone.
- Mettre sous tension l'alimentation stabilisée, la régler à 12V.
- Connecter la rallonge à l'alimentation.
- Dès la mise sous tension, la LED système (située en dessous de l'AR.Drone) et les 4 LEDs moteurs (situées au niveau des hélices) sont de couleur rouge.
- Au bout de quelques dizaines de secondes la LED système et les 4 LEDs moteurs doivent être de couleur verte.
- Pour vérifier la couleur de la LED système, il est préférable de simplement soulever l'appareil (ne pas le retourner).
- Lancer l'application « Piloter » sur l'iPad (idem procédure plus haut : mise sous tension iPad, configuration réseau AR.Drone, exécution application « Piloter »)
- Faire décoller l'AR.Drone, le laisser voler en vol stationnaire. Le courant fournit par l'alimentation stabilisée est de l'ordre de 5,5A (+/- 0,4A selon les drones)
- Faire atterrir l'AR.Drone. Le mettre hors tension. Déconnecter la rallonge de l'AR.Drone.
- Fermer l'application sur l'iPad.

#### 4.1.4.7. Maquette didactique AR.Drone

Ressources nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une alimentation stabilisée (12V, 15A)</li> <li>• La maquette didactique, un iPad (Station-Sol)</li> </ul>
------------------------	---

#### Préparation de la maquette didactique en position bascule

- Sur le portique, positionner la croix centrale (croisillon équipé de la carène d'intérieure) de façon à être en position bascule.
- Mettre sous tension l'alimentation stabilisée, la régler à 12V.
- Alimenter au moyen de 2 fils de sécurité diamètre 4mm la maquette didactique.
- Dès la mise sous tension, la LED système (située en dessous de l'AR.Drone) et les 4 LEDs moteurs (situées au niveau des hélices) sont de couleur rouge.
- Au bout de quelques dizaines de secondes la LED système et les 4 LEDs moteurs doivent être de couleur verte (configuration communication avec iPad possible). Le courant fourni par l'alimentation doit être dans cette situation de l'ordre de 0,2A.



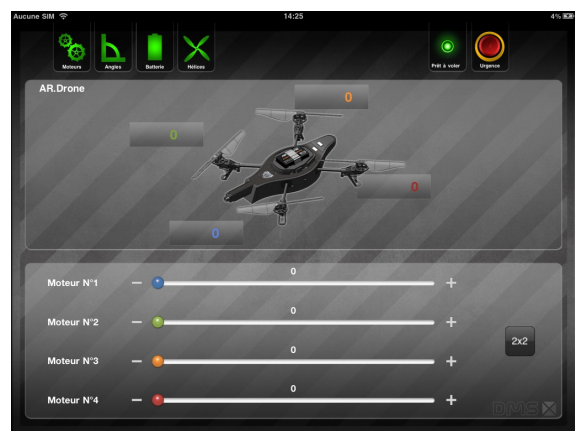
#### Lancement de l'application « Orienter » sur l'iPad

Même démarche que dans le paragraphe précédent, mais avec lancement de l'application « Orienter » qui permet de commander séparément chacun des 4 moteurs.



#### Vérification fonctionnement de la maquette didactique en position bascule

- Utiliser l'application « Orienter » en mode 1x1 (chaque moteur peut être commandé séparément des autres).
- Faire évoluer la consigne en vitesse de chaque moteur un à un de 0 à quelques dizaines.



Une consigne de 255 (valeur max possible) entraîne une force de poussée importante. Lors de la commande des moteurs 2 ou 4, une telle valeur de consigne en vitesse peut faire basculer le croisillon rapidement. Donc, éviter une telle valeur, et, quel que soit le moteur commandé, tenir manuellement le croisillon par la carène afin de contenir son degré de liberté.

### Remarque :

Lors de la commande du moteur 1, les signaux U, V, W peuvent être observés avec un oscilloscope (en connectant le 0V de l'oscilloscope au 0V de la maquette didactique). Ils sont périodiques, et la période diminue si la valeur de consigne en vitesse augmente.

### Préparation de la maquette didactique en position rotation

- Sur le portique, positionner la croix centrale (croisillon équipé de la carène d'intérieure) de façon à être en position rotation (ou orienter).
- L'application « Orienter » en mode 2x2 permet de commander simultanément les 2 moteurs opposés d'une même « barre » du croisillon.
- Faire évoluer la consigne en vitesse de chacune des 2 paires de moteurs, avec une valeur max faible. Le croisillon doit entrer en rotation. Le simple câblage du croisillon entraîne une contrainte qui limite ainsi la rotation de ce dernier à +/- un demi-tour environ.
- Fermer l'application « Orienter » et éteindre l'iPad.
- Remettre la maquette didactique en position bascule (encombrement moindre et stabilité meilleure).

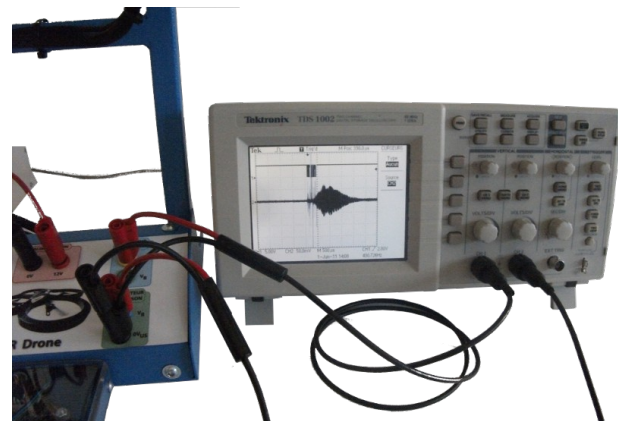


Vérifier qu'il n'y ait aucune contrainte au niveau du roulement à billes assurant la liaison pivot.

### Validation du fonctionnement de l'altimètre

L'AR.Drone est équipé d'un altimètre à ultra-sons. La maquette didactique est équipée de points de mesures permettant d'observer les signaux ultra-sons émis et reçus.

- Aucun moteur n'a besoin d'être commandé.
- Visualiser les signaux comme sur la figure ci-contre.



## 4.2. Notice d'utilisation

Le SAE AR.Drone peut s'utiliser dans différentes configurations en fonction des activités pédagogiques proposées :

- « Sustenter » : portique bi-position + croix centrale, carénée et équipée de moteurs, clipsée en position bascule.
- « Orienter » : portique bi-position + croix centrale, carénée et équipée de moteurs, clipsée en position rotation.
- « Energie » : portique bi-position + croix centrale, carénée et équipée de moteurs, clipsée en position bascule.
- « Altitude » : portique bi-position positionné à différente altitude par rapport au sol.
- « Communiquer » : AR.Drone complet + base.

### 4.2.1. Configuration « Sustenter »

#### 4.2.1.1. Mise en service

Configurer la maquette comme ci-dessous



Fig. 109: Maquette AR.Drone en position "Sustenter"

#### 4.2.1.2. Réglages et Instrumentation

La croix centrale doit être clipsée sur le portique de façon à ce que le moteur N°2 soit placé au-dessus de la balance préalablement positionnée à l'arrière du portique.

Il faut raccorder le pied du moteur N°2 au poids de 500 gr placé sur la balance à l'aide du filin. On veillera à ce que le filin soit vertical et la croix centrale horizontale.

Alimentation électrique de la maquette :

- Régler l'alimentation à +12V,
- Relier l'alimentation à la maquette didactique.

#### 4.2.1.3. Logiciel



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- L'application iPad à utiliser avec ce montage se nomme « Sustenter »



L'utilisation de toutes autres applications que « Sustenter » risque d'endommager les hélices de l'ensemble croix centrale-moteurs.

#### 4.2.1.4. Description informatique

L'application « Sustenter » permet de commander le moteur N°2 situé à l'arrière de la maquette didactique.

#### 4.2.1.5. Description des fonctionnalités



Fig. 110: Application iPad "Sustenter"

L'action sur le curseur permet de faire varier la vitesse du moteur. La relation entre la consigne et la vitesse du moteur est la suivante:

$$\text{tr/min} = 10350 + (\text{valeur de commande} * 120,75)$$

#### 4.2.1.6. Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service



En cas de problème lors de l'utilisation de la maquette didactique, appuyer sur le bouton arrêt d'urgence jusqu'à ce que l'indication « Prêt à voler » soit en vert.

## 4.2.2. Configuration « Orienter »

### 4.2.2.1. Mise en service

Configurer la maquette comme ci-dessous



Fig. 111: Maquette AR.Drone en position "Orienter"

### 4.2.2.2. Réglages et Instrumentation

La croix centrale doit être fixée sur le support situé sur le montant gauche du portique de façon à ce que l'ensemble puisse effectuer une rotation sur l'axe z (lacet).

Pour configurer la maquette didactique il faut:

1. Coulisser le support vers le haut.
2. Le bloquer.
3. Insérer la croix centrale montée sur roulement.
4. Maintenir l'axe en rotation.



Fig. 112: Fixation de la croix centrale en position "Orienter"

Alimentation électrique de la maquette :

- Régler l'alimentation à +12V,
- Relier l'alimentation à la maquette didactique.

#### 4.2.2.3. Logiciel



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- L'application iPad à utiliser avec ce montage se nomme «ORIENTER»

#### 4.2.2.4. Description informatique

Cette application permet de régler les vitesses de rotation de chaque moteur de manière indépendante ou par paire.



4.2.2.5. Description des fonctionnalités



Fig. 113: Application iPad "Orienter" en mode 1x1



- Réglage individuel des vitesses des 4 moteurs
- Réglage des vitesses des moteurs tournant dans la même sens par paire.



Fig. 114: Application iPad "Orienter" en mode 2x2

La relation entre la consigne et la vitesse des moteurs est la suivante:

$$\text{tr/min} = 10350 + (\text{valeur de commande} * 120,75)$$

#### 4.2.2.6. Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service



En cas de problème lors de l'utilisation de la maquette didactique, appuyer sur le bouton arrêt d'urgence jusqu'à ce que l'indication « Prêt à voler » soit en vert.

### 4.2.3. Configuration «Energie»

#### 4.2.3.1. Mise en service

Configurer la maquette comme ci-dessous :



Fig. 115: Configuration énergie

#### 4.2.3.2. Réglages et Instrumentation

La croix centrale doit être clipsée sur le portique de façon à être en position bascule. Le moteur N°1 doit alors se situer du côté gauche (au-dessus du montant gauche sur la figure).

Alimentation électrique de la maquette :

- Régler l'alimentation à +12V,
- Relier l'alimentation à la maquette didactique (la consommation doit se situer autour de 0,2A).

Connexion de l'oscilloscope :

- sur la voie 1, observation du signal U (borne rouge de la sonde sur borne U, et borne noire de la sonde sur 0V de la maquette, c'est-à-dire sur borne noire).
- sur l'autre voie de l'oscilloscope, observation du signal V, ou W ((borne rouge de la sonde sur borne V (ou W), et borne noire de la sonde sur 0V de la maquette, c'est-à-dire sur borne noire).
- Il est possible d'obtenir une observation simultanée des 3 signaux, en utilisant la fonction mémoire de l'oscilloscope (mémorisation du signal V ou W), si celui-ci est limité à 2 voies en entrée (comme celui présenté).

#### 4.2.3.3. Logiciel



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- L'application iPad à utiliser avec ce montage se nomme «Energie»



L'utilisation de toutes autres applications que « Energie » risque d'endommager les hélices de l'ensemble croix centrale-moteurs.

#### 4.2.3.4. Description informatique

L'application «Energie» permet de commander le moteur N°1 situé sur la gauche de maquette didactique, afin de pouvoir observer les signaux U, V et W (tensions appliquées aux trois phases du moteur brushless).

#### 4.2.3.5. Description des fonctionnalités



Fig. 116: Écran d'accueil de l'application Énergie

L'action sur le curseur permet de faire varier la consigne de vitesse du moteur N°1.

#### 4.2.3.6. Procédure d'arrêt d'urgence et remise en service



En cas de problème lors de l'utilisation de la maquette didactique, appuyer sur le bouton arrêt d'urgence jusqu'à ce que l'indication « Prêt à voler » soit en vert.

#### 4.2.4. Configuration «Altitude»

##### 4.2.4.1. Mise en service

Configurer la maquette comme ci-dessous

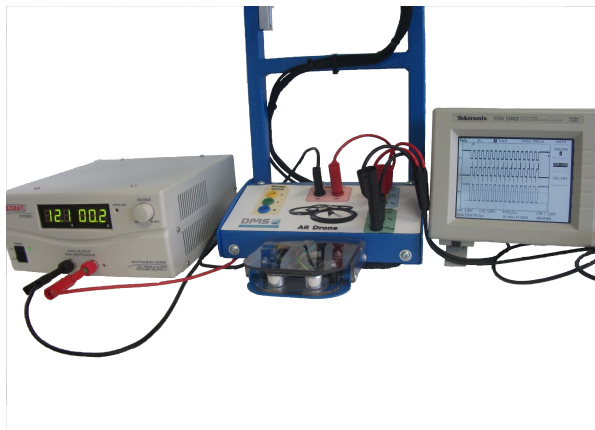


Fig. 117: Maquette AR.Drone pour la mesure de l'altitude

##### 4.2.4.2. Réglages et Instrumentation

La croix centrale, qui n'est pas utilisée dans cette activité, est placée en position « Sustenter » pour assurer un équilibre de la maquette. La maquette est positionnée sur cales ou en bord de table de manière à ce que l'altimètre à ultrason placé sous la maquette ne soit pas obstrué.

Pour configurer la maquette didactique il faut:

- Régler l'alimentation à +12V,
- Relier l'alimentation à la maquette didactique,
- Relier l'oscilloscope aux différentes bornes nécessaires en fonction de la mesure souhaitée.

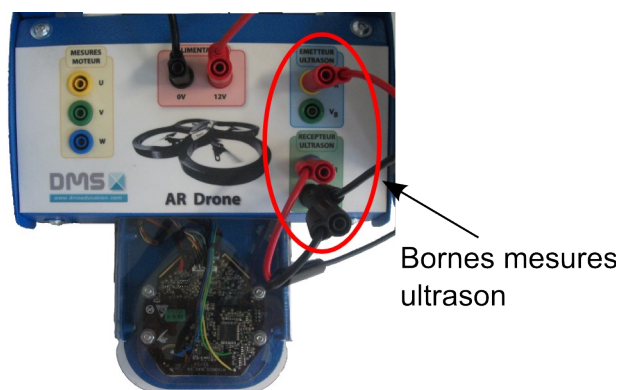
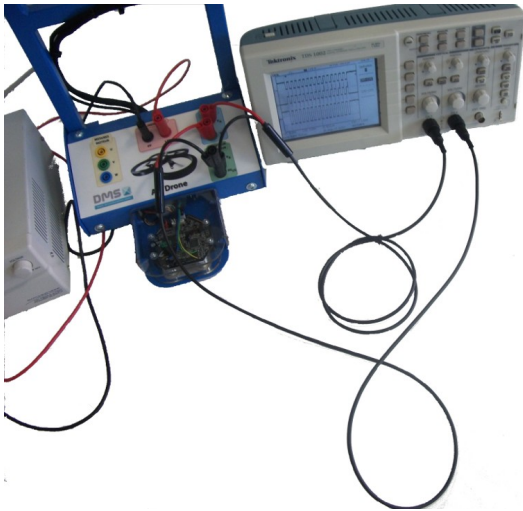


Fig. 118: Mesures altimètre à ultrason

**Réglages pour relever VA et VB (tension aux bornes de l'émetteur) :**



- La masse de l'oscilloscope est reliée 0V US (ultrason)
- la voie 1 sur VA (calibre 5V/ carreau)
- la voie 2 sur VB (calibre 5V/ carreau)
- Pour relever VA-VB vous pouvez utiliser la fonction « Math » de l'oscilloscope.

**Réglages pour relever VA et VR (potentiel VA « émetteur » et VR la tension aux bornes du récepteur) :**



- La masse de l'oscilloscope est reliée 0V US (ultrason)
- la voie 1 sur VA (calibre 5V/ carreau)
- la voie 2 sur VR (calibre 200mV/ carreau).

Pour obtenir des mesures pour différentes altitudes, positionner la maquette au bord d'une table et faire varier la hauteur du « sol » en plaçant des objets de hauteur différente et de taille suffisante sous l'altimètre. Les variations plus fines sont obtenues en plaçant des cales sous la maquette didactique.

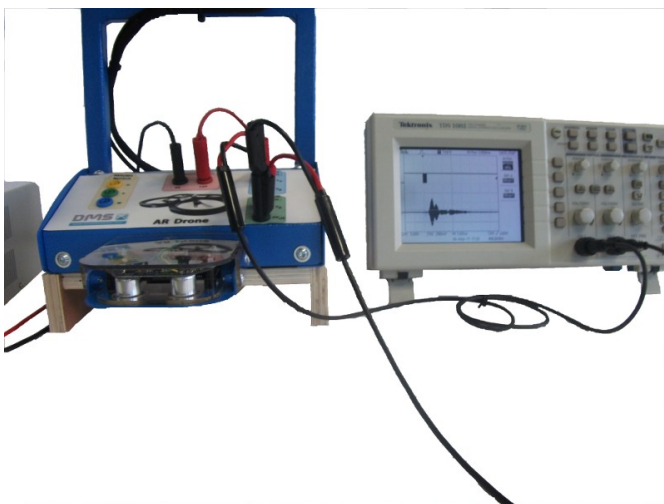


Fig. 119: Exemple de mesure d'altitude



Fig. 120: Utilisation de cales de 5cm

**4.2.4.3. Logiciel**



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- L'application iPad à utiliser avec ce montage se nomme «PILOTER»

**4.2.4.4. Description informatique**

Cette application donne en temps réel l'altitude mesurée par la maquette didactique.

**4.2.4.5. Description des fonctionnalités**



Altitude  
*Fig. 121: Mesure de l'altitude avec l'application "Piloter"*



Afin de ne pas déséquilibrer la maquette avec le risque de la faire tomber, aucune action ne doit être entreprise pour lancer les moteurs de l'ensemble croix centrale-moteurs.

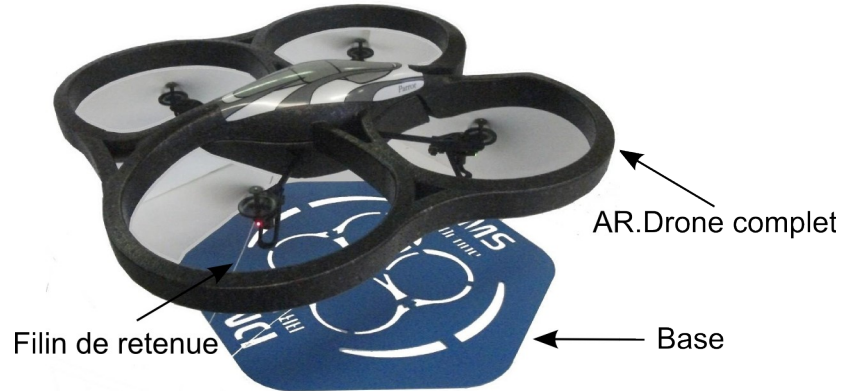
En cas de lancement involontaire des moteurs, appuyer sur le bouton arrêt d'urgence



## 4.2.5. Configuration «Communiquer»

### 4.2.5.1. Mise en service

Positionner l'AR.Drone sur sa base placée au centre d'une surface libre de 4m de coté.



L'AR.Drone doit être attaché à la base par le filin de retenue.

### 4.2.5.2. Application « Se connecter »



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- Lancer l'application « Se connecter »

#### 4.2.5.2.1. Description informatique

Cette application permet de :

- visualiser l'adresse MAC et l'adresse IP de l'iPad ainsi que de l'AR.Drone (une fois son adresse IP saisie)
- tester la connectivité avec l'AR.Drone (commande ping)
- visualiser la table ARP de l'iPad
- accéder à la base de données OUI (ORGANIZATIONALLY UNIQUE IDENTIFIER) afin de rechercher les fabricants associés aux interfaces Ethernet.



#### 4.2.5.2.2. Description des fonctionnalités

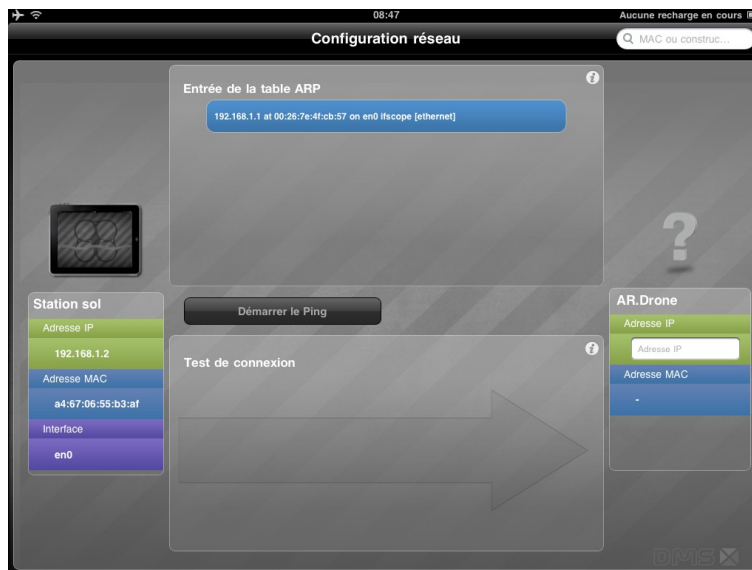


Fig. 122: Écran d'accueil de "Se connecter"

- Actions possibles sur l'interface :
  - Saisir l'adresse IP de l'AR.Drone
  - Démarrer le ping pour tester la connectivité
  - Recherche un fabricant par adresse MAC
  - Recherche un préfixe MAC pour un fabricant

#### 4.2.5.3. Application « Analyser »



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- Lancer l'application « Analyser »

##### 4.2.5.3.1. Description informatique

Cette application permet de :

- capturer le trafic réseau entre l'iPad et l'AR.Drone,
- analyser le trafic capturé à l'aide de l'utilitaire de décodage,
- exporter le trafic au format texte pour une analyse autonome sur poste informatique

4.2.5.3.2. Description des fonctionnalités

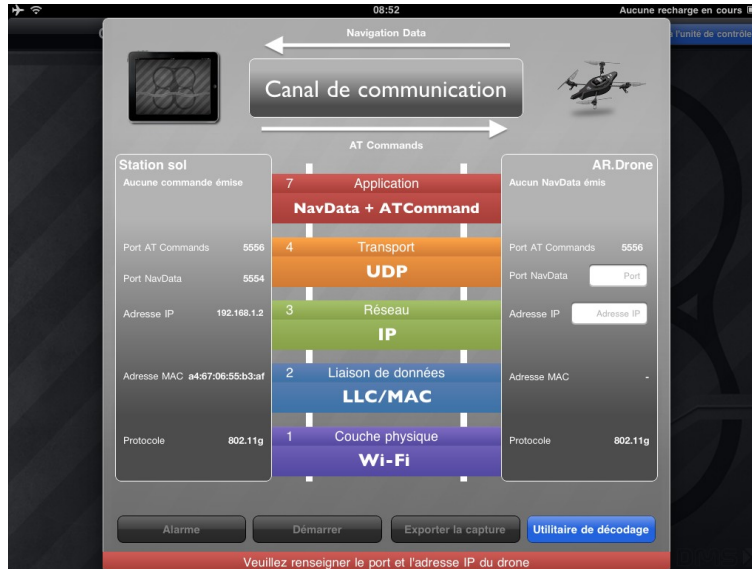


Fig. 123: Écran d'accueil d'"Analyser"

- Actions possibles sur l'interface :
  - Pour pouvoir démarrer la capture :
    - Saisir l'adresse IP de l'AR.Drone
    - Saisir le port UDP du canal NavData (5554)
  - Démarrer/Arrêter la capture
  - Lancer l'utilitaire de décodage
- Autres possibilités annexes :
  - Exporter la capture sur le serveur web embarqué sur l'iPad
  - Déclencher une alarme sur l'AR.Drone afin de capturer un trafic contenant des commandes AT.

Ensemble des trames capturées →

→ Sélection niveau encapsulation de la trame sélectionnée

→ Informations principales du niveau sélectionné

→ Trame brute sélectionnée

- Actions possibles sur l'interface :
  - Faire défiler la totalité des trames capturées
  - Sélectionner une trame capturée sur la partie gauche de l'écran
  - Sélectionner le niveau d'encapsulation en cliquant sur « Trame Ethernet », « Paquet IP », etc.
  - Visualiser les informations importantes du niveau d'encapsulation sélectionné.
  - Visualiser la trame brute

#### 4.2.5.4. Application « Commander »



- Configurer le réseau Wi-Fi de l'iPad sur le réseau de la maquette (voir procédure plus haut).
- Lancer l'application « Commander »

##### 4.2.5.4.1. Description informatique

Cette application permet de :

- Saisir et tester individuellement des commandes AT.
- Placer les commandes AT sur une ligne de temps.
- Exécuter la séquence de commandes placées sur la ligne de temps
- Exporter la liste des commandes AT envoyées à l'AR.Drone pour une analyse autonome sur poste informatique.

##### 4.2.5.4.2. Description des fonctionnalités



L'AR.Drone doit être attaché à la base par le filin de retenue.



En cas de décollage involontaire, appuyer sur le bouton arrêt d'urgence

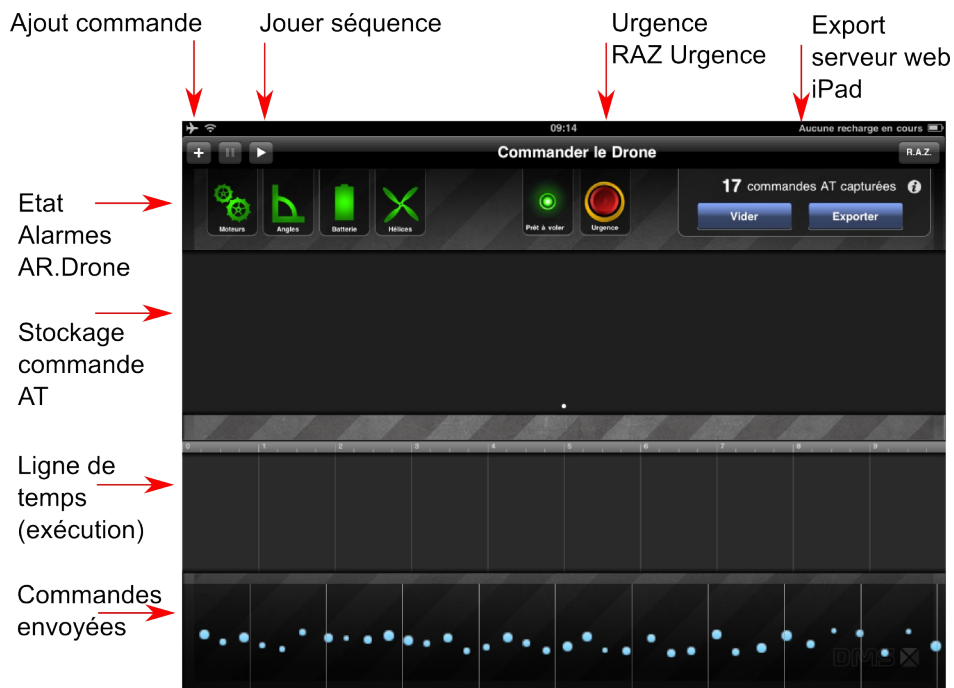


Fig. 124: Écran d'accueil application "Commander"

- Actions possibles sur l'interface :
  - Agir sur le bouton « Urgence » afin de configurer l'AR.Drone pour le décollage (leds « Prêt à voler » et leds moteur du drone vertes).
  - Ajouter des commandes avec le bouton + :

Les commandes de type REF sont des commandes de décollage, d'atterrissage ou d'urgence (voir la documentation du SDK de Parrot pour le détail des commandes).

L'appui sur le bouton « Executer » permet de tester la commande.

L'appui sur le bouton « OK » enregistre la commande



Les commandes de type PCMD sont des commandes de mouvement de l'AR.Drone (voir la documentation du SDK de Parrot pour le détail des commandes).

Elle permettent de faire tourner le drone sur lui-même (lacet), aller en avant, en arrière, sur le coté, vers le haut ou vers le bas.

L'appui sur le bouton « Executer » permet de tester la commande.

L'appui sur le bouton « OK » enregistre la commande

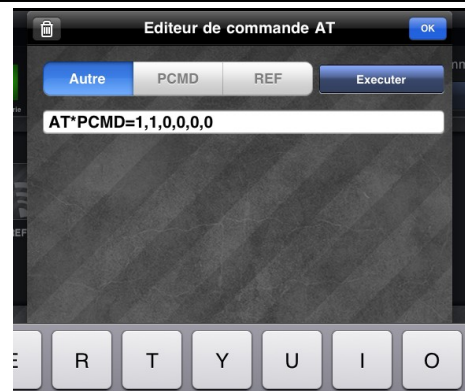
Le +1 (-1) représente la valeur maxi configuré pour la commande. Le curseur représente donc un pourcentage de cette valeur maxi.



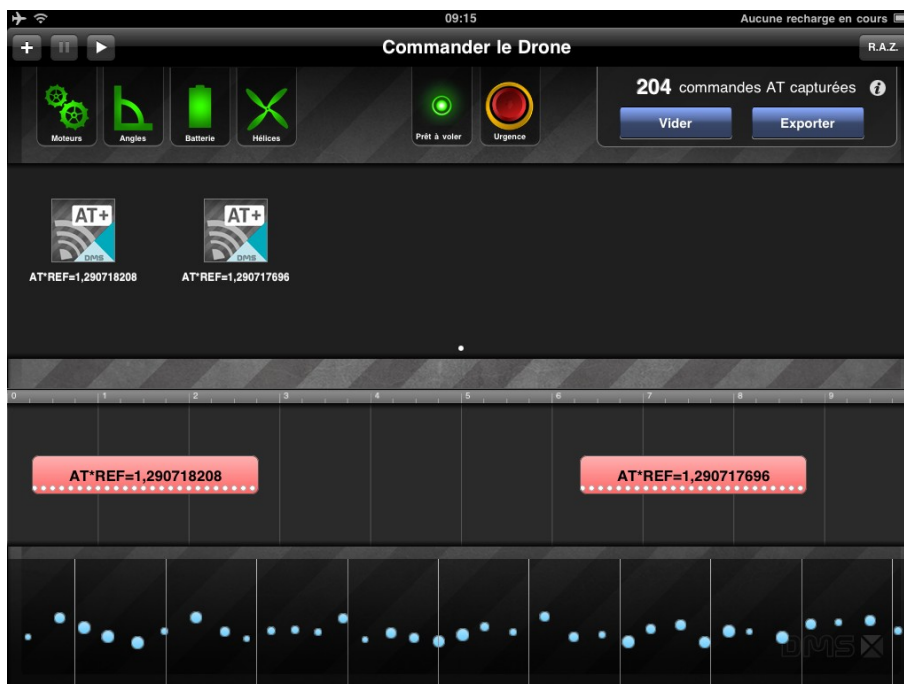
Cette interface permet de saisir n'importe quelle commande AT (voir la documentation du SDK de Parrot pour le détail des commandes).

L'appui sur le bouton « Executer » permet de tester la commande.

L'appui sur le bouton « OK » enregistre la commande



- Une fois les commandes saisie, on peut les glisser sur la ligne de temps.



*Fig. 125: Glisser pour déposer les commandes sur la ligne de temps*

- Actions possibles sur l'interface :
  - On peut augmenter la durée d'une commande en l'étirant avec deux doigts et inversement.
  - On peut déplacer les commandes sur la ligne de temps.
  - On peut mettre des commandes en parallèle (jusqu'à 3 commandes).
  - On enlève une commande de la ligne de temps en la faisant « sortir » du cadre.
  - On peut lancer la séquence en appuyant sur le bouton de lecture : une barre de défilement rouge montre la progression dans la séquence.
  - On peut mettre en pause la séquence
- Autre action possible :
  - Appuyer sur le bouton « Exporter » permet de publier, sur le serveur web embarqué sur l'iPad, l'ensemble des commandes envoyées au drone au format texte pour une exploitation ultérieure. Il suffit alors de saisir l'URL donnée dans un navigateur d'un PC connecté sur le même réseau Wi-Fi que l'iPad pour télécharger les fichiers de commandes.

### 4.3. Entretien de l'équipement

#### 4.3.1. Nettoyage

La maquette du SAE AR.Drone se nettoie à l'aide d'un chiffon sec.

Ne pas nettoyer ou exposer à l'humidité.

Aucun entretien particulier n'est nécessaire.

#### 4.3.2. Charge de la batterie



- La batterie se charge exclusivement avec le chargeur fourni.
- L'AR.Drone ne fonctionne qu'avec cette batterie. Veuillez contrôler l'étiquette anti-contrefaçon tesa Holospot® sur le côté de la batterie pour vous assurer de son authenticité.

### 4.4. Sécurité

#### 4.4.1. Consignes de sécurité

Le produit didactique est composé d'un AR.Drone complet, il faut donc respecter les consignes de sécurité données par la société PARROT (se référer au guide d'utilisation fourni par PARROT).

Voici quelques points de rappel :

#### Avertissement

Parrot vous rappelle que la loi vous oblige à utiliser l'AR.Drone de manière prudente et responsable afin d'éviter tout risque de dommage ou blessure sur une personne ou un bien. Parrot vous rappelle également que vous serez tenu pleinement responsable de toute perte ou tout dommage causé par une utilisation non autorisée ou à des fins illicites de l'AR.Drone.

#### Utilisation et entretien

- Pour utiliser l'AR.Drone à l'intérieur installez la carène avec arceaux afin de protéger l'AR.Drone en cas de collision avec un autre objet.
- Assurez vous de garder en permanence un contrôle visuel sur l'AR.Drone pendant que vous l'utilisez, notamment afin d'éviter un contact de l'appareil avec des personnes ou un bien.
- Assurez-vous que personne ne se tient à une distance inférieure à 1 mètre lors du décollage ou de l'atterrissage de l'AR.Drone.
- Les hélices de l'AR.Drone en vol peuvent causer des dommages à des personnes ou à des objets. Ne touchez pas l'AR.Drone en vol. Patientez jusqu'à l'arrêt total des hélices avant de manipuler l'AR.Drone.
- A proximité de forts champs magnétiques, d'ondes radio ou de radiations fortes, la caméra de l'AR.Drone peut ne pas diffuser correctement le flux vidéo. Si du sable ou de la poussière pénètre dans l'AR.Drone, celui-ci peut ne plus fonctionner correctement, de manière irréversible.
- Maintenez l'AR.Drone à l'écart de lignes de haute tension, arbres, bâtiments ou toute autre zone potentiellement dangereuse.
- Évitez d'utiliser l'AR.Drone dans un environnement surchargé de réseaux Wi-Fi® (routeurs, internet box). Un minimum de réseaux Wi-Fi à proximité permettra une meilleure utilisation de votre AR.Drone.
- N'utilisez pas cet appareil à proximité de substances liquides. Ne posez pas le AR.Drone sur l'eau ou sur une surface humide. Cela pourrait causer des dommages irréversibles.
- Assurez-vous que votre zone de vol est constamment libre. Sélectionnez une zone dégagée.
- Évitez de faire subir à l'AR.Drone des changements d'altitude trop importants (ex : fenêtre).
- Ne laissez pas l'AR.Drone au soleil.

#### Instructions de sécurité

ATTENTION : Afin de réduire le risque d'incendie n'exposez pas la maquette didactique à la pluie ou à l'humidité.

- Ne l'installez pas à proximité d'une source de chaleur. Radiateurs, fours ou autres appareils (amplificateurs inclus) qui produisent de la chaleur.
- Ne modifiez pas les connecteurs polarisés
- Utilisez uniquement les attaches / accessoires spécifiés par le constructeur.
- Lors de l'utilisation d'une alimentation externe, respectez la polarité (+ borne rouge ; - borne noire) et ne dépassez pas la tension +12V (régler l'alimentation avant de la connecter à la maquette didactique).

#### Avertissement concernant la batterie

Lisez entièrement la feuille d'instructions accompagnant cette batterie. Le non respect de l'ensemble des instructions peut entraîner des dommages permanents pour la batterie et son environnement, et provoquer des blessures.

- Ne JAMAIS rien utiliser À L'EXCEPTION d'un chargeur approuvé LiPo.
- TOUJOURS utiliser un chargeur à équilibrage de cellules LiPo ou un équilibreur de cellules LiPo.
- Ne JAMAIS charger via un fil de décharge.
- Ne JAMAIS effectuer de chargement à régime lent, ou en dessous de 2,5 V par cellule.




- La température de la batterie ne doit JAMAIS excéder les 60 °C (140 °F).
- Ne JAMAIS désassembler ou modifier le câblage du boîtier, ou percer les cellules.
- Ne JAMAIS placer sur des matériaux combustibles ou laisser sans surveillance pendant le chargement.
- TOUJOURS charger dans un endroit à l'épreuve du feu.
- TOUJOURS s'assurer que la tension de sortie du chargeur corresponde à la tension de la batterie.
- TOUJOURS TENIR HORS DE PORTÉE DES ENFANTS.
- UNE MAUVAISE UTILISATION DE LA BATTERIE PEUT PROVOQUER DES INCENDIES, DES EXPLOSIONS OU D'AUTRES DANGERS.

Avant toute intervention sur la maquette didactique il faut déconnecter l'alimentation de l'équipement (batterie ou alimentation externe).

## 4.4.2. Procédure de consignation

- En cas de problème lors du pilotage de l'AR.Drone, appuyez sur la touche Emergency ( ).

***Avertissement** : Appuyez uniquement sur le bouton Emergency en cas d'urgence. Les moteurs se couperont et l'AR.Drone tombera quelle que soit la hauteur à laquelle il se trouve. Dans la plupart des cas, un atterrissage de l'AR.Drone est suffisant (touche  dans l'application).*

- Pour consigner l'équipement en cas de mauvais fonctionnement, suivre la procédure suivante :

*Éteindre l'alimentation stabilisée avant de la déconnecter de la maquette didactique ou débrancher la batterie, suivant le cas d'utilisation.*

### 4.5. Maintenance Corrective

Pour vous aider à réparer votre AR.Drone, un ensemble de vidéos est disponible à l'adresse suivante:

<http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/fr/reparez-votre-ar.drone>

Pour tout achat de pièces de rechange autres que celles fournies, vous connecter sur le site dédié suivant:

[http://ardrone.parrotshopping.com/fr/p\\_ardrone\\_main.aspx](http://ardrone.parrotshopping.com/fr/p_ardrone_main.aspx)



Fig. 126: Pièces détachées de l'AR.Drone

## 5. Documents Techniques

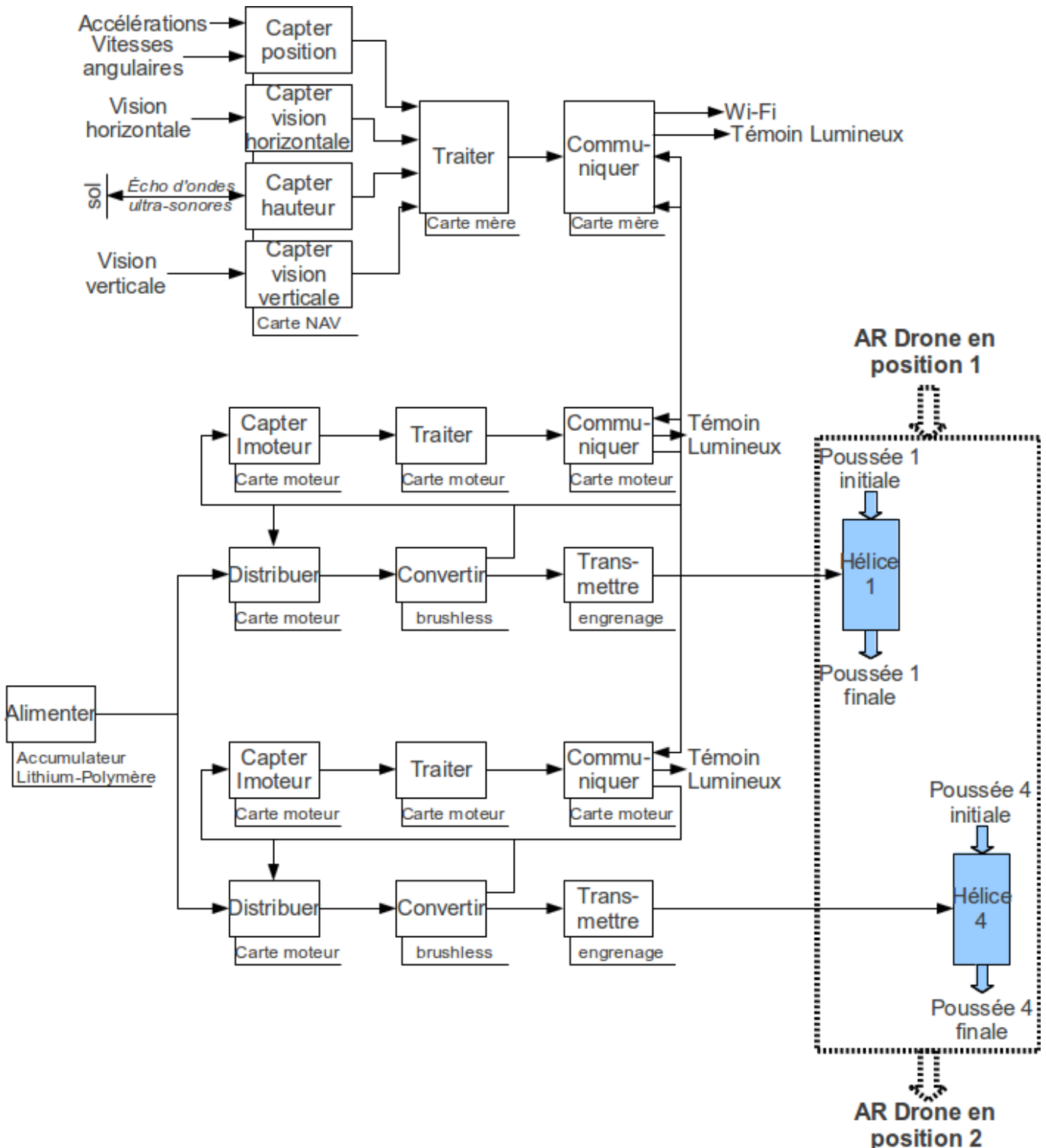
### 5.1. Approche fonctionnelle

Étant donné que la maquette didactique reprend les mêmes éléments que l'AR.Drone complet, l'approche fonctionnelle est la même que celle donnée au chapitre B avec les limitations suivantes :

- la maquette didactique ne vole pas,
- l'ensemble carte de mère/carte de navigation n'est pas solidaire de l'ensemble croix centrale-moteurs,
- la diffusion vidéo n'est pas exploitée,
- l'alimentation se fait par une alimentation stabilisée.

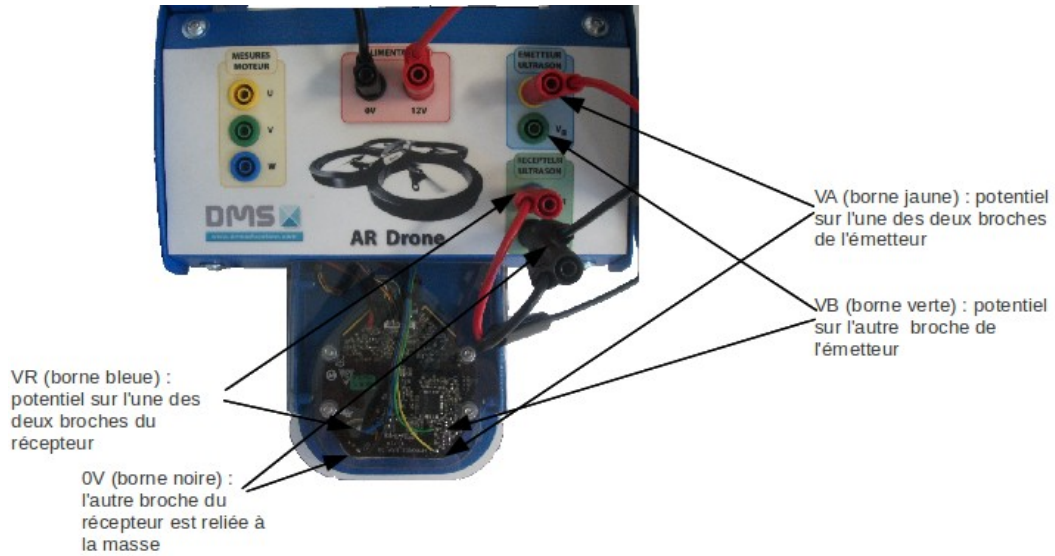
### 5.1.1. Représentation Chaîne d'énergie / Chaîne d'information

Cette représentation simplifiée des chaînes d'énergie et d'information permet de mettre en évidence les principaux blocs matériels assurant chacune des fonctions génériques d'un système selon le point de vue chaîne d'énergie, chaîne d'information.



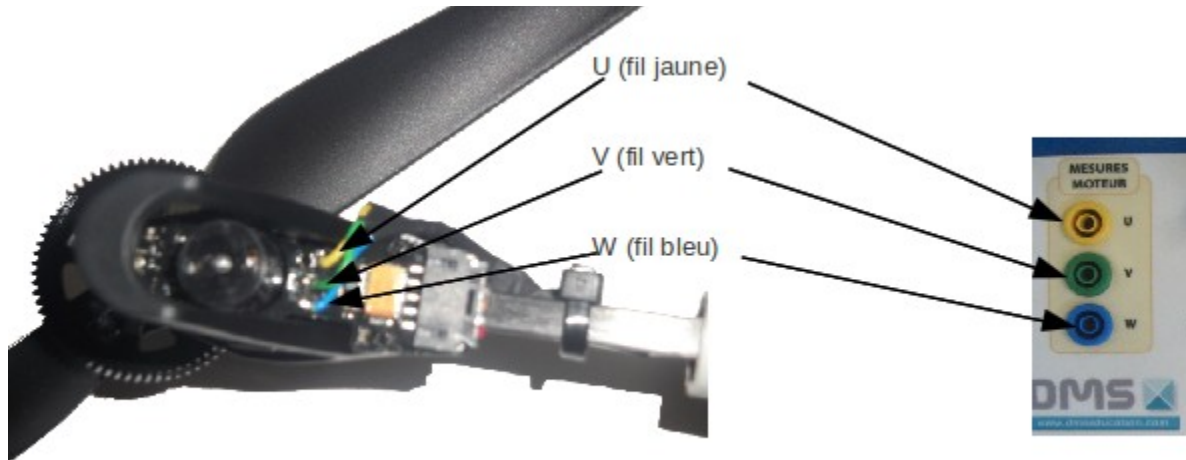
## 5.2. Schémas électriques / électroniques

### 5.2.1. Câblage alimentation carte mère



Il faut régler l'alimentation stabilisée à +12V avant de la connecter à la maquette didactique.

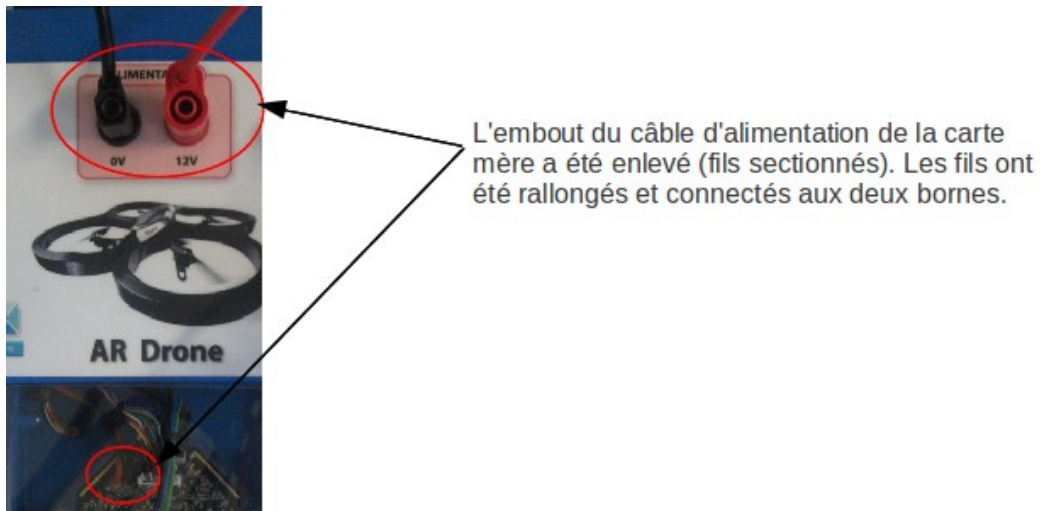
### 5.2.2. Câblage des points de mesure U, V et W du moteur brushless »



Une résistance de 10KΩ a été insérée dans la liaison entre chaque point de mesure du moteur et sa borne respective sur le tableau de bord de la maquette didactique.

La désignation U, V et W est arbitraire car les trois signaux sont déphasés de 120°.

### 5.2.3. Câblage des points de mesure VA, VB et VR du capteur à ultrasons



La couleur des bornes correspond à celle et des fils.

Cette page a été laissée intentionnellement blanche

## II. ANNEXES



## A. Spécifications de la carte mère

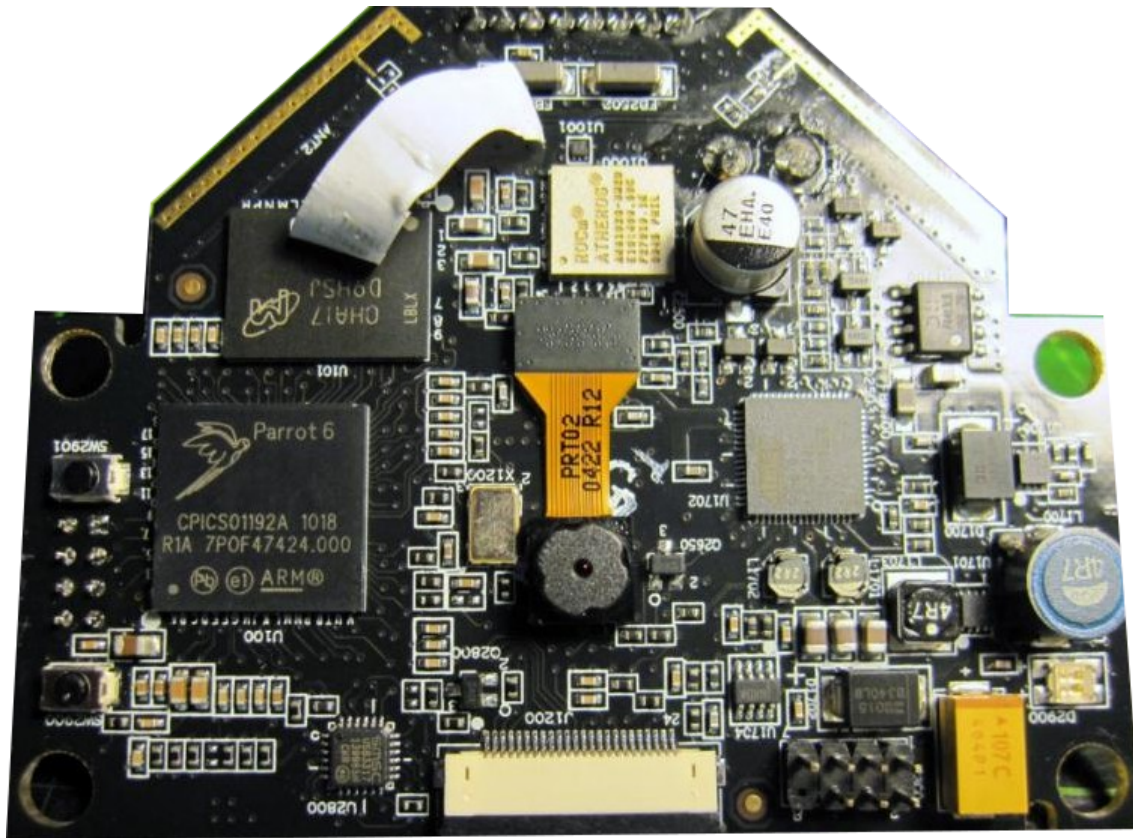


Fig. 127: Face avant carte mère

- Parrot 6 - CPICS01192A 1022 R1A 7POF47424.00 ARM
- 01A17 D9HSJ M LTX1
- Atmel 58A870 AT73C246 0P0987A 1025
- ROCm ATHREOS AR6102G-8M2D 007K0523.51A F52257.1K 1023
- SMSC USB3317 1409600C CKR
- 32.000Mhz Quartz

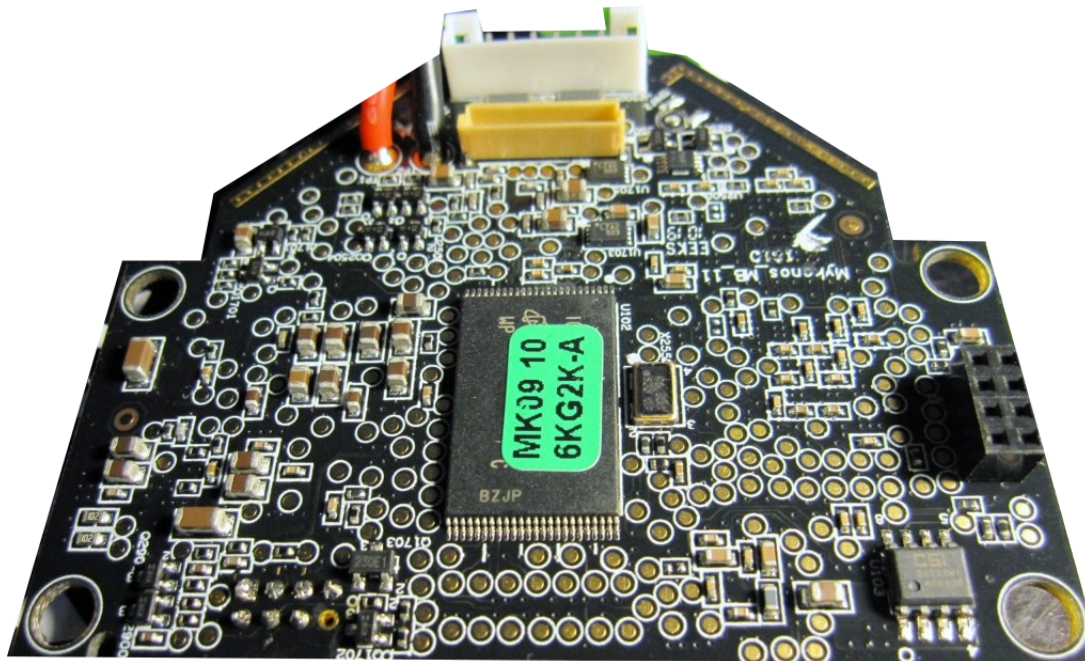


Fig. 128: Face arrière carte mère

- 1012 I-2 29FIG08AAC WP C BTT9
- Atmel AT73C246 (voir Annexe C)
- MicroChip Pic24HJ 16GP304
- MCP 6L04STE 1 Mhz 85  $\mu$ A

La carte mère inclut le CPU central Parrot P6 de l'AR.Drone. Le processeur P6 a été conçu spécialement pour l'AR.Drone. Il inclut un processeur RISC 468 MIPS ARM926EJ et un accélérateur vidéo.

Coté mémoire, on retrouve 256 Mo 200 MHz 32 Bits de RAM MDDR et 32Mo de Flash NAND

La communication Wi-Fi est assurée par un chipset Atheros (voir Annexe D).

La carte mère possède un port USB pour flasher directement le micro-logiciel et pour les extensions futures.

La puce Atmel P6MU gère l'énergie pour le chipset P6.

La carte mère embarque aussi la caméra verticale 60 FPS. La résolution vidéo de la caméra verticale est QCIF (176\*144pixels). Combinée avec les mesures des accéléromètres, la caméra fournit la vitesse horizontale de l'AR.Drone.

La carte mère exécute le logiciel de l'AR.Drone sur un système d'exploitation GNU/Linux.

Le logiciel de Parrot permet :

- la stabilisation et l'auto-pilotage de l'AR.Drone
- La compression vidéo :
  - de VGA à QVGA avec compression avec un codec vidéo MJPEG pour la caméra frontale
  - QCIF et MJPEG pour la caméra verticale
  - streaming
- Gestion de la communication Wi-Fi avec la Station-Sol via son propre réseau Ad-Hoc

Le logiciel de la carte mère peut être mis à jour (via la communication Wi-Fi)

- Processor : ARM926EJ-S rev 5 (v5l)
- BogoMIPS : 233.47
- Features : swp half thumb fastmult edsp java
- CPU implementer : 0x41
- CPU architecture: 5TEJ
- CPU variant : 0x0
- CPU part : 0x926
- CPU revision : 5
- Cache type : write-back
- Cache clean : cp15 c7 ops
- Cache lockdown : format C
- Cache format : Harvard
- I size : 32768
- I assoc : 4
- I line length : 32
- I sets : 256
- D size : 16384
- D assoc : 4
- D line length : 32
- D sets : 128

### Caractéristiques de la transmission Carte mère / Carte de navigation

On peut obtenir la configuration du port série après s'être connecté à l'AR.Drone avec telnet.

```
# stty -F /dev/ttyPA2 -a  
speed 460800 baud; rows 24; columns 80;  
...
```

### Caractéristiques de la transmission Carte mère / Carte moteur

```
# stty -F /dev/ttyPA1 -a  
speed 115200 baud; rows 24; columns 80;
```

## B. Spécifications de la carte de navigation

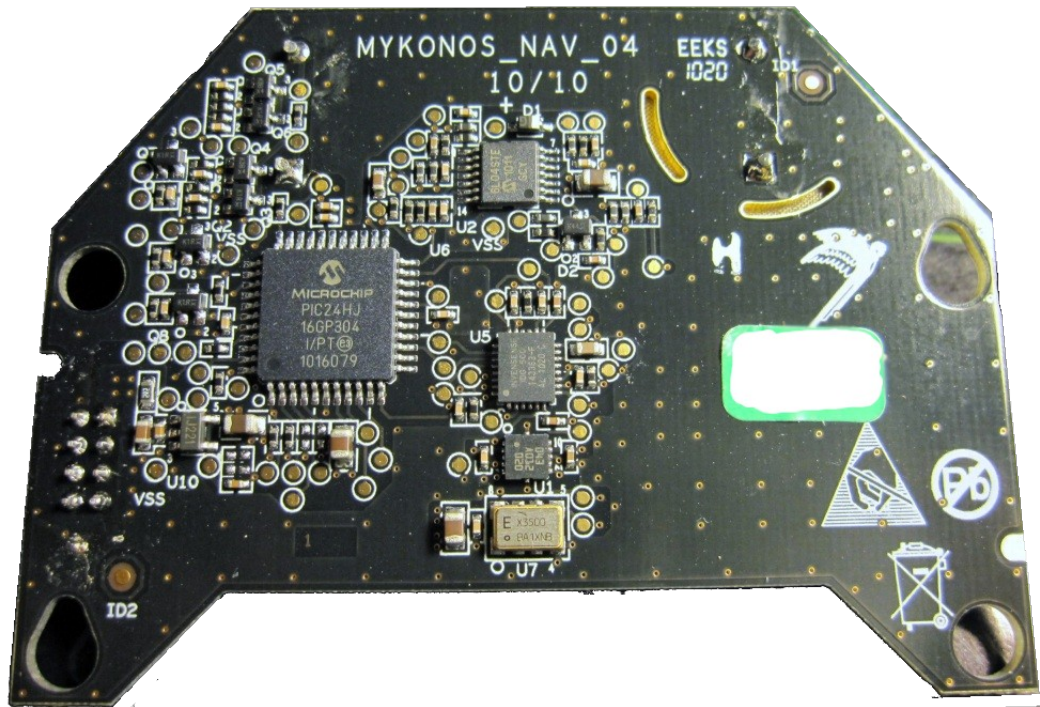


Fig. 129: face avant carte de navigation

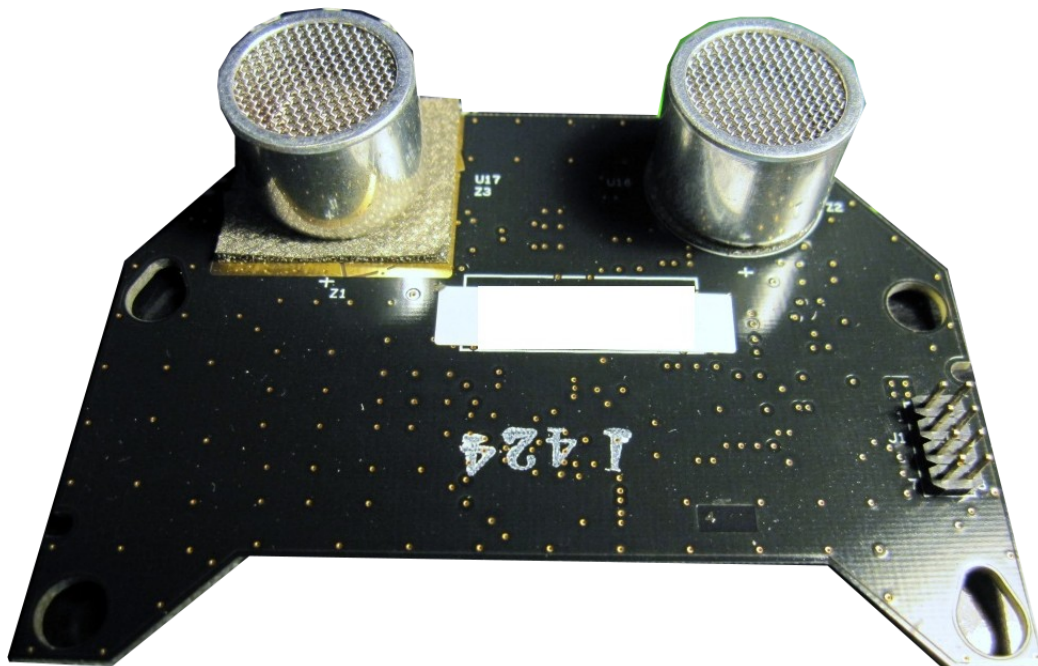


Fig. 130: Face arrière carte de navigation

Composants de la carte de navigation :

**Société DMS - Département STI**

Aéroparc St Martin - 12 rue Caulet - Bat C03 - 31300 TOULOUSE - ☎ : + 33 (0)5 62 88 72 72 □ : + 33 (0)5 62 88 72 79

Site internet : [www.dmseducation.com](http://www.dmseducation.com) Email : [info@dmseducation.com](mailto:info@dmseducation.com)

Ce document et les logiciels fournis sont protégés par les droits de la propriété intellectuelle et ne peuvent pas être copiés sans accord préalable écrit de DMS.

Copyright DMS 2010

- Microchip PIC24HJ 16GP304 I/PT 1019K WB
- Dual Axis Gyro – IDG500 (xy) (Invensense IDG 500 143363-H AL1020C)
- XV-3500CB (Z-axis gyroscope)
- BMA150 (3-axis accelerometer)
- Composants ultra-son :
  - 6L04STE 1017 V5B
  - 043 U018 206

Le PIC24 est utilisé pour l'acquisition des capteurs. Il fait une conversion AN pour les données du gyroscope et interroge le BMA150 par i2c.

Périodiquement, les données des capteurs sont envoyées par l'UART vers la carte mère où elles sont utilisées par le programme « program.elf » pour contrôler le drone.

Pour récupérer les données sans program.elf ?

Après s'être connecté à l'AR.Drone (telnet), on démarre l'acquisition avec :

```
echo -e -n "\1" > /dev/ttyPA2
```

A présent, la carte de navigation envoie périodiquement une trame d'une taille 0x2E sur l'UART2 que l'on peut lire avec :

```
dd if=/dev/ttyPA2 count=1 bs=46 | hexdump -C
```

Les données respectent le format suivant :

```
struct nav_data_tag
{
    u16 size;                /* +0x00 Size of the following data (0x2C) */
    u16 sequence;           /* +0x02 Sequence number */
    u16 raw_accs[3];        /* +0x04 Raw data of the accelerometers*/
    u16 raw_gyros[3];       /* +0x0A Raw data for the gyros */
    u16 raw_gyros_110[2];   /* +0x10 4.5x Raw data (IDG) */
    u16 uk_0x14;            /* +0x14 Unkown. Maybe accs temperature */
    u16 gyro_temp;          /* +0x16 Gyro temperature (IDG) */
    u16 vrefEpson;          /* +0x18 Gyro v_ref (Epson) */
    u16 vrefIDG;            /* +0x1A Gyro v_ref (IDG) */
    u16 uk_0x1C;            /* Unkown */
    u16 checksum;          /* +0x1E Checksum */
    u16 us_debut_echo;      /* +0x20 Ultrasonic parameter */
    u16 us_fin_echo;        /* +0x22 Ultrasonic parameter */
    u16 us_association_echo; /* +0x24 Ultrasonic parameter */
    u16 us_distance_echo;   /* +0x26 Ultrasonic parameter */
    u16 us_courbe_temps;    /* +0x28 Ultrasonic parameter */
    u16 us_courbe_valeur;   /* +0x2A Ultrasonic parameter */
    u16 us_courbe_ref;      /* +0x2C Ultrasonic parameter */
}
```

Les capteur ultra-son ont une fréquence de raisonnance de 40kHz et pointent vers le bas avec un angle conique d'environ 55° (+/-25° autour de l'axe Z).

Chaque train d'impulsion est émis à 25Hz (toutes les 40ms) dans le mode par défaut.

### Connecteur 8 points carte de navigation :

- 1 : +Vcc (5v)
- 2 : PGED2/RP10(1)/CN16/PMD2/RB10 (8) (prog ?)
- 3 :Txd (sans doute)
- 4 : PGEC2/RP11(1)/CN15/PMD1/RB11 (9) (Prog ?)
- 5 :Rxd (a +3.3v au repos)
- 6 :/MCLEAR (18)
- 7 : masse
- 8 : masse

## C. Atmel AT73C246

### 1. Atmel analog companion chip enables ARM9-based multimedia solutions

June 03, 2010 | Paul Buckley | 222902240



**Atmel has announced production availability of the Atmel AT73C246 analog companion chip to provide power supplies and audio input/output to match the Atmel AT91SAM9 ARM9-based MCUs (and equivalent 32-bit devices) to host multimedia applications.**

Operating from a single 2.9 V to 5.5 V source, the AT73C246, when combined with a high-quality stereo audio codec, provides the multi-level supplies required by the AT91SAM9 devices. The combination reduces the external component count and helps keep system power supply to a minimum.

Many multimedia applications are based on an ARM9 32-bit microcontroller with fast power-hungry devices such as external high-capacity memories and signal processing ICs. For both wired and portable devices, system power efficiency is a key factor to decrease power dissipation and to increase battery life. High efficiency and high output current power supplies are also required to meet these requirements.

The AT73C246 integrates two high-efficiency power supply channels designed to supply the core section and the I/O pad section of an ARM9 32-bit MCU-based application. The device incorporates an integrated automatic voltage scaling function that allows the application developer to optimize the power efficiency of the system in all operating modes.

In addition, a key feature of many multimedia devices is wireless connectivity to create an Internet-enabled system. The radio frequency section requires a high quality, low-noise power supply to maximize transmission/reception quality. The AT73C246 integrates three low-noise Low Drop Out (LDO) regulators featuring ultra fast transient responses particularly adapted to supply RF ICs.

The most important feature of a multimedia device is its audio/video processing capability. The AT73C246 integrates a complete state-of-the-art low-power stereo audio codec with a headphone amplifier. The input section consists of two selectable stereo inputs (Line/Aux), based on a differential or single-ended mode, to drive a 96 dB dynamic range stereo audio ADC through an input mixer. On the output side, a 100 dB dynamic range stereo audio DAC drives a 60 mW stereo headphone amplifier through an output mixer. The audio output can also be connected, via an external amplifier, to hi-fi quality speakers. This configuration offers numerous possibilities for mixing audio/voice channels in input/output stages.

"The AT73C246 is an optimal integration of power supplies and audio interface tailored for multimedia products and specifically for ARM9 32-bit based applications," said Michele Casetta, marketing manager for power management and audio analog companion (PMAAC) product line, Atmel Corporation. "Usually the market offers power management and analog interface in a single chip for a few high volume applications, such as smartphones or PDAs, where the feature set of the power section supply is larger

than the audio section. The AT73C246 feature set is unique because Atmel has reduced the minimum number of power supply cells, while augmenting the features of the audio section, increasing the number of input/output channels and improving the audio quality. This option enables designers to also target small multimedia devices such as music players, picture viewers, etc."

"Customers have huge advantages choosing an Atmel solution for their application because the AT73C246 is qualified to work with our market-leading family of ARM9-based devices such as the SAM9G10, SAM9G20, SAM9G45, CAP9S, etc. To help with system integration, Atmel also offers application schematics and software drivers."

### AT73C246 6 Supply Channel PMU With Audio Codec

The AT73C246 is an integrated high performance Power Management and Audio IC. It is specifically designed for advanced technology application processors with complex and low voltage supplies targeting audio applications from low to high end. This System-on-Chip allows significant savings in both cost and board area over previous discrete solutions.

Directly operated from a 2.9V to 5.5V input voltage, the PMU generates a set of 4 regulated power supplies and an associated delayed reset signal. These 4 voltages are built up with 2 high efficiency DCDC buck converters and 2 low noise LDOs. Featuring ultra fast transient responses and integrating automatic voltage scaling function, these supplies perfectly fit with modern low voltage MCU cores and memory supplies (DDR, Flash, ...). An additional 200mA LDO under software control is provided for auxiliary application functions. The high performances of this LDO (high PSRR, low noise, fast transient response) makes it ideal for analog front-ends (Audio, RF...) as well digital peripherals.

Aside from the PMU, the AT73C246 integrates a complete state-of-the art low power audio codec with headphone amplifier. On the input side, a stereo microphone preamplifier with differential or single ended connection (MICDIFF / MIC) and 2 selectable stereo inputs (LINE / AUX) are directed to a 96dB Dynamic Range stereo audio ADC through an input mixer. On the output side a 100dB dynamic range stereo audio DAC drives, through an output mixer, a 60 mW stereo headphone amplifier which comes along with a VCM buffer. This VCM buffer allows to save two large on-board coupling capacitors for area constrained applications. Additionally two fully analog paths called bypass and sidetone from line/aux and microphone inputs to headphone outputs allow to reduce the audio power consumption to minimum when needed.

The PMU is complemented with a low power RTC system including a recharging LDO, a crystal oscillator and a programmable alarm that is fully integrated in the PMU digital core. Thus, the RTC function is able to wake up the PMU, i.e the regulated power supplies, at a programmed instant.

Also, a 10-bit ADC equipped with a 10:1 analog multiplexer is provided to the application to perform voltage measurements.

Finally, to reduce power consumption to minimum, the PMU features a flexible STANDBY mode where the MCU is placed in reset state with selectable supplies ON, OFF or in low-power mode.

Power consumption in OFF mode is typically 20uA.

### AT73C246

#### • AUDIO CODEC

– 100dB Dynamic Range Stereo Audio DAC - 8 to 96 kHz sampling frequency

– 96dB Dynamic Range Stereo Audio ADC - 8 to 96 kHz sampling frequency

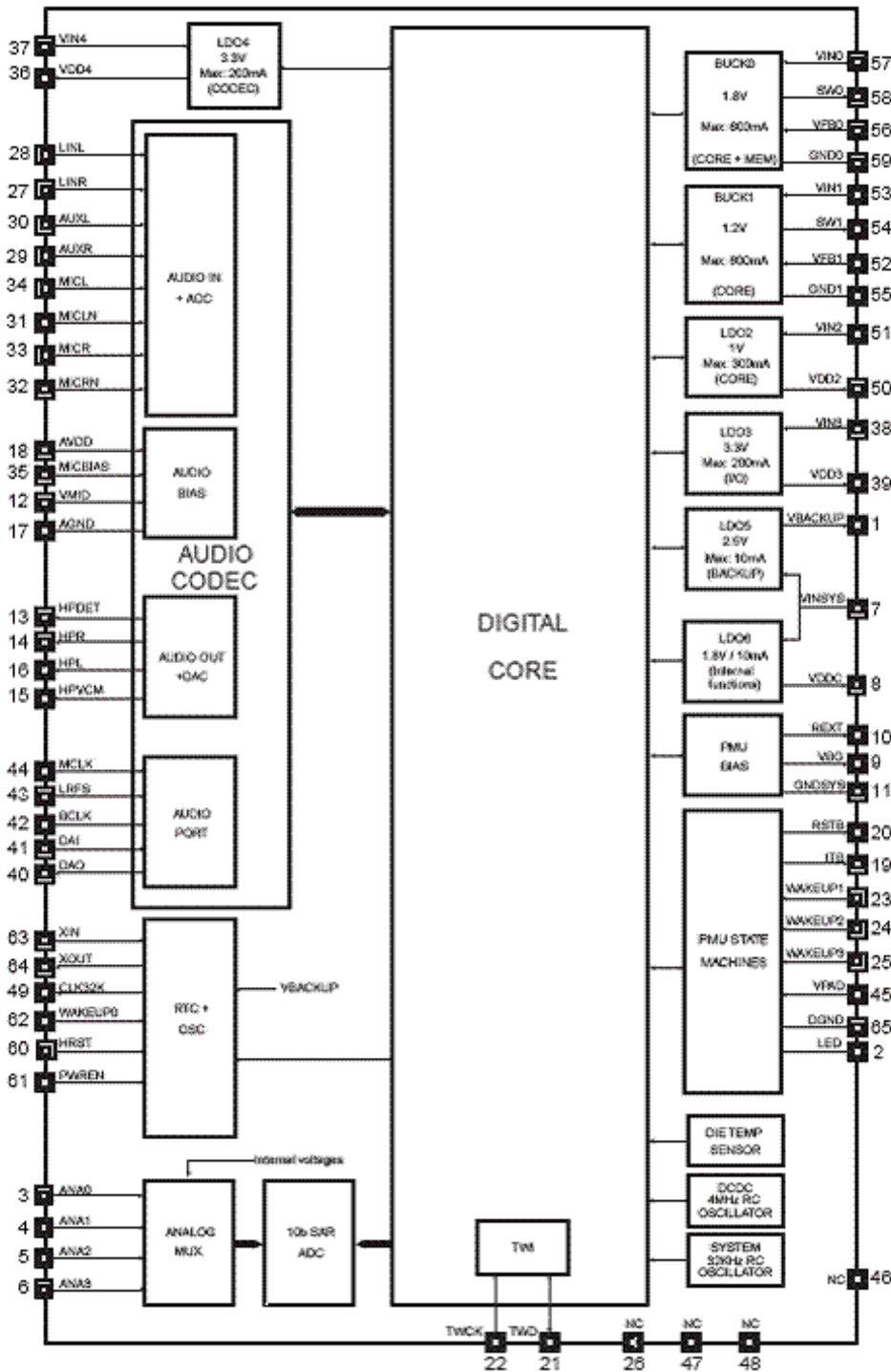


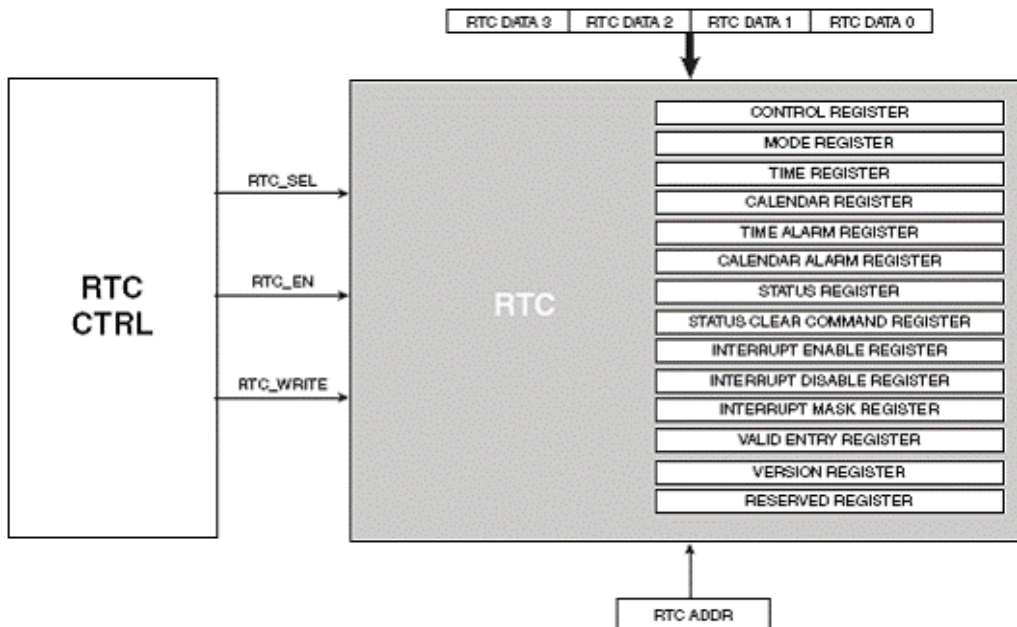
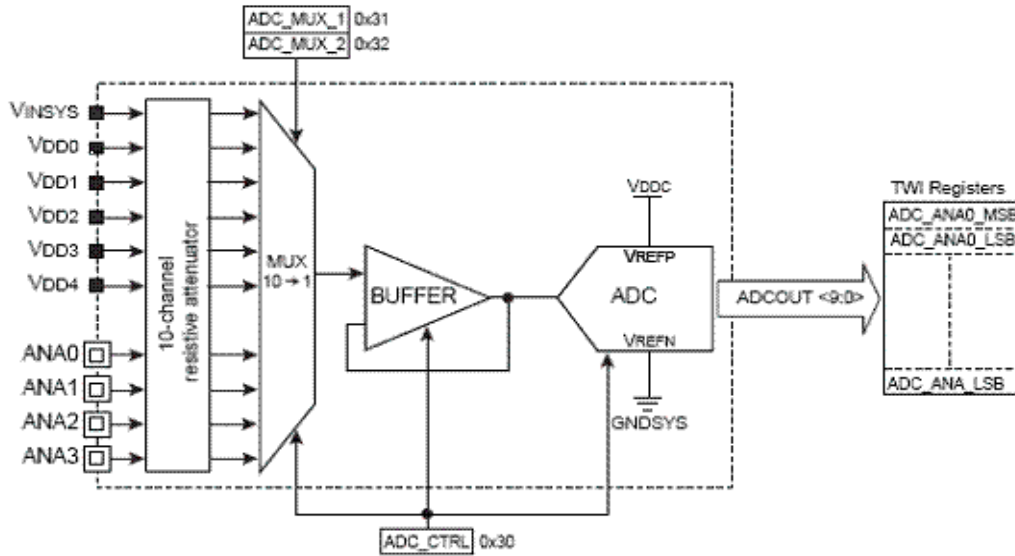
- 16/32 Ohms headset amplifier with capless operation
- SNR: 97 dB A-Weighted
- THD: -60 dB (16Ohms/20mW/3.3V supply)
- Maximum output power: 55mW (16Ohms/3.3V supply)
- Stereo line inputs, stereo auxiliary inputs
- Stereo microphone inputs with bias generator for electret device
- Low power Analog Bypass mode (Line / Aux in to Headset Out)
- Low power Analog sidetone mode (Microphone in to Headset Out)
- Automatic Audio path control with smooth fade in/fade out operation
- I2S port
- Master / Slave Operation
- I2S / Left / Right justified modes
- 16 / 18 / 20 / 24 bit operation
- 6x SUPPLY CHANNEL VOLTAGE REGULATORS
- DCDC0:
- 1.85V - 600mA. 0.8 to 3.6V / 50mV step.
- 2 MHz switching buck regulator
- Fast load transient response - PWM / PFM modes.
- Efficiency up to 92%
- DCDC1:
- 1.2V - 600mA. 0.8 to 3.6V / 50mV step.
- 2 MHz switching buck regulator
- Fast load transient response - PWM / PFM modes.
- Efficiency up to 90%
- LDO2: 1V - 300mA. 0.8 to 1.35V / 50mV step - Fast transient response
- LDO3: 3.3V - 200mA. 2.7 to 3.6V / 50mV step - Fast transient response
- LDO4: 3.3V - 200mA. 2.7 to 3.6V / 50mV step - Audio codec supply
- LDO5: 2.5V - 10mA - Backup battery charger and RTC supply

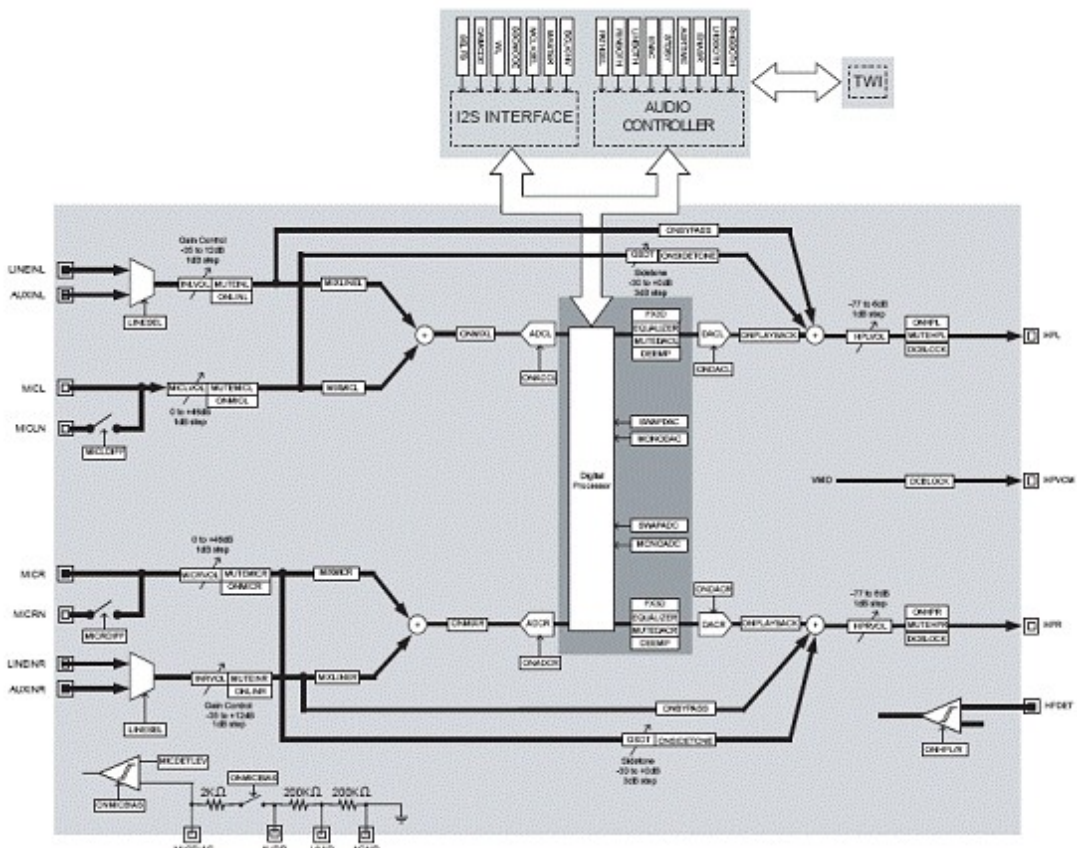
- LOW CONSUMPTION POWER MANAGER
  - 2.5V - 5.5V VIN Operation
  - 20uA typical consumption OFF mode
  - VIN monitor, CPU supplies monitor
  - Die temperature and over-current protections
  - Reset and Interrupt generation
  - Automatic Voltage Ramping on supply channels for DVS applications
  - Standby mode with selectable supplies OFF
- RTC
  - Ultra Low power crystal oscillator (<1uA typ.)
  - Wake up function with programmable alarm or selectable inputs
- 10-b / 300kS/s ADC with 4 external / 6 internal selectable inputs
- Two-Wire Interface for PMU and Audio controls
- Available in 7.5 x 7.5 x 0.9 mm 64-pin QFN Package

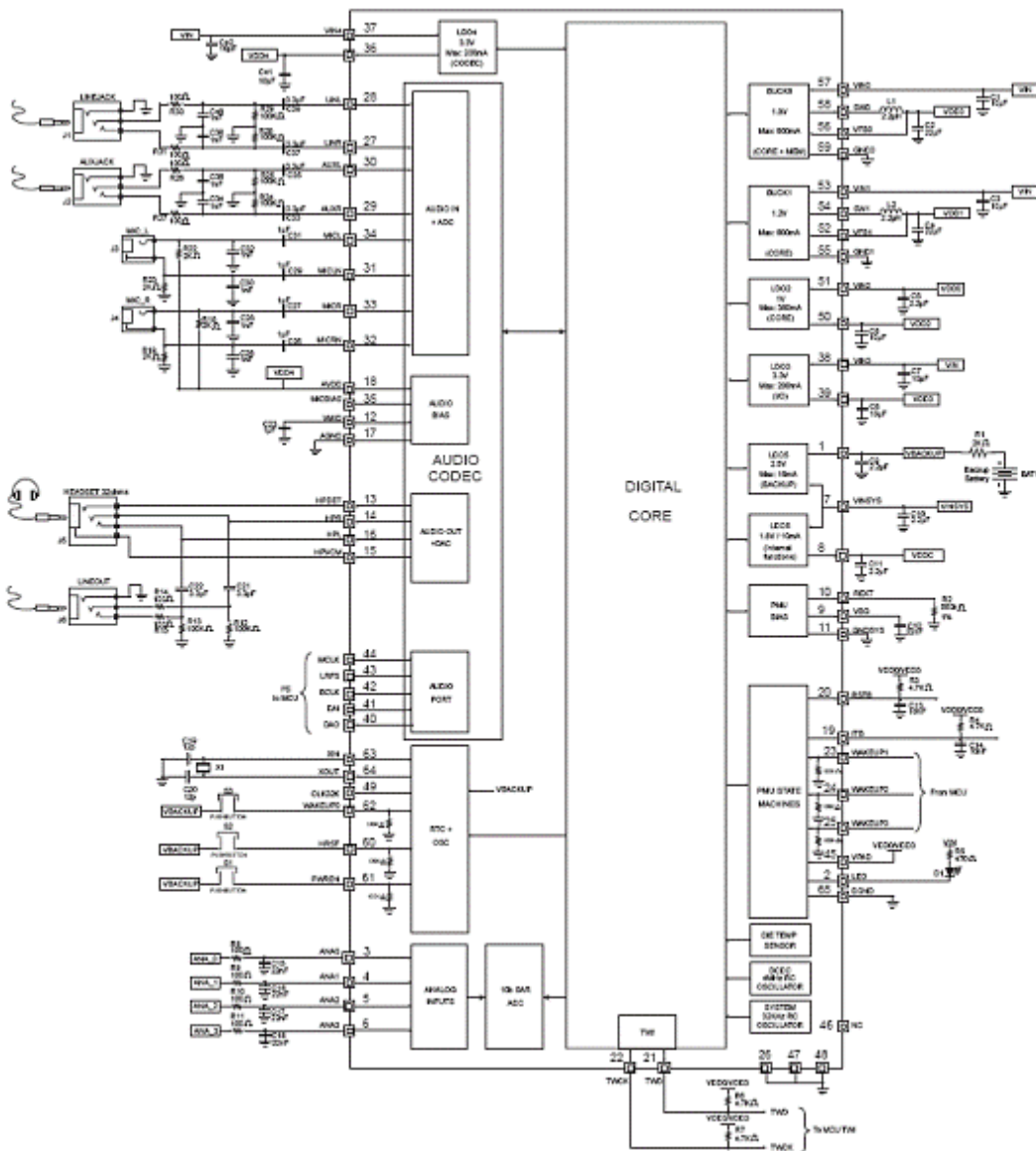
### AT73C246

- Multimedia, Audio + Supply solution for MPU+DDR2 designs.









## D. Spécifications du chipset Wifi - Atheros AR6102G

### Wi-Fi Modules

The Atheros AR6102 is a member of the WLAN ROCm family of chips. The compact size and low power consumption of this design make it an ideal vehicle for adding WLAN to hand-held and other battery-powered consumer electronic devices. The IEEE 802.11g (2.4 GHz) standard is supported by this chipset. The AR6102 family includes a highly integrated, RF front-end (Power Amplifier, Low-Noise Amplifier and RF switch) and high-frequency reference clock, enabling low-cost designs with minimal external components. Advanced architecture and protocol techniques save power during sleep, stand-by and active states. The AR6102 family supports 2, 3 and 4 wire Bluetooth coexistence protocols with advanced algorithms for predicting channel usage by the co-located Bluetooth transceiver. A 26MHz reference clock output is also available, eliminating the need for a dedicated BT clock. The AR6102 provides multiple peripheral interfaces including UART

IEEE 802.11b/g compliant

Data rates of 1~54 Mbps for 802.11g

Advanced power management to minimize standby, sleep and active power

Security support for WPS, WPA2, WPA, WAPI and protected management frames

Support for 2.4 GHz operation in all available bands in all regulatory domains

Full 802.11e QoS support including WMM and U-APSD

Support for fast Tx and Rx antenna diversity allowing optimal antenna selection on a per-packet basis

Supports both SDIO 1.1 and GSPI host interfaces.

Standard 2, 3 and 4 wire Bluetooth coexistence handshake support

16550-compliant UART

Wake-on-Wireless (WoW) maximizes host sleep duration

7.4 x 8 mm LGA package

Pre-certified to meet FCC, ETSI, and TELEC standards

Integrated PA, LNA, RF switch and High Freq Reference Clock, minimizing external component count

Integrated RF shielding

Supports cellular co-existence with an external band-pass filter

## E. Spécifications du gyroscope DG-500

### 1. DG-500 Integrated Dual-Axis Gyroscope

#### 1.1. Overview



The IDG-500 MEMS rate gyroscope is an integrated dual-axis angular rate sensor designed specifically for complex motion processing of A/V and PC remotes, as well as gaming controllers.

Offering significant performance and packaging improvements over the IDG-300, the IDG-500 delivers 500°/sec full scale range and 2mV/°/sec sensitivity in a 44% smaller 4x5x1.2mm package size making it ideal for general motion processing applications. With the addition of the patented Auto Zero feature for minimizing bias drift over temperature, the IDG-500 offers unparalleled performance over competitive products.

The device leverages InvenSense's patented and proprietary [Nasiri-Fabrication](#) design and manufacturing platform, where the MEMS and CMOS control electronics are bonded and hermetically sealed, allowing direct electrical interconnections and testing at the wafer level. This approach minimizes parasitic capacitance and improves signal-to-noise ratios versus competitive solutions.

This product is RoHS and Green Compliant.

#### 1.2. Applications

- High performance motion sensing game controllers
- Pointing devices, multimedia remotes, & computer mice

#### 1.3. Features

- Integrated X- and Y- axis gyros on a single chip
- Two separate outputs per axis for higher speed motions and lower-speed precise movements:
  - 500°/s full scale range (higher speed)
  - 110°/s full scale range (high precision)
- 4x5x1.2mm QFN package
- Integrated low-pass filter
- Auto Zero function
- Temperature sensor
- 4.5x second gain stage amplifier
- High vibration rejection over wide frequency range
- High cross-axis isolation for design



- 10,000 g shock tolerance
- 3V single supply operation
- RoHS and Green Compliant

### Benefits

- World's smallest dual-axis gyro sensor
- Highest dynamic range to measure fast-action motion
- Integrated electronics for complete signal conditioning
- Lowest cross-axis sensitivity for best signal accuracy
- Hermeticity for high temperature & humidity resistance
- Most robust design for high impact consumer electronics
- Compatible with standard SMT assembly processes

## F. Spécifications du gyroscope XV-3500

### XV-3500



#### ULTRA SMALL VIBRATION GYRO SENSOR (Angular Rate Sensor)

Product summary

Ultra Small Package size SMD(5 x 3.2 x 1.3 mm)

Hermetic sealing provides excellent sustainable environmental capability

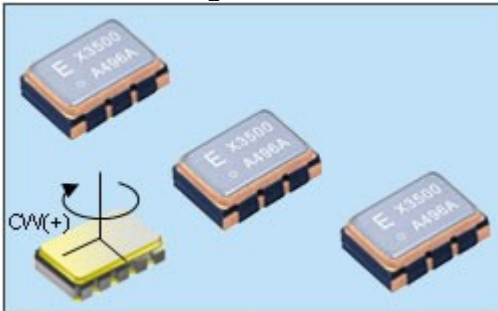
High stability using vibration crystal

Clipped startup time and low power consumption with sleep mode

I deal application for use

Detection picture stabilization of DVC and DSC

Detection of moving with man machine interface



Package size: 5.0 x 3.2 x 1.3t (mm Typ.)

#### Spécifications

Operating voltage	3.0 V ±0.3 V
Bias	1350 mV
Rate range	±100 deg/s
Scale Factor	0.67 mV/(° · s <sup>-1</sup> )

## G. BMA150

Bosch Sensortec



**BOSCH**

**Digital, Triaxial Acceleration Sensor**



The BMA150 is an LGA packaged triaxial, programmable low-g acceleration sensor with digital output. Offering many smart functional features and operation across a wide temperature range, the BMA150 is aimed for consumer and industrial market applications. Providing measurement of acceleration across 3 perpendicular axes, the dedicated motion sensing circuitry in the BMA150 enables power efficient interrupt driven software. The differential capacitance principle implemented in Bosch Sensortec's accelerometers provides a robust and lowest power sensing solution to the market.

- FEATURES
- APPLICATIONS
- SPECIFICATIONS
- BUY NOW

The base of the micromachining technology has proven its capability in more than 1 billion Bosch accelerometers, pressure sensors, and gyroscopes so far. The modular ASIC design and device flexibility allows engineers to react quickly to their changing customer needs and optimization over time.

### Key Features

- Switchable g-range and bandwidth
- Low-power consumption
- SPI (3-wire/4-wire) and I<sup>2</sup>C interfaces
- Programmable interrupt feature for mobile wake-up or free-fall detection

## H. Les moteurs Brushless

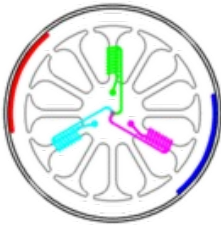
[<http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>]

### 1. Le moteur brushless : Introduction

Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais.

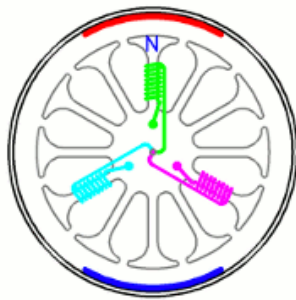
#### 1.1. Composition du moteur brushless :

Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages.



#### 1.2. Fonctionnement du moteur brushless simple:

Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur. L'animation ci contre montre le fonctionnement :



## 2. Commande des moteurs brushless

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur-balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur brushless cet élément n'existe plus, il faut donc créer cette commutation électroniquement.

#### 2.1. Moteur brushless en régime établi :

Le moteur brushless est un moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le système de tensions qui l'alimente. Tant que le couple moteur est supérieur à la charge à entraîner, la rotation du rotor est synchronisée avec le champ magnétique. Si le couple résistant devient supérieur au couple moteur, et que la tension d'alimentation n'est pas ajustée en conséquence, il y a un risque de décrochage, c'est-à-dire que le rotor risque de ne plus suivre le champ magnétique. A partir de ce

moment là, le rotor va se mettre à osciller, sans pouvoir se resynchroniser avec le champ magnétique, ce qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cela, le système d'asservissement doit être en mesure de réagir si le couple résistant augmente, et ajuster la tension d'alimentation en conséquence.

### **2.2. Démarrage d'un moteur brushless :**

Le même problème se pose pour le démarrage du moteur brushless, car le rotor ne peut pas atteindre instantanément la vitesse de rotation du champ. Le système de contrôle électronique doit donc assurer un démarrage progressif, l'objectif étant toujours de reproduire la fonction du collecteur. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur.

### **2.3. Principe de commutation des moteurs brushless :**

#### **2.3.1. Moteurs brushless à Capteurs à effet hall :**

Dans ce type de moteur brushless, des capteurs à effet hall (3 en général) sont utilisés pour connaître à tout moment la position du rotor, et adapter en conséquence l'alimentation des bobines et le champ magnétique. Le capteur va détecter le passage d'un pôle magnétique, et à partir cette information le circuit de commande électronique assurera la commutation des bobines. L'utilisation de capteurs à effet hall dans les moteurs brushless permet une excellente régulation, cependant l'ajout de ces composants, et le fait qu'il faille les placer très près du rotor entraîne un surcoût et un risque de panne supplémentaire. Cette solution est la plus employée dans les moteurs brushless utilisée en industrie.

#### **2.3.2. Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem :**

Pour éviter l'utilisation de capteurs à effet hall, certains circuits de commande de moteurs brushless utilisent les bobines non alimentées à un instant donné pour mesurer la force contre électromotrice et en déduire le moment pour déclencher la commutation. Cette solution permet d'éviter l'emploi de capteurs à effet hall, et donc de réduire le prix du moteur brushless. Par contre, au démarrage, la fcem est trop faible pour être utilisable. Il faut donc utiliser un autre mode de commande pour le démarrage des moteurs brushless sans capteurs. Généralement, ils sont démarrés comme des moteurs pas à pas, en commutant les phases à une fréquence croissante prédéfinie, suffisamment lentement pour que le moteur brushless ne décroche pas. Le couple dans cette phase est très mauvais. La mise au point de ce système de commande est très difficile, requiert une puissance de calcul importante et nécessite des solutions de filtrage pour distinguer la fcem des parasites engendrés par le moteur. Cette technique est principalement employée dans les petits moteurs brushless, en particulier en modélisme.

### **2.4. Régulation de vitesse d'un moteur brushless**

Globalement, la vitesse maximale d'un moteur brushless est liée à sa tension d'alimentation, ou du rapport cyclique dans le cas d'une commande en PWM, par un coefficient appelé Kv. La valeur de ce coefficient dépend de la construction du moteur (nombre de bobines, de pôles, d'encoches, type de fil pour les bobines, ...). Contrairement à un moteur synchrone triphasé ou on ajuste la fréquence pour obtenir la vitesse souhaitée, ici c'est la vitesse du moteur brushless qui va indiquer au contrôleur à quelle fréquence il doit assurer la commutation.

Pour réguler la vitesse d'un moteur brushless il faut donc faire varier la tension d'alimentation de chaque bobinage, tout en maintenant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur. En pratique, les contrôleurs de moteurs brushless les plus performants peuvent intégrer les deux fonctions : commutation des bobines en fonction des données des capteurs à effet hall, et régulation de la vitesse en PWM sur l'alimentation de chaque bobine.

## **3. Les différents types de moteurs brushless**

Selon les applications, il existe une grande variété de moteurs brushless avec des caractéristiques de couples, vitesses, inertie différentes en fonction de leurs constitutions.

### 3.1. Moteurs brushless outrunner :

On appelle « outrunner » les moteurs brushless dont le rotor est autour du stator. Cette configuration est intéressante en terme de couple moteur, car les aimants sont disposés sur un diamètre important, ce qui crée un bras de levier très intéressant. De plus, cette disposition permet de placer facilement plusieurs séries d'aimants (jusqu'à 32 pôles sur certains moteurs brushless outrunners) et de bobines. Les bobines sont toujours câblées par groupes de 3, et les aimants sont soit collés par groupes de 2, soit constitués d'une partie magnétique comprenant plusieurs pôles. Comme pour un moteur pas à pas, les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de 180°. Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction. Leur coefficient Kv est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Les principales applications des moteurs brushless outrunners sont les suivantes : ventilateurs, moteurs de disques durs, Cd-rom, moteurs de vélos électriques (intégrés dans le moyeu), bateaux ou avions radiocommandés...



### 3.2. Moteurs brushless inrunner

Contrairement au type précédent, les moteurs brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator. Ils n'ont généralement qu'une seule paire de pôles sur le rotor, et 3 bobines au stator. L'inertie du rotor est beaucoup plus faible que pour un moteur outrunner, et les vitesses atteintes par ce type de moteur sont beaucoup plus élevées (Kv jusqu'à 7700tr/min/V). La gestion électronique de la commutation est par contre plus simple car le rotor tourne à la même fréquence que le champ magnétique. Le couple des moteurs brushless inrunners est plus faible que pour un outrunner car les aimants sont sur un diamètre plus petit à taille de moteur égale. Ce type de moteur brushless est très utilisé dans l'industrie car il se rapproche beaucoup d'un moteur à courant continu à balais et collecteur.



### 3.3. Moteurs brushless disques

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques faces à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes conséquentes, sans offrir de différences notables au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner.

### III. Bibliographie - Licence

Author/Photographer/Artist: Kobako Source: Wikimedia commons

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maple-seed.jpg>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Micro\\_47G.jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Micro_47G.jpg)

<http://www.surveycopter.fr>

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-8B\\_Fire\\_Scout.jpeg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-8B_Fire_Scout.jpeg)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Igor\\_Sikorsky\\_and\\_Orville\\_Wright\\_by\\_Sikorsky\\_XR-4\\_1942\\_USAF.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Igor_Sikorsky_and_Orville_Wright_by_Sikorsky_XR-4_1942_USAF.JPG)

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tandemrotor.jpg?uselang=fr>

[http://www.famille-damecourt.com/contenu/famille/Nadar\\_Gustave-Ponton-d-Amecourt.html](http://www.famille-damecourt.com/contenu/famille/Nadar_Gustave-Ponton-d-Amecourt.html)