**Institut de recherche spatiale Norman and Helen Asher**

**המכון לחקר החלל ע"ש נורמן והלן אשר**

**Professeur associé Pini Gurfil - Directeur**

**פרופ"ח פיני גורפיל - מנהל**

# Rapport sur la mission **SAMSON**

(**S**pace **A**utonomous **M**ission for **S**warming and

Ge**o**-Locating **N**anosatellites)

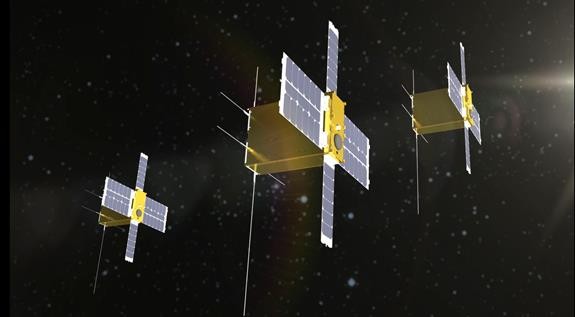
# parrainé par



**Mars 2017**

## SAMSON en quelques mots

### Comme expliqué précédemment, SAMSON est le projet de mission spatiale autonome pour l'essaimage et la géolocalisation par nanosatellites (**S**pace **A**utonomous **M**ission for **S**warming and Ge**o**-locating **N**anosatellites). SAMSON vise à être la première mission au monde de vol en escadrille autonome de 3 nanosatellites bâtis par une université, avec une prévision de lancement commercial sur une orbite terrestre basse en 2017. Les satellites sont conçus, assemblés et exploités essentiellement par l'équipe SAMSON de chercheurs et d'ingénieurs de l'ASRI, par des étudiants en génie aérospatial et par des industriels israéliens qui collaborent au projet.



*Figure 1 : Vue d'artiste de SAMSON*

### Les trois satellites SAMSON voleront en formation plus ou moins serrée avec une distance entre les satellites ne descendant pas en dessous de 1 km sans dépasser 250 km sur une année complète. L'escadrille servira de plus à la localisation à haute précision de signaux terrestres par coopération pour des applications par exemple de recherche et de sauvetage dans l'océan ou dans des zones de catastrophe. Nous allons pour cela construire un émetteur terrestre dédié sur le campus de Technion. La géolocalisation se basera sur les méthodes de différence temporelle d'arrivée TDOA (Time Difference of Arrival) et de différence de fréquence d'arrivée FDOA (Frequency Difference of Arrival) SAMSON utilise un nouveau processeur spatial conçu initialement à l'Université de génie électrique de Technion. Pour cette mission ambitieuse, nous avons développé (avec Rafael Ltd) un nouveau système de propulsion à gaz cryogénique et une charge utile de géolocalisation dédiée (avec IAI/Elta).

**État du projet**

Le projet SAMSON a officiellement démarré en mars 2012 par une étude des besoins des systèmes SRR, (Systems Requirement Review) qui a présenté et discuté le cahier des charges des systèmes. L'événement a connu une participation importante du personnel de Technion, ainsi que d'ingénieurs des plus grandes entreprises aérospatiales d'Israël, et de quelques parties intéressées étrangères. Depuis l'étude SRR, nous avons réuni lentement mais sûrement une équipe importante et diverse qui travaille sur la mission. Au moins une réunion générale de l'équipe est organisée par semaine, avec d'autres réunions plus restreintes si nécessaire. L'équipe a rédigé une conception détaillée de la mission ainsi que conçu l'architecture des satellites SAMSON. Nous sommes actuellement en cours de développement de la station au sol et de définition des procédures d'essai d'aptitude au vol.

Les jalons suivants ont été franchis avec succès :

* Mars 2012 Étude des besoins des systèmes, SRR
* Juillet 2013 Étude préliminaire de conception
* Juillet 2014 Étude critique de conception
* Février 2015 Étude d'aptitude à l'intégration et de démarrage
* Décembre 2015 Fabrication du réservoir sous pression de propulsion
* Janvier 2016 Achèvement du développement de la charge utile
* Mai 2016 Début du développement de la station au sol
* Juillet 2016 Achèvement des essais du système de synchronisation horaire précise
* Décembre 2016 Achèvement du développement et de l'approvisionnement de la station au sol. Le projet est à l'heure pour le lancement planifié au quatrième trimestre 2017.

## L'équipe

Notre équipe est constituée de professeurs et d'administrateurs de Technion, de chercheurs et ingénieurs de l'ASRI, d'étudiants actuels et anciens de Technion, et d'ingénieurs de l'industrie aérospatiale (dont beaucoup sont des diplômés de Technion). Il y a comme indiqué précédemment environ 50 personnes dans l'équipe SAMSON.

#### Gestion de projet et comité de pilotage

Le professeur associé Pini Gurfil est directeur du projet. De plus, certains des experts les plus expérimentés du programme spatial israélien ont été recrutés en tant que membres du comité de pilotage pour le projet :

Professeur Moshe Guelman (Technion) – ancien directeur de l'ASRI et scientifique renommé du domaine spatial ;

Dr. Daniel Choukroun (Université Ben Gourion du Négev) – directeur du programme de développement des satellites du BGU, et scientifique expérimenté en matière spatiale ;

Shmaryahu Aviad (Agence spatiale israélienne (ISA)) – ancien directeur du programme spatial israélien ;

Moshe Shachar (Ministère de la défense) – expert senior des systèmes satellites et ancien responsable du programme satellite TECHSAT de Technion.

De plus, l'équipe projet consulte régulièrement des experts de la division espace de IAI (Israel Aerospace Industries), d'anciens fondateurs et dirigeants du programme spatial militaire israélien, des responsables de l'agence spatiale israélienne (ISA), des professeurs et ingénieurs de l'industrie aérospatiale. Ces conseillers sont invités à certaines des réunions et études de conception, et fournissent un avis qui est pris en compte et mis en œuvre selon les besoins.

Deux professionnels salariés sont destinés à conduire SAMSON vers un lancement réussi : Avner Kaidar, ingénieur systèmes principal de SAMSON, qui dispose de décennies d'expérience chez Rafael et dans d'autres industries, et ancien responsable de plusieurs importants projets de communication ; et Shlomo Balaban, ingénieur mécanicien expérimenté, coordinateur de ce consortium complexe.

De plus, l'IAI a mis à disposition son propre chef de projet, M. Ephie Sagie, en plus de nombreux professionnels du génie électrique, qui ont conçu les unités de base et systèmes (BUS : basic units and systems) du satellite, des experts d'analyse thermique et de l'intégration (qui ont fabriqué tous les satellites israéliens), des spécialistes des essais de satellites, ainsi qu'un responsable du lancement. Rafael a mis à disposition Jacob Herscovitz, responsable personnellement de la formation des projets annuels d'étudiants.

## Financement

**En plus du soutien de la fondation Adelis** le projet est maintenant aussi partiellement soutenu par le Ministère des sciences et technologies (MoST) d'Israël par des fonds de l'ISA (Israel Securities Authority), qui s'ajoutent au financement direct de Technion rendu possible par le soutien généreux d'un autre donateur.

Sans aucun doute, le Ministère des sciences et technologies et l'ISA ont apprécié l'investissement de Technion dans ce projet spatial prestigieux et ont ressenti le besoin d'y participer et de le renforcer en apportant un financement complémentaire très attendu. Nous avons reçu à ce jour deux financements généreux de l'ISA. Un premier financement de 2,8 millions de NIS (650 000 EUR) est dédié aux études du vol en escadrille et aux coûts élevés de lancement. Le deuxième financement de 1 million de NIS (233 000 EUR) est destiné à la création d'un centre de connaissances pour les petits satellites à l'ASRI, qui soutiendra aussi les efforts du projet SAMSON. Ces financements de l'ISA nous permettent d'attribuer des financements de moindre ampleur (0,6 million de NIS, 140 000 EUR) aux travaux de nos partenaires industriels.

## Activités récentes

L'année passée a connu des progrès importants dans tous les domaines de la conception et des essais. Il s'agit notamment du développement du système de propulsion, de la sélection du site de la station au sol, du développement de cette station au sol, de la mise en œuvre et des essais du logiciel.

#### Essai du système de propulsion

Le système de propulsion a été conçu par RAFAEL en collaboration avec des ingénieurs de ASRI, sur des spécifications fournies par la gestion de projet. Le réservoir de gaz en titane a été fabriqué l'année dernière. De plus, tous les composants restants, notamment vannes, câbles et tuyaux, ont été approvisionnés.

Récemment, la fabrication du réservoir sous pression pour le système de propulsion a été achevée. L'équipe SAMSON a récemment achevé l'essai de résistance en pression du réservoir par une série d'expériences d'explosion effectuées par RAFAEL (Fig. 2). Les expériences ont démontré que le réservoir peut résister à une pression maximale d'environ 600 atmosphères.



*Figure 2 : Réservoir de gaz du système de propulsion SAMSON après explosion*

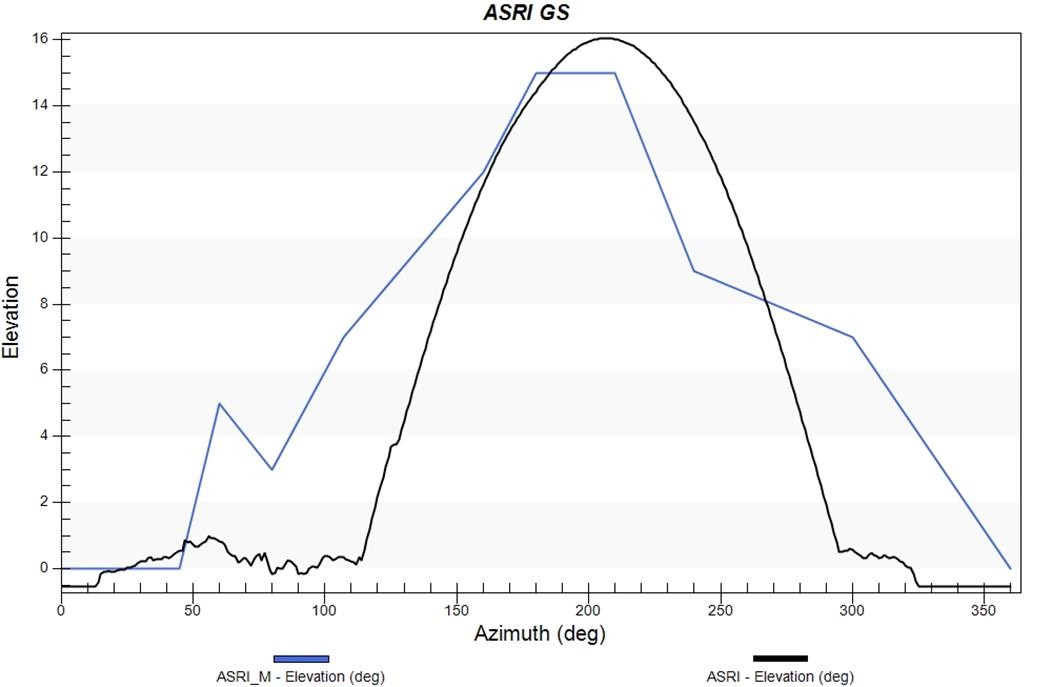
#### Points à prendre en compte pour la sélection du site de la station au sol

Pour bâtir la nouvelle station au sol pour les satellites SAMSON, nous avons dû sélectionner un site approprié sur le campus. Deux sites ont été envisagés en particulier : un à ASRI, et l'autre à l'Université de génie électrique (EE). Pour comparer les sites ASRI et EE, nous avons utilisé une configuration comportant une alidade et un téléphone avec GPS et IMU intégrés. Les deux appareils utilisent le même trépied de façon à être approximativement alignés.

À partir des données ci-dessus, nous avons créé un masque azimut-élévation qui a été ensuite intégré dans un logiciel spécialisé, appelé STK.

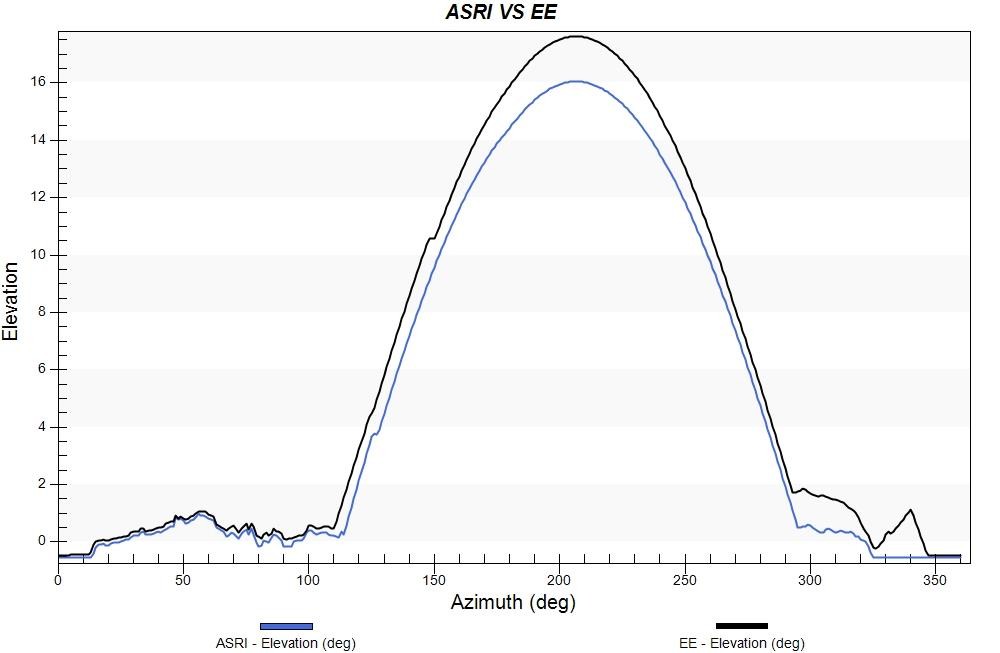
De plus, nous avons calculé le masque azimut-élévation de la position ci-dessus à l'aide de AGI World Terrain, qui offre une cartographie de terrain de la Terre à résolution de 1 km.

Le schéma ci-dessous présente une comparaison entre les deux méthodes où ASRI\_M est la mesure manuelle.



Nous pouvons constater une bonne corrélation entre les deux méthodes. Nous pouvons donc utiliser aussi STK pour calculer le masque pour la station au sol EE (GS).

Le schéma ci-dessous présente une comparaison entre ASRI et le masque azimut-élévation EE, obtenu par le logiciel STK.



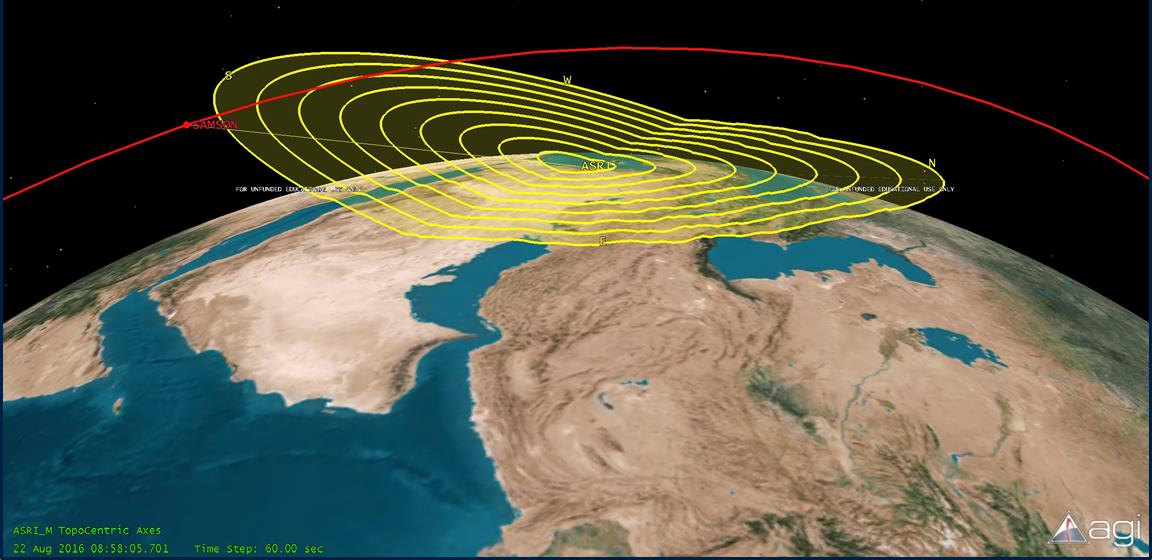
Cette analyse démontre que la localisation ASRI est légèrement meilleure que la localisation EE.

Nous avons testé la durée d'accès ASRI GS sur une année avec une orbite de satellite courante, et en plus du masque azimut-élévation, nous avons ajouté une limite d'élévation de 10 degrés.

*Figure 3 : Station au sol SAMSON*

Le résultat montre que quand un satellite SAMSON passe au-dessus de la station au sol, la durée maximale d'accès est de 572 s, la durée moyenne de 432 s et la durée minimale de 24 s. Nous avons dans une année 1287 fenêtres d'accès valables, soit en moyenne 3,5 intervalles d'accès par jour.

Dans le schéma ci-dessous, les lignes jaunes représentent le masque azimut-élévation



#### Développement de la station au sol

Nous avons récemment terminé la conception et la procédure d'approvisionnement de la station au sol SAMSON, fabriquée par la société israélienne ORBIT. Le système d'antenne de la station au sol (Fig. 3) est destiné à suivre l'escadrille de trois nanosatellites SAMSON (cubesat 6U). La trajectoire de l'escadrille sera en orbite terrestre basse (LEO) d'environ 700 km d'altitude avec une séparation variable entre 1 km et 250 km (séparation angulaire pouvant atteindre 20 degrés vue depuis la station au sol).



Le système d'antenne sera utilisé pour la télémétrie et le téléchargement de données ainsi que pour l'envoi de commandes. Les données de télémétrie et de charge utile de liaison descendante seront transmises sur 3 canaux séparés. Les fréquences de porteuse seront en bande S soit dans les plages de fréquences 2,2-2,3 GHz ou 2,4-2,483 GHz. Le débit de données depuis chaque cubesat sera d'environ 2 Mbps.

Il y aura trois canaux de liaison descendante UHF secondaire (de secours) (un par satellite à des fréquences différentes) et une liaison montante VHF de commande et contrôle.

Le système sera essentiellement constitué d'une antenne à réflecteur parabolique en faisceau principal de réception en bande S, de deux sous-systèmes d'antenne réseau Yagi quadruple de réception UHF et d'un sous-système d'antenne réseau Yagi double d'émission VHF.

Le système est constitué des principaux composants suivants :

1. Système d'antenne modèle Gaia-100-3.7 (x 1) fabriqué par ORBIT contenant : Antenne de réception S-band ;

Socle tournant d'antenne ; unité de commande d'antenne (ACU) ; enveloppe de Radome

1. Système d'antenne de réception UHF (x 2) comprenant :

Réseau Yagi UHF : modèle CY-450Q fabriqué par Antenna Experts ; ensemble LNA ;

Rotateur EL sur AZ : modèle RAS/HR fabriqué par Spid ; Pilote/contrôleur de rotateur : modèle MD-01 fabriqué par Spid ; Alimentation : modèle PS-01 fabriqué par Spid ;

Mât fixe

1. Système d'antenne d'émission VHF (x 1) comprenant :

Réseay Yagi UHF : modèle CY-150D fabriqué par Antenna Experts Ensemble LNA

Rotateur EL sur AZ : modèle RAS/HR fabriqué par Spid Pilote/contrôleur de rotateur : modèle MD-01 fabriqué par Spid Alimentation : modèle PS-01 fabriqué par Spid

Mât fixe SSPA (en option)

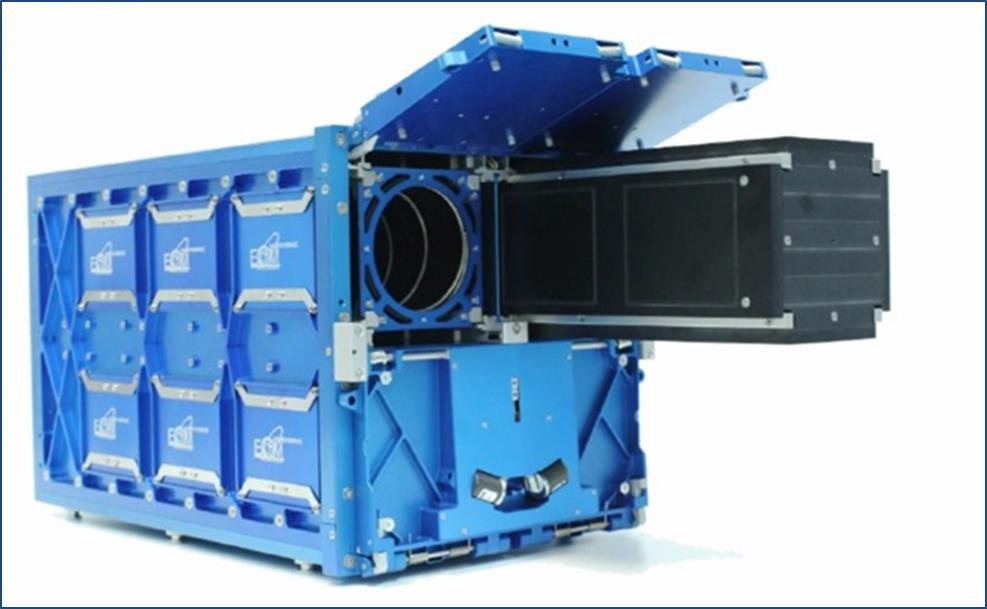
1. Contrôleur de suivi principal (ordinateur CFE – en option, fourni par ORBIT) avec logiciel dédié (conçu par ORBIT)
2. Commutateur Ethernet (CFE, fourni en option par ORBIT)
3. Câblage du système

L'antenne de suivi principal (Gaia-100-3.7) suit les satellites selon un calendrier communiqué par la station au sol par liaison Ethernet. En conséquence, elle utilise un des multiples schémas de suivi possibles avec trajectoire programmée, trajectoire incrémentale et une combinaison des deux. Les antennes UHF/VHF sont orientées indépendamment pour pointer dans la même direction.

Tous les systèmes d'antenne et le contrôleur de suivi principal seront interconnectés pour surveillance et commande par un commutateur Ethernet CFE (en option, à fournir par ORBIT). Le contrôleur de suivi principal sera un ordinateur indépendant exécutant un utilitaire logiciel spécial (conçu par ORBIT) qui assurera la coordination du déplacement de toutes les antennes.

#### Distributeur de satellites

La configuration actuelle du distributeur de satellites SAMSON autorisera l'injection simultanée de deux nanosatellites en orbite (voir Fig. 4). Le troisième satellite sera injecté depuis un deuxième distributeur. Dans les mois à venir, nous prévoyons d'effectuer une série d'expériences permettant de connaître les fonctionnalités de ce distributeur. Une série de vérifications d'aptitude sera effectuée pour assurer une injection sans heurt en orbite.



*Figure 4 : Distributeur SAMSON*

#### Composants structurels et mécaniques

Nous avons terminé la conception mécanique des satellites SAMSON. Ce fut une entreprise complexe pour ajuster les différents composants très différents dans un petit nanosatellite, en tenant compte des contraintes de volume et de poids, et des exigences de fonctionnement dans l'environnement spatial, tout en étant capables de résister aux vibrations mécaniques du lancement. Le satellite assemblé réel est présenté sur la Figure 5.

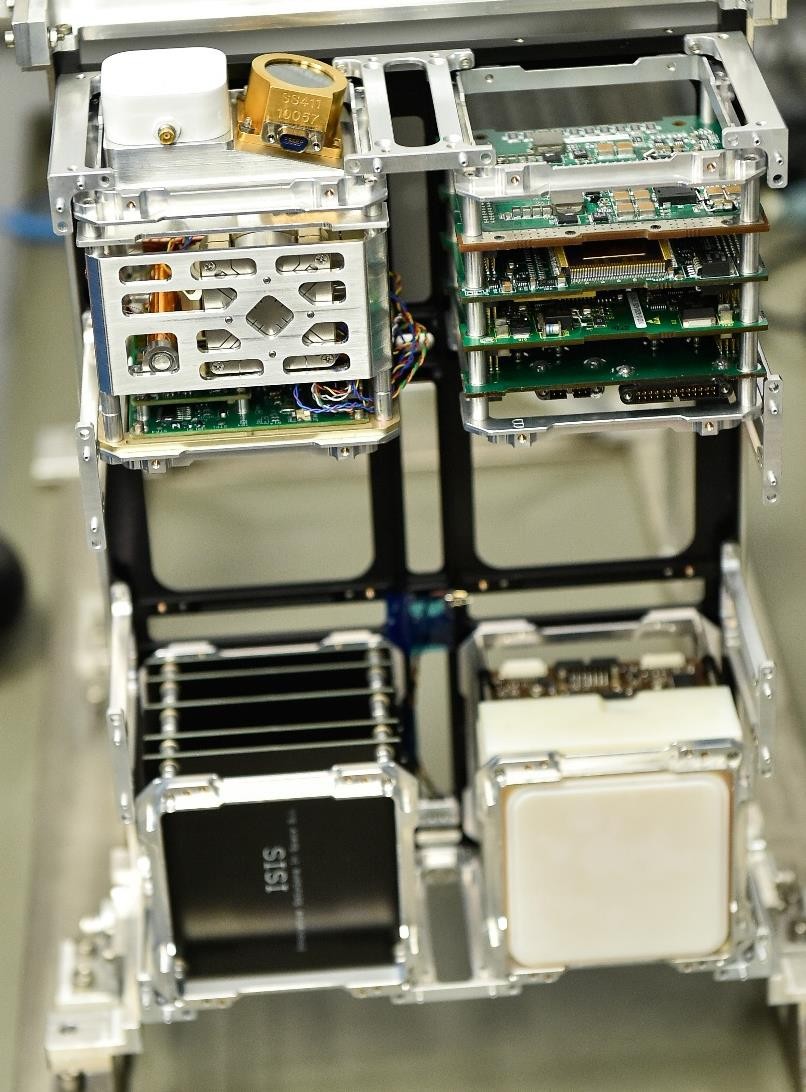
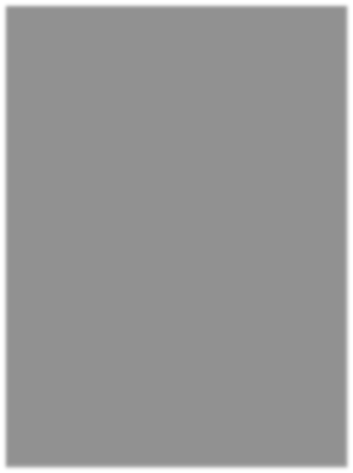


Figure 5 : Ensemble SAMSON

## Coopération avec l'industrie

L'État d'Israël est fier d'être membre du club des nations spatiales, comprenant moins de dix pays sur la planète capables de concevoir, fabriquer et lancer ses propres satellites. C'est pourquoi l'industrie spatiale d'Israël a une renommée mondiale et s'est acquis une stature respectée pour les satellites qu'ils ont construits et continuent de construire et de vendre aujourd'hui. Par contre, la recherche chez ASRI s'est concentrée sur l'avenir plus lointain et sur des technologies qui ne sont pas encore mises en œuvre dans l'industrie.

Des petits satellites à l'échelle de l'université, tels que ceux de SAMSON, deviennent (au niveau mondial) l'outil essentiel de formation des étudiants ingénieurs ainsi que de tests d'application nouvelle dans l'espace avant leur mise en œuvre sur des satellites commerciaux plus grands. La recherche spatiale à l'université est par nature trop avancée dans les domaines de l'avenir pour que les industries puissent intégrer immédiatement ces idées et conceptions dans des plans d'activité actuels. Néanmoins, beaucoup d'industries ont la vision et comprennent que la recherche d'aujourd'hui est l'activité potentielle de demain.

C'est deux dernières années, le Technion a revendiqué le rôle de fer de lance de la recherche sur les petits satellites en Israël, essentiellement grâce au projet SAMSON. Sous la direction de l'ASRI, nous avons maintenant constitué un groupe très diversifié de plusieurs dizaines de chercheurs et d'ingénieurs de Technion et des industries israéliennes qui y ont collaboré. En fait, avec l'arrivée du projet SAMSON, nous avons été submergés par les demandes des membres de l'industrie spatiale (qui peuvent être de féroces concurrents par ailleurs) pour se précipiter et rejoindre SAMSON sous l'ombrelle universitaire de l'ASRI, et qui collaborent maintenant étroitement à SAMSON. Les industriels ne sont pas payés pour travailler avec nous, mais ils reconnaissent évidemment la valeur technologique qu'il y a à faire partie d'une mission spatiale de pointe. Dans l'activité spatiale, où il y a peu de clients, les missions sont peu nombreuses et l'expérience (de lancements) est essentiel, SAMSON est une rare opportunité pour les industriels de prendre part à une mission novatrice et néanmoins réelle, qui permet à leur matériel d'acquérir une précieuse expérience dans l'espace. C'est pourquoi on ne saurait surestimer la réputation que des projets spatiaux réels tels que Techsat et SAMSON apportent au Technion.

## Nos partenaires industriels

La division spatiale de IAI, MBT Space, est le sous-traitant spatial essentiel d'Israël, et le port d'attache des gammes de satellites israéliens bien connus Ofeq, Eros et Amos. Dès la conception de SAMSON, MBT Space s'est généreusement proposé de fournir des services techniques sur les systèmes du projet ainsi que leur savoir-faire en commandes thermiques et d'attitude, en essais thermoacoustiques, en intégration de systèmes et ses autres savoir-faire en construction de satellites. MBT Space a déjà consacré des milliers d'heures de travail de techniciens pour SAMSON et ce n'est assurément par terminé. MBT Space vient de développer un nouveau « bus » (basic units and systems) pour nanosatellites. Nous sommes en cours d'achat de trois de ces unités bus pour les satellites SAMSON, qui seront un des premiers bancs d'essai de ce nouveau bus. Il est facile de voir que notre collaboration active sur une mission universitaire a notablement accru l'intérêt et l'investissement de IAI/MBT en faveur des petits satellites.

Rafael Ltd peut être considéré comme la principale épine dorsale des industries de défense israéliennes et probablement son membre le plus rentable. Rafael conçoit et fabrique des lanceurs et composants de lanceurs pour la plupart des satellites israéliens, et en vend certains à l'étranger. Rafael s'est intégré très tôt au projet SAMSON, quand un de ses ingénieurs encadrait des projets de groupes d'étudiants à l'Université de génie aérospatial. De fait que SAMSON est né il y a deux ans, ces projets ont été orientés vers la mission SAMSON. Sous la supervision des ingénieurs du Directoire spatial de Rafael, les étudiants de Technion ont conçu le système de lanceur de SAMSON qui sera un élément essentiel de la réussite des missions de vol en escadrille et de géolocalisation. Rafael fournit aussi un ingénieur expérimenté en mécanique, Michael Zaberchik, qui supervise le développement et les procédures complexes d'approvisionnement et de fabrication des lanceurs chez Rafael.

ELTA Systems Ltd., un groupe de IAI, est une des sociétés électroniques vedettes de la défense israélienne. En partenariat avec Elbit Systems Ltd, l'entreprise s'est passionnée pour la construction de la charge utile de géolocalisation pour SAMSON. Nous avons fini par créer un partenariat avec Elta, mais sans aucun doute Elbit aurait pu être un partenaire extrêmement compétent aussi.

Plusieurs ingénieurs d'Elta sont des membres essentiels de l'équipe SAMSON et travaillent en collaboration étroite avec l'équipe SAMSON pour développer la charge utile de géolocalisation. Elta n'a jamais construit auparavant un tel instrument pour l'espace, ils sont donc évidemment très intéressés par cette opportunité de développement d'un savoir-faire nouveau qu'ils n'auraient pas pu avoir sans SAMSON.

## Lancement

Le lancement peut être considéré comme l'aspect le plus important et le plus coûteux de la mission SAMSON. Du fait que nous devons acheter un lancement commercial, nous avons soigneusement étudié le marché et attentivement exploré toutes les possibilités de lancement disponibles. Nous avons actuellement des offres de lancement de plusieurs fournisseurs dans divers pays de prix allant de $1,1 million à $1,5 million. Certaines de ces offres incluent aussi des services techniques de campagne de lancement qui garantissent la compatibilité de nos satellites avec le lanceur, et leur conformité aux exigences techniques. Nous sommes aussi en cours d'exploration de collaborations internationales qui pourraient permettre d'assurer un lancement plus économique. Nous sommes en cours de négociation avec tous les fournisseurs. Ces négociations sont complexes et font participer des juristes, des spécialistes du contrôle d'exportation et peuvent éventuellement recourir à la diplomatie internationale.

Bien que la finalisation du contrat de lancement soit retardée, ASRI vise à signer le contrat dès que possible, de façon à être prêt au lancement en 2017.

#### SAMSON - ÉTAT FINANCIER Phase 2

**Octobre 2015 – Septembre 2016**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **2015/16** |
| **RECETTES** | $ |
|  |  |
| **Financements reçus** | 624 987 |
|  |  |
| **DÉPENSES** |  |
|  |  |
| **Salaires – Personnel universitaire et technique** | 162 720 |
|  |  |
| **Bourses pour étudiants** | 87 174 |
|  |  |
| **Total des dépenses** | 249 894 |
|  |  |
| **SOLDE DES FONDS pour travaux ultérieurs** | **375 093** |
|  |  |
| **SOLDE à nouveau** | **375 207** |
|  |  |
| **SOLDE TOTAL DES FONDS** | **750 300 $** |

Le Technion exprime sa reconnaissance à

pour son assistance dans ce projet

Produit par

Technion-Israel Institute of Technology Division of PublicAffairs and Resource Development

Technion City

Haifa 32000