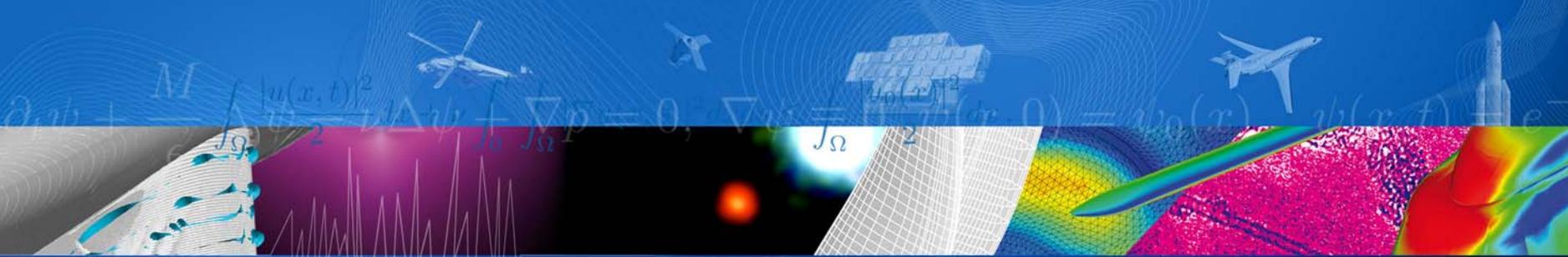


ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

www.onera.fr



Projet ONERA pour l'Evaluation du Risque Spatial

F. Sourgen^(*), J-L Vérant, J-M Moschetta, L. Ferrier, Y. Prévereaud

^()Frederic.Sourgen@onera.fr*

AsteRisk, Atelier CIAS Obspm, Meudon, le 28-29/06/11



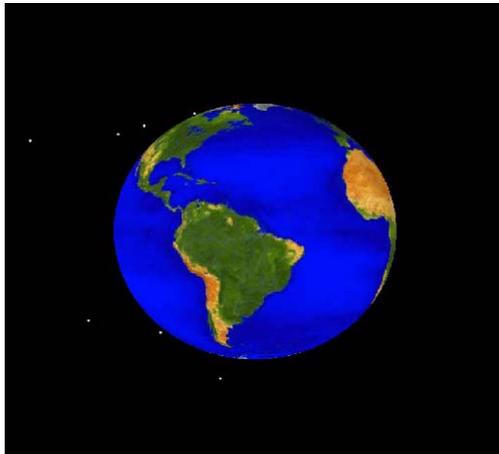
retour sur innovation

- 1) Enjeux du projet
- 2) Description du projet
- 3) Valorisation

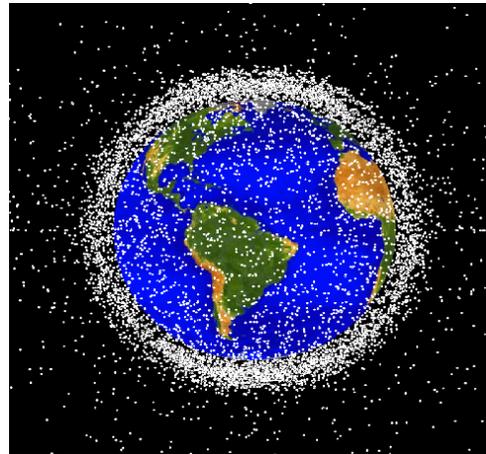
Problématique des DO (Débris Orbitaux) – Population des DO

Surpopulation de DO en **LEO** (*Low Earth Orbit*, altitude < 2000 km)

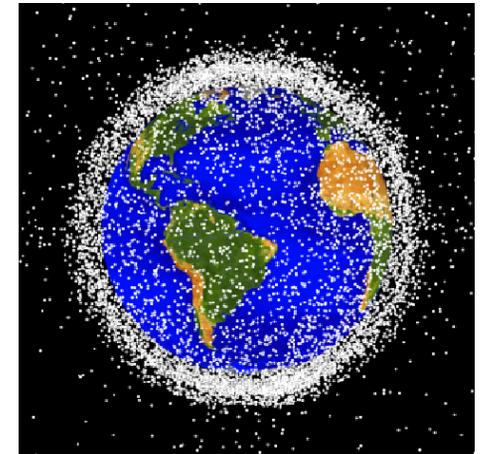
Objets catalogués > 10 cm en orbite basse : (source NASA)



1960



2005



2010

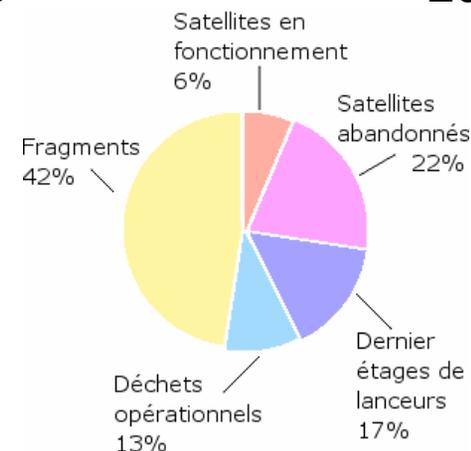
35 millions de débris > 1 mm

400.000 débris > 1 cm

18.000 objets de grande taille

dont 3000 non catalogués

(source CNES)



Problématique des DO (Débris Orbitaux) – *Risque orbital*

Deux évènements peuvent se produire :

1) Les collisions entre objets orbitaux (*Risque orbital*)

Croissance exponentielle du nombre de débris sur les basses orbites par collision

(Source : CNES, NASA)



Une Réaction en chaîne s'est amorcée qui rendra les basses orbites INUTILISABLES si l'on ne fait rien

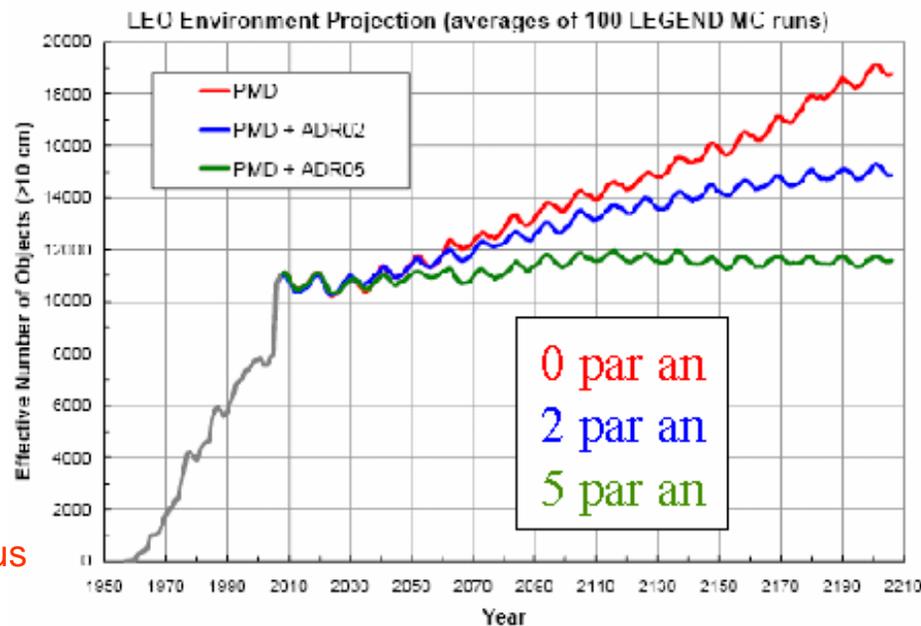


Projets internationaux de désorbitation volontaire des plus gros débris à l'horizon 2015-2020

(rentrée contrôlée au-dessus du Pacifique par ex.)



- Approche de l'objet ?
- Risque au sol en cas d'échec de la manœuvre ?



©Liou – Johnson – Hill NASA-JSC¹

Simulation de l'efficacité de l'enlèvement de gros débris sur l'évolution de la population orbitale

Problématique des DO (Débris Orbitaux) – *Risque au sol*

Deux évènements peuvent se produire :

2) *La rentrée atmosphérique non contrôlée de DO (Risque au sol)*

- 100 rentrées naturelles par an de DO de grande taille

- 10 à 40% de la masse arrive au sol

- Freinage rapide pour les orbites très basses

Quelques jours pour un satellite espion

- Equipements nocifs présents sur certains débris

Générateur nucléaire, réservoir d'hydrazine...

=> démultiplication des dégâts à l'impact



PAM-D (USA) en Arabie

Accident de Cosmos 954 :

- Satellite espion russe

- Equipement nucléaire (RTG)

- Impact dans le Nord du Canada

- zone contaminée : 124.000 km²

Problématique des DO (Débris Orbitaux)– Contexte et enjeux

Contexte international :

Accords internationaux

- pour la surveillance des DO (1)
- sur les équipements prohibés (2)
- sur les équipements préconisés

Recommandations de l'IADC (Inter Agency Debris Coordination comitee)

Législation française (LOS)

L'opérateur doit :

- passer le DO avant 25 ans (2)
- prévoir la zone de retombée à 99% près (3)

Projets internationaux de désorbitation

(2015-2020)

(1) (2) (3)

Enjeux qui en découlent :

(1) Développement des **moyens d'observation** (radar, télescope et approche d'un objet « non coopératif »)

Les moyens actuels permettent la détection et la reconnaissance de l'objet mais pas l'ensemble de ses caractéristiques : cinématique, dimensions, état de surface (qui sont nécessaires à la prévision précise de la rentrée ou à l'approche de l'objet)

(2) Modélisation de la **dislocation atmosphérique des matériaux**

Les modèles actuels sont insuffisants voire absents (ablation, fragmentation, interaction entre les fragments)

(3) **Méthodes de calcul de la probabilité d'impact** (date, trace au sol et énergie à l'impact)

Les méthodes actuelles « suffisent » si la rentrée contrôlée est réussie mais ne sont pas capables de prévoir précisément la rentrée non contrôlée (naturelle ou échec de la manœuvre de désorbitation)

Problématique des NEO (*Near Earth Objects*)

(A) DO (artificiels)

Satellites
étages de fusée
Fragments

Taille et masse modestes
($< 5-15$ m ; < 10 t en général)
Vitesses orbitales (7 à 8 km/s)
Composition connue dans la plupart
des cas (du moins si objet intact)

Risque humain et matériel :
- Potentiel de destruction modeste

- Probabilité d'occurrence élevée

(B) NEO (naturels)

Géocroiseurs (Apothis 2029-2036)
Comètes (Shoemaker Levy 9, 1994)
Météorites (Tunguska 1908, Carancas 2007)

Massifs (> 10 m sinon consumés par la rentrée)
Hypervéloces (12 à 20 km/s)
Composition exacte inconnue

Risque humain et matériel :
- Potentiel de destruction considérable
(1908 Tunguska : 2000 km² détruit et fort dégâts sur
30 000 km²)
1) Dommages au sol liés à l'impact au sol
2) Dommages par Tsunami liés à l'impact en mer

- Probabilité d'occurrence de gros NEO faible
(1 « Tunguska » / ~1000 ans)

Problématique des NEO (*Near Earth Objects*)

Risque au sol (NEO > 10 m)

Probabilité d'occurrence :

Dégâts considérables (ville) : 1.000 ans (D = 75 m)

Tsunami : 4.000 ans (Diamètre = 160 m)

Impact global : 100.000 ans (Diamètre = 1 km)

Risque dans l'espace

Pas de rôle protecteur de l'atmosphère

=> dégâts aux installations spatiales beaucoup plus fréquents (« petits » NEO)

Contexte international pour les NEO : recensement (télescopes et radar) et tri

US : spaceguard survey (depuis 1990), en particulier pour les astéroïdes > 1 km

Japon : télescope ISOBE (1999)

UK : Task Force on NEO (1999)

Enjeux :

1) **Obtenir une mesure suffisamment précise des paramètres orbitaux pour :**

- statuer sur le danger présenté par un NEO en termes de risque de "collision" avec la Terre
- retrouver facilement par la suite un NEO détecté à une date donnée

=> Développement de nos outils d'observation

2) **Gérer le risque au sol : rôle protecteur de l'atmosphère ?**

- Etude de la dislocation atmosphérique des NEO
- Outils de prévision de la rentrée naturelle de NEO

=> Modélisation et méthodes de prévision

Europe : 2.3 Sécuriser les infrastructures spatiales (Bruxelles 2011)

Extrait de Communication de la commission au parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions :

« [Les infrastructures spatiales] sont exposées à des risques d'endommagement ou de destruction par des phénomènes naturels tels que les astéroïdes ou par d'autres engins spatiaux ou leur débris.

Quelques Etats membres disposent de capacités pour faire partiellement face à ces risques. Elles sont cependant insuffisantes en raison de leurs limitations techniques.

De ce fait, pour assurer la protection de ses structures spatiales, l'Union européenne est largement tributaire des capacités et de la bonne volonté d'Etats tiers.

(...) L'Europe doit mettre en place un dispositif au niveau européen permettant d'assurer le suivi et la surveillance de ses infrastructures spatiales et des débris spatiaux. »

=> vers un dispositif de surveillance SSA (Space Situational Awareness)

Problématique des DO et des NEO – Bilan des enjeux

ENJEUX	DO	NEO
<p>Moyens d'observation (Télescopes, radars)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Notre indépendance pour la surveillance de l'espace (projet européen SSA) - vaincre les limites techniques : obtenir <u>d'avantage d'informations</u> et des <u>informations plus précises</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - évaluer le risque spatial lié aux NEO (mesurer précisément les paramètres orbitaux)
	<ul style="list-style-type: none"> - participer aux futurs projets de désorbitation (notamment approche de l'objet) 	
<p>Modélisation de la rentrée (Multiphysique)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - prévoir la dislocation atmosphérique des matériaux de satellites et lanceurs (LOS, projets de désorbitation, recommandations internationales) 	<ul style="list-style-type: none"> - évaluer le risque au sol représenté par un NEO (la seule approche astrophysique ne suffit pas : rôle protecteur de l'atmosphère ?)
<p>Méthodes de prévision (temps de calcul et précision)</p>	<p>Gérer le risque de façon opérationnelle (sécurité des biens et des personnes)</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Rentrée naturelle - Rentrée contrôlée (LOS, IADC) - Echec de la rentrée contrôlée (projets de désorbitation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rentrée naturelle

Problématique des DO et des NEO – Objectifs du Projet

OBJECTIFS	DO	NEO
<p>Moyens d'observation (Télescopes, radars, OTV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Radar : développer des <u>traitements innovants</u> pour extraire d'avantage d'informations - Télescope : développer des <u>traitements innovants</u> pour l'Optique Adaptative (OA) ainsi qu'un <u>outil de simulation des performances</u> d'un ensemble Télescope – OA – Traitement 	<p>Conception d'une mission d'approche d'un DO ou d'un NEO par un véhicule de type transfert d'orbite (OTV)</p>
<p>Modélisation de la rentrée (Multiphysique)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Construire une base de données pour la dislocation atmosphérique : (essais, simulations, données de vol) - Modélisation de la dislocation atmosphérique des matériaux de satellites ou lanceurs et de NEO - Couplage modèles physiques et mécanique du vol 	
<p>Méthodes de prévision (temps de calcul et précision)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Développer des méthodes plus précises et moins coûteuses de prévision de la date, du lieu et de l'énergie à l'impact - Tester l'efficacité des traitements innovants et des modèles développés sur des scénarios de rentrée - Rassembler les mesures, les modèles et les méthodes au sein d'un simulateur de rentrée « tout type d'engin, tout type de rentrée » 	

Problématique des DO et des NEO – ce qu'il manque

Risque au Sol		
<i>Imprécis ou absent</i>	RnC (naturelle ou échec de la RC)	
	DO	NEO
Mesures	<ul style="list-style-type: none"> - Cinématique <i>Dimensions connues a priori</i> - Etat de surface <i>Composition connue a priori</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinématique - Dimensions <i>Etat de surface non nécessaire</i> - Composition
Modèles	<ul style="list-style-type: none"> Modèles Précis - Régime raréfié - Ablation - Fragmentation - Interaction entre fragments <i>Flux radiatif OK pour cette gamme de vitesse et taille</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Modèles Précis <i>Pas de régime raréfié</i> - Ablation - Fragmentation - Interaction entre fragments - Flux radiatif
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> - Temps trop long - Répartition trop étalée 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps trop long - Répartition trop étalée

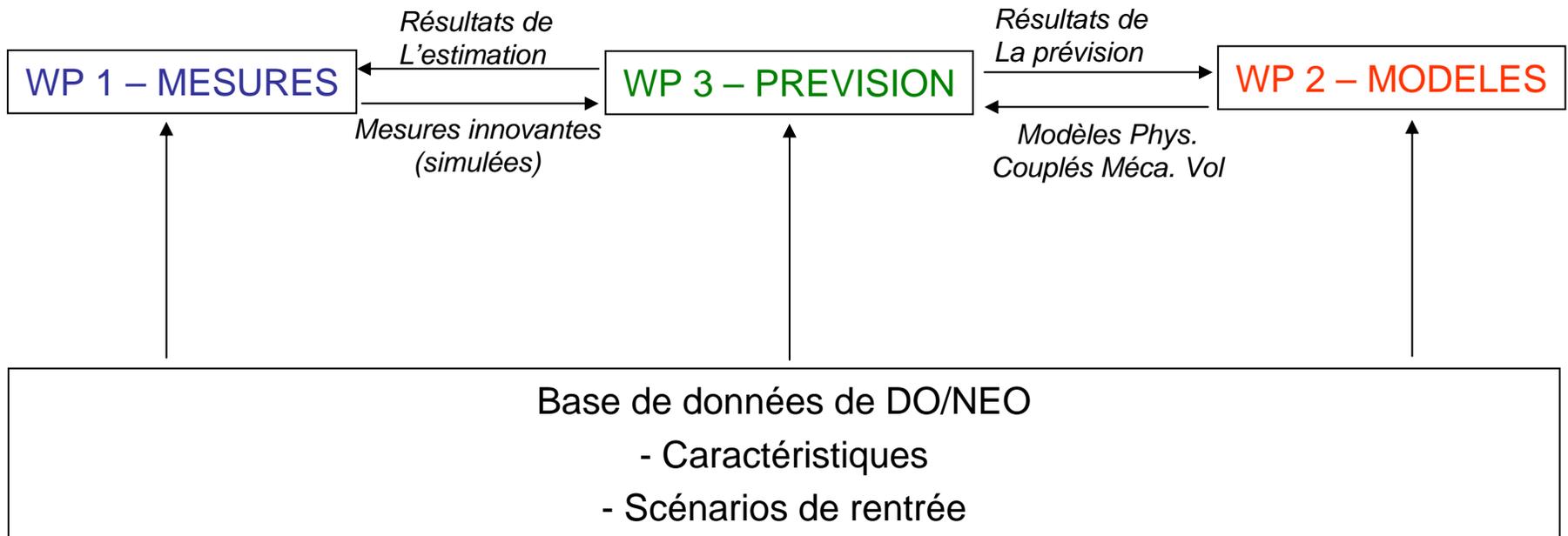
Cinématique = position, vecteur vitesse, attitude et mouvements d'attitude

Etat de surface pour le régime raréfié et l'intégrité lors de la rentrée (vieillesse des matériaux)

Temps = temps imparti pour la simulation

Répartition = Répartition au sol de la probabilité d'impact

Projet Evaluation du Risque Spatial – Déroulement



Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 1 Mesures

WP 1 – MESURES

1.1 Radar sol

Développer des **traitements innovants pour les moyens Radar existant (Graves...)**

1.2 Imagerie sol

Outils de **conception de télescopes avec optique adaptative (OA)**
(traitements innovants et simulation des performances)

1.3 Imagerie OTV

Imageries vidéo et laser embarquées sur un OTV

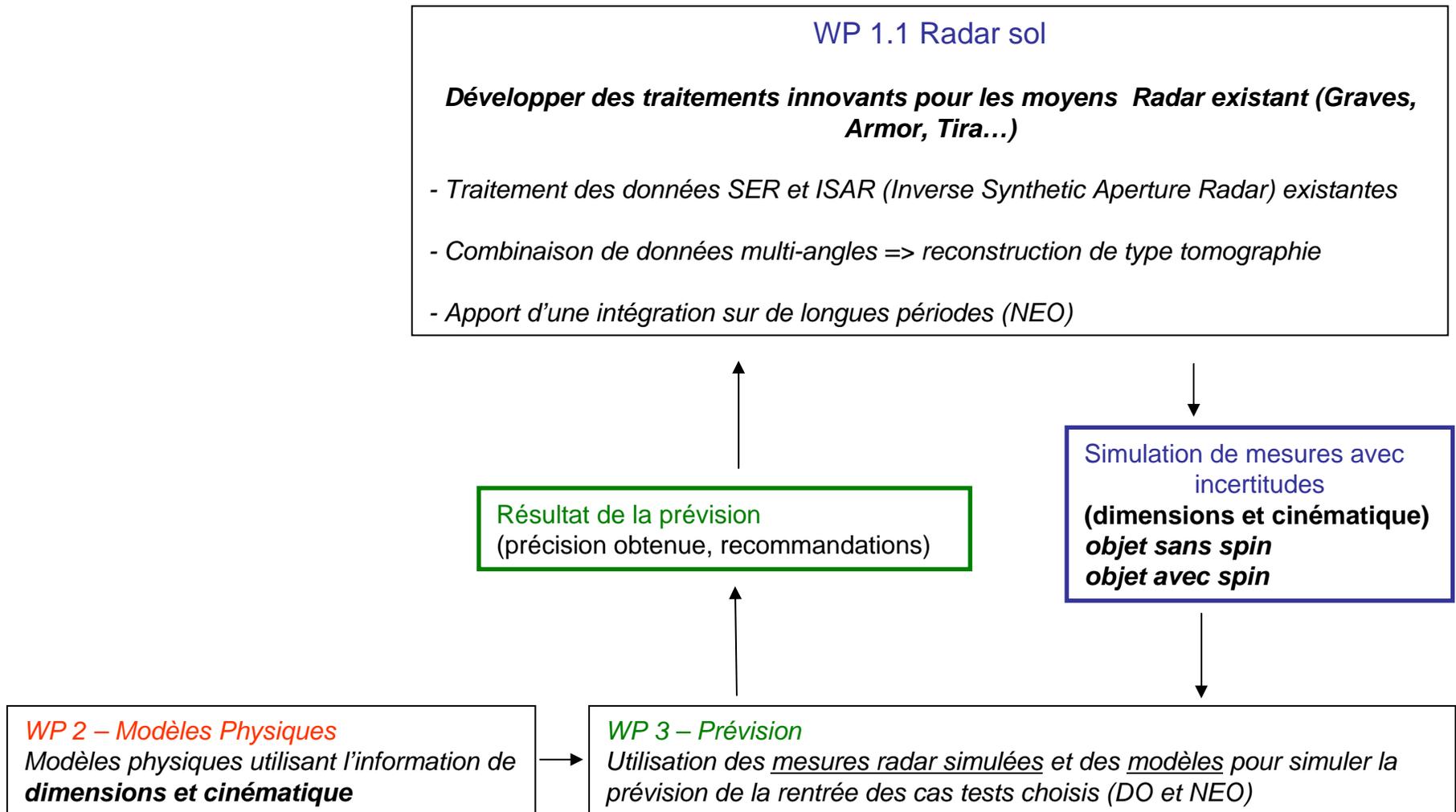
OTV = Orbit Transfer Vehicle

A partir des bases de données existantes de DO et NEO, il s'agit de :

- **Développer des traitements innovants** pour extraire plus d'infos et plus précises
- **Développer des outils de conception** pour les futurs moyens d'observation
- **Simuler des mesures pour la prévision** et tester par là-même l'efficacité des outils

Traitements Accéder à :	1.1 Radar	2.2 Télescope (OA)	1.3 Mission OTV
Cinématique (DO & NEO)	✓	✓	✓
Dimensions (DO & NEO)	✓	✓	✓
Etat de Surface (DO)			✓
Composition (NEO)	(✓) ??	✓	

Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 1.1 Radar sol



Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 1.2 Imagerie sol

WP 1.2 Imagerie sol

Outils de conception de télescopes avec optique adaptative (traitements innovants et simulation des performances)

=> Dans la continuité des travaux sur le VLT (Very Large Telescope)

1.2.1 Développement d'un Ensemble logiciel de simulation des images (bruts) DO et NEO

1.2.2 Traitements de ce type d'images
Traitement bas-niveau
Traitement haut niveau (simulation de mesures traitées)

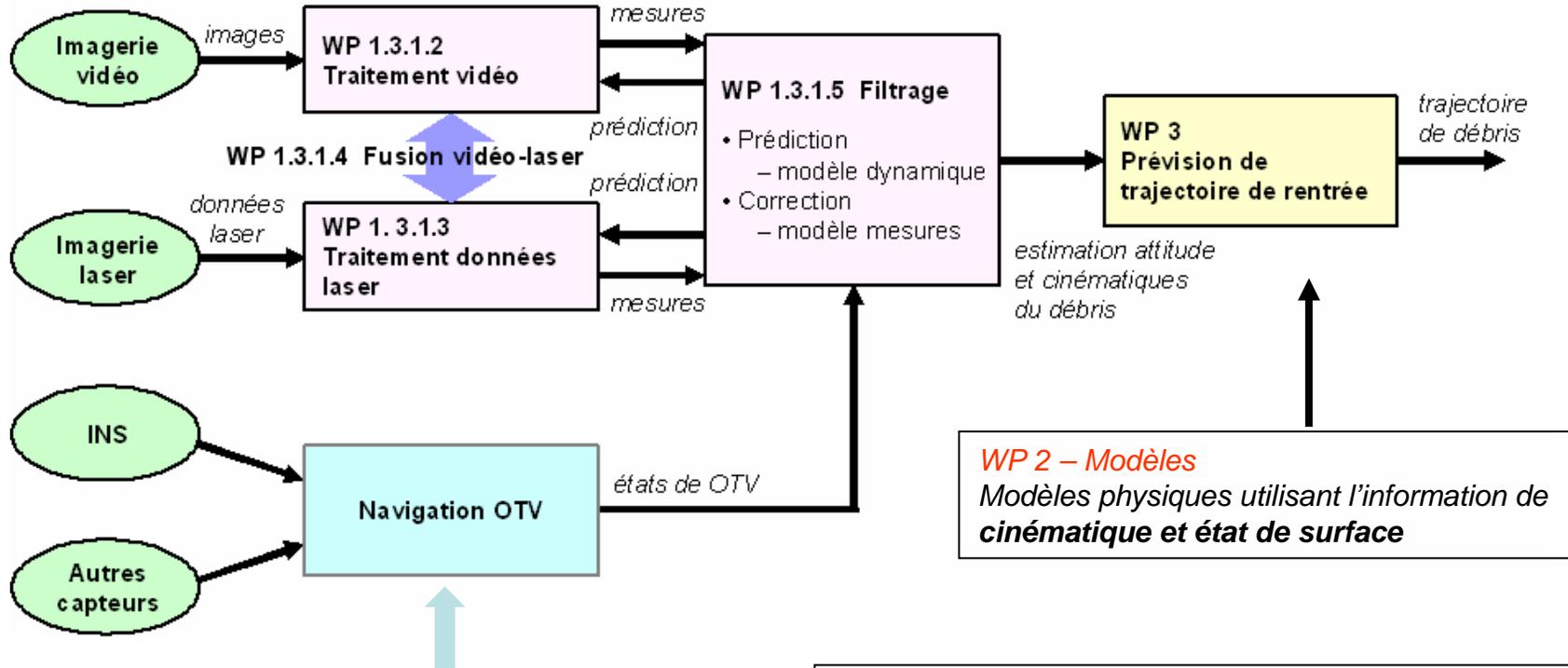
Résultat de la prévision
(précision obtenue, recommandations)

mesures avec incertitudes
(dimensions, cinématique, composition)

WP 2 – Modèles Physiques
Modèles physiques utilisant l'information de **dimensions, cinématique et composition**

WP 3 – Prévision
Utilisation des mesures télescope simulées et des modèles pour simuler la prévision de la rentrée des cas tests choisis (DO et NEO)

Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 1.3 Imagerie OTV



1.3.1 Développement de la Chaîne de traitement

1.3.2 Validation

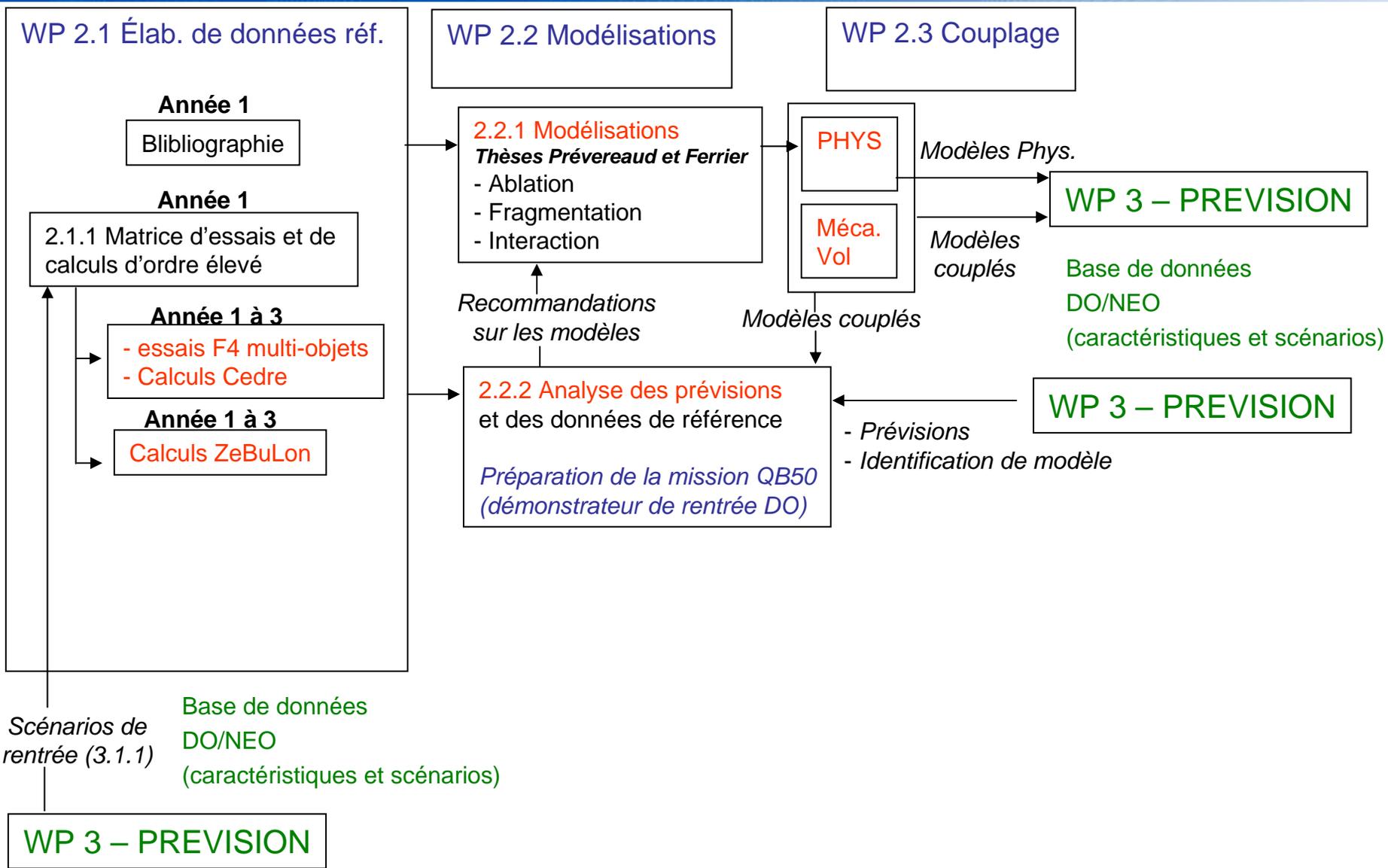
- Simulations

développement des outils de simulation
intégration et évaluation de la chaîne de traitement

- Expériences en laboratoire

mise en place
évaluation de la chaîne de traitement

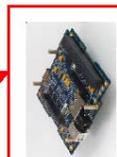
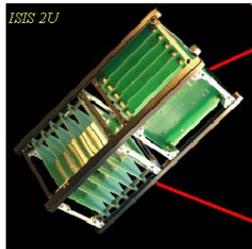
Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 2 Modèles



Préparation de la mission QB50

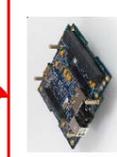
Année 3

Démonstrateur QB50, lancement en 2014 (FP7) de 50 cubesats 10*10*20 cm³



Science Unit:

*Lower Thermosphere Measurements
Sensors to be selected by a Working Group
Standard sensors for all CubeSats*



Functional Unit:

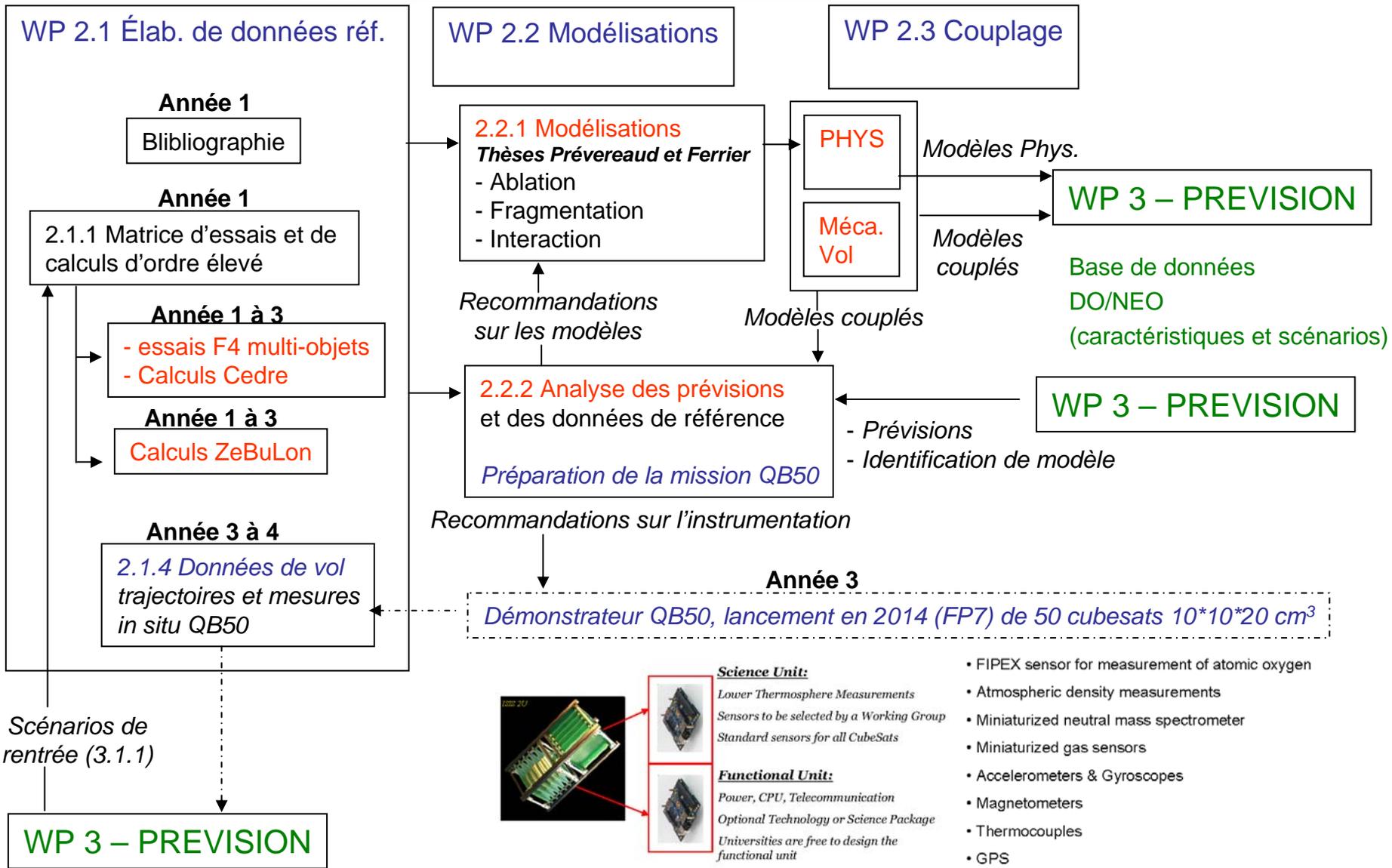
*Power, CPU, Telecommunication
Optional Technology or Science Package
Universities are free to design the
functional unit*

- FIPEX sensor for measurement of atomic oxygen
- Atmospheric density measurements
- Miniaturized neutral mass spectrometer
- Miniaturized gas sensors
- Accelerometers & Gyroscopes
- Magnetometers
- Thermocouples
- GPS

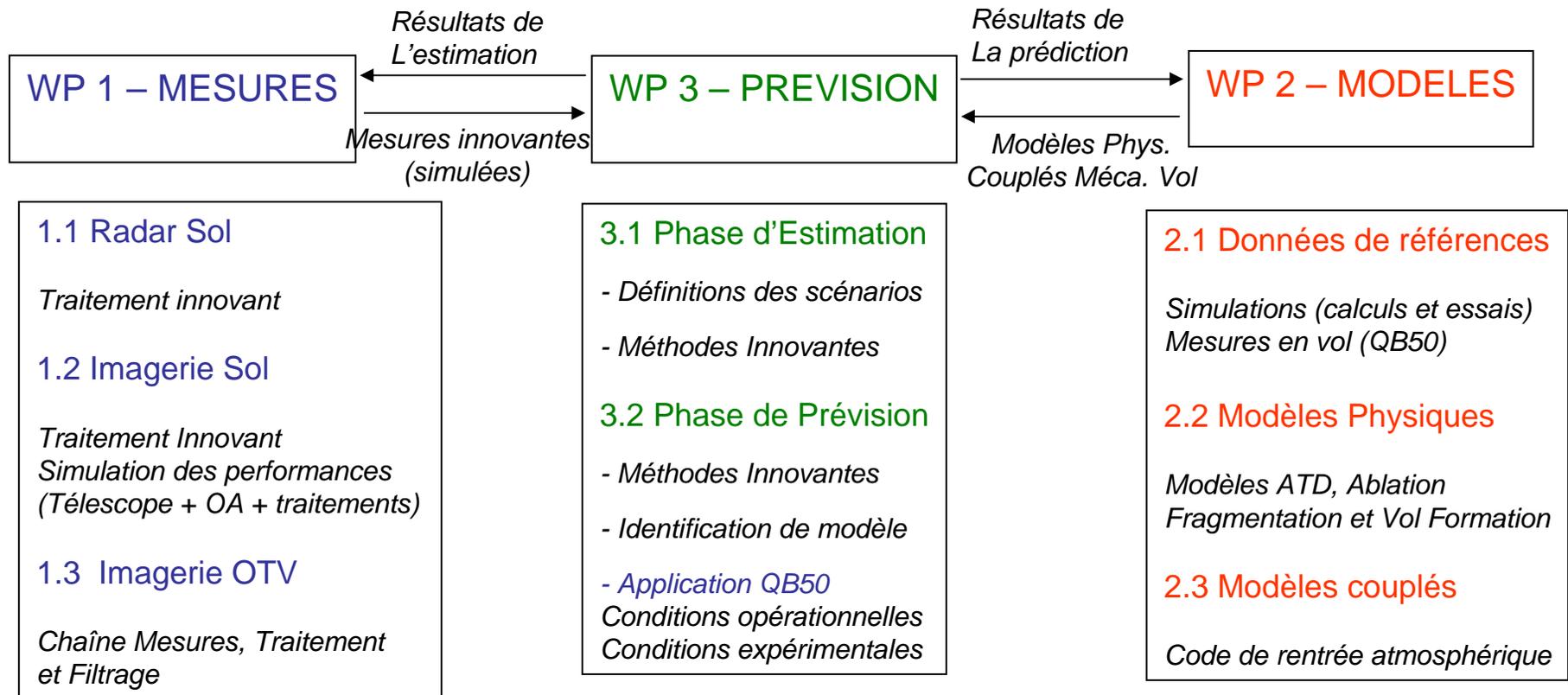
Consortium ONERA – ISAE (D.Mimoun, J.M. Moschetta) **pour le projet QB50**

(faire au moins un cubesat instrumenté plus particulièrement pour la rentrée de DO)

Evaluation du Risque Spatial – Déroulement du WP 2 Modèles



Evaluation du Risque Spatial – Déroulement de l'ensemble



Evaluation du Risque Spatial – Valorisation du Projet

Traitements innovants
pour les mesures
radar (NEO/DO)

Outils de conception et
traitement innovant
pour télescope (NEO/DO)

Outil de conception
pour mesures in situ
(mission OTV)

Base de Données DO/NEO

Matériaux

Calculs Cedre

Calculs ZeBuLon

Calculs DSMC

Essais F4 Multi-objets

Données QB50

Multiphysique de la rentrée

Ablation

Fragmentation

Interactions Multi-Objets

Développement de nos
outils de simulation

Cedre, Zebulon, F4

Méthodes innovantes d'estimation, de prévision
et d'identification de modèle

Surveillance de l'Espace

(conception des futurs moyens)

- **CDAOA** (Commandement de la Défense Aérienne et des Opérations Aériennes)
- **Indépendance spatiale** (projet SSA)
- **Projets de désorbitation**
(approche de l'objet)

Modèles de dislocation atmosphérique des matériaux et du vol multi-objets

- **Recommandations sur les matériaux**
(constructeurs de satellite, normes IADC
et LOS)
- **Missiles balistiques** (DGA, CEA/DAM)

Outil de gestion du risque au sol

- gestion opérationnelle
- simulation de scénarios
(En cas d'échec du pilotage,...)

Simulateur de Rentrée « tout type d'engin, tout type de rentrée »

Ce projet permettrait de se positionner comme :

- 1) Des acteurs majeurs pour la **Conception des Futurs Moyens d'Observation** (Défense et Surveillance de l'Espace)

- 2) Des acteurs majeurs pour les **Futures générations de Véhicules et de Satellites** (Matériaux à utiliser, recommandations à la conception, meilleure définition des marges de manœuvre lors de la rentrée et optimisation de la charge utile)

- 3) Des acteurs majeurs dans le domaine de la Défense et de la **Sécurité** (caractérisation de la menace balistique et capacité de recommandations)

- 4) Des acteurs majeurs pour la **Coopération nationale et internationale sur DO/NEO** :
 - Recommandations sur les équipements des objets spatiaux
 - Recommandations sur les moyens d'observation des DO et NEO
 - Recommandations pour le risque au sol