



Frédéric Foucher¹, Guillaume Guimbretière^{2,3},
Keyron Hickman-Lewis¹, Fabio Messori¹, Frances
Westall¹, Maïtine Bergounioux⁴, Nicolas Villeneuve⁵,
Andrea Di Muro⁵, Anthony Finizola⁵, Eric Delcher⁵,
Lionel Lapierre⁶, Sébastien Druon⁶, et Alain
Queffelec⁷

¹CBM, UPR CNRS, Orléans (INC, INSB)

²CEMHTI, UPR CNRS, Orléans (INC)

³LACy, UMR CNRS/Météo France/Univ. La Réunion, St Denis (INSU)

⁴MAPMO/Institut Denis Poisson, UMR CNRS/Univ. Orléans (INSMI)

⁵OVPF(IPGP), UMR CNRS/Univ. Paris Sorbonne, La Réunion (INSU, INEE)

⁶LIRMM, UMR CNRS/Univ. Montpellier (INS2i, INSIS)

⁷PACEA, UMR CNRS/Univ. Bordeaux (INEE, INSHS)

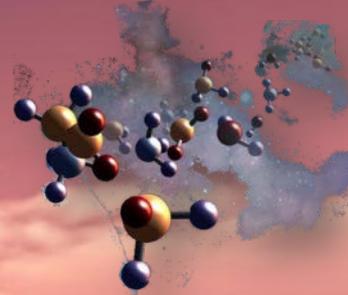


Réflexion sur l'utilisation de drones comme vecteurs robotiques pour l'exploration en environnements extrêmes et/ou difficiles d'accès

DEVIL (Drone Exploration for Versatile In situ Learning)

Exobiologie?

L'exobiologie s'intéresse à l'origine de la vie et son évolution sur Terre comme ailleurs dans l'Univers.



Le groupe exobiologie du CBM

Fondé par André Brack, maintenant dirigé par Frances Westall.



Chimie
prébiotique



Chimie
"spatiale"



Micropaléontologie
et géologie



Exploration
spatiale



Microbiologie

T. Georgelin et A. Brack

F. Westall, K. Hickman-Lewis et F. Foucher

F. Westall

Comment détecter une vie microbienne?

Preuve directe:

- Observation de colonies microbiennes.

Preuves indirectes:

- Biomolécules (e.g. acides nucléiques)
- Biogaz (e.g. méthane)
- Biominéraux (e.g. vaterite)
- Biostructures (e.g. stromatolithes)

Comment détecter des microfossiles de plusieurs Ga?

Preuve directe :

- Observation de colonies microbiennes fossilisées. Pas suffisant.

Preuves indirectes:

~~- Biomolécules (e.g. acides nucléiques)~~ → matière carbonée. Pas suffisant.

~~- Biogaz (e.g. méthane)~~

- Biominéraux (e.g. ~~vatérite~~) → quelques biominéraux. Pas suffisant.

- Biostructures (e.g. stromatolithes fossilisés). Pas suffisant.



Nécessite un faisceau de preuves!



Satellites

DU GLOBAL



Appareils
photo



Microscopes



Spectromètres

Une approche
multimodale et
multiéchelle

AU LOCAL

+ sur Terre



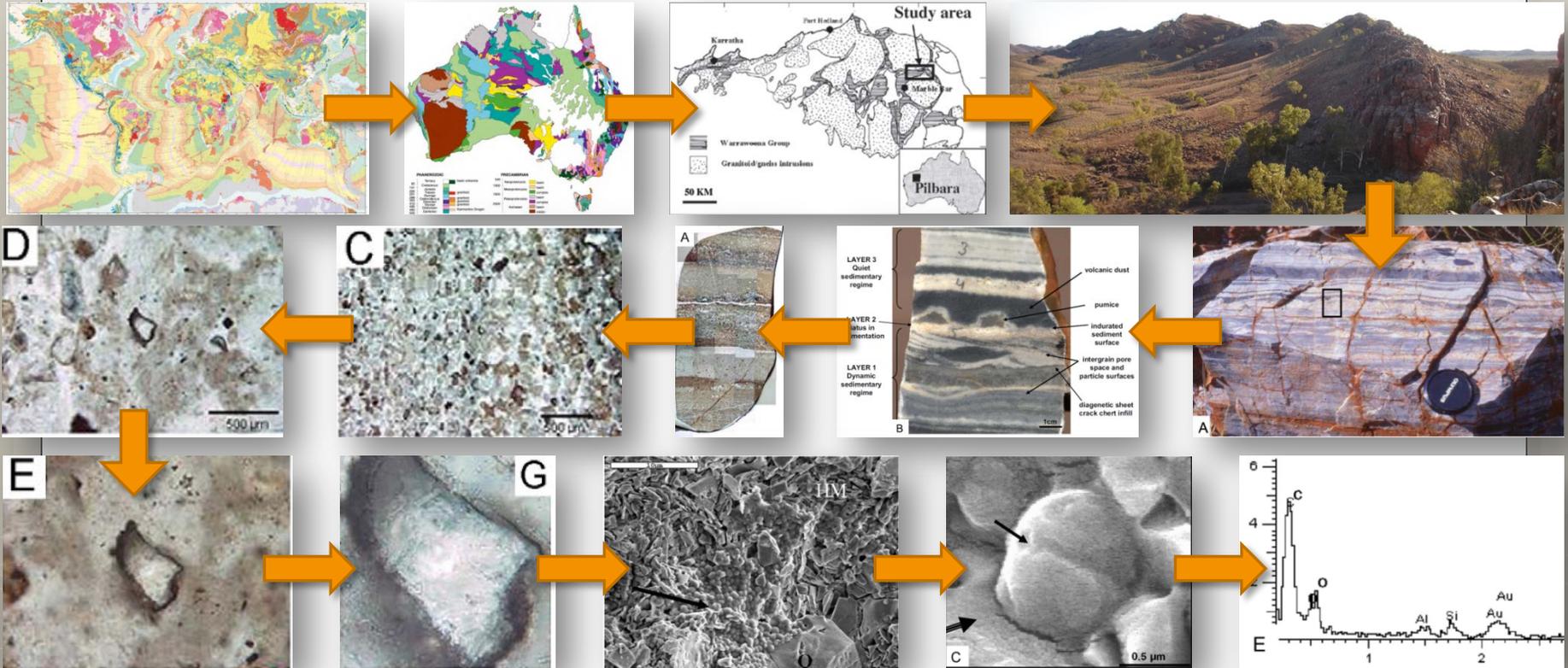
Microscopes électroniques



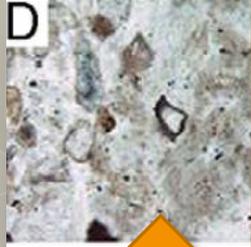
SOLEIL
SYNCHROTRON

Synchrotron

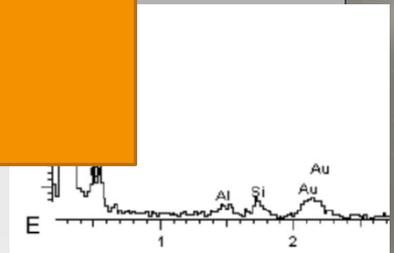
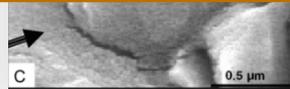
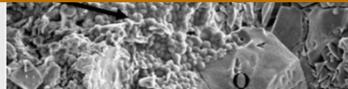
En pratique, ça...



...mais aussi ça !



Importance du contexte géologique!



Problèmes

- Sur Terre

Echantillonnage crucial

Zones difficiles d'accès possiblement intéressantes

- + sur des corps extraterrestres (Mars...)

Conditions environnementales

Instrumentation limitée

Protection planétaire

Une problématique interdisciplinaire

Exploration planétaire



Moi

Volcanologie



Guillaume et Nicolas

Archéologie



Alain



Robotique



Lionel et Sébastien

Imagerie



Maitine

Spectroscopie



Moi et Guillaume

Milieu extrême ou difficile d'accès?

Milieu caractérisé par :

- Des conditions environnementales difficiles (T, P, pH...) et/ou
- Son isolement (sommets, falaises, grottes...) et/ou
- Sa fragilité (biotopes, peintures...) et/ou
- Son instabilité (éruptions, friabilité...) et par conséquent
- Sa dangerosité

Volcans:

Instables, chauds, acides,
isolés, dangereux



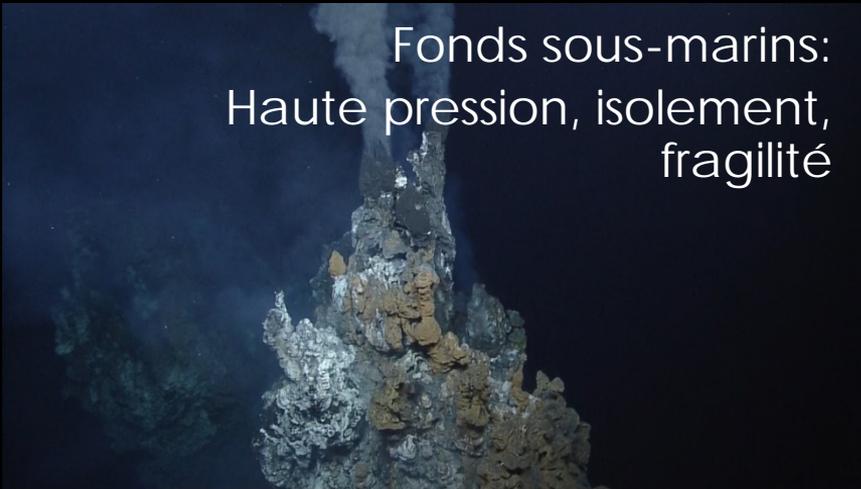
Quelques exemples



Grottes:

Fragiles, isolées,
potentiellement
dangereuses

Fonds sous-marins:
Haute pression, isolement,
fragilité



Corps extraterrestres:

Isolés, fragiles, peuvent être instables,
froids, chauds, acides...



Une solution?



Le drone

Le projet DEVIL

Drone Exploration for Versatile In situ Learning
Défi Instrumentation aux Limites 2017 (MITI)

Les drones - avantages

- Vol à basse altitude et vol stationnaire

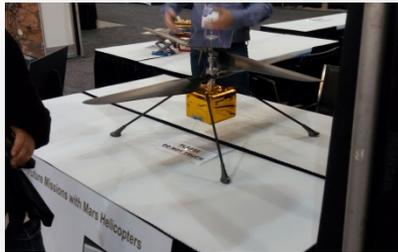


S'approcher au plus près et faire le lien entre échelles décimétrique et décamétrique

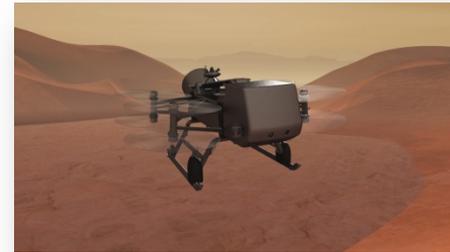
- Peuvent transporter des charges utiles



Instrumentation embarquée

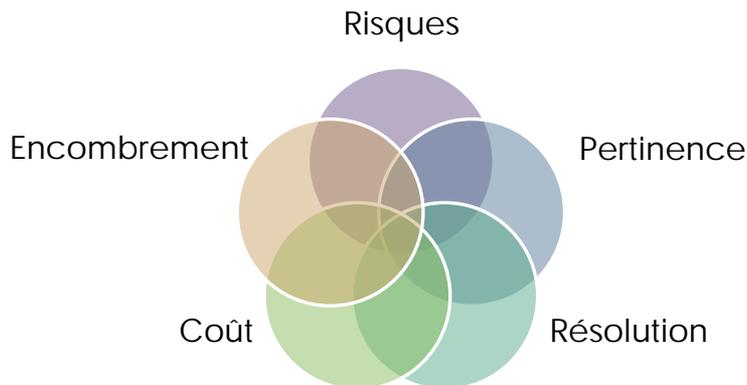


Mars helicopter,
Mars2020,
NASA (2020)



Drone Dragonfly
d'exploration de Titan,
NASA (2034)

Trouver des compromis entre:



Pour être pertinent, un instrument doit avoir une certaine résolution

➔ Instruments puissants

MAIS

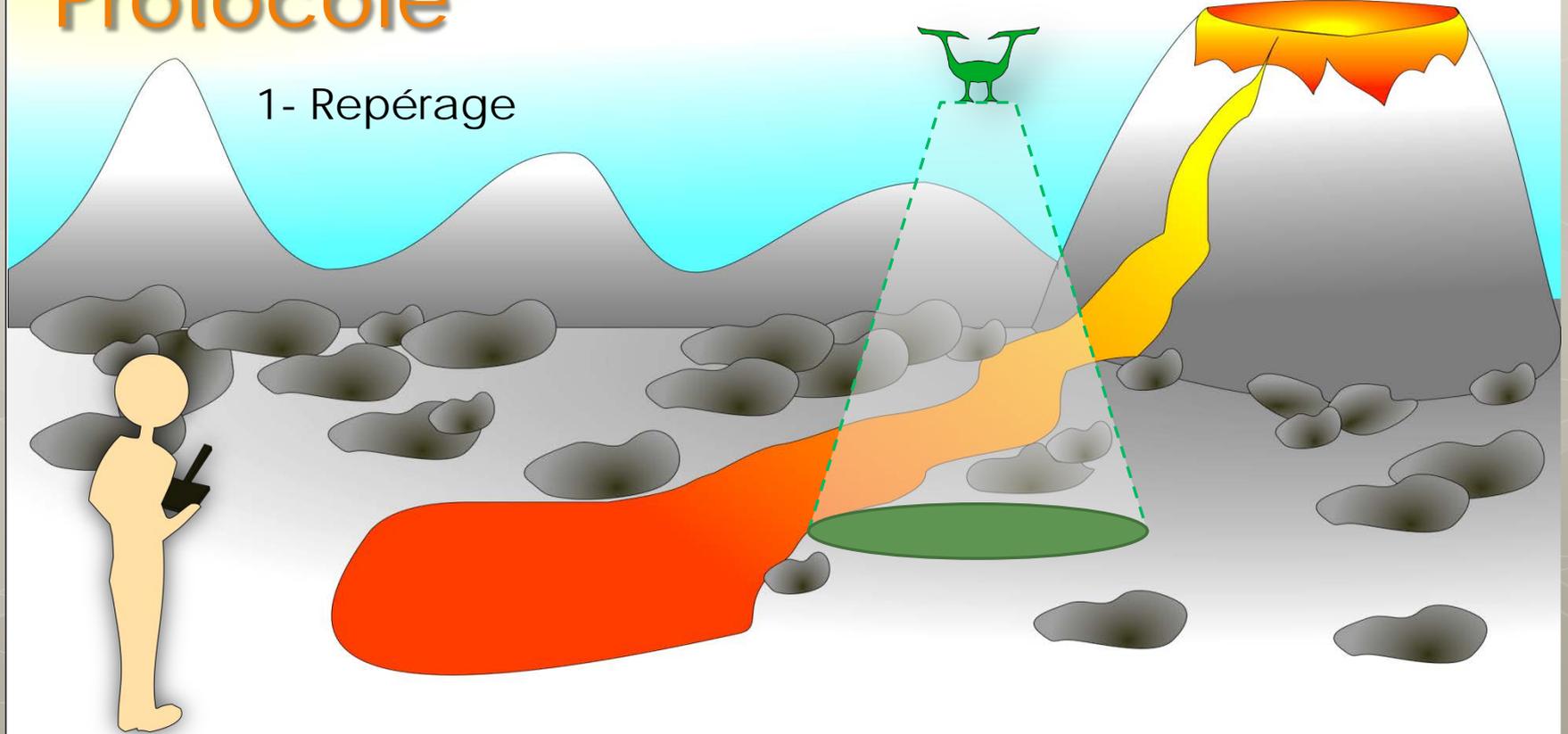
Pour être embarqué sur un drone, un instrument doit être petit, peu consommateur d'énergie et rapide

➔ Instrumentation embarquée sur le drone trop limitée

➔ Solution = Dépose d'une charge utile et/ou prélèvement d'échantillons

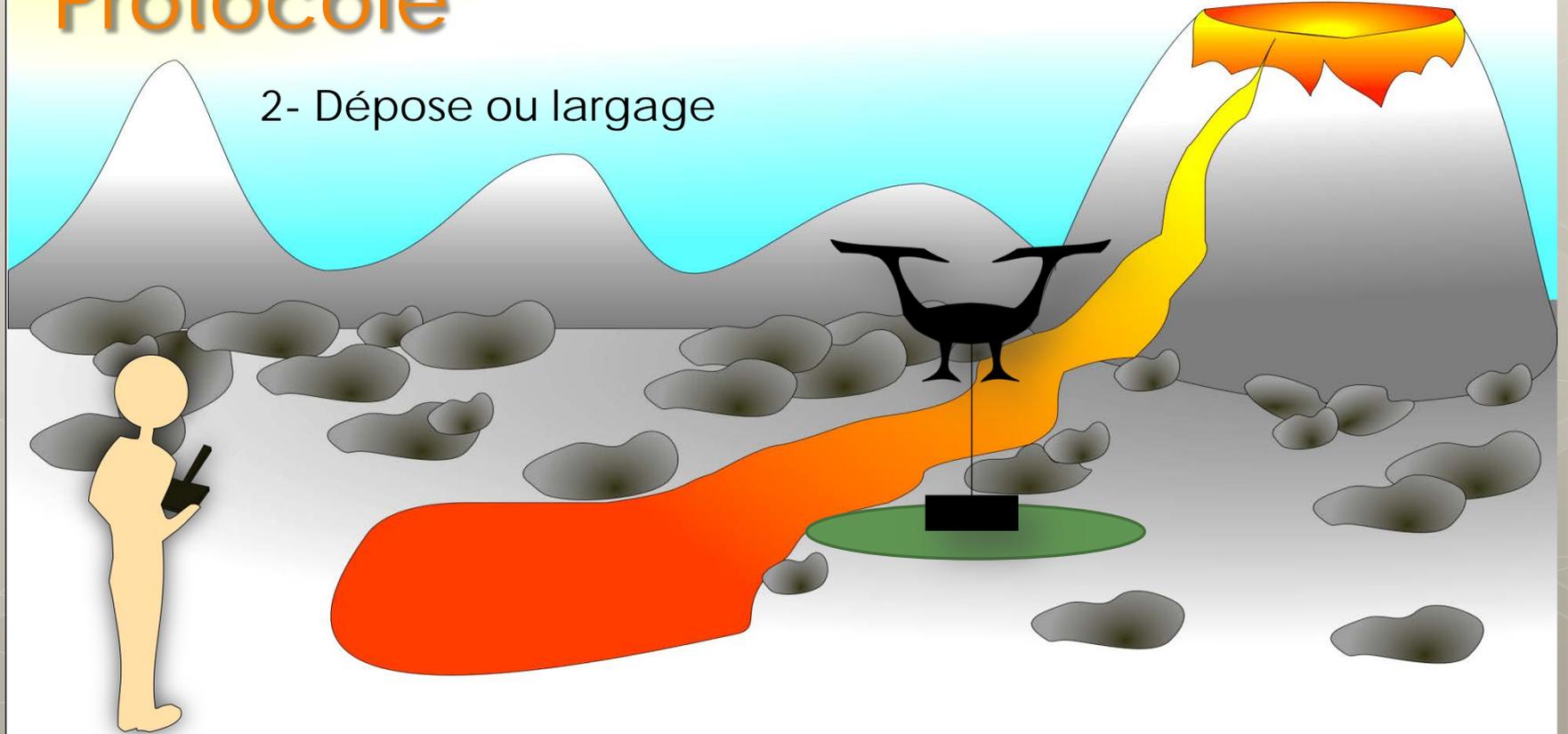
Protocole

1- Repérage



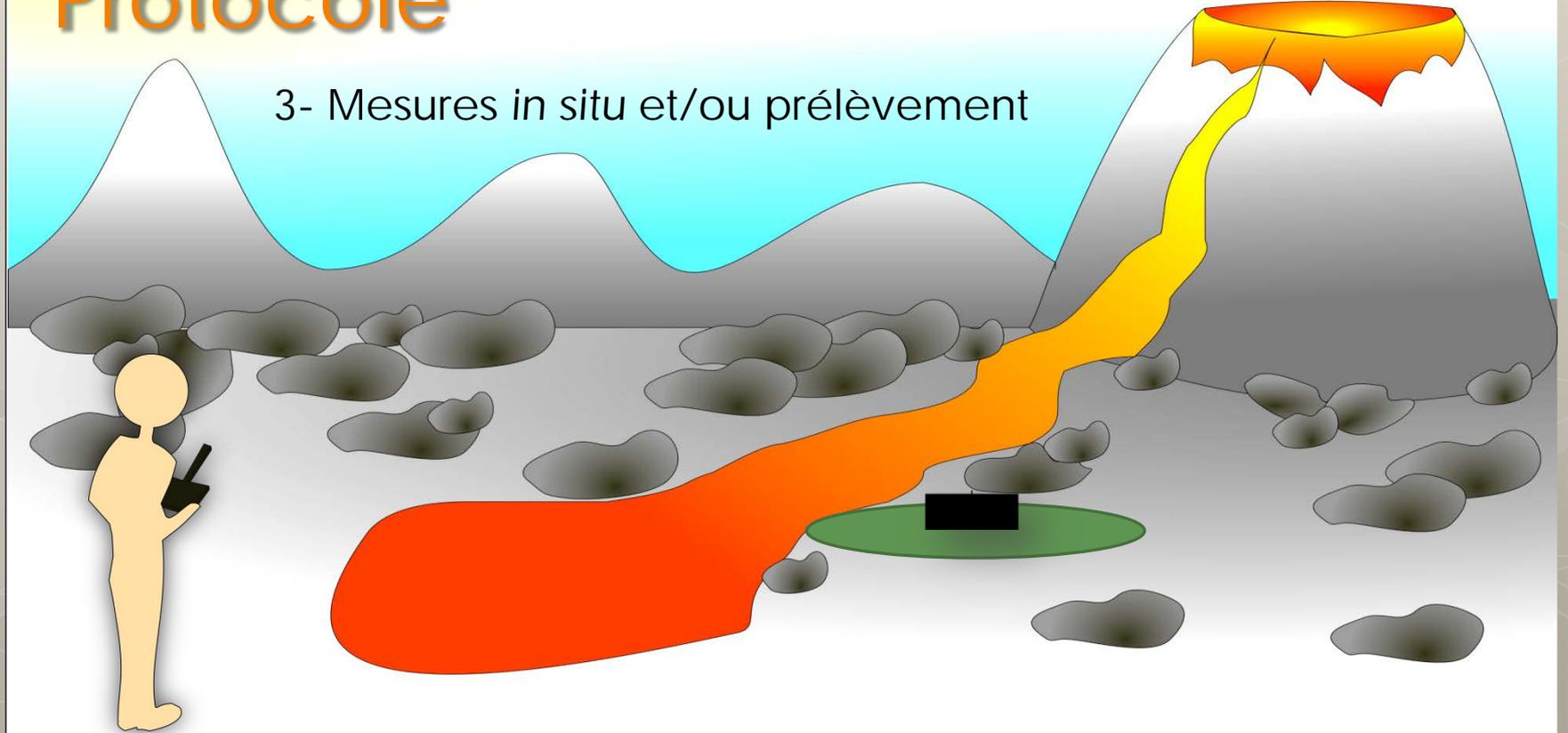
Protocole

2- Dépose ou largage



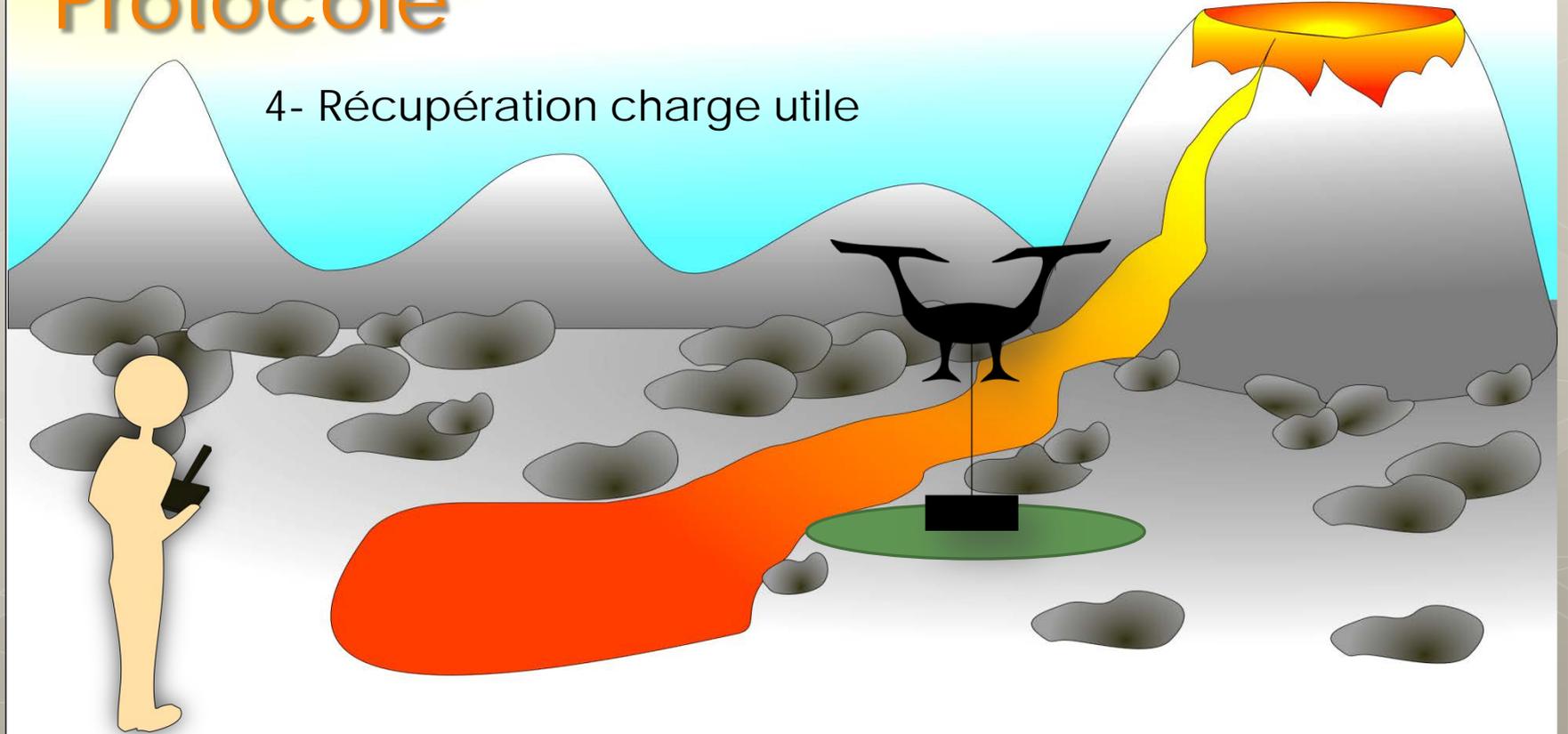
Protocole

3- Mesures in situ et/ou prélèvement



Protocole

4- Récupération charge utile



Drones

- Instruments commerciaux (rapport qualité prix, facilité d'utilisation, ready-to-fly)



DJI Mavic Pro
Pliable
Ultraportable



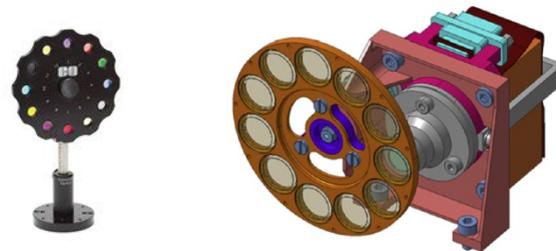
DJI Phantom 4 Pro
Transportable
Excellente qualité d'image



DJI Matrice 600 Pro
Jusqu'à 7kg de charge utile

Instrumentation

- Caméra optique avec roue à filtres
Identique à PanCam ExoMars 2020 (imagerie UV-Vis-NIR) Cousins et al., 2012



- Spectromètre UV-Vis-NIR
Ponctuel avec contrôle de l'illuminant

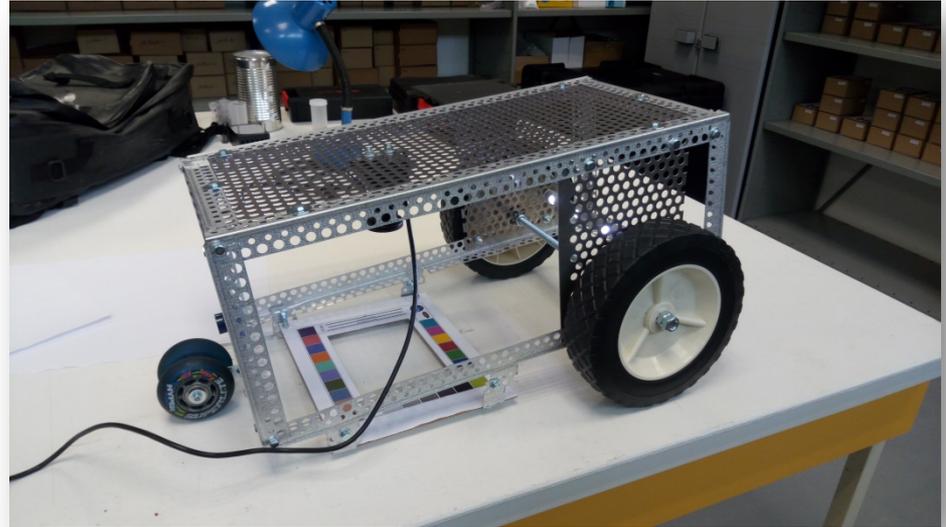


- Spectromètre Raman
Ponctuel avec source laser



La « caisse » et la « chariotte »

- « Caisse » = boîte modulaire
 - Dépose par électroaimant
 - Possibilité de monitoring



- + Roulettes = « chariotte »
 - Analyse des surfaces verticales

Validation

- Mission de terrain vers Fontainebleau



Photogrammétrie 3D (Mavic)



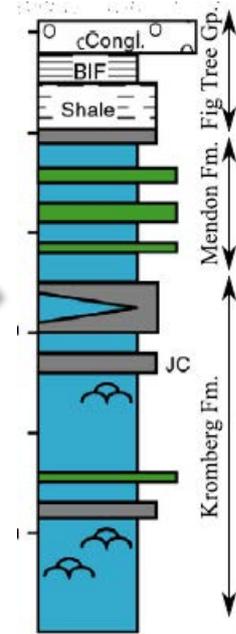
Repérage (Phantom 4)

Validation

- Mission de terrain vers Fontainebleau



La « chariotte » en action



A La Réunion



Largage de charges utiles dans les panaches volcaniques ou à proximité du cratère équipées de :

- Mini-capteurs de gaz
- Compteur de particules
- Impacteurs

Réseau drones sensu lato ?



i.e. incluant :

- drones volants, ballons, rovers, sous-marins, navires, animaux...
- instrumentation embarquée
- science associée dans divers environnements

Cf. Poster 2.3

Le projet Jules Verne 2028

Dépôt d'un projet COST Horizon 2020 impliquant une centaine de chercheurs

Belgique



La Réunion



Maroc



Base martienne



Méditerranée



Islande





Merci!