

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

SPACESHIP FR

DIRECTION DES SYSTEMES ORBITAUX ET DES APPLICATIONS
SOUS-DIRECTION EXPLORATION ET VOLS HABITES
MOON AND MARS STATIONS

SPCP-SOW-FOOD-0110-CNES

Edition : 01 Date : 27/02/2024

Révision : 00 Date : 27/02/2024

Code diffusion : E

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

ETUDE D'UN MOYEN DE PRODUCTION DE CEREALES ET LEGUMINEUSES POUR L'EXPLORATION LOINTAINE

Rédigé par : NAVARRO Gregory	DOA/EVH/MMS	le :	
Validé par : PAILLET Alexis	DOA/EVH/MMS (PROJECT MANAGER)	le :	
Pour application : BARDE Sebastien	DOA/EVH	le :	

BORDEREAU D'INDEXATION

CONFIDENTIALITE :

DLP 27/02/2034

MOTS CLES : Exploration, micro-organismes, propreté, support vie, Spaceship FR

TITRE DU DOCUMENT :

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

ETUDE D'UN MOYEN DE PRODUCTION DE CEREALES ET LEGUMINEUSES POUR L'EXPLORATION LOINTAINE

AUTEUR(S) :

NAVARRO Gregory

DOA/EVH/MMS

RESUME : Ce document est le Cahier des Clauses Techniques et Particulières pour le développement et le prototypage d'un moyen de production de céréales et légumineuses en complément du prototypage du moyen de production végétale en cours (R&T : R-S22/SU-0005-026 - Module de production végétale pour base lunaire). Cela pour obtenir un moyen de production de nourriture pour les missions spatiales d'exploration lointaine permettant de couvrir les besoins nutritionnels des équipages.

DOCUMENTS RATTACHES : Ce document vit seul.

LOCALISATION :

VOLUME : 1

NBRE TOTAL DE PAGES : 15

DONT PAGES LIMINAIRES : 5

NBRE DE PAGES SUPPL. : 0

DOCUMENT COMPOSITE : N

LANGUE : FR

GESTION DE CONF. : Non

RESP. GEST. CONF. :

CAUSE D'EVOLUTION : Création du document

CONTRAT : Néant

SYSTEME HOTE :

Microsoft Word 16.0 (16.0.5426)

\\tw-gdoc-p01\GDOC\ModeleGDOC.dot

Version GDOC : v4.6.0

Base projet : \\tw-gdoc-p01\GdocBasesPartagees\Projets\CST\SPACESHIP_FR\SPACESHIP_FR.accdb

DIFFUSION INTERNE

<i>Nom</i>	<i>Sigle</i>	<i>Bpi</i>	<i>Observations</i>
PAILLET Alexis	DOA/EVH/MMS (PROJECT MANAGER)	2221	
BARDE Sebastien	DOA/EVH	2221	
NAVARRO Gregory	DOA/EVH/MMS	2221	
BLOUVAC Jean	DS /DAP/SUE	2903	
GAUQUELINKOCH Guillemette	DS /DAP/SUE	2903	
FAUP Michel	DS	2901	

DIFFUSION EXTERNE

<i>Nom</i>	<i>Sigle</i>	<i>Observations</i>
------------	--------------	---------------------

MODIFICATION

Ed.	Rév.	Date	Référence, Auteur(s), Causes d'évolution
01	00	27/02/2024	NAVARRO Gregory DOA/EVH/MMS Création du document

SOMMAIRE

1.	GLOSSAIRE ET LISTE DES PARAMETRES AC & AD	1
2.	DOCUMENTATION	2
2.1.	DOCUMENTS DE REFERENCE	2
2.2.	DOCUMENTS APPLICABLES	2
3.	CONTEXTE	3
4.	OBJECTIFS	4
5.	IMPACT RSE – RESPONSABILITE SOCIETALE DES ENTREPRISES	5
6.	DEFINITION DES ACTIVITES A REALISER	6
6.1.	TACHE 1 : ETUDE DES BESOINS NUTRITIONNEL, CULINAIRE, ET AGRONOMIQUE.....	6
6.2.	TACHE 2 : ADAPTATION D'UNE UNITE DE PRODUCTION ET PRE-TESTS 6	6
6.3.	TACHE 3 : EXPERIMENTATIONS ET COLLECTE DE DONNEES.....	7
7.	DOCUMENTATION	8
8.	CONDITIONS DE REALISATION.....	9
8.1.	ASSURANCE PRODUIT.....	9
8.2.	FOURNITURE ET DOCUMENTATION.....	9
8.3.	SECURITE	9
8.4.	PLANNING.....	9
8.5.	SUIVI DE PROJET.....	10

1. GLOSSAIRE ET LISTE DES PARAMETRES AC & AD

CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
ECLSS	Environmental Control and Life Support System
ISECG	International Space Exploration Coordination Group
O2	Oxygène
PAIR	Plan Animation de l'Innovation de Rupture

Liste des paramètres AC :

page 1 § 1.

Liste des paramètres AD :

page 1 § 1.

2. DOCUMENTATION

2.1. DOCUMENTS DE REFERENCE

- DR1 GLOBAL EXPLORATION ROADMAP CRITICAL TECHNOLOGY NEEDS
ISECG
/
- DR2 Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0, Addendum#2
BG Drake
NASA/SP-2009-566-ADD2

2.2. DOCUMENTS APPLICABLES

3. CONTEXTE

En vue des vols habités longue durée, la production de nourriture in-situ est un enjeu majeur. Dans le cadre de la R&T : R-S22/SU-0005-026 - "Module de production végétale pour base lunaire", nous avons étudié les différents types de plantes à produire afin d'apporter au minimum 1/3 des besoins journaliers d'un équipage de 4 personnes sur une base lunaire. Cette étude nous a montré qu'il va être difficile de remplir l'ensemble des besoins nutritionnels des astronautes avec seulement des végétaux. La culture de céréales et légumineuses permettra de compléter un régime alimentaire végétal pour assurer une production autonome de l'ensemble des nutriments nécessaires à la physiologie humaine.

La production de céréales et légumineuses est complémentaire à la production de végétaux car elles présentent les avantages suivants :

- Haut niveau de productivité énergétique : cela permettrait d'atteindre 50 à 60% du besoin calorique journalier des astronautes ;
- Complémentarité nutritionnels avec les plantes et les champignons (une étude précédente a montré que nous pouvons utiliser les moyens de production issus de R&T : R-S22/SU-0005-026 pour produire des champignons) : apport protéique végétal complet et qualitatif ;
- Complémentarité de production avec les champignons : cela permettrait d'utiliser les pailles et les co-produit pour la production de champignons.

Le module de production végétale développé dans le cadre de la R&T permettrait, moyennant des adaptations techniques mineures, de produire des céréales et des légumineuses. La technologie n'existant pas sur le marché, elle permettrait de réaliser une avancée majeure dans la conception d'un système alimentaire complet, en offrant aux équipages la possibilité de produire en autonomie du matériel de qualité.

Dans ce contexte, le Spaceship Fr a initié des investigations sur l'évaluation de la faisabilité de production de céréales et de légumineuses in-situ dans les futures bases lunaires et martiennes. Cette solution ne semble pour l'instant pas étudiée par les acteurs du domaine. La solution technique pourrait être réutiliser sur Terre pour améliorer les ensemencements et les cultures actuelles.

4. OBJECTIFS

Le projet vise à faire adapter le module de production développé dans le cadre de la R&T pour permettre la production de céréales et légumineuses dans la même enveloppe. Les objectifs sont :

- Qualifier un processus de production pour 4 modèles pertinents de plantes retenues pour leur intérêt nutritionnel ;
- Obtenir une couverture d'au moins 50% des besoins caloriques d'un astronaute via le système de production ;
- Augmenter les parts protéique et glucidique dans le menu proposé aux astronautes ;
- Intégrer les déchets de culture de céréales dans les substrats dédiés aux champignons et autres co-cultures envisagées par le CNES (insectes, poissons etc..).

5. IMPACT RSE – RESPONSABILITE SOCIETALE DES ENTREPRISES

Soucieux du développement durable, le CNES sera attentif aux points suivants :

Politique numérique : Le soumissionnaire présentera ses compétences et références en matière de sobriété numérique. Il démontrera sa capacité à mettre en place une politique de numérique responsable dans ses prestations. Le soumissionnaire aura recours à l'éco-conception des algorithmes et des outils (ex. optimisation du code, paramétrage sobre, architecture modulaire et frugale, simplification des IHM-interfaces homme-machine). Des règles d'éco-conception seront intégrées dans le maintien des outils génériques.

Politique de déplacement : Le soumissionnaire proposera des optimisations de ses déplacements et privilégiera les visioconférences.

Approvisionnement de consommables : Lors de la réalisation d'achat de petit matériel consommable, le soumissionnaire privilégiera des produits éco-labellisés, reconditionnés ou ayant fait l'objet d'une évaluation environnementale (PEP, EPD) à chaque fois que cela est possible, et dans le respect des normes de sécurité.

Eco conception : Le soumissionnaire aura recours à l'éco-conception des matériels à développer et intégrera les bonnes pratiques de la norme ISO 14062 dans la conception. Le soumissionnaire présentera ses compétences et références en matière d'éco-conception.

Limitation des déchets : Le soumissionnaire présentera les actions mises en œuvre pour limiter la production de déchets et favoriser le tri (emballage, protection...).

6. DEFINITION DES ACTIVITES A REALISER

Les activités s'étaleront sur les années 2023 et possiblement sur 2024.

Les différentes tâches afférentes au projet sont définies comme suit :

- **Tâche 1** : Etude des besoins nutritionnel, culinaire, et agronomique
- **Tâche 2** : Adaptation d'une unité de production et pré-tests
- **Tâche 3** : Expérimentations et collecte de données

Les tâches 1 et 2 se feront en parallèle.

6.1. TACHE 1 : ETUDE DES BESOINS NUTRITIONNEL, CULINAIRE, ET AGRONOMIQUE

L'objectif de cette tâche est de choisir des modèles de culture permettant de représenter les légumineuses et les céréales. Le titulaire cherchera à apporter par des plantes la part des calories et nutriments contenus dans le menu créé à l'issue de la dernière R&T, représenté par les pâtes et le pain.

La tâche 1 dure 2 mois et comprend :

- Analyse des besoins physiologiques, agronomiques et culinaires ;
- Screening des céréales et légumineuses ;
- Choix de 4 modèles pertinents de plantes retenues pour leur intérêt nutritionnel ;
- Design préliminaire du moyen de production ;
- Rapport d'étude.

Tâche 1			
Début	T0	Fin	T0+2 mois
Objectif	Dossier d'analyse contenant l'étude des besoins nutritionnel, culinaire, et agronomique, la justification du choix des 4 modèles de plantes et le design préliminaire du moyen de production		

6.2. TACHE 2 : ADAPTATION D'UNE UNITE DE PRODUCTION ET PRE-TESTS

L'objectif de cette tâche est de concevoir une unité de production de céréales et légumineuses, puis d'en fabriquer un prototype. Cela passera par l'adaptation des moyens de contrôles environnementaux.

La tâche 2 dure 4 mois et comprend :

- Conception de l'adaptation de l'unité production ;
- Adaptation de l'unité de production ;
- Essais de bon fonctionnement : germination, estimation du rendement ;
- Ajustement et finalisation du design.

Tâche 2			
Début	T0 + 2 mois	Fin	T0+6 mois
Objectif	Dossier de conception et prototypage d'une unité production de céréales et légumineuses.		

6.3. TACHE 3 : EXPERIMENTATIONS ET COLLECTE DE DONNEES

L'objectif de cette tâche est d'expérimenter la production des plantes sélectionnées durant la tâche 2. Le titulaire s'intéressera principalement au rendement, au dosage des composées nutritionnels d'intérêts et la consommation des ressources.

La tâche 3 dure 4 mois et comprend :

- L'obtention des recettes optimisées de culture ;
- L'obtention de la meilleure productivité ;
- Le dosage des composées nutritionnels d'intérêts ;
- La quantification des co-produits non consommables utilisables pour la culture de champignons.

Tâche 3			
Début	T0+6 mois	Fin	T0+10 mois
Objectif	Rapport final contenant les résultats d'expérimentation, les analyses, la productivité, les éléments d'intérêt nutritionnel, agronomique et culinaire, et la proposition de nouveau menu pour astronautes		

7. DOCUMENTATION

Document à fournir	Commentaires	Version finale

8. CONDITIONS DE REALISATION

8.1. ASSURANCE PRODUIT

Les règles d'assurance produit appliquées sont celles du CNES. La documentation devra respecter ces exigences. Elles seront transmises par l'équipe Spaceship Fr au Titulaire en tant que de besoin.

8.2. FOURNITURE ET DOCUMENTATION

Le titulaire s'engage à livrer les documents finalisés suivant le plan de livraison ci-dessous :

Document à fournir	Commentaires	Version Finale
Dossier d'analyse contenant l'étude des besoins nutritionnel, culinaire, et agronomique, la justification du choix des 4 modèles de plantes et le design préliminaire du moyen de production	Tâche 1	T0+2 mois
Dossier de conception et prototypage d'une unité production de céréales et légumineuses.	Tâche 2	T0+6 mois
Rapport final contenant les résultats d'expérimentation, les analyses, la productivité, les éléments d'intérêt nutritionnel, agronomique et culinaire, et la proposition de nouveau menu pour astronautes	Tâche 3	T0+10 mois

8.3. SECURITE

En s'appuyant sur la documentation en référence, avec le CNES, le Titulaire identifiera les éléments relatifs à la Sécurité des vols habités.

8.4. PLANNING

La durée des travaux est de 4 mois. Le planning théorique proposé est le suivant :

1. T₀ : Kick of meeting.
2. T₀ + 2 mois : revue de la conception du module de production de céréales et légumineuses (fin de tâche 1)
3. T₀ + 6 mois : revue du prototypage du module de production de céréales et légumineuses (fin de tâche 2)
4. T₀ + 10 mois : revue des résultats de la qualification du processus de production de céréales et légumineuses (fin de tâche 3)

8.5. SUIVI DE PROJET

Les réunions prévues sont à minima les suivantes :

- Réunion de démarrage
- Réunions d'avancement par téléconférence
- Réunions de travail en commun avec l'équipe Spaceship Fr
- Réunions de fin de tâche
- Réunion de présentation finale au CNES Toulouse

Pour la réunion de démarrage et les réunions d'avancement, l'ordre du jour sera envoyé par le titulaire 2 jours avant le rendez-vous. Les comptes rendus de démarrage et d'avancement et la gestion des actions attribuées lors de l'avancement sont à la charge du titulaire.

S'il y a lieu, pour les points clés et la recette, l'ordre du jour sera envoyé par le titulaire 1 semaine avant le rendez-vous.