

Conception ouverte et modulaire pour la réduction de l'emprunte environnementale des prototypes de recherche en robotique aérienne

Jonathan Dumon, Gipsa-lab/CNRS

A. Nègre, A. Offermann, P. Susbielle, M. Arpa

Projet Tirrex / OMD : I. Fantoni, F. Ruffier, N. Marchand



Prises de vues amateurs ou professionnels



Loisir



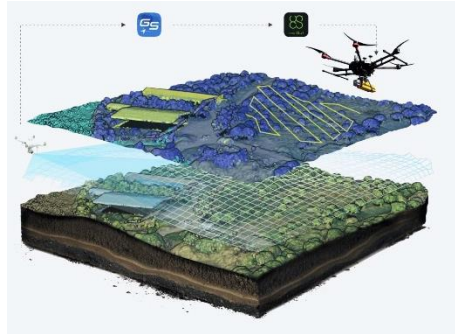
Défense, surveillance

Un drone multirotors a quoi ça sert? *Pour un eVTOL de 50g à 25kg*

Livraison dernier km



Inspection ouvrages et réseaux EDF, ENGIE, SNCF, Eoliennes...



Cartographie, génie civil, Sinistres...

Etudes scientifiques



Plan

- **Evaluation émissions GES d'un drone pour la recherche**
- **Pratiques de conception par projet**
- **Conception modulaires open source**
- **Focus sur les batteries Lipo-Li-ion**
- **Contexte robotique plus large**

4 Evaluation émissions carbone d'un drone pour la recherche

Fabrication

Appareil	KgCO2e / unit	Ref
Décomposition drone de 2kg: électronique, 2 batteries, moteurs, fibre carbone, métaux, plastiques, transport	47,35	[1]
Drone avion électrique de 16kg /8 = eq 2kg	54	[2]
Drone multicopters de 2kg (4 batteries)	97,2	[3]
Robot multifonction (cuisine)	41,30	[1]
Z5 Sony smartphone	48	[1]
Trotinette électrique	91,9	[1]
Robot tondeuse (Lithium Ion 3.2 Ah)	109	[1]
Ecran - 21,5 pouces	222	[1]
PC portable precision 7xxx	304	[5]
<i>Drone de 2kg professionnel grande série</i>	860	[4]
<i>Drone pour la recherche de 2 kg fabriqué en laboratoire</i>	1170	[4]
<i>Drone pour la recherche de 2 kg fabriqué par un assembleur</i>	2150	[4]



Usage, pour 100 vols de 10 minutes:

usure batterie (300-500 cycles) ~1,6kgCO2eq + consommation électrique 0,2 à 3kgCO2eq selon mix énergétique

***La méthode basée code NACRE de GES1point5/achats n'est pas adaptée
La décomposition par sous ensemble semble donner des ordres de grandeur cohérents***

[1]-base ADEME

[2]-<https://adif.aero/wp-content/uploads/2023/12/ADIF-White-Paper-Drones-et-transition-energetique-v5-Novembre-2022.pdf>

[3]-FIGLIOZZI, Miguel « A. Lifecycle modeling and assessment of unmanned aerial vehicles (Drones) CO2e emissions. » Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, vol. 57, p. 251-261.

[4]-GES1point5/achats, ex: IA53-ROBOT PROTOTYPE 430kgCO2e/1000€

[5]-GES1point5/informatique

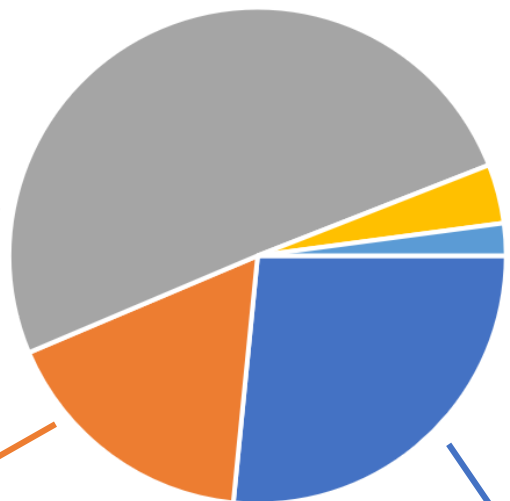
Stagiaires et emploi étudiants: Lenaic Lahir, Robin Sigaud, Malorie Roux, encadrement Silvain Gerber

5 Bilan GES d'un drone de 2kg

~50-100kgCO2eq



Châssis carbone 50%



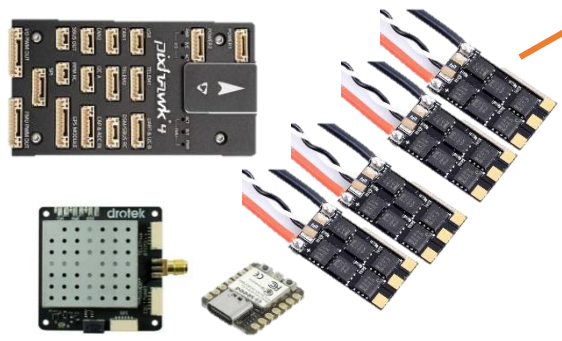
Moteurs brushless 4%



Autre 2%



Electronique 17%



Batteries 27%



**Surtout, que des éléments consommateurs de ressources rares et en tension:
Ressources en eau et en terres rares**

6 Ordre de grandeur GES des éléments associés (sous ensembles/base ADEME)

Charge utile



7 kgCO2eq

7 kgCO2eq

Éléments associés



12 kgCO2eq



13 kgCO2eq



22 kgCO2eq



100 kgCO2eq



300 kgCO2eq



460 kgCO2eq

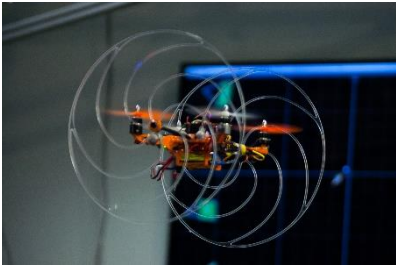


530 kgCO2eq

7 Robots pour la recherche : Pratiques de conception par projet

Contexte 2013-2019:

- Besoins très variable
- Temps de développement longs
- Quantités limités : entre 5 et 10 de drones en service au Gipsa-lab
- Usage typique en thèse ou projet collaboratif: de 2 à 4 ans



8 Robots pour la recherche : Pratiques de conception par projet

Quelques effets liés au contexte drone

Matériel grand public peu cher
+Obsolescence rapide des composants

+ **Contexte général de la recherche académique** : *Volatilité des budgets*

=

risque de ne plus pouvoir remplacer une pièce cassée
→ ***stock dormant*** : 1 drone fabriqué = 3 drones achetés

On ne s'embête pas à reprendre un vieux truc qui risque de ne plus marcher
On repart de 0 à chaque fois pour tenter d'optimiser le design par rapport au besoin
nouveau, à ses compétences, ses goûts, ce qu'on connaît...
→ **ancien stock obsolète**

9 Robots pour la recherche : Pratiques de conception par projet

Quelques effets liés au contexte drone

Et dans une moindre mesure:

- **Obsolescence logicielle**

Nouvelle version firmware ou software incompatible avec anciennes cartes

- **Obsolescence réglementaire**

Nouvelles règles qui conduit au remplacement du matériel

- **Usure et casse de ce certaines pièces**

Dégradation des performances ou panne des **batterie**

Casse **d'hélices** (crashes)

Dégradation cartes **électronique et moteurs** (fausses manip principalement, ou crashes)

10 Robots pour la recherche : Pratiques de conception par projet

Bilan à l'échelle du Gipsa-lab, 2013-2019

● Achat, fabrication d'un drone
 → Reconditionnement éléments du drone
 ⊘ Fin de vie du drone

Projet/thèse	Labos	nb Drone-type	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Thèse Manecy	Gipsa-ISM	1-X4MAG-50	●			⊘				
Thèse Boisseau	Gipsa-ISM	1-X4MAG-50				→		⊘		
Thèse Alvarez	Gipsa	1-X4A-50		●				⊘		
Thèse Colmenares Vazquez	Gipsa	1-X4B-50			●				⊘	
Thèse Téllez-Guzmán	Gipsa	1-X4C-50				●				⊘
Thèse Tezenas	Gipsa	1-OMD-60					●	⊘	●	
Thèse Schanen	Gipsa	1-X4D-50						●		→
Transfert Chronics	Gipsa	2-OMDe-60								→



LOW-TECH Recherche | Tutoriels | Groupes | Forum | Créer une page

Bancs didactique de traitement du signal en réemploi

Page | Commentaires | Historique

Tutoriel de Gipsa-Lab/Ense3 | Catégories: Outils

Objectif de ce tutoriel est de vous expliquer les étapes de fabrication d'une dizaine de banc de TP dans l'objectif d'enseigner le traitement du signal de façon Low-Tech !

Difficulté: Moyen

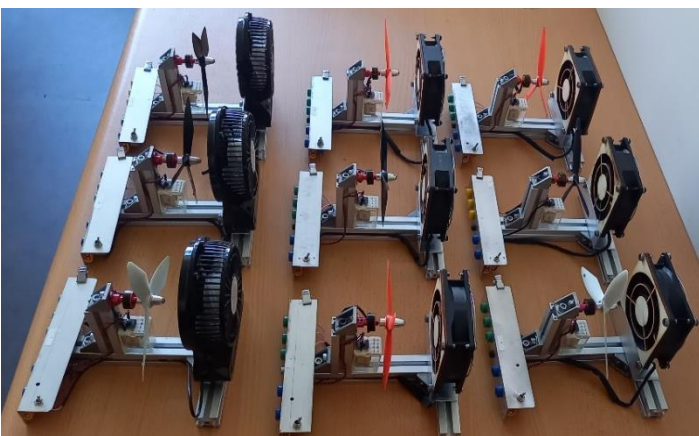
Durée: 3 jour(s)

Coût: 50 EUR (€)

Sommaire

- Description
- Sommaire
- Introduction
- Étape 1 - Montage de la structure
- Étape 2 - Levage et balancement
- Étape 3 - Le cœur du TP
- Étape 4 - Le câblage
- Étape 5 - Finalisation, vérification
- Notes et références
- Commentaires

© Elsevier - Attribution (CC BY)



Tentatives de remise en circulation
 Projets pédagogiques
 (et déculpabilisateur)
 Conception low-tech mécatronique
 Ou réemploi mécatronique

11 Robots pour la recherche : conception modulaire et ouverte

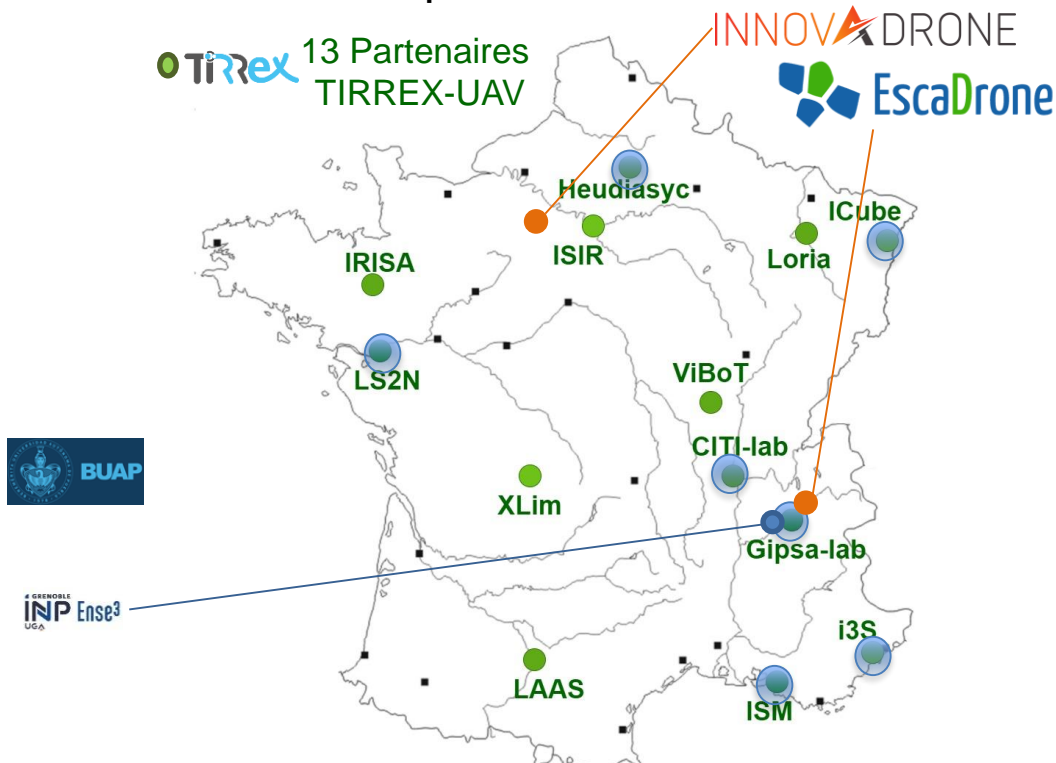
Choix d'éléments modulaires « non optimaux », interopérables

Standardisation des interfaces (vitesse moteur, passerelle...)

Mise en réseau de plusieurs acteurs

Licence ouverte

Site web avec les plans, notices...



Open Modular Drone - Project Version 1.0.1

Site de ressource pour l'assemblage et l'utilisation des drones modulaires ouverts de la plateforme CNRS Open-perform

Home Notice d'assemblage

Home

Notice d'assemblage OMD 2.5" (Frelon)

Notice d'assemblage OMD 5-7"

Configuration

Matériel

Simulateurs-UAVs

Systèmes-De-Positionnements

Véhicules Gipsa lab

Introduction

Bienvenue dans la documentation du drone open-source Tirrex. Le but de destination de la recherche. Le modèle 3d ci-dessous présente ce drone.

Architecture

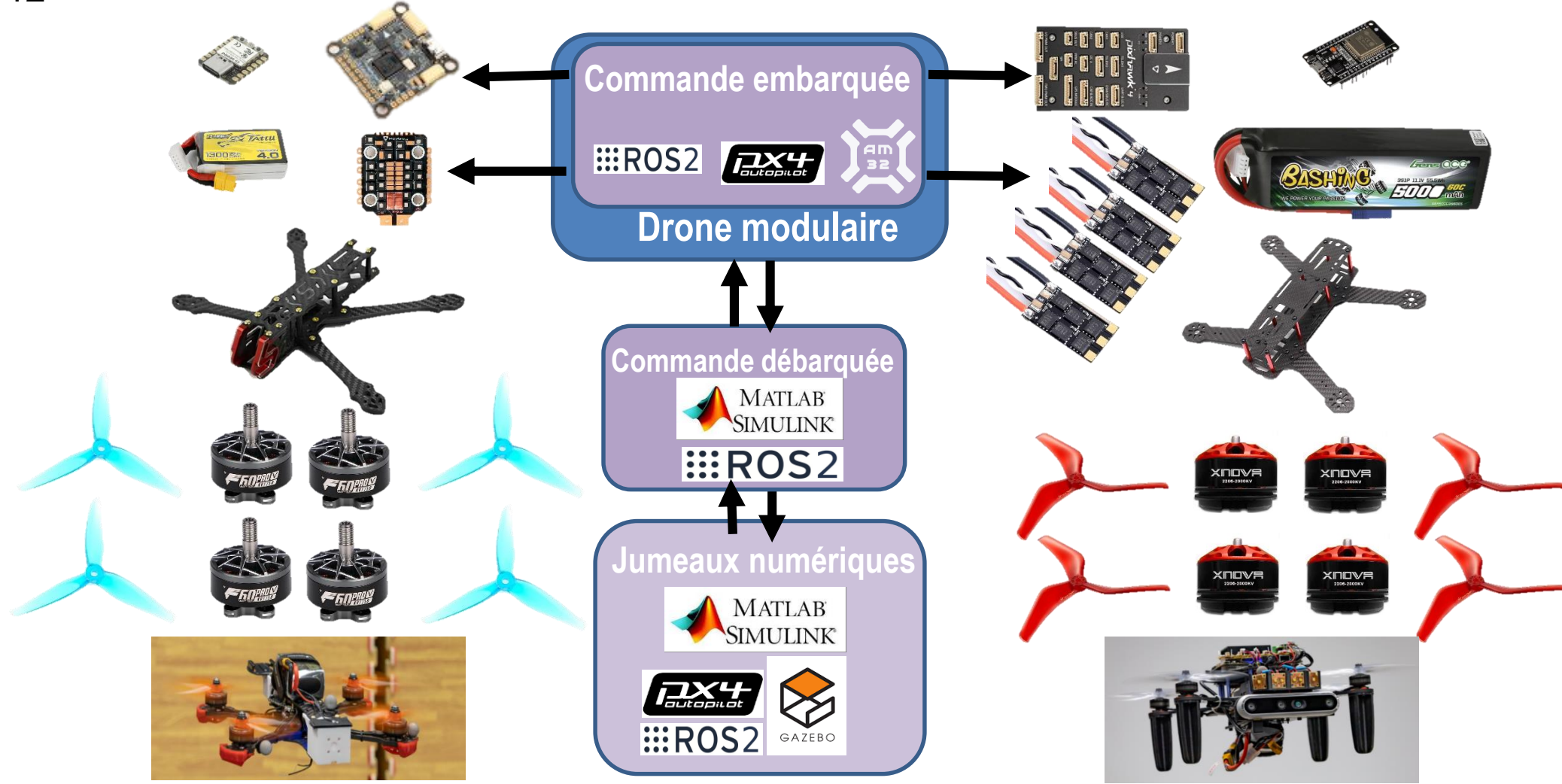
titre fournie dans le boîtier de la plohawk.

Brasure connectique ESP32

Open Modular Drone © 2024 by CNRS - Open-perform is licensed under CC BY 4.0

Pérenniser une architecture matérielle et logicielle malgré l'obsolescence des sous-ensembles et l'évolution permanente des besoins

12 Les drones modulaires OMD



13 Les drones modulaires OMD



Frelon ~250g : OMD-25



Strad ~600g : OMD-50

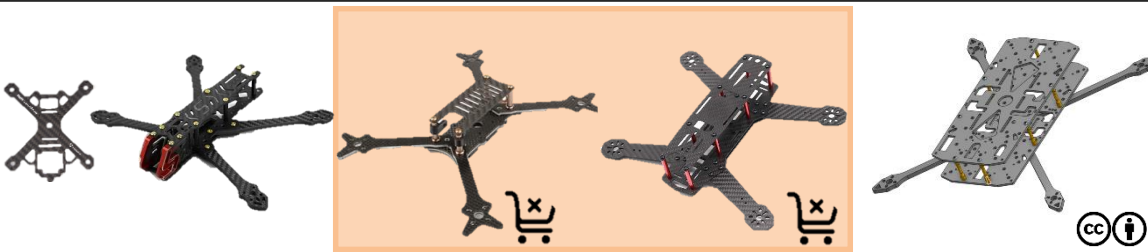


HR drone ~1,5kg : OMDe-60



Darknav ~1,5kg: OMD-60

Projet	Frelon	Strad	HR drone	Darknav
Chassis				
Cinewhoop 2,5"	x			
Sector 5"				
Kopis 5"		x		
FPV 6"			x	x
Tirrex 5/6"				
Controleur de vol				
Kakute F7		x		
Kakute H7	x			
Pixhawk4			x	
Durandal				x
Cube orange+				
Moteurs				
XING2 1404 4600Kv	x			
X-nova 2000Kv			x	
F60 1750Kv		x		x

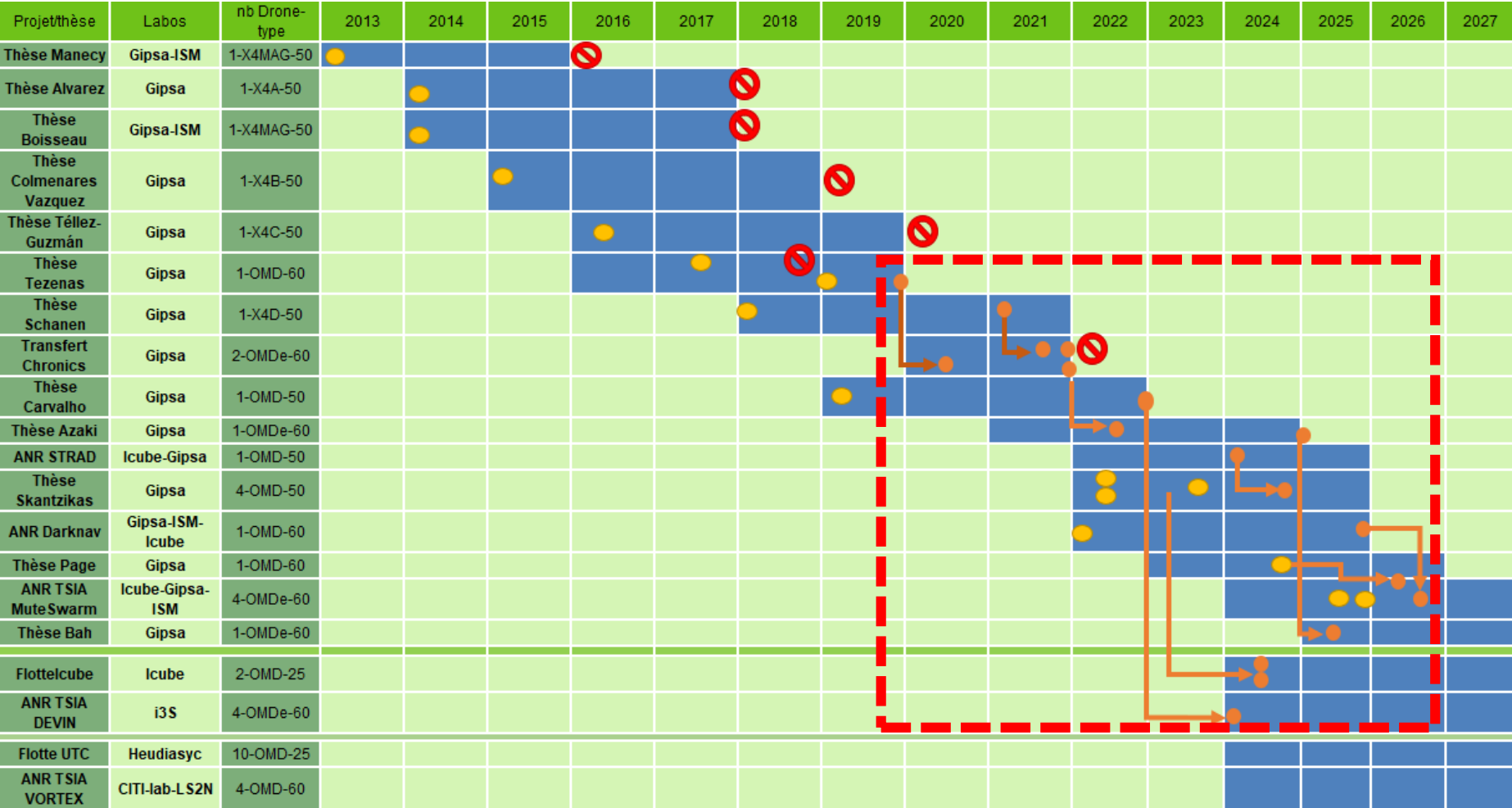


14 Les drones modulaires OMD : à l'échelle du Gipsa-lab, 2019-2025

● Achat, fabrication d'un drone

→ Reconditionnement éléments du drone

⊘ Fin de vie du drone



Focus sur les batteries : stock actuel au gipsa-lab ~2,3kWh (=4 batteries de e-vélo)
 Passage des LIPO aux Li-ion modulaires – meilleure réparabilité, diminution des stocks
 Prix comparable, durée de vie comparable, plus léger
 mais moins de puissance instantanée disponible

10A
 30A
 50A



	Tension	Capacité mAh	Capacité Wh	puissance décharge (kW)	Masse (g)
Li-ion 18350 1100	3,6	1100	4	0,036	24
Li-ion 18650 3000	3,6	3000	10,8	0,1	47
Li-ion 21700 5000	3,6	5000	18	0,18	68



300A

Li-ion 6S 1100	21,6	1100	23,76	0,21	175
LIPO 4S 1550	14,8	1550	23	3	177

Li-ion 4S 5000	14,4	5000	72	0,72	325
LIPO 4S 5000	14,8	5000	74	4,4	436

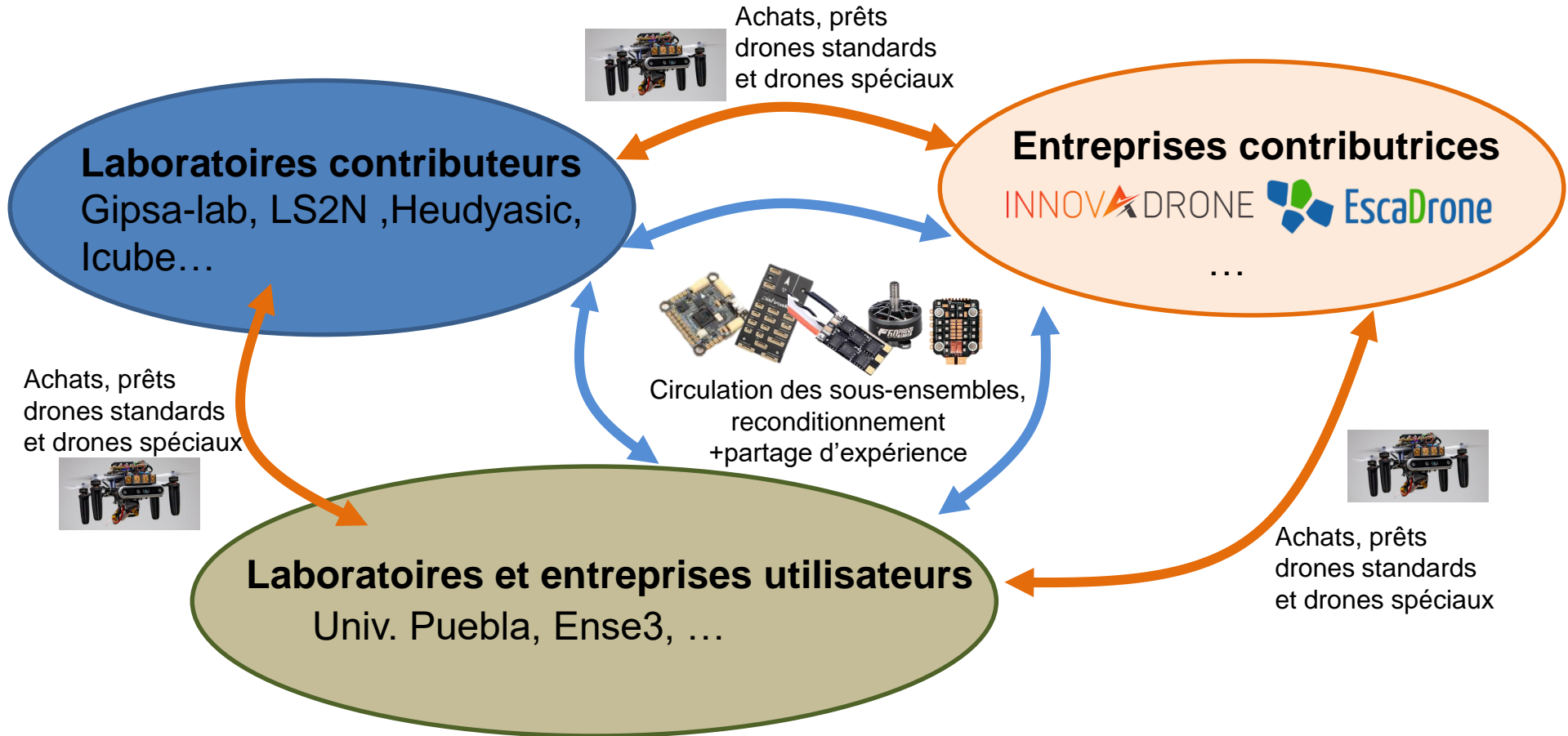


200A



Quand un élément tombe en panne on remplace un élément
 Le stock est partagé entre plusieurs besoins différents

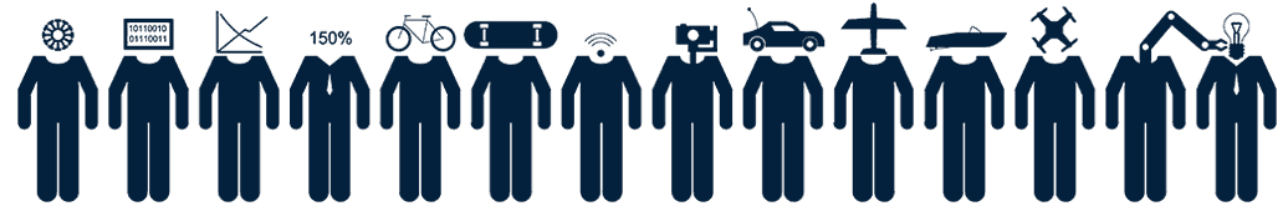
Possibilités d'évolutions: Prise en charge du maintiens des robots pour la recherche par des acteurs académiques, avec partenariat avec un ou plusieurs fabricants



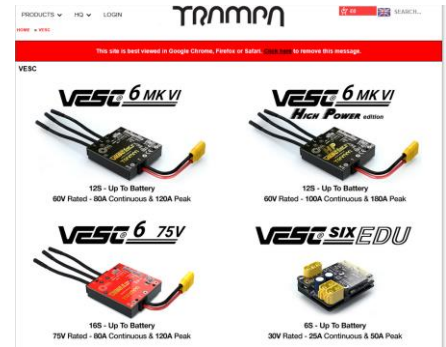
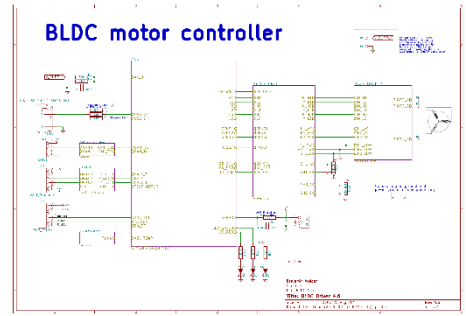
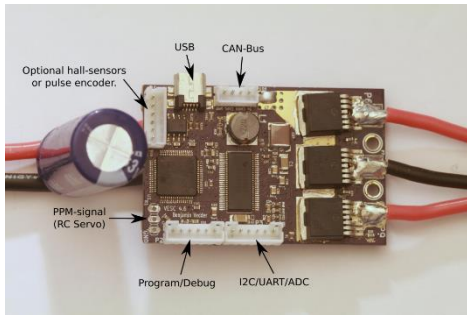
17 Contexte robotique plus large

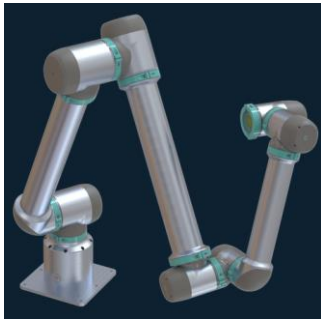
Modularité des actionneurs type Dynamixel contrôle position/vitesse/couple – gamme large de puissance étendue

Contrôleur moteur open source VESC, commande FOC, « de 10W à 100kW »



Distribution Trampboards.com





En robotique de manipulation
 Robco <https://www.robco.de> : modular robot kit

En robotique humanoïde

POPPY-Project – Robot humanoïde open source-hardware

Composition:

1 Raspberry Pi 3 (ou 4)

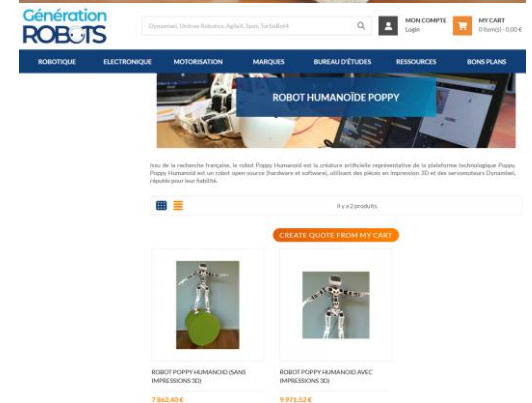
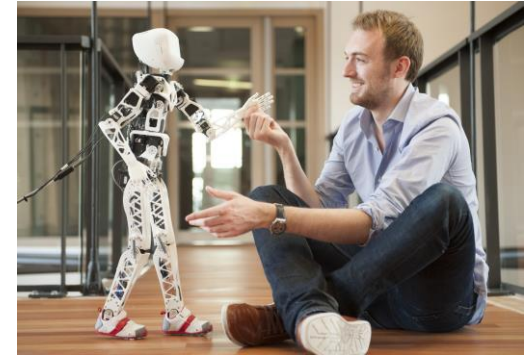
Impressions 3D

19 servomoteurs Dynamixel

Développé par Inria depuis 2012, financement Européen

Communauté open source

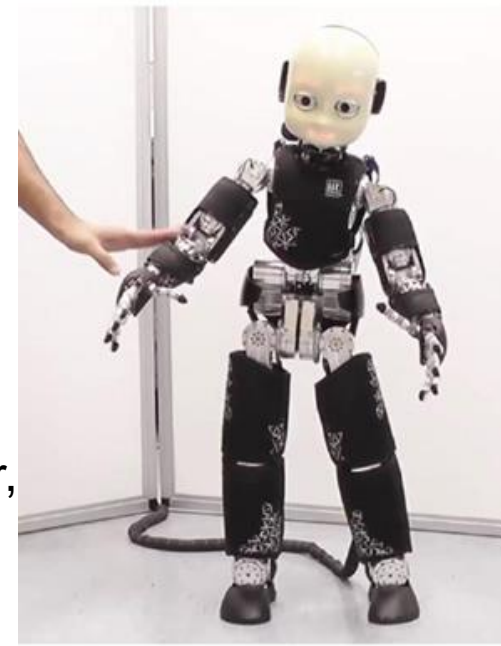
Distribué par Génération Robot 9971€TTC



Robot ICub - IIT Gène : Istituto Italiano di Tecnologia depuis 2004

Laboratoire académique avec une forte activité de recherche en robotique humanoïde, et bénéficie de nombreux fond européens

Robot humanoïde open source, open design, 20 ans d'existence
 Développe et maintiens des robots pour d'autres laboratoires
 « 40 robots fabriqués pour des laboratoires en Europe, US, Singapour, Chine et Japon. »



Retour d'expérience positif au Gipsa-lab (Frederic Elisei, Gérard Bailly)

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Achat Icub + tête articulée 230k€	Achat pièces détachées + formation réparation							PC104 obsolète	Jouvence et remise à niveau PC : 50k€		

La jouvence a permis de surmonter l'obsolescence du PC104, moyennant la suppression des fonctions de marche qui n'étaient pas utilisées au Gipsa-lab



Questions, retours?

Jonathan Dumon, Gipsa-lab/CNRS

A. Nègre, A. Offermann, P. Susbielle, M. Arpa

Projet Tirrex / OMD : I. Fantoni, F. Ruffier, N. Marchand