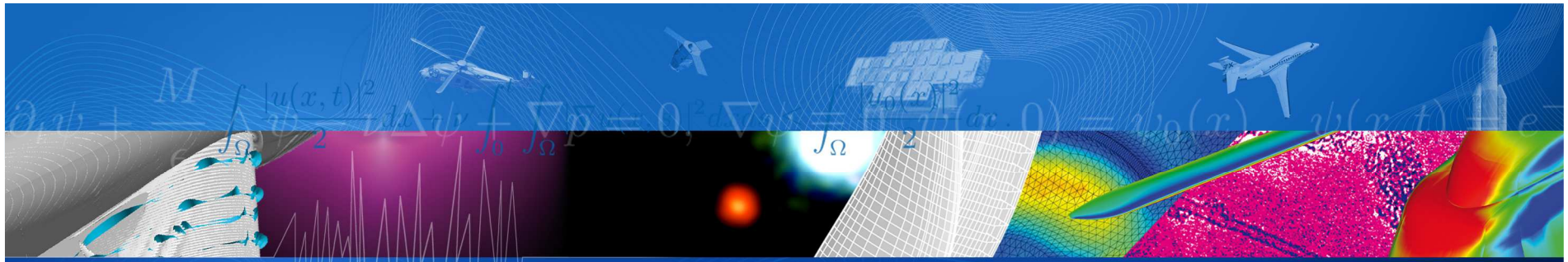


Ground Impact Study

Eléments bibliographiques & campagne expérimentale

Fabien Coussa, Julien Berthe
ONERA DMAS

Philippe Beillas, François Bermond
IFSTTAR

Remerciements à Parrot

Henry de Plinval – directeur du programme drones

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

SOMMAIRE

- Contexte
- L'étude GIS
  - Objectifs et démarche
  - Etat de l'art expérimental
  - Critères de sévérité biomécanique
  - Campagne expérimentale

Contexte – UAS et sUAS

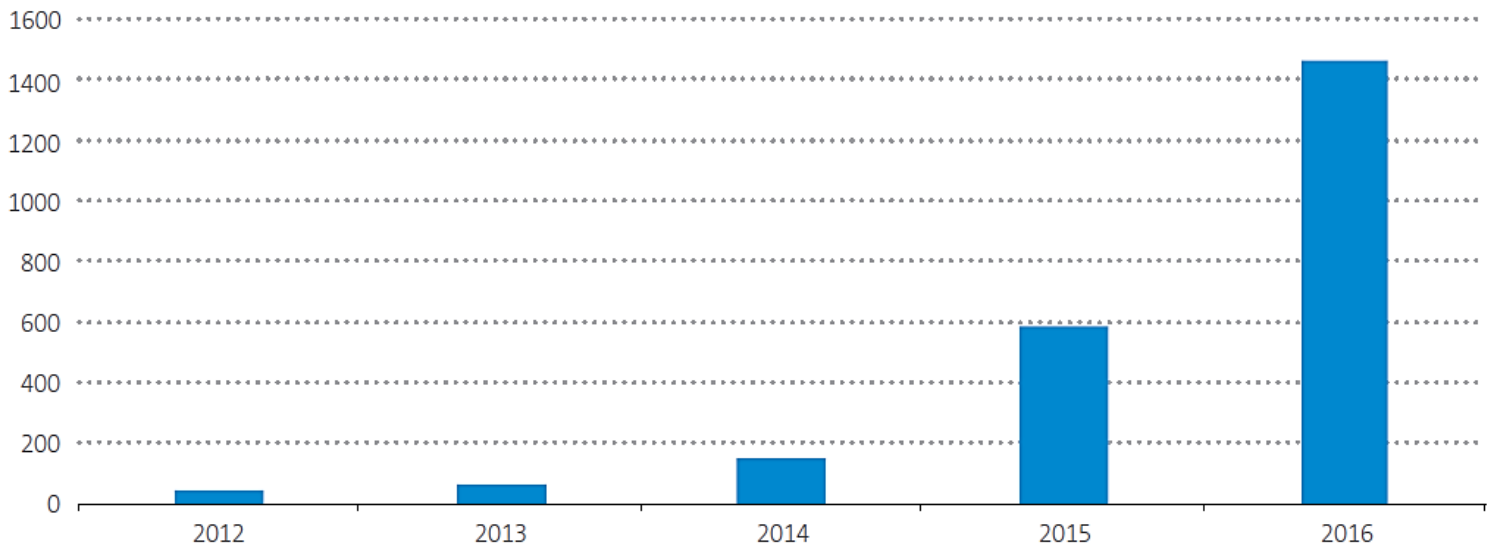
(a) Quadricoptère (b) Voilure fixe (c) Nano-quadricoptère (d) Hybride

	Configuration *quadricoptère*	Configuration *voilure fixe*	Configuration *nano-quadricoptère*	Configuration *hybride*
Unités (2015)	887 755	17 698	8 110	2 771
Unités (horizon 2020)	3 830 073	48 365	57 721	75 837
Marché (2014) (m US$)	663	62	/	/
Marché (horizon 2020) (m US$)	4 934	272	/	385

➔ **Différences notables entre les deux configuration majeures :**

- Quadricoptere : 250 m – 1000 m d'altitude / 20 min d'endurance pour un vent de 10 m/s
- Voilure fixe : 250 m – 7500 m d'altitude / 60 min d'endurance pour un vent de 15 m/s

Contexte – Faits divers accidentels



Quantification du nombre d'occurences liée à un incident lors de l'utilisation de drone

Accidents mortels uniquement liés à l'utilisation de drones semi-professionnels

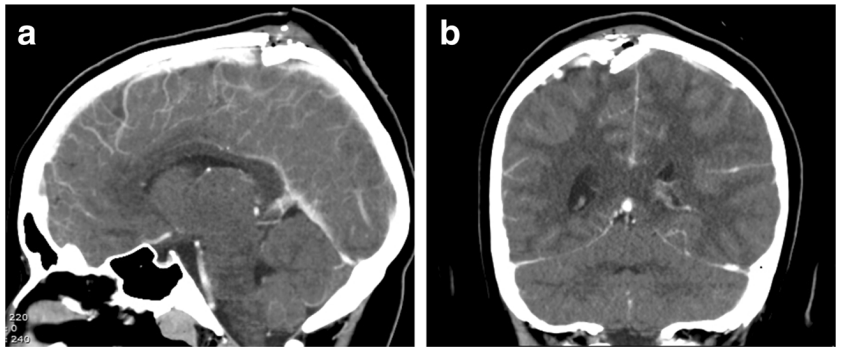
➔ 80 % des accidents non létaux ⇔ masse UAS entre 1 et 3 kg

➔ 96,7 % des accidents ⇔ Configuration quadri-rotors

Contexte – Faits divers accidentels

Années	Profils	Causes	Conséquences
2013	19 ans	Perte de contrôle opérateur	Décès (décapitation)
2013	Adulte	Collision avec immeuble	Contusions mineures
2014	Adulte	Perte de contrôle opérateur	Contusions mineures
2015	Nourrisson 18 mois	Collision avec arbre	Enucléation
2017	13 ans	Accident lors d'une course	**Fracture du crane**

- Masse du drone : **entre 500 et 800 g**
- Impact au niveau du vertex
  → Perte de connaissance + fracture



→ Aucun cas **<u>létal strictement</u>** lié à l'impact de drones de la catégorie C1

→ Inquiétude de la communauté chirurgicale : <u>Although small,</u> these drones can reach speeds over 100 mph and deliver a force sufficient to cause bodily injuries. Forces between 14.1 to 68.5 J, which can be produced by <u>a 500-g drone traveling approximately 17 to 37 mph, are enough to fracture adult human skulls</u> in cadaveric studies

GIS : OBJECTIFS

OBJECTIFS

Evaluer le potentiel létal d'un impact de drones de 900 g

⇩

Etablir une base de données expérimentales

- Maîtrise de l'énergie d'impact par le drone
- Maîtrise des équipements de mesures
- Comparaison et analyse multi-critères

DEMARCHE

Etat de l'art expérimental ➔ Identifier les sources de variabilité

➔ Définir le protocole des premiers cas tests

➔ Réaliser et analyser la campagne d'impacts

ONERA THE FRENCH AEROSPACE LAB

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

A ce jour :

4 organismes ont réalisé des campagnes dédiées à l'impact de drones sur être-humains
(+ Ohio State dans le cadre d'un work-shop non-publié)

ORGANISMES	Protocoles	Equipements	Analyse/Critère
NIAR / UAH			
Politecnico di Torino			
Virginia Polytechnic			
ATMRI Singapour			

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

A ce jour :

4 organismes ont réalisé des campagnes dédiées à l'impact de drones sur être-humains
(+ Ohio State dans le cadre d'un work-shop non-publié)

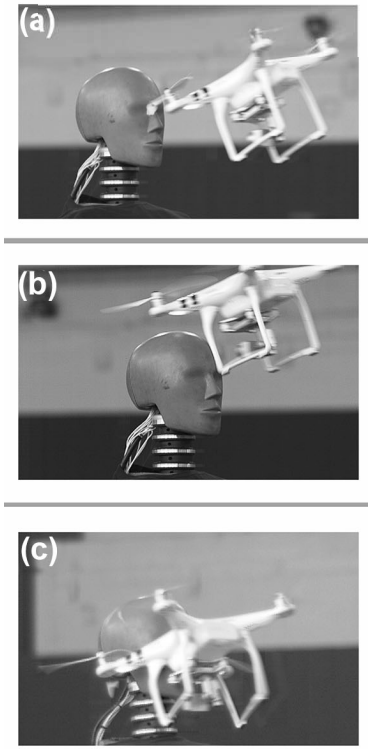
ORGANISMES	Protocoles	Equipements	Analyse/Critère
NIAR / UAH	Drones du commerce		
Politecnico di Torino	Drones « home-made »		
Virginia Polytechnic	Drones du commerce		
ATMRI Singapour	Drones « home-made »		

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

L'étude de la sévérité liée à l'impact de drone : 4 études seulement …

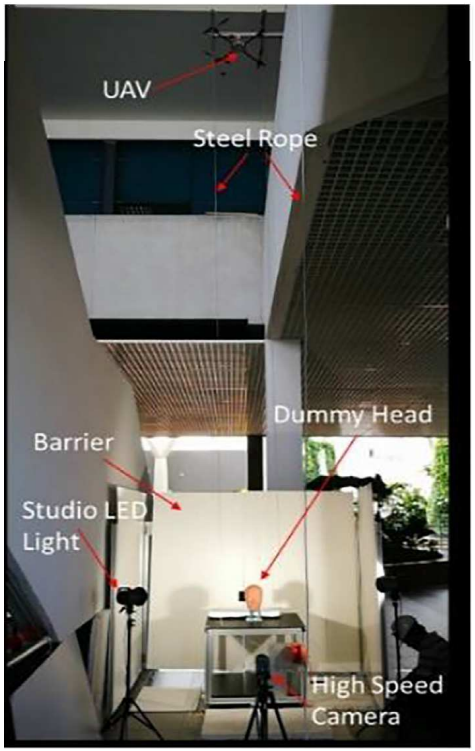
NIAR/UAH

VIRGINIA POLYTECNIC



POLITECNICO di TORINO

ATMRI Singapour



ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

… Dont les résultats peuvent être analysés suivant de multiples critères …
(issus des domaines mécaniques, biomécaniques ou des standards du secteur automobile)

		Protocoles	Equipements	Analyse/Critère
ORGANISMES	NIAR / UAH	Drones du commerce (Phantom 3) Impact frontal/vertical sur puit de chute	ATD HIII Aucune information sur les systèmes d'acquisition	E_{imp} HIC_{15} / AIS g
	Politecnico di Torino	Quadri-rotors / Aile fixe « home-made » Rampe de lancement	ATD HIII Système d'acquisition non renseignés	HIC_{36} Fxyz /Mxyz
	Virginia Polytechnic	Drones du commerce (Phantom 3, Inspire, S1000) Impact frontal piloté Impact vertical chute libre	ATD HIII Système d'acquisition renseignés	HIC_{15} / AIS, Fx, N_{ij} g
	ATMRI Singapour	Quadri-rotors « home-made » Chute libre guidée	ATD HIII Système d'acquisition non renseignés	E_{imp} HIC_{15} / AIS

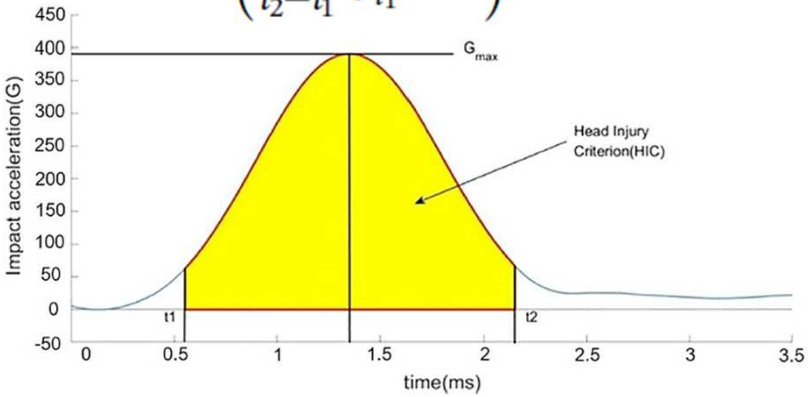
ANALYSE / CRITERES

- **<u>HIC/AIS</u>** vs. Critères énergétiques

Sévérité d'un impact ⇔ Les deux critères les plus utilisés

HIC

$$HIC = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a\,dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1)$$



Standard issu des crash-tests automobiles

Abbreviated Injury Scale

AIS-Code	Blessure	Exemple	Probabilité de mort
1	Mineure	Lacération superficielle	0%
2	Modérée	Fracture mineure du crane	1-2%
3	Sérieuse	Fracture majeure du crane	8-10%
4	Sévère	Fracture mettant en danger de mort	5-50%
5	Critique	Ouverture avec perte de tissu	5-50%
6	Insurmontable	Mort	100%

Classification standardisée pour une blessure à la tête suivant l'AIS

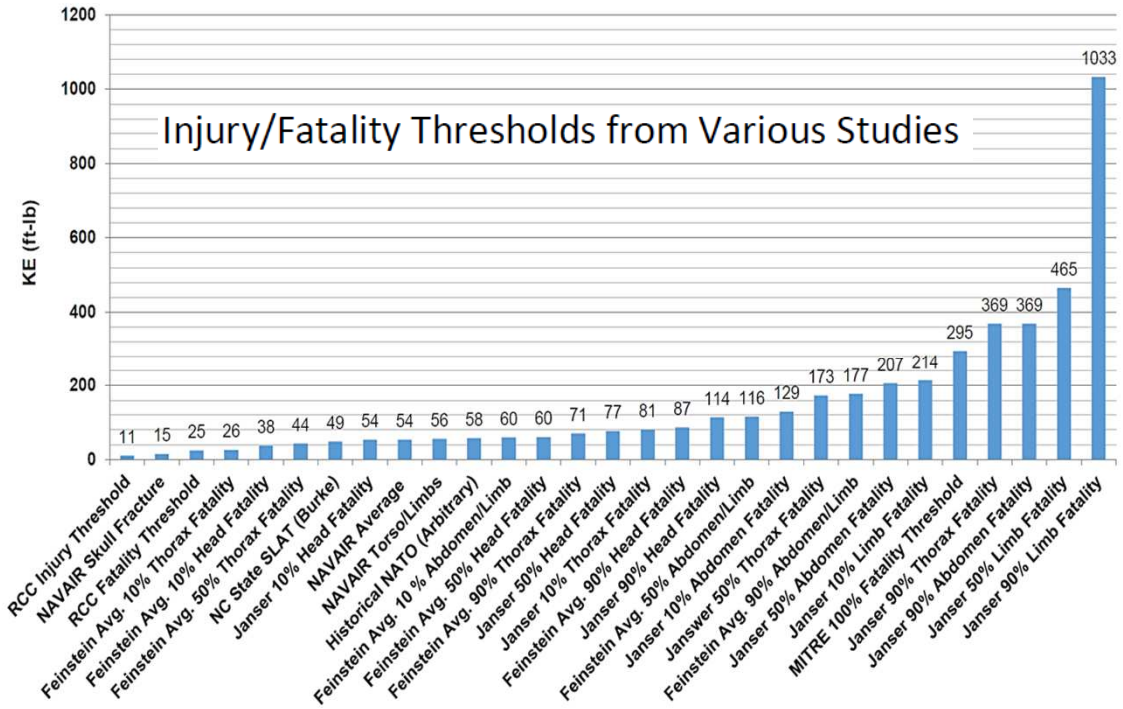
Classification anatomiquement fondée

ANALYSE / CRITERES

- HIC/AIS vs. **Critères énergétiques**

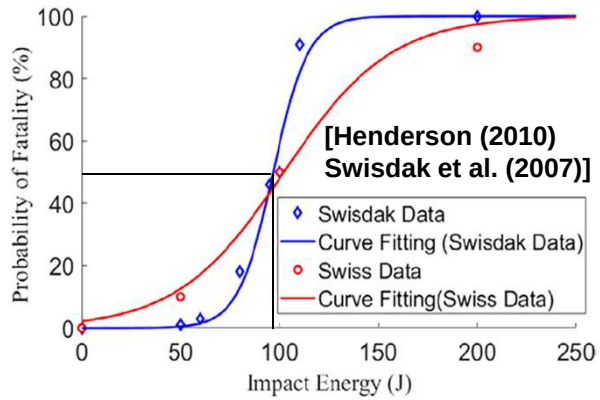
$$E_{imp} = \frac{1}{2} m v^2 \quad \Leftrightarrow \quad F_g = mg \ , F_d = \frac{1}{2} c_D A \rho_A v_{rel}^2$$

L'énergie d'impact reste fortement couplée au coefficient de frottement qui reste une grandeur délicate à évaluer



Seuil d'énergie d'impact critique ⇔ difficulté d'aboutir à un consensus

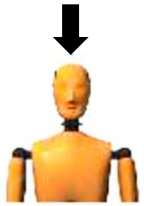
$$P(fatality \mid impact) = \frac{1}{1 + e^{-k(E_{imp} - E_0)}}$$



E_{imp} = 80 J (Critère FAA et EASA) correspondrait à une probabilité de 50% de décès en cas d'impact

ANALYSE / CRITERES

… Et qui amène à une comparaison/évaluation de la sévérité délicate.



	NIAR / UAH 12 m / 1,2 kg	Politecnico Di Torino 12 m / 1,9 kg	Virginia Polytechnic 10 m / 1,2 kg	ATMRI Singapour 10 m / 1,4 kg
E_{imp}	105 J	156 J		122 J
HIC_{15}	40	2988	12	693
P AIS 2/3	0 %		0 %	0 %
g	70		32	121
F	3500 N	6900 N	1936 N	

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

BILAN		Protocoles	Equipements	Analyse/Critère
ORGANISMES	NIAR / UAH	Drones du commerce (Phantom 3)	ATD HIII	E_{imp}, HIC_{15}, AIS, g
		Impact frontal/vertical sur puit de chute	Aucune information sur les systèmes d'acquisition	Conclusion de l'étude : Dangerosité peu probable
	Politecnico di Torino	Quadri-rotors / Aile fixe « home-made »	ATD HIII	HIC_{36}, Fxyz, Mxyz
		Rampe de lancement	Système d'acquisition non renseignés	Conclusion de l'étude : Dangerosité fort probable
	Virginia Polytechnic	Drones du commerce (Phantom 3, Inspire, S1000)	ATD HIII	HIC_{15}, AIS, Fx, N_{ij}, g
		Impact frontal piloté Impact vertical chute libre	Système d'acquisition renseignés	Conclusion de l'étude : Dangerosité peu probable
	ATMRI Singapour	Quadri-rotors « home-made »	ATD HIII	$E_{imp,}$ HIC_{15}, g, AIS
		Chute libre guidée	Système d'acquisition non renseignés	Conclusion de l'étude : Dangerosité fort probable (m > 1,3 kg / Alt > 7 m) (m > 250 g / Alt > 60 m)

Les conclusions issues des études réalisées à l'aide de drones factices (designs et matériaux peu représentatifs de ceux du commerce) peuvent être questionnables

GIS : ETAT DE L'ART EXPERIMENTAL

- Conclusions

➔ Protocoles expérimentaux peu répétables et/ou reproductibles

→ De grandes variabilités dans les données

→ Manque d'informations concernant l'acquisition et post-traitement des données

→ Peu d'informations relatives à la maîtrise de l'impact *i.e.* de l'énergie transmise maximale

➔ Grande variabilité des protocoles et des critères

→ Bases de données difficilement comparable

→ Evaluation de la dangerosité fortement dépendante des critères employés

➔ Campagnes avec drones < 1 kg quasi-inexistante

➔ Campagnes sur configuration aile-fixe quasi-inexistante

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

GIS : DEFINITION DE LA CAMPAGNE EXPERIMENTALE

Caractéristique de la campagne - IFSTTAR

Drone PARROT Anafi

Drone DJI Mavic

- Configuration expérimentale
  - Drones : Parrot Anafi (masse ~ 400 g) et DJI Mavic Pro (masse ~ 800 g)
  - Vitesse d'impact : 16 m/s
  - Cible : Mannequin Hybrid III
  - 3 configurations d'essais / types de drones
  - 3 essais de répétabilité

- Instrumentation et traitement des données
  - Vérin : mesure des déplacements, vitesses et accélérations
  - Acquisition : Machine (20 kHz intégré) / Mannequin 20 kHz → 50 kHz
  - Tête mannequin : 3 accéléromètres 20000 m/s² + 3 vitesses angulaires 200 rad/s
  - Cou mannequin : 3 forces / 3 moments
  - Critères biomécaniques brut : HIC, Bric, N_{ij}, F_{xyz} + (Analyse multi-critères *à postériori*)

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

GIS : DEFINITION DE LA CAMPAGNE EXPERIMENTALE

Caractéristique de la campagne - IFSTTAR

Drone PARROT Anafi

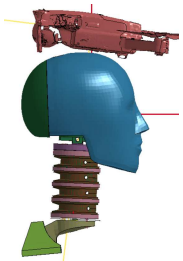
Drone DJI Mavic

- Plan d'expérience V1 :

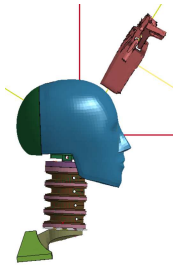
NB : Alignement des centres de gravité drone/mannequin pour chaque configuration

→ L'idée étant de considérer le pire des cas en terme de transfert d'énergie

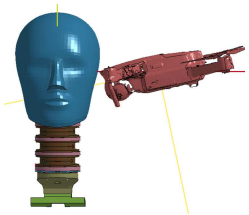
- Configuration A : Impact sur vertex



- Configuration B : Impact frontal orienté à 58°



- Configuration C : Impact pariétal

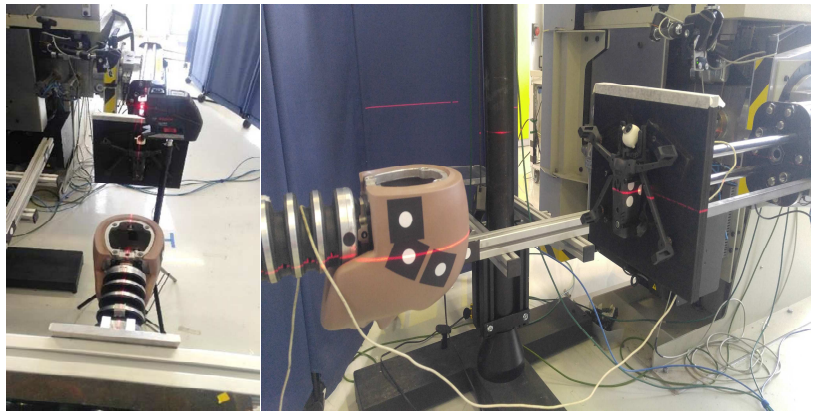


ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

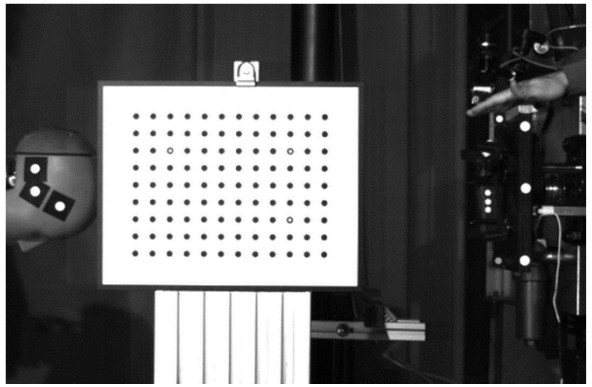
GIS : CAMPAGNE EXPERIMENTALE

Campagne expérimentale – 1ère série d'essais

Environnement expérimental



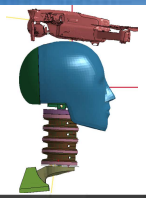
Alignement des centres de gravité par centrage laser



Calibration corrélation d'image (1 fois / config. / drone)

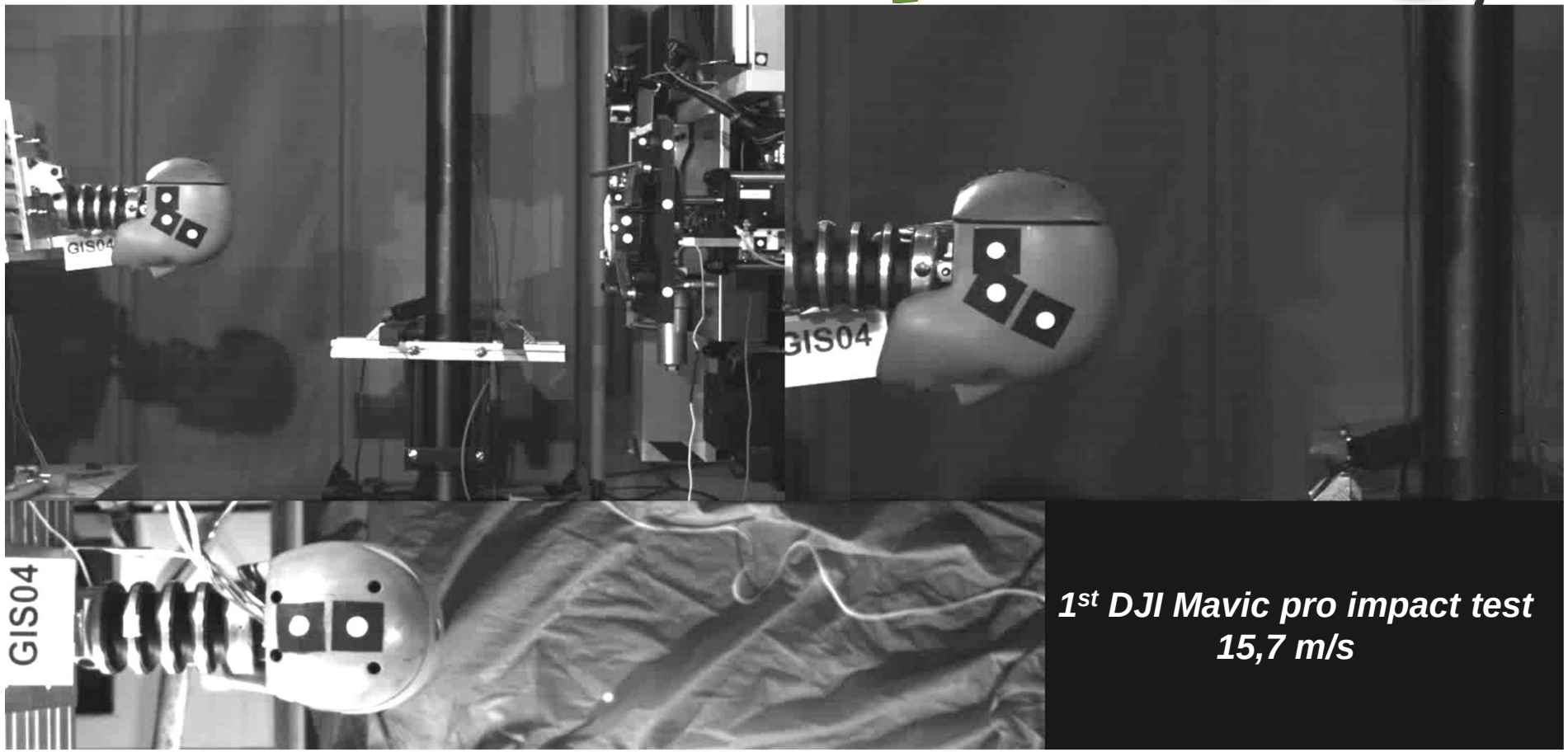
GIS : EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Campagne expérimentale – 1ère série d'essais



Drone PARROT Anafi

Drone DJI Mavic

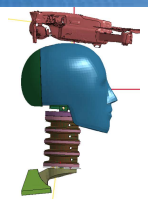


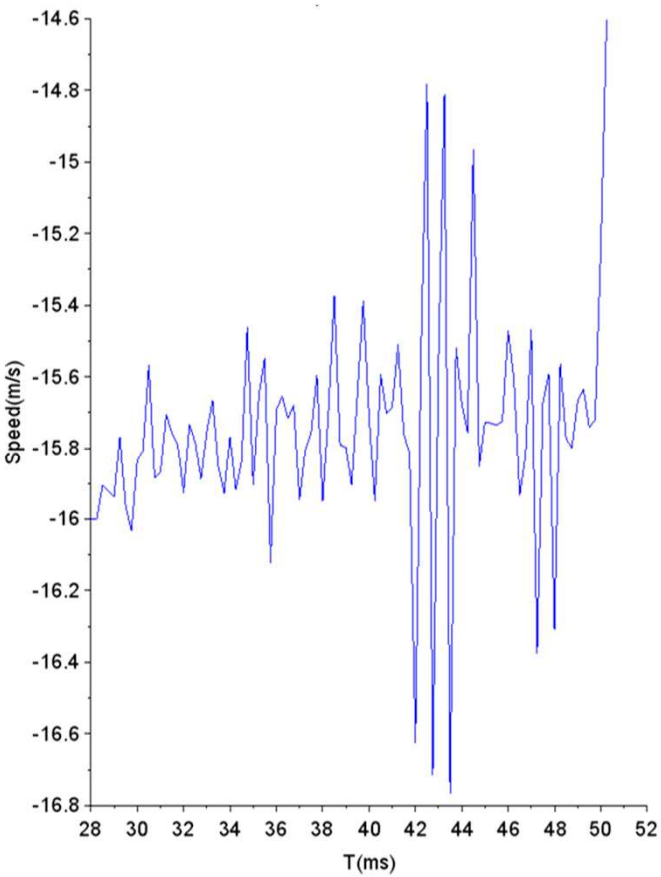
1st DJI Mavic pro impact test
15,7 m/s

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

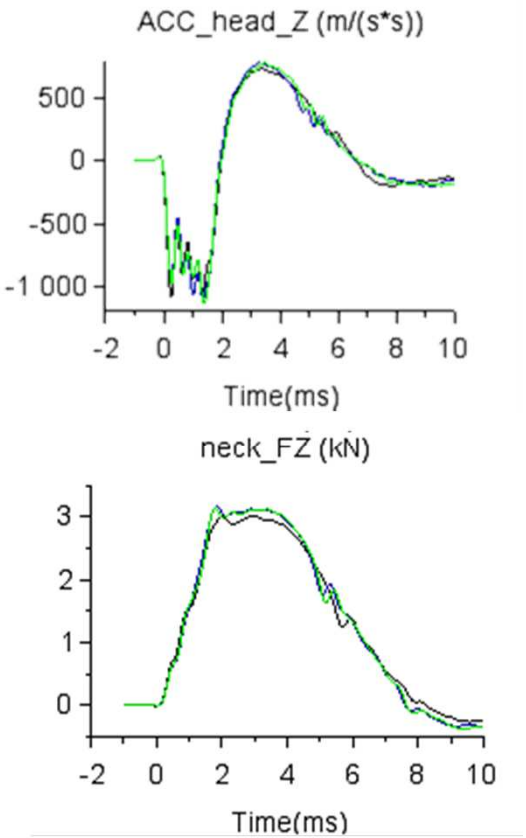
GIS : EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Campagne expérimentale – 1ère série d'essais

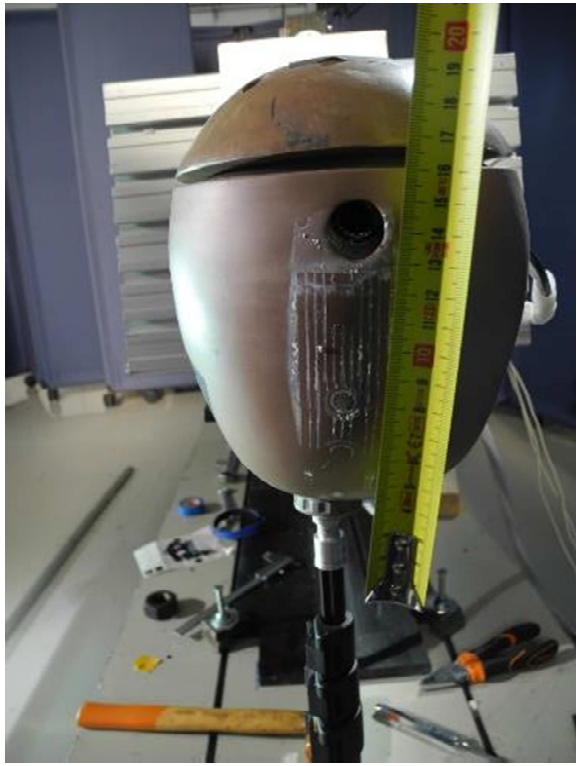




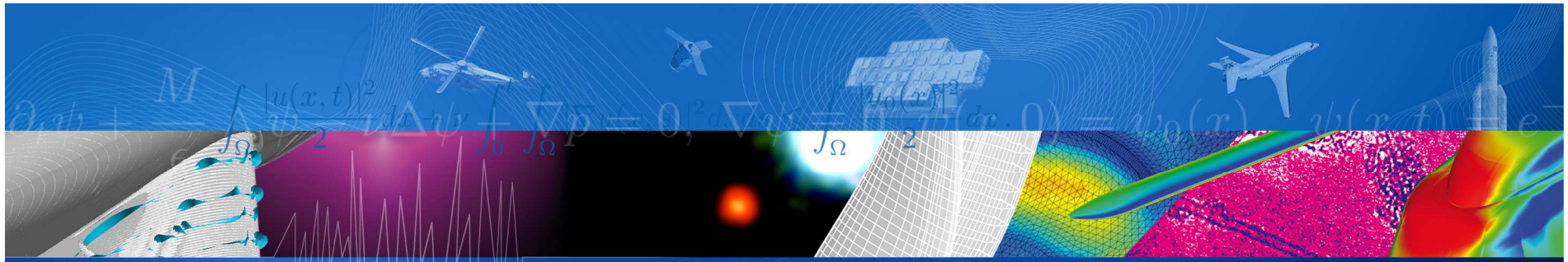
Mesure de la vitesse du drone



Mesure des accélérations (3 essais)
→ Protocole peu dispersif



Mesure de la surface d'impact possible



Ground Impact Study

Eléments bibliographiques & campagne expérimentale

Fabien Coussa, Julien Berthe
ONERA DMAS

Philippe Beillas, François Bermond
IFSTTAR

Remerciements à Parrot

Henry de Plinval – directeur du programme drones

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

Conventions drone DGAC

- ✓ PHYDIAS « Drones Innovants pour de nouvelles Applications et une Sécurité accrue », soutien filière
- ✓ GIS « Ground Impact Study » : chute d'un drone sur une personne, 2018~19

AVOCETTES

(AViOnique sûre et séCuriséE pour nouvelles mobiliTés et auTonomiE – Surveillance étendue)

- ✓ Technologies pour l'autonomie : SPO, grande élongation, UAM
- ✓ 2016-18 Ops intérimaires ~ PMEs,
- ✓ 2019-2022 avec Safran-Thales-Orange

Fin du projet H2020 INACHUS

- ✓ Localiser victimes lors de crises
- ✓ ONERA chargé démonstrations

Urban Aerial Mobility / Logistique Urbaine

- ✓ Pré-étude avec Airbus, Thales, Safran, La Poste, Cdiscount + lien autres propositions CORAC
- ✓ Caractériser les environnements, les contraintes, développements nécessaires
- ✓ Initiative européenne : réponse de Toulouse Metropole

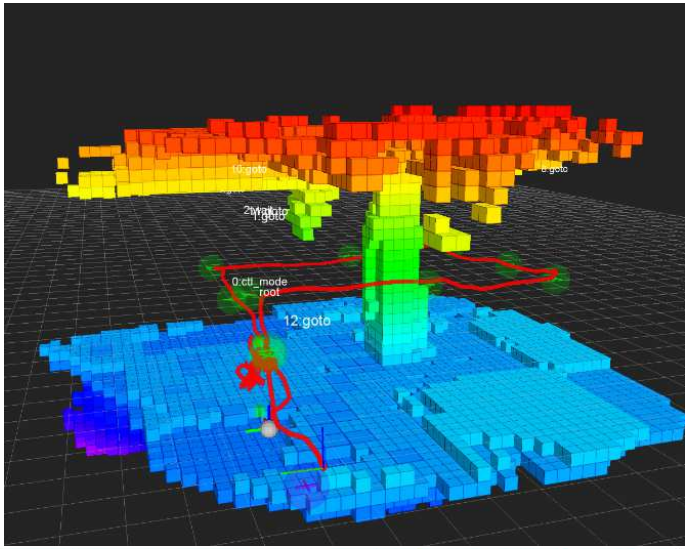
Partenariat de recherche industrielle SNCF – ONERA

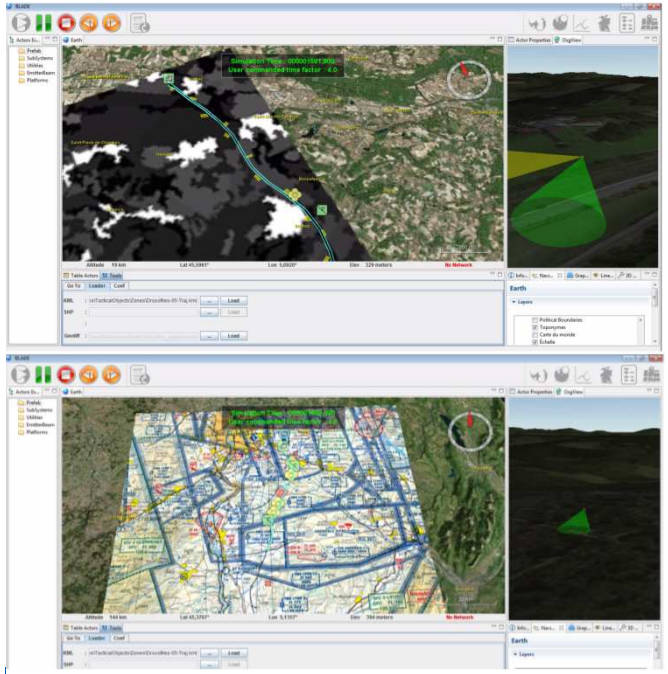
Contact: sylvain.bertrand@onera.fr

Thèmes de recherche:

- Analyse Système;
- Réglementation et sécurité;
- Stations sol;
- Capteurs et charges utiles;
- Traitement de données;
- GNC et perception pour des vols sûrs et automatisés

Exploration automatique de zone avec une perception 3D embarquée

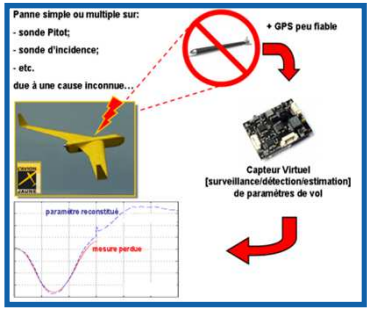




Simulation pour évaluation de la sécurité, comparaison d'architectures et de CONOPS et élaboration de spécifications

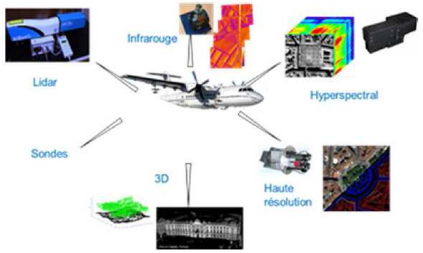
Traitement de données pour lever des alarmes sur anomalies suspectées

- DROPTER



Nouveau drone hélicoptère 100kg

- ANGE
- VISION
- TERRISCOPE

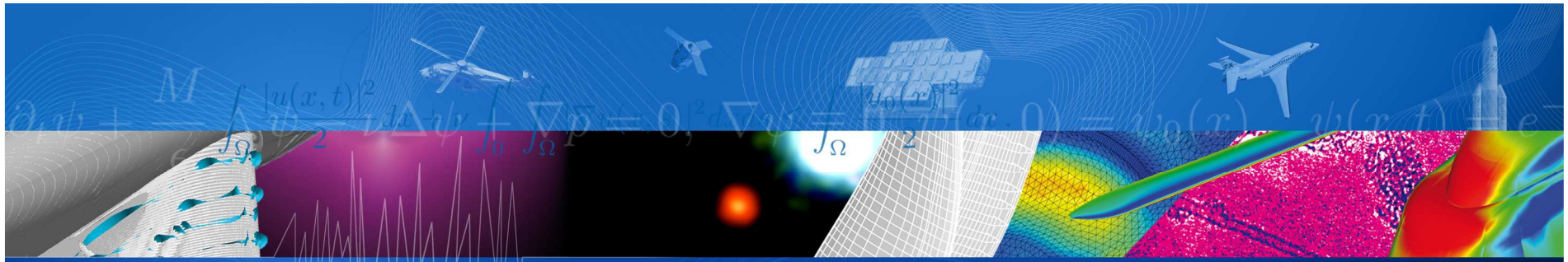


- CORUS
- ERA

- VSR700

Nouveau drone avion 75kg

- SHIELD



Questions ?

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB