



Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

L'exploration spatiale du système solaire : l'apport des nanosatellites (LabEx ESEP), UPMC, 10 décembre 2014

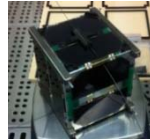
# UN MICRO-PROPULSEUR PLASMIQUE POUR LES RENDEZ-VOUS ET LA DESORBITATION DES NANOSATELLITES

Marcel GUYOT, Stéphane DENISE, Michel TESSIER, Groupe d'Etude de la Matière Condensée, CNRS/Université de Versailles St-Quentin en Yvelines - CNRS, 78035 Versailles  
Laurent DUSSEAU, Frédéric SAIGNE, Institut d'Électronique du Sud, IES, Université de Montpellier 2-CNRS, 34095 Montpellier  
Muriel BERNARD, Sup' Sats Association, Université de Montpellier 2-CNRS, 34095 Montpellier  
Jonathan TANRIN, Jérôme PARISOT, Marion BONAFIOUS, Yann HELLO, Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique, LESIA, Observatoire de Paris - CNRS, UMR 8109, Meudon  
Coralie ELMALEH, Pierre CLAUDE, Badaoui EL MABSOUT, Michel DUDECK, UFR d'Ingénierie, Institut d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie - CNRS, UMR 7190, 75252 Paris

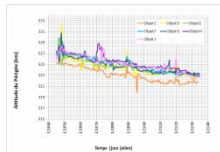
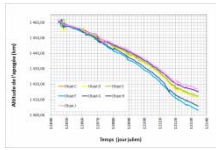
## LANCEUR VEGA – FEVRIER 2012

Lanceur européen (satellites 300kg - 2t), hauteur: 30m, masse: 130t, masse embarquée: 1,5t  
3 étages (propulsion solide) and 1 étage (propulsion liquide)  
Vol inaugural: 13 fév.2012 à partir de la base de Kourou (Guyane) avec 7 nanosatellites de:

Pologne, Italie, Hongrie, Espagne, Roumanie, France (Robusta 1)



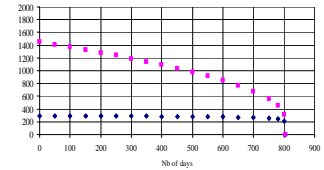
Nanosatellite Robusta 1 (IES, Univ. Montpellier2)



## ORBITES APRES FEVRIER 2012

Orbite initiale: z (apogée) = 1450km, z (périgée) = 327km  
Modélisation: coefficient de frottement Cd = 2,2 section A = 0,015m² =>

<= Two Lines Elements - US Gov. informations and data



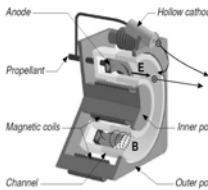
Apogée et périgée de Robusta 1 (modélisation)

## ACTUELLEMENT: AUCUN CUBESAT EQUIPE DE PROPULSEUR(S)

- Trajectoires fonctions uniquement des conditions d'injection dans l'espace et du frottement sur l'air ambiant

## PROJETS DE MICRO-PROPULSEURS

- μLPPT, Pologne, arc-jet (Japon, Allemagne), PPT (Autriche), liquide ionique (Suisse, Pays bas, US), ion thruster (US),
- Missions possibles: désorbitation en fin de vie, maintien altitude, contrôle attitude, rendez-vous, vol en formation, mission lointaine
- Contraintes: puissance disponible, poids, dimensions, possibilité de réallumages multiples, performances, consommation en ergol



## PROPOSITION: UTILISATION D'UN PROPULSEUR A PLASMA A EFFET HALL

- Gaz: xénon (masse élevée, faible énergie d'ionisation)
- Barrière par un champ magnétique radial créé par des bobines extérieures et intérieures ( $B_{max} \approx 200$  G)
- Cathode externe émettant des électrons: 88 mN (5 mg/s xénon);  $I_{sp} : 1720$  s ( $V_{ions} \approx 20$  km/s);  $P : (1500$  W)
- $U = 350V$ ;  $I = 4.3A$ ; rendement = 55%; rendement d'ionisation: 90%

### SMART-1 ESA (27 sept. 2003)

- Cube: 1m, 82kg Xe, 19kg d'appareils scientifiques, PPS1350 G Snecma: 70 mN, 1600 s (1350W)
- Après 84 millions de km - 15 nov. 2004 > 5000 km de la Lune (point de Lagrange)
- Orbite lunaire entre 300 km et 1000km - consommation en Xe: 59 kg sur 82 kg



Smart 1 ESA - orbite lunaire PPS1350 1350W

## μ-PPI POUR NANOSATELLITES

-Miniaturisation d'un propulseur existant (300W) « tout aimant » (SmCo) proposé pour la désorbitation de Robusta-3 (x3 CubeSats) basé sur l'expérience acquise par le GEMaC (UVSQ/CNRS)

- Faible poids < 5g, Dext ~ 8 mm L ~ 6 mm,
- Poussée espérée: 100-200μN avec 10μg/s Xe - Xe ~30-50g (3W)
- premier allumage réalisé en février 2014 au GEMaC
- Futurs tests dans un caisson à basse pression réalisés au LESIA (Obs. de Meudon)
- Micro balance de poussée en cours de développement à l'Ecole Polytechnique
- Nouveau concept de cathode à l'étude

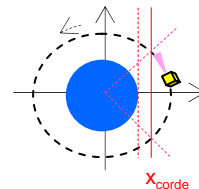


Premier allumage du μ-PPI (02/2014) GEMaC (CNRS/Univ. de Versailles St-Quentin)

## EXEMPLES D'APPLICATIONS

### 1. DEORBITATION D'UN NANOSATELLITE

- Orbite circulaire: z = 700 km, T = 0,1 mN, Cd = 2,2, A = 0,010m²
- Moteur en marche si  $X > X_{corde} = 400$ km
- Consommation de xénon: 30 - 50g, décroît avec  $X_{corde}$ : Utilisation du frottement atmosphérique
- Désorbitation en 427-1048 jours (augmente avec  $X_{corde}$ )
- Marche du moteur: 51-41 jours; μ-PPI avec Robusta-3: 48,5 jours pour une désorbitation en 549 jours



### 2. RENDEZ-VOUS

Rendez-vous entre un nanosatellite B (orbite circulaire R) et un satellite A (orbite elliptique, excentricité e et 1/2 grand axe a > R)

- Orbites de B et A coplanaires
- Accélération tangentielle (propulseur à plasma) amenant B sur une ellipse de 1/2 grand axe a et d'excentricité e
- Ajustement avec une autre force permettant de diminuer a et d'augmenter e
- Les deux grands axes sont ajustés et les conditions choisies pour faire coïncider B et A
- Orbites de B et A non coplanaires
- Accélération initiale pour faire coïncider les plans des trajectoires de B et A

### 3. MISSION LOINTAINE

Étude réalisée avec le soutien financier de l'Institut de Physique (INP/CNRS) dans le cadre du programme « Incitation pour l'innovation »

[1] F. KEBE, B. PÉVY, M. DUDECK, P. CLAUDE, L. DUSSEAU, S. JARRIX, F. SAIGNÉ, M. GUYOT, S. DENISE, Désorbitation of the nanosatellite Robusta, 3rd Int. Conf. on Space Propulsion 2012, Bordeaux, France, 7-10 mai 2012  
 [2] M. GUYOT, S. DENISE, L. DUSSEAU, M. DUDECK, 8th Conf. of the French Society of Electrostatics, Chateaubourg-Oseville, France, 3-5 July, 2012  
 [3] M. GUYOT, S. DENISE, M. DUDECK, P. CLAUDE, L. DUSSEAU, F. SAIGNÉ, M. BERNARD, Micro Hall effect thrusters for nanosatellite propulsion, XVII Int. Congress of Propulsion Engineering, 14-19 Sept. 2012, Rybachy, Crimea, Ukraine  
 [4] <http://www.ens.fr/imp/spip.php?article49> INP/CNRS  
 [5] [http://www.upmc.fr/recherche/actualites/de\\_la\\_recherche.html](http://www.upmc.fr/recherche/actualites/de_la_recherche.html) UPMC