

Projet Minibee
Dimensionnement structurel
SUPMÉCA 2020-2021 *3^{ème} année*

BARRETO ALVES Mickeline Marli

MOURA DE SOUZA Gabriel Jesus

Contexte du MiniBee

MiniBee

- Le Mini-Bee est un véhicule hybride destiné à être utilisé en tant que mobilité aérienne urbaine (UAM);
- Moteurisation hybride.
- Caractéristiques d'un drone multicopter et d'un hélicoptère, avec des fonctionnalités telles que le décollage et l'atterrissage vertical (VTOL);
- Une grande mobilité et une facilité de locomotion.
- Coût maximum, ne dépassant pas 300 000 euros
- Masse maximale au décollage (MTOW) de 750 kg.



Objectif du projet

1. Définition du **besoin** - Rédaction **cahier des charges** fonctionnel 
2. **Dimensionnement et simulation mécanique** 
 1. Simulation dynamique du décollage et de l'atterrissage du **Train d'atterrissage**
 2. Structure du MiniBee : **structure supérieure**,  **châssis** 
 3. Simulation dynamique du **Système d'amortissement du/des siège(s)** lors d'un atterrissage brutal 
3. **Modélisation du système** complexe Mini-Bee

Organisation des tâches

Tâche réalisée	
Tâche en cours	
Tâche en attente	
Tâche bloquée	

2. Dimensionnement et simulation mécanique:

1. Simulation dynamique du décollage et de l'atterrissage du train d'atterrissage

Train de atterrissage

- Détermination des cas et calcul des efforts 
- Simulation dynamique sur Dymola 

2. Structure du MiniBee : structure supérieure, châssis

Structure Supérieure

- Nouvelle analyse EF, avec les nouvelles dimensions des tubes (rotor d=4m) et des hélices 
- Il faut faire l'analyse vibratoire dynamique (NX I-deas) 
- Déterminer les connexions entre les tubes (sauf la connexion entre le rotor avec le tube rosé, connexion fixe) 

Châssis

- Il faut changer la hauteur pour être à l'intérieur du conteneur LD3, h=1.5m 

3. Simulation dynamique du système d'amortissement du/des siège(s) lors d'un atterrissage brutal

Système d'amortissement du siège

- Simulation dynamique sur Dymola 
- Simulation dynamique sur Adams 

1er - Modélisation

Entrées

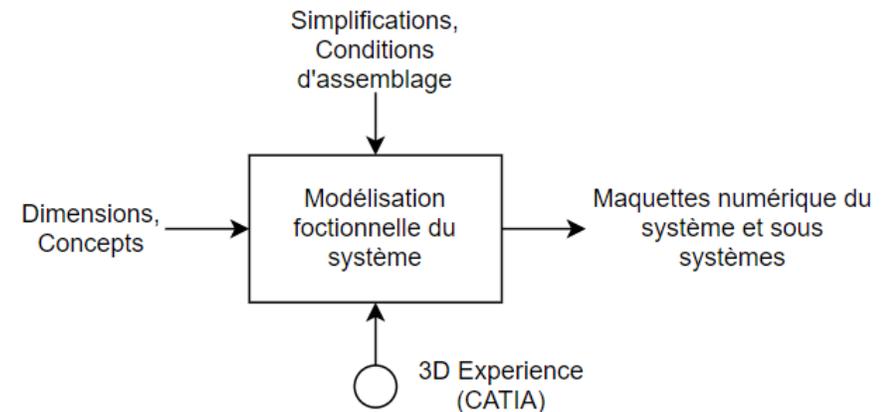
- Projet Conceptuelle
- Dimensions de la maquette du Louis Armand

Travail à faire

- Maquettes numériques pour la simulation
- Sous-systèmes : structure supérieure, châssis, train d'atterrissage

Besoins

- Simplifications (Ex.: Modèle coque pour le châssis et structure supérieure)
- Conditions d'assemblage
- 3DExperience (Abaqus et CATIA)



2ème - Simulation du train d'atterrissage

Entrées

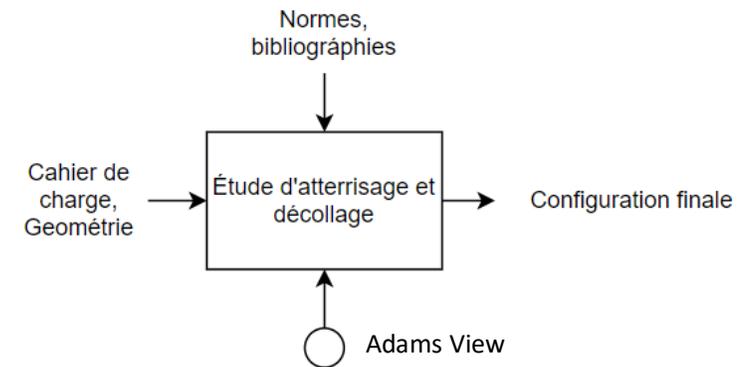
- Géométrie et cahier de charges

Travail à faire

- Simulation en conditions normales
- Simulation en conditions critiques

Besoins

- Définition de la démarche de simulation
- Adams View
- Normes



3ème- Dimensionnement de la structure du MiniBee : structure supérieure, châssis

Entrées

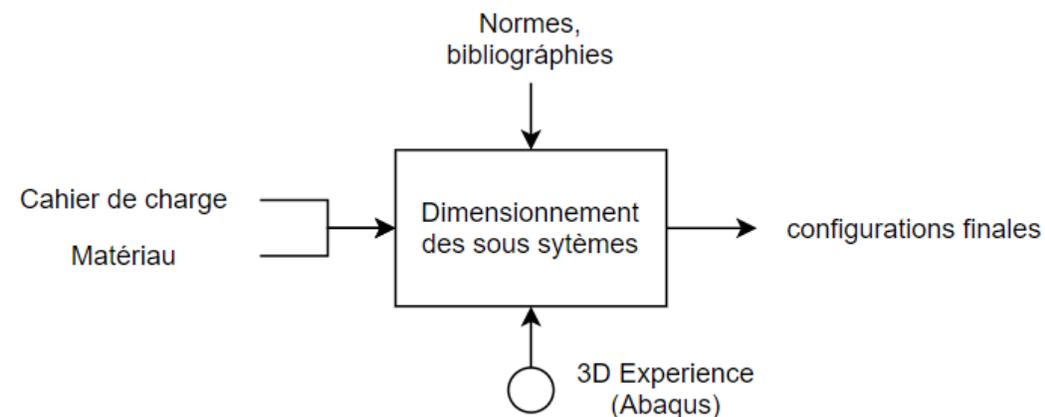
- Géométries, cahier de charge, matériaux des pièces

Travail à faire

- Définition des hypothèses et liste de cas à simuler (Consulter les normes)
- Validation des géométries déjà existants et possibles modifications

Besoins

- 3DExperience (Abaqus et CATIA)
- Révision bibliographique
- Normes



4ème - Simulation du système d'amortissement du/des siège(s) lors d'un atterrissage brutal

Entrées

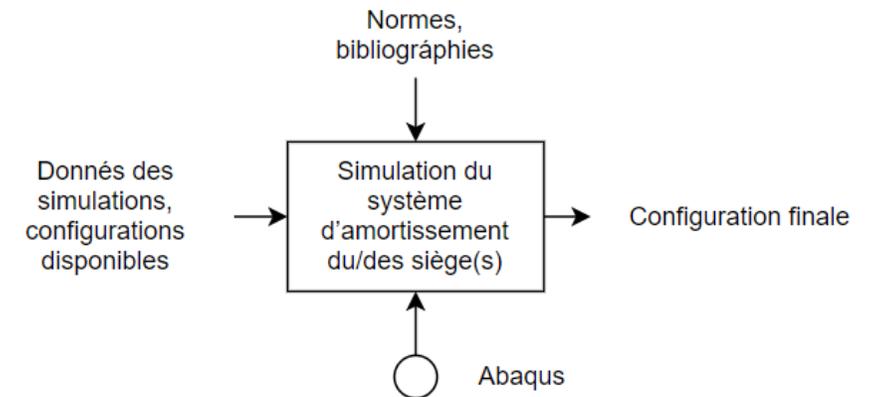
- Données de simulation de l'atterrissage
- Normes

Travail à faire

- Vérifier si l'amortissement est conforme la norme
- Recherche des dispositifs et configurations disponibles au marché

Besoins

- Dymola
- Adams View



Détermination des cas et calcul des efforts

Objectifs

- Calculer les efforts sur le train d'atterrissage

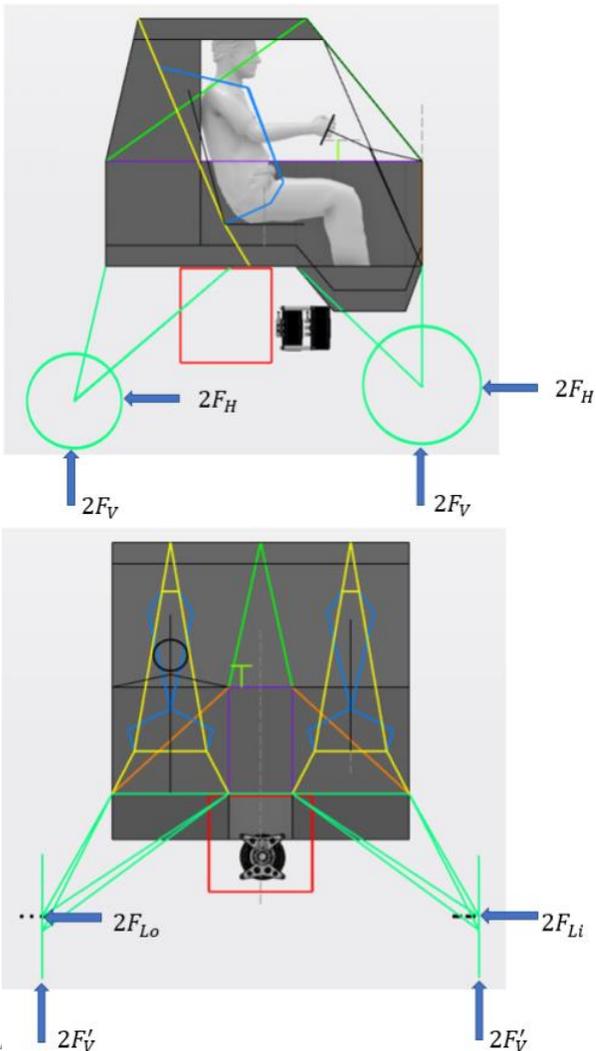
Spécifications

Spécifications		
Norme CS – 27		
Variable	Valeur	Unité
Coefficient de securité	1,5-	
facteur de charge positive	3,5-	
facteur de charge negative	-1-	
facteur de charge de inertie(n)	3-	
facteur de charge du sol(ng)	2	
Données d'entrée		
Masse totale(M)	750 kg	
Accelération gravité(g)	9,81 m/s ²	
Poids(W)	7357,5 N	
Poids*facteur de charge(nW)	22072,5 N	
Rapport Lift poids lors de l'atterrissage	0,67	
Lift(L)	4905 N	
Force résultante	2452,5 N	
Distance entre le tra in avant et le CG	0,9 m	
Distance entre le tra in arriere et le CG	0,75 m	
Distance entre le tra in avant et arriere	1,65 m	
%Du poids tra in d'avant	45,45%-	
% Du poids tra in arriere	54,55%-	
Poids dur le tra in avant	340,91	
Poids dur le tra in arriere	409,09	

Cas	Cas d'analyse norme CS 27
1	CS 27.479 - Conditions d'atterrissage en palier
1.1	Une attitude dans laquelle toutes les roues touchent le sol simultanément.
1.2	Une attitude dans laquelle les roues arriere touchent le sol avec les roues avant juste à l'écart du sol.
2	CS 27.483 - Conditions d'atterrissage à une roue
2.1	Conditions d'atterrissage à une roue.
3	CS 27.485 - Conditions d'atterrissage en dérive latérale
3.1	Une attitude dans laquelle toutes les roues touchent le sol simultanément.
3.2	Une attitude dans laquelle les roues arriere touchent le sol avec les roues avant juste à l'écart du sol.

Détermination des cas et calcul des efforts

Schémas



Conclusion

Cas 1 - toutes les roues touchent (En palier)	
Train avant	
Force Vertical sur chaque roue (Fv)	1337,73 N
Force Horizontal sur chaque roue (Fh)	501,65 N
Train arrière	
Force Vertical sur chaque roue (Fv)	1114,77 N
Force Horizontal sur chaque roue (Fh)	418,04 N
Cas 2 - les roues arrière touchent le sol (deux roues)	
Train arrière	
Force Vertical sur chaque roue (Fv)	3678,75 N
Force Horizontal sur chaque roue (Fh)	919,69 N
Cas 3 - Conditions d'atterrissage à une roue	
Train arrière	
Force Vertical	4905,00 N
Force Horizontal	1839,38 N

Cas 4 - toutes les roues touchent (En dérive latérale)		
Train avant		
Force Vertical sur chaque roue (Fv)		668,86 N
Facteur de Force lateral (FLi(inward))		0,8-
Facteur de Force lateral (FLo(outward))		0,6-
Force lateral (FLi(inward wheel))		535,09 N
Force lateral (FLo(outward wheel))		401,32 N
Train arrière		
Force Vertical sur chaque roue (Fv)		557,39 N
Facteur de Force lateral (FLi(inward))		0,8-
Facteur de Force lateral (FLo(outward))		0,6-
Force lateral (FLi(inward wheel))		445,91 N
Force lateral (FLo(outward wheel))		334,43 N
Cas 5 - les roues arrière touchent le sol (En dérive latérale)		
Train arrière		
Force Vertical sur chaque roue (Fv)		1839,38 N
Facteur de Force lateral (FLi(inward))		0,8-
Facteur de Force lateral (FLo(outward))		0,6-
Force lateral (FLi(inward wheel))		1471,5 N
Force lateral (FLo(outward wheel))		1103,63 N

Il faut avoir les bonnes valeurs des données d'entrée comme le MTOW et le centre de gravité du système pour valider les valeurs des efforts

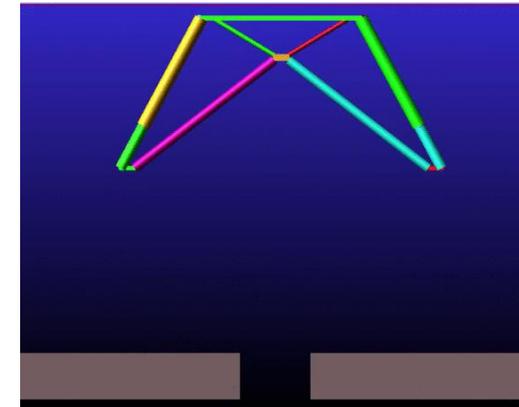


Modélisation multi-corps du train d'atterrissage

Objectif de la simulation

- Comparer le comportement du train d'atterrissage avec celui de la vidéo d'essai du train d'origine pour faire une estimation des paramètres de rigidité et amortissement du système.

Schémas

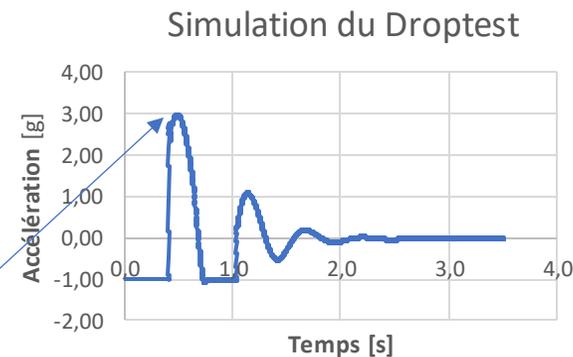


Spécification

Droptest (video)		
Paramètre	Valeur	Dimension
Hauteur	31	in
Masse	2400	lb
G-Factor	3.1	-

- Simplifications: Amortisseur Linéaire

Conclusion



Simulation		
Paramètre	Valeur	Dimensions
Raideur	320	N/mm
Amortissement	14	N.s/mm
G-Factor	3	-

Facteur d'accélération de 3G.



Structure Supérieure sur Abaqus

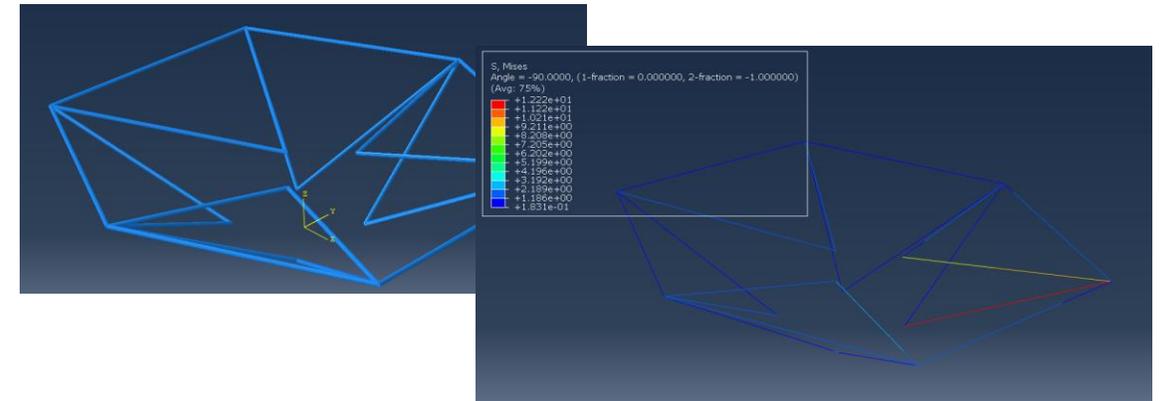
Objectif de la simulation

1. Importer de la structure sur Abaqus 
2. Spécifier le matériau dans chaque direction de la fibre 
3. Liaison entre les tubes (schéma cinématique) 
4. Calculer les fréquences naturelles 
5. Déterminer les fréquences naturelles réelles et mathématique 

Spécification

E_{11}^*	Young's modulus along fiber direction 1 (psi)	2.16E+07
E_{22}^*	Young's modulus along matrix direction 2 (psi)	1.28E+06
E_{33}^*	Young's modulus along matrix direction 3 (psi)	1.28E+06
ν_{12}^*	Poisson's ratio	0.342
ν_{13}^*	Poisson's ratio	0.342
ν_{23}^*	Poisson's ratio	0.35
G_{12}^*	Shear modulus in 1-2 plane (psi)	7.80E+05
G_{13}^*	Shear modulus in 1-3 plane (psi)	7.80E+05
G_{23}^*	Shear modulus in 2-3 plane (psi)	431720
β^*	Coefficient for stiffness proportional damping	1.00E-09
X_{11}^*	Tensile failure stress in fiber direction (direction 1) (psi)	3.50E+05
X_{1c}^*	Compressive failure stress in fiber direction (direction 1) (psi)	1.67E+05
X_{2t}^*	Tensile failure stress in direction 2 (transverse to fiber direction) (psi)	9.41E+03
X_{2c}^*	Compressive failure stress in direction 2 (transverse to fiber direction) (psi)	3.55E+04
X_{3t}^*	Tensile failure stress in direction 3 (transverse to fiber direction) (psi)	9.41E+03
X_{3c}^*	Compressive failure stress in direction 3 (transverse to fiber direction) (psi)	3.55E+04
S_{12}^*	Shear strength in 1-2 plane (psi)	2.33E+04
S_{13}^*	Shear strength in 1-3 plane (psi)	2.33E+04
S_{23}^*	Shear strength in 2-3 plane (psi)	14000

Schémas



Conclusion

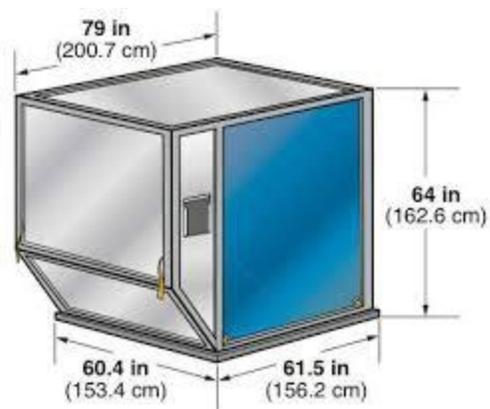
- Utiliser une approximation des spécifications du matériau
- Trouver comment faire les liaisons rotule sur structures filaires sur Abaqus

Objectif / contexte du châssis

Objectif

- Révision du projet conceptuel
- Repositionnement des équipements

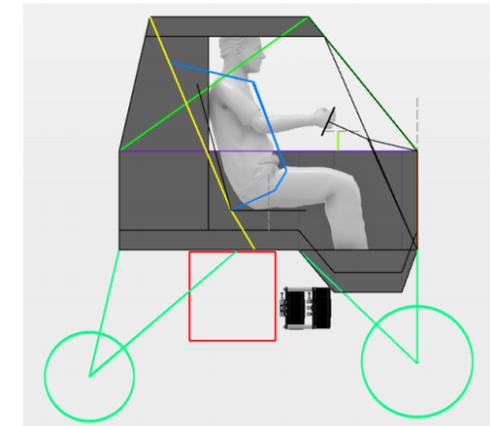
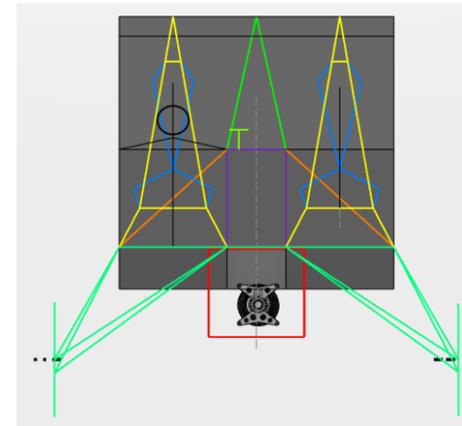
Spécification



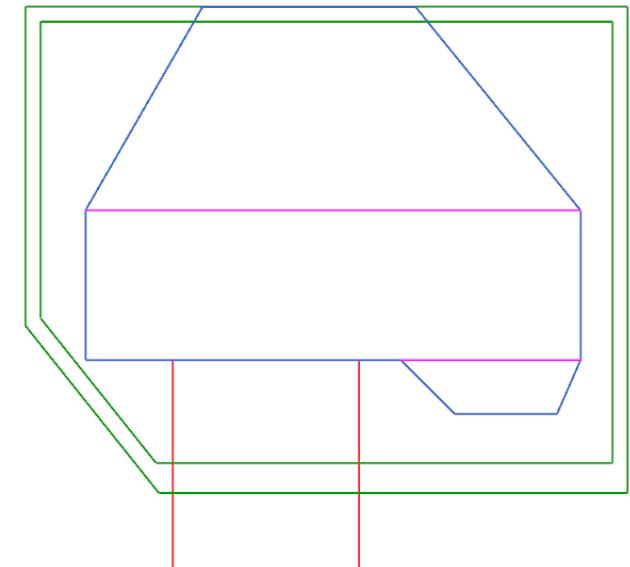
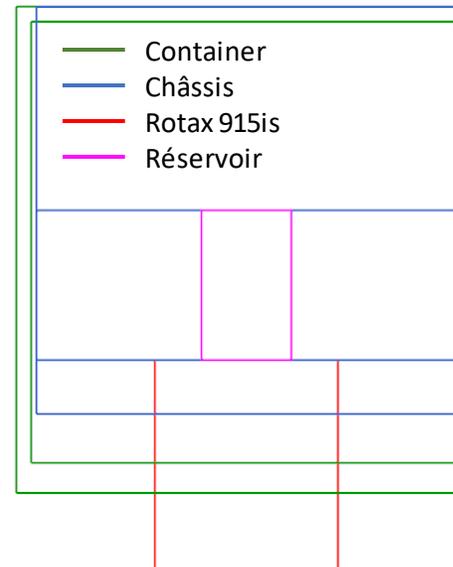
Container LD3

5 cm de jeu
de chaque
côté et 10 cm
vers le bas

Orientation



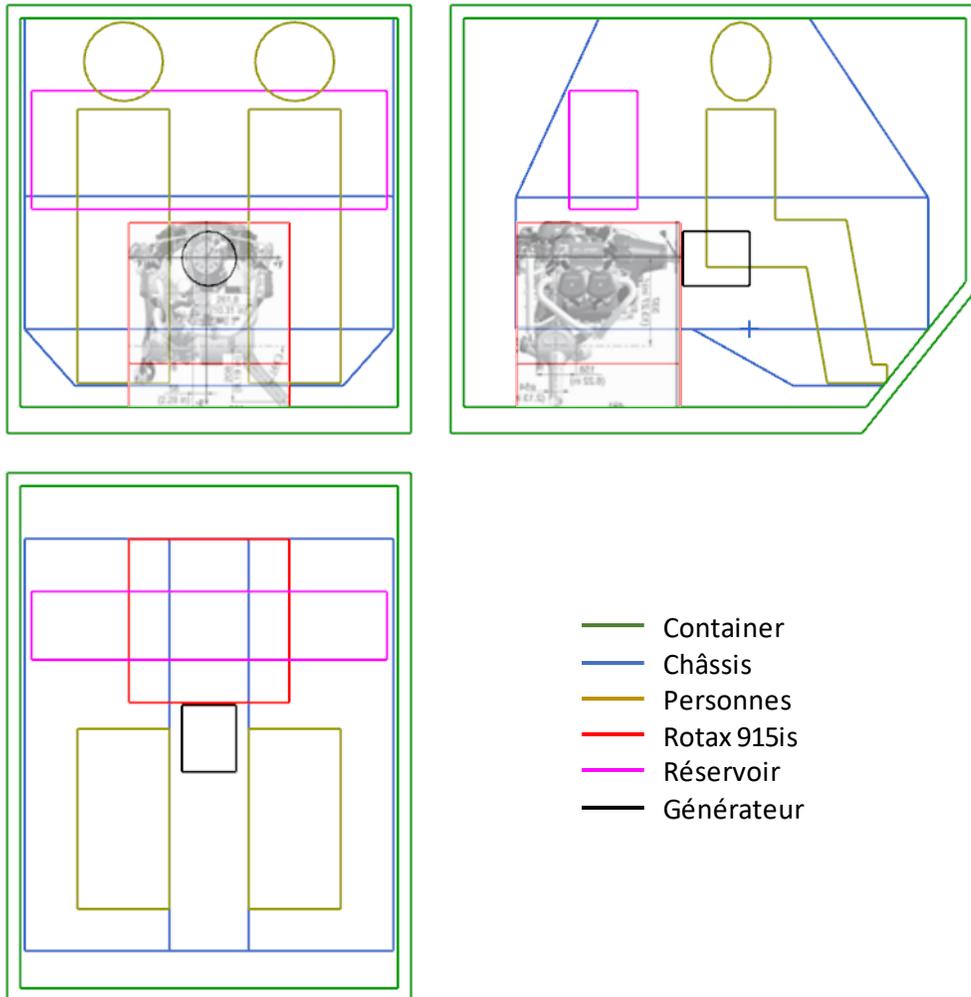
Schémas



2.2 Structure du MiniBee : Structure supérieure et Châssis

Révision du projet conceptuel

Concept



Modifications

- Modification du réservoir pour permettre le repositionnement du moteur

Avantages

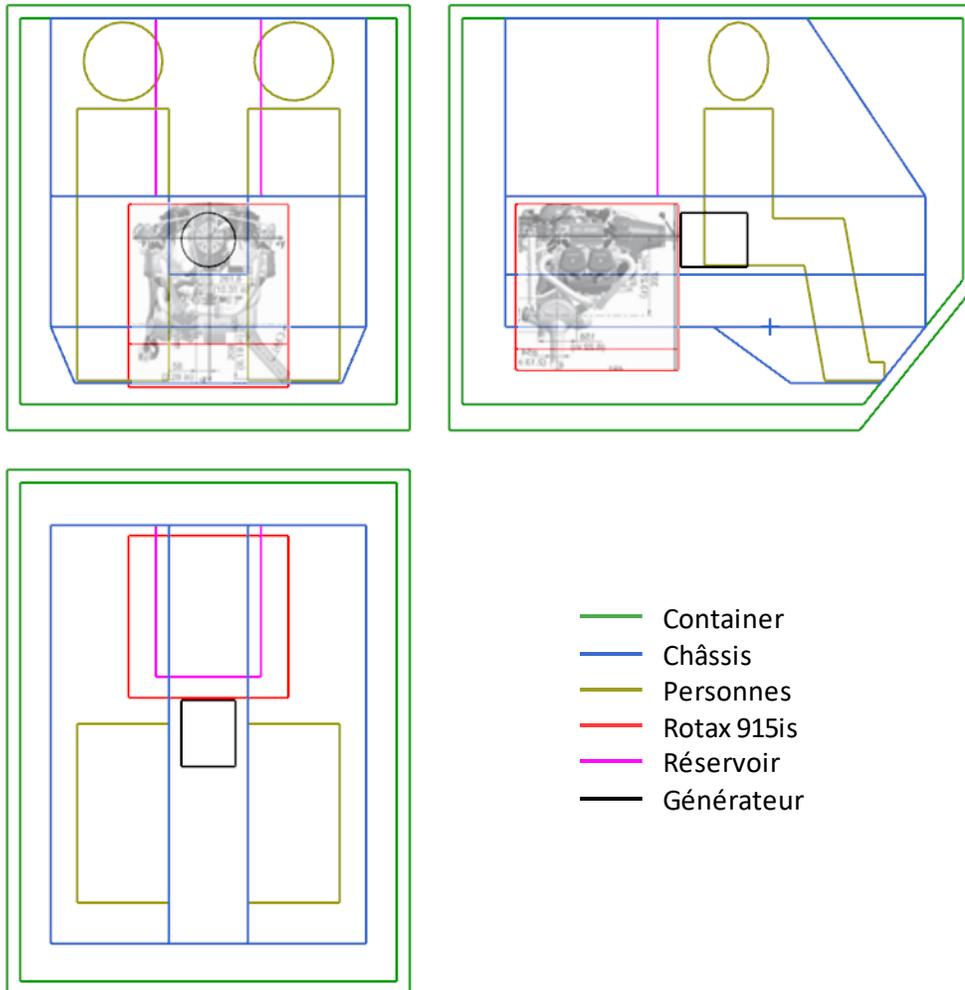
- Moins d'influence de la variation du volume de combustible du réservoir sur le CG

Inconvénients

- Le réservoir perdre un peu ça fonction structurelle
- Interférence entre le système de fixation de chaises et le moteur

Révision du projet conceptuel

Concept



Modifications

Intégration du réservoir dans la structure comme support pour la fixation du moteur

Avantages

Rigidification de la structure

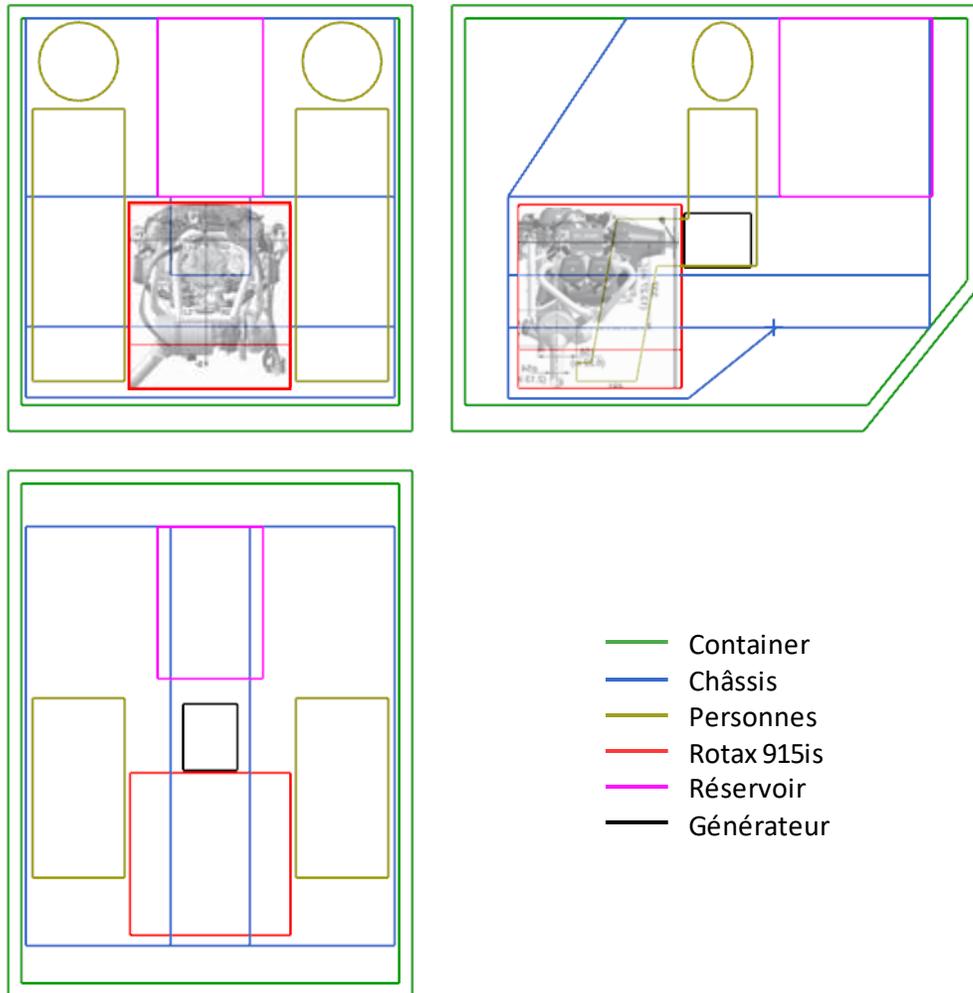
Inconvénients

- Plus d'influence de la variation du volume de combustible du réservoir sur le CG
- Interférence entre le système de fixation de chaises et le moteur

2.2 Structure du MiniBee : Structure supérieure et Châssis

Révision du projet conceptuel

Concept



Modifications

Moteur placé à l'avant

Avantages

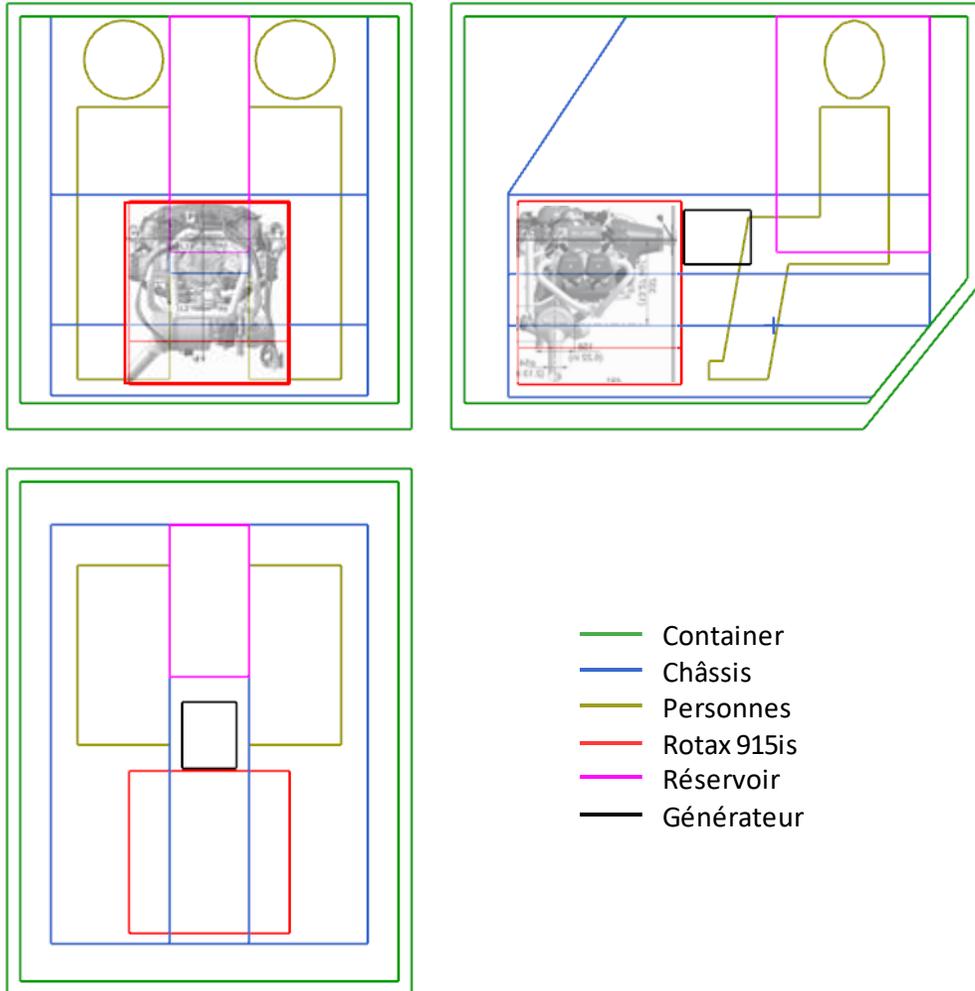
- On gagne de l'espace pour le système de fixation et amortissement des sièges
- Balancement du CG
- Meilleur placement pour la réfrigération du moteur lors du vol de croisière

Inconvénients

- Plus de proximité du moteur des passagers
- Perdre de l'espace pour le système de navigation
- Le réservoir perd un peu la fonction de support structurelle pour le moteur

Révision du projet conceptuel

Concept



Modifications

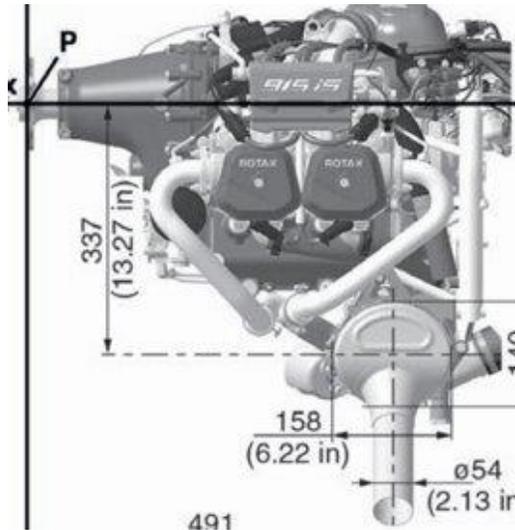
Repositionnement des sieges

Avantages

- On gagne de l'espace avant
- Balancement du CG
- Plus de confort pour les passagers

Inconvénients

- Le réservoir perd un peu la fonction de support structurelle pour le moteur
- Le réservoir peut déranger un peu la vision latéral du pilote



Centre de gravité ? Du mini-bee
1 PAX/2 PAX
Réservoir plein / vide



Il doit être détachable

Bilan des masses

- Flight Electronics : Garmin
- Battery 12v
- Câbles (en particulier les câbles qui vont vers les rotors)
- Power electronics (relais ssr qty 24 = 6*4)

Conception de la structure du Châssis

Objectif de la simulation

Concevoir une maquette 3D préliminaire du Châssis du minibee en prenant en considération l'intégration des sous-systèmes, comme le train d'atterrissage et le

Schémas

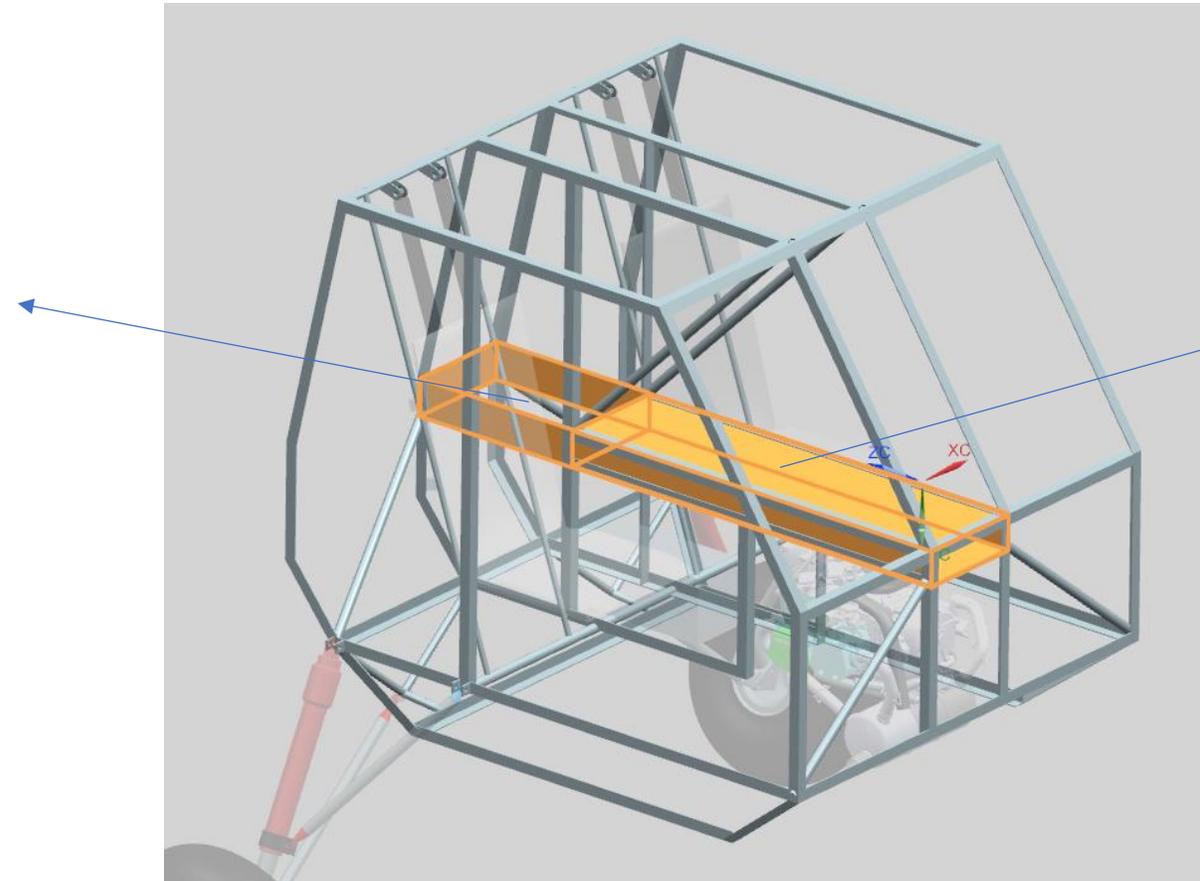
Spécification

Conclusion

Conception de la structure du Châssis

Schémas

Vide pour passer le
resevoir



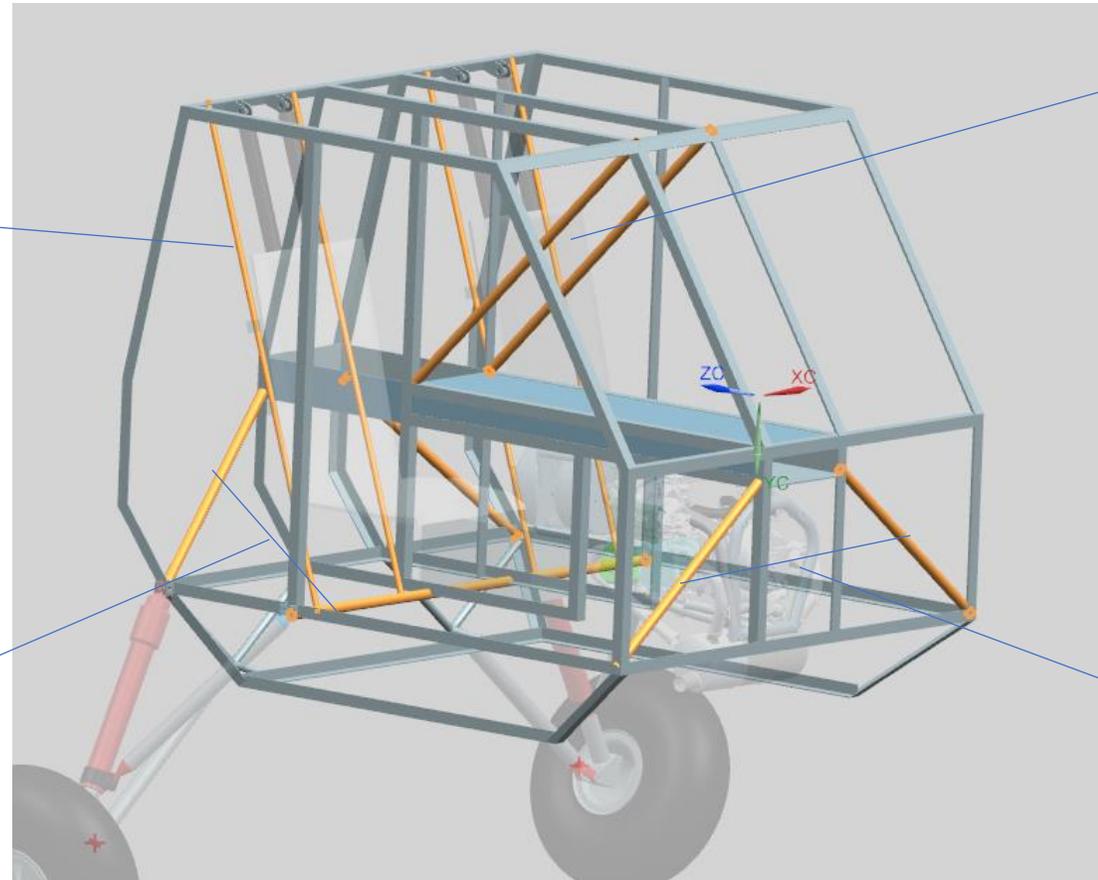
Structure principale que va
donner rigidité au chassis

Conception de la structure du Châssis

Guides du siège que sert aussi comme renforcement structurelle pour le structure superieur et le train d'atterrissage

Schémas

Renforcement structurelle de la structure superieur



Renforcement structurelle pour le train d'atterrissage

Modèles pour le système d'amortissement du siège

1° modèle



Bonne système d'amortissement, par contre il est lourd

2° modèle



Bonne système d'amortissement, par contre il est lourd

3° modèle



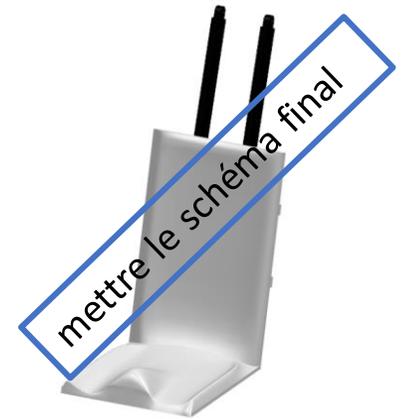
Bonne système d'amortissement, avec les modifications de géométrie, la masse peut être réduit et se revenir viable

4° modèle



Bonne système d'amortissement et il est léger

5° modèle



Bonne système d'amortissement, léger et bonne Intégration à l'appareil

Matrice de décision

Objectif

- Choix du système le plus léger et adaptable au MiniBee

Spécification

- On n'a que **400 mm** pour la déformation de l'amortisseur;
- L'amortisseur doit être léger, 1-2 kg maximum;

Schémas



Conclusion

Matrice de décision									
Critères	Légèreté		Simplicité		Intégration à l'appareil		Coût		Total Ponderé
Pondération	4		2		3		3		
1° Modèle	2	8	3	6	3	9	3	9	23
2° Modèle	1	4	1	2	1	3	1	3	9
3° Modèle	3	12	2	4	2	6	2	6	22
4° Modèle	3	12	4	8	4	12	1	3	32
5° Modèle	4	16	4	8	4	12	4	12	48

Selon le total pondéré, le choix s'est porté sur le **modèle 5** ✓

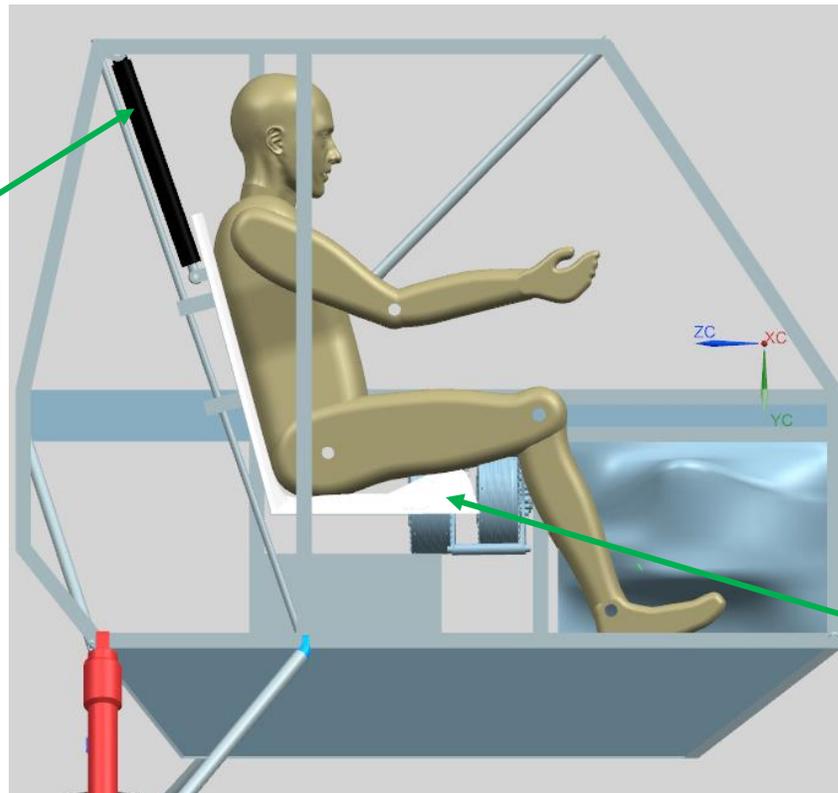
Système d'amortissement choisi

Conclusion

Système d'amortissement choisit: 5° modèle

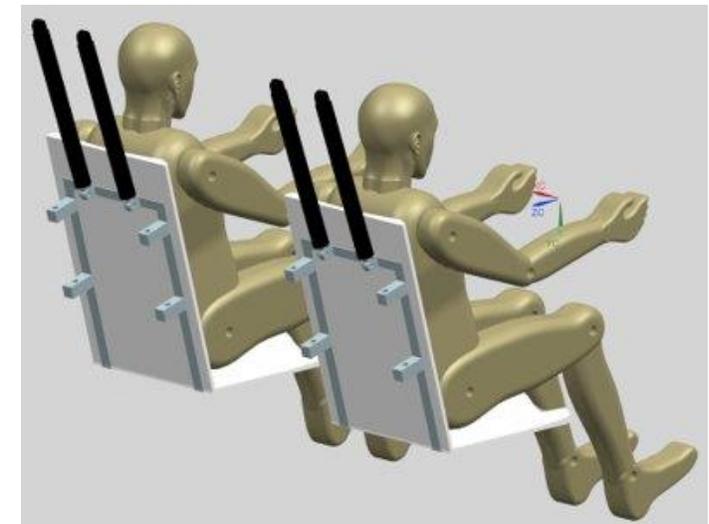
- Léger, 1-2kg
- Plus adaptée aux dimensions du MiniBee
- Déplacement du amortisseur de 400 mm.

Matrice de décision									
Critères	Légèreté		Simplicité		Intégration à l'appareil		Coût		Total Ponderé
Pondération	4		2		3		3		
1° Modèle	2	8	3	6	3	9	3	9	23
2° Modèle	1	4	1	2	1	3	1	3	9
3° Modèle	3	12	2	4	2	6	2	6	22
4° Modèle	3	12	4	8	4	12	1	3	32
5° Modèle	4	16	4	8	4	12	4	12	48



Amortisseur choisi

Siège



Cahier de charge selon la certification CS-27

Spécification

Cahier de charge

Conditions dynamiques d'atterrissage d'urgence		
Critère 1		
Temps et factor d'accélération	Amissible (Selon CS-27)	Unités
Temps d'accélération maximale au sol	0,031	s
Facteur d'accélération maximale au sol	30	

Le critère 1 de la certification CS-27 est lié à l'interaction entre les éléments internes de la cabine et le passager

C.S. = Coefficiente de sécurité de 1.5

Valeurs à respecter

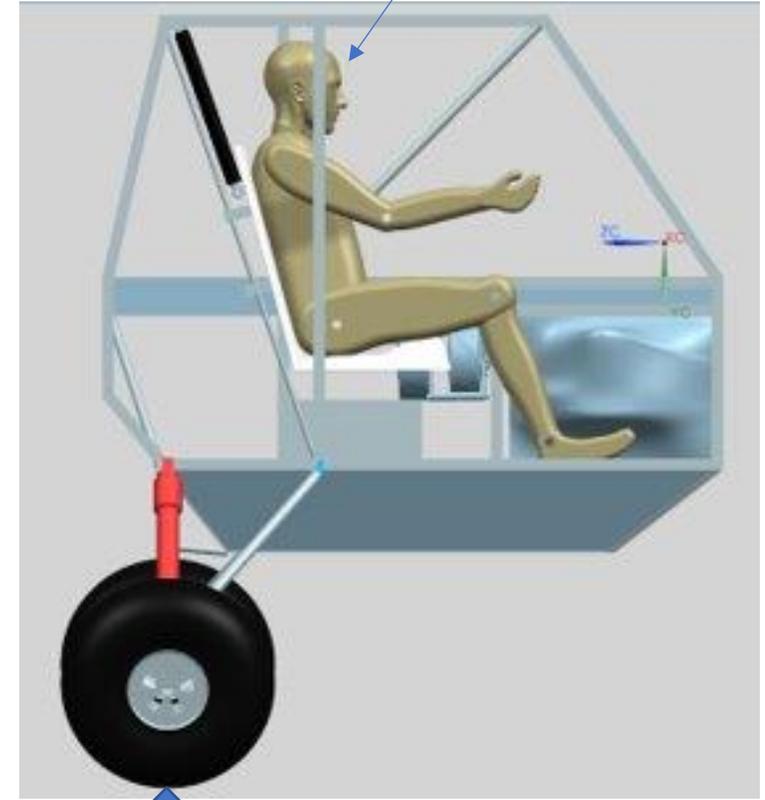
Emergency Landing (Impact sur les éléments du VTOL)		
Critère 1		
Facteur d'accélération	Admissible (Selon CS-27)	Admissible (Avec C.S.= 1.3)
Upward	4	2,67
Forward	16	10,67
Sideward	8	5,33
Downward	20	13,33
Rearward	1,5	1,00

Contrainte de simulation

Vitesse	Valeur
Vitesse minimale sur le passager	9.1 m/s

Schéma

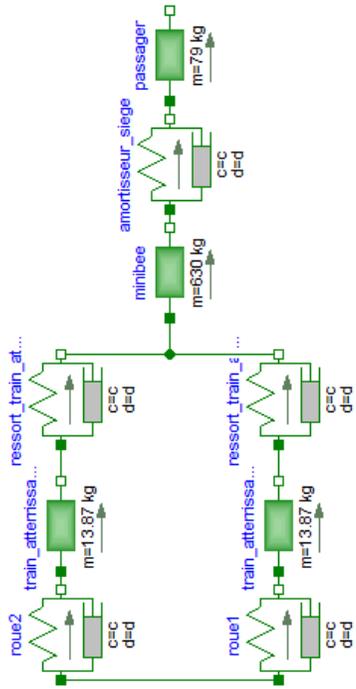
- Ne passez pas de 15,38G
- Être supérieur à 9,1 m/s



30G survenant en 0,031s

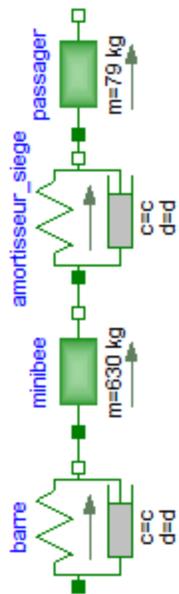
Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

1° modèle



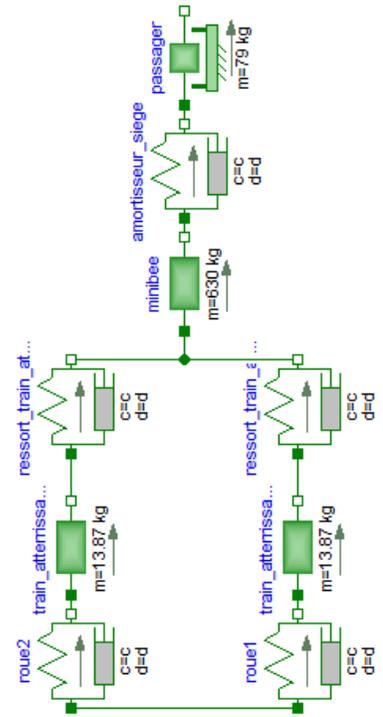
Train d'atterrissage + Amortisseur du siège sans stop and stay

2° modèle



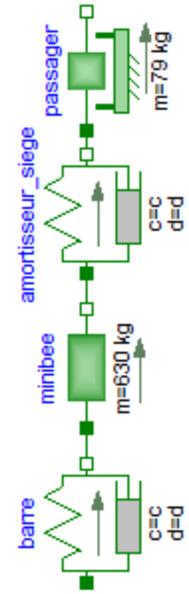
Amortisseur du siège sans stop and stay

3° modèle



Train d'atterrissage + Amortisseur du siège avec stop and stay

4° modèle

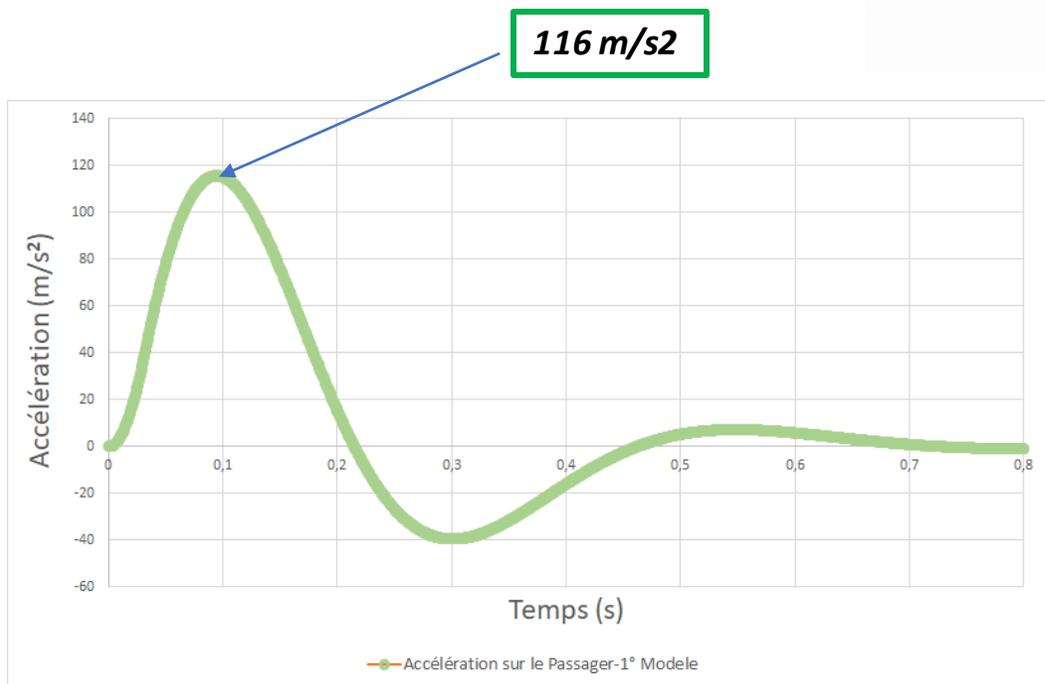


Amortisseur du siège avec stop and stay

Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

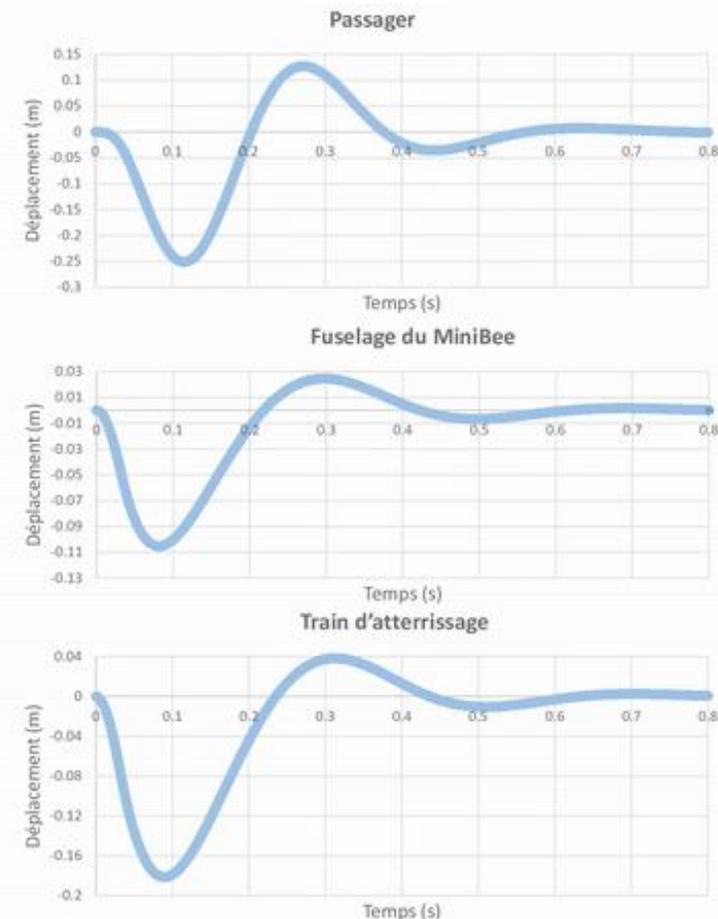
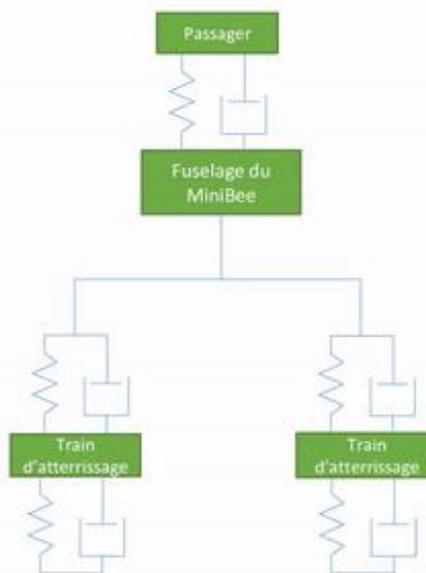
Train d'atterrissage + Amortisseur du siège sans stop and stay

Schéma: 1° modèle



La vallée du graphique a une amplitude d'environ 31% du premier pic, constituant ainsi un système bien amorti

Déplacement du MiniBee



Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

Amortisseur du siège sans stop and stay

Schéma: 2° modèle

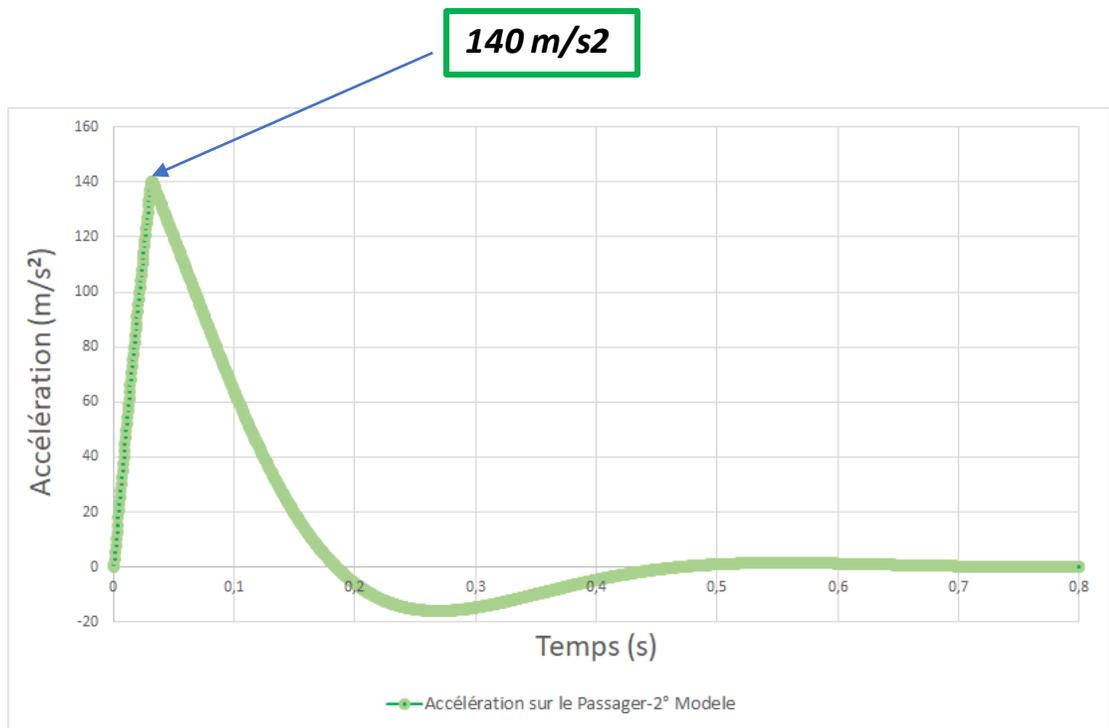


Schéma du 2° modèle

Ce système est léger et amortit les valeurs d'accélération, en plus d'amener le passager à amortir en douceur le déplacement.

Ce système a une valeur d'accélération plus élevée, puisque seul l'amortisseur doit amortir les chocs, sans la contribution de l'amortissement

Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

Train d'atterrissage + Amortisseur du siège avec stop and stay

La courbe jusqu'à la discontinuité a cette forme due à l'influence du mouvement du train d'atterrissage

116 m/s²

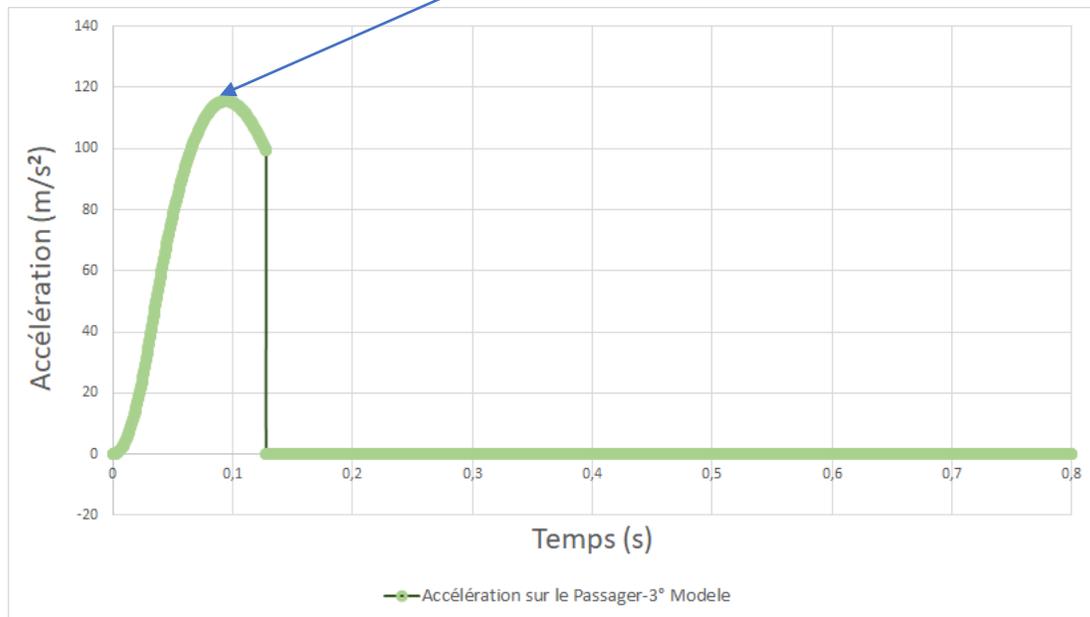
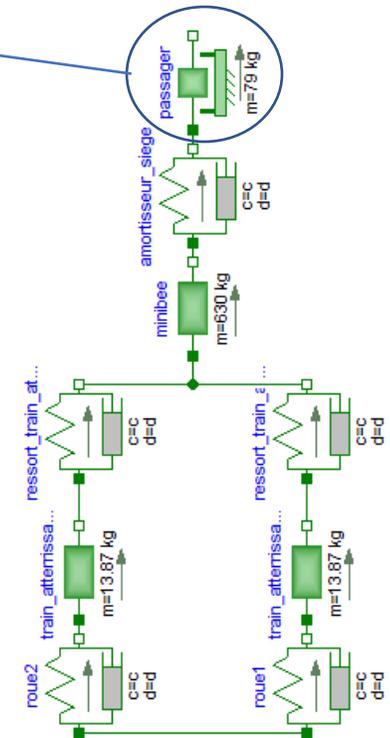


Schéma: 3° modèle

- Ce modèle ne représente pas exactement le modèle de "stop and stay"
- Limite de déplacement dans la masse et non dans l'amortisseur
- Cependant c'est la plus proche approximation car il y a la possibilité d'ajouter du frottement

L'utilisation de "stop and stay" bloque le déplacement et donc la masse est incapable d'amortir les prochaines ondes de choc données par le train d'atterrissage, de cette manière, une accélération infinie commence à agir sur le passager.



Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

Amortisseur du siège avec stop and stay

Schéma: 4° modèle

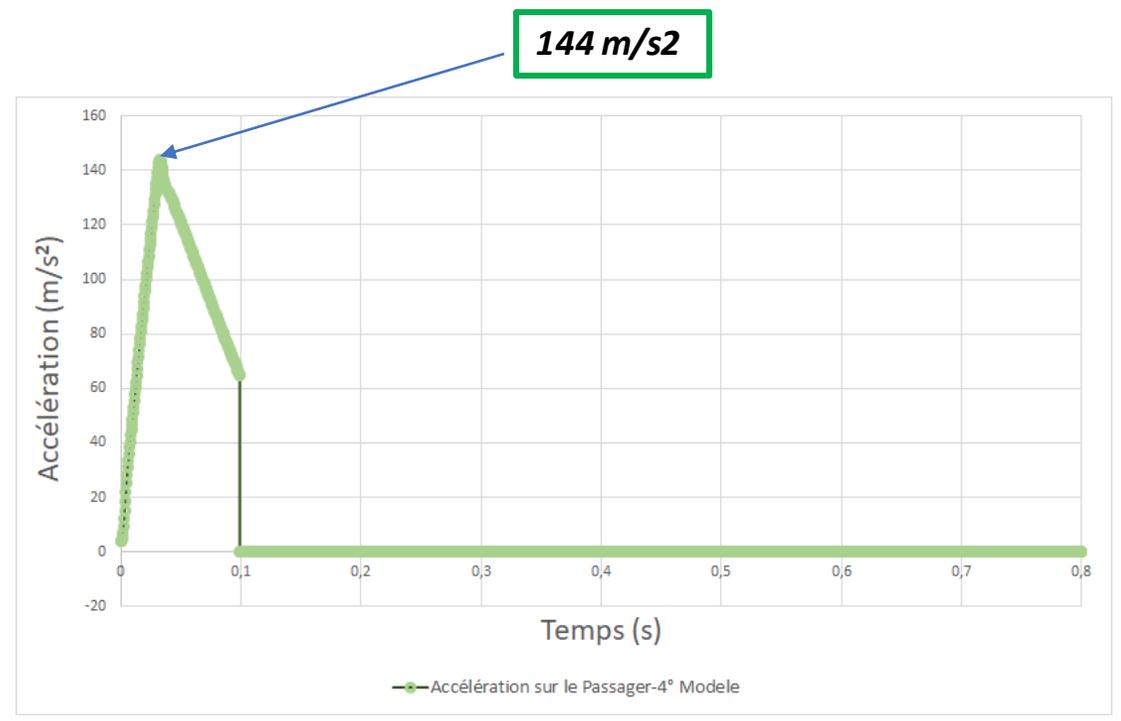


Schéma du 4° modèle

L'amplitude de l'accélération est plus haut car dans le système il n'y a que le passager qui bouge, c'est-à-dire que le passager reçoit une plus grande valeur de force

En revanche, dans ce système, il n'y a pas de train d'atterrissage, ce qui rend le fuselage du MiniBee vulnérable aux chocs

Choix de l'ensemble MineBee et amortisseur

Objectif

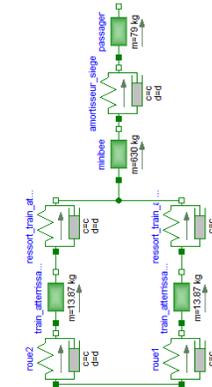
- Déterminer l'amortisseur du siège qui résistera les contraintes déterminées par la certification CS-27
- Calculer les valeurs de rigidité et amortissement du amortisseur du siège
- Décider l'importance d'avoir le train d'atterrissage

Spécification

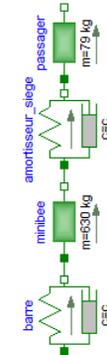
Valeurs à respecter		
	Vitesse minimale sur le passager	Accélération
Admissible	9,1m/s	13,33G
Notre modèle	13.96m/s	

Schémas

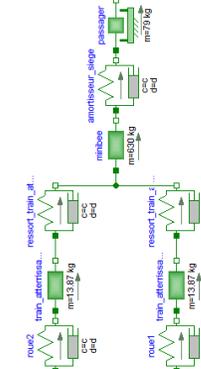
1° modèle



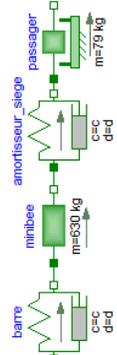
2° modèle



3° modèle



4° modèle



Conclusion

Accélération du passager		
	Avec train d'atterrissage	Sans train d'atterrissage
Avec stop and stay	334 m/s²	150 m/s²
Sans stop and stay	210 m/s²	148 m/s²

Ce modèle est avantageux en raison de l'inclusion du train d'atterrissage dans le système, protégeant le fuselage du minibee. Le choix s'est porté sur le **modèle 1** ✓

Modèles pour l'ensemble MineBee et amortisseur

Conclusion

Ensemble choisit: 1° modèle

*Train d'atterrissage + Amortisseur
du siège sans stop and stay*

- *Utilisation d'une seul amortisseur léger (1.5kg) de 6000N*
- *Un amortisseur de 400 mm course selon la géométrie du MiniBee*
- *Protection contre les chocs sur le fuselage du MiniBee, avec la mise en place du train d'atterrissage*
- *Système bien amorti qui réduit l'accélération des passagers*

*Schéma finale
sur le MiniBee-
Vue 1*

Accélération du passager

	Avec train d'atterrissage	Sans train d'atterrissage
Avec stop and stay	334 m/s²	150 m/s²
Sans stop and stay	210 m/s²	148 m/s²

*Schéma finale
sur le MiniBee –
Vue 2*

Modélisation cabine

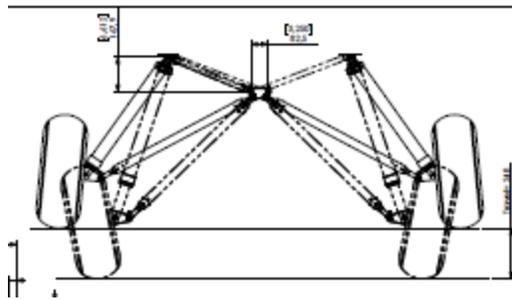
Sous catia

- Modéliser le conteneur LD3 avec le plancher à 10cm
- Mieux modéliser le Rotax 915 (pas un cube) il faut plus de détail
 - - Mettre 2 siège
 - - Mettre les deux Emrax
- Mettre le parallélépipède bleu (20 cm de haut, 30 cm de large)

train

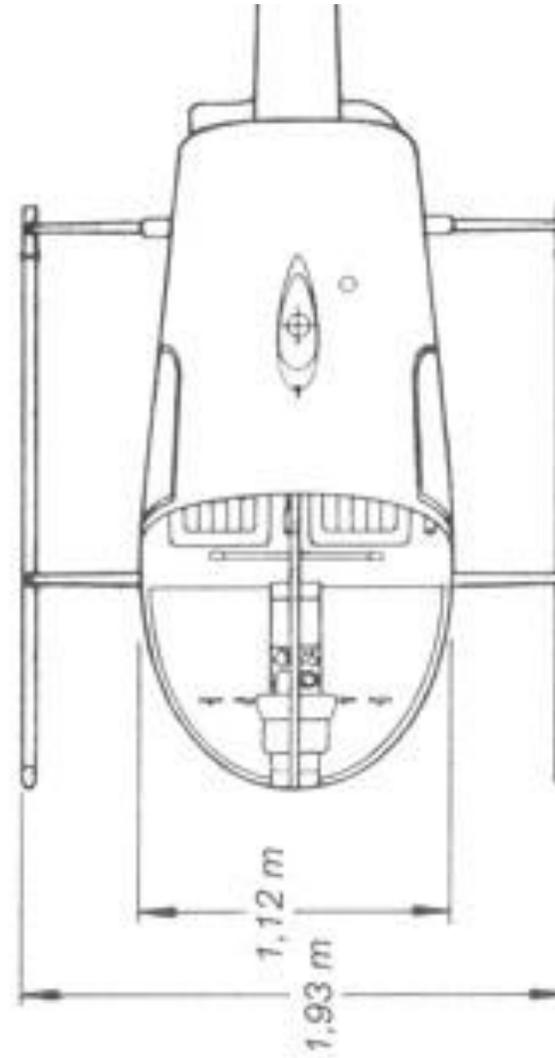
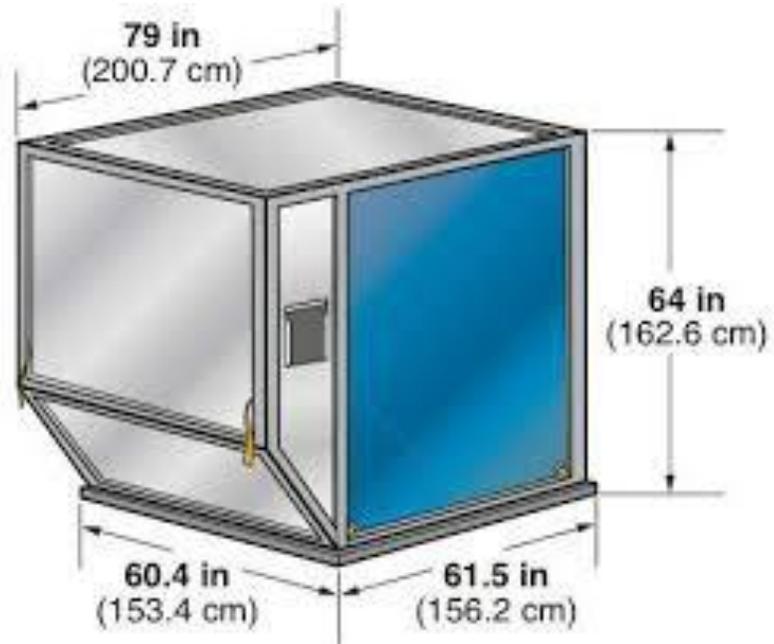
\\BP01\technoplane\Projet Mini-Bee\Landing Gear\rear
landing gear Corby

\\BP01\technoplane\Industriels
Discussions\Beringer\20200220 Doc 2 train alaskan



\\BP01\technoplane\Industriels Discussions\Beringer\2020
catalog

R22

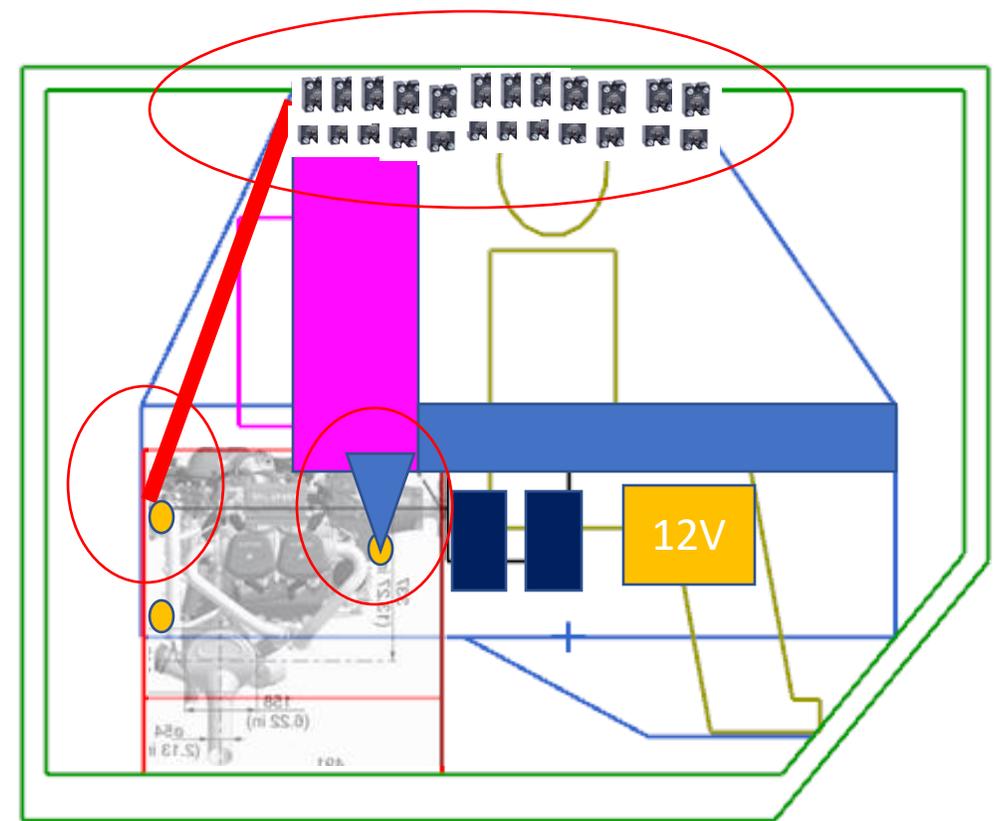
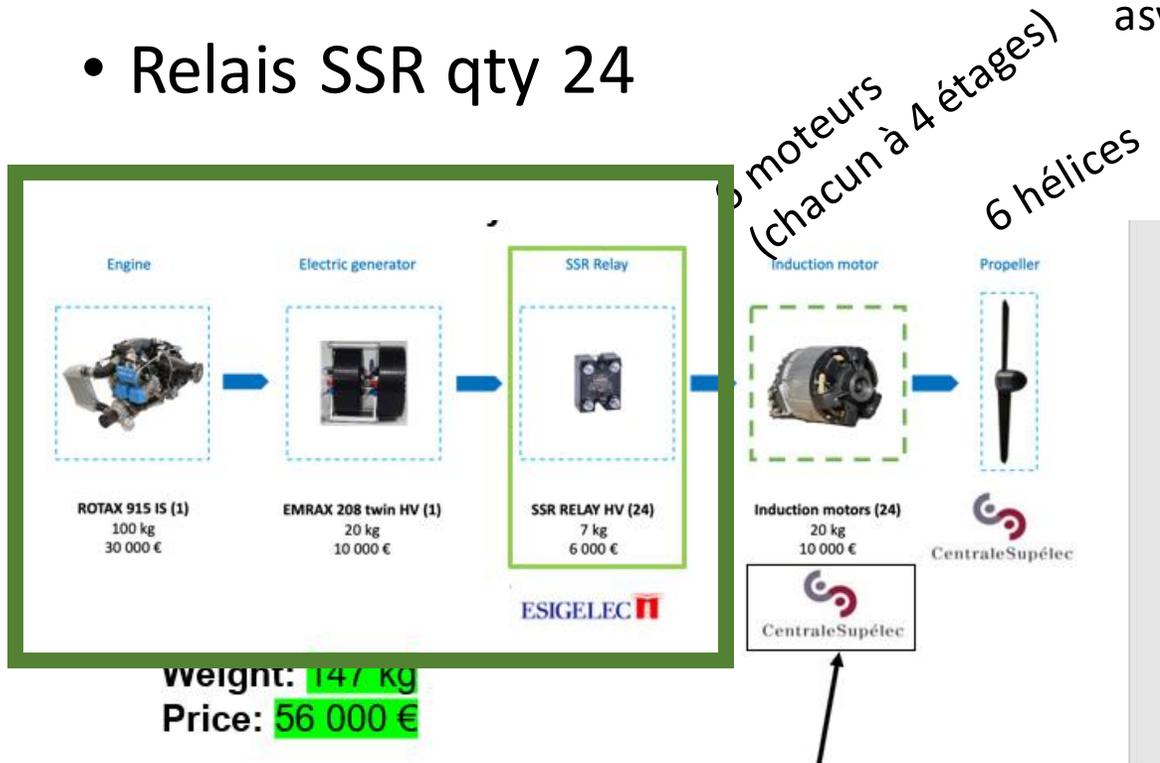


Largeur

Power Electronic

- Relais SSR qty 24

\\BP01\centrale-supelec\MB 202010 Centrale Supelec Moteur asynchrone\Présentations

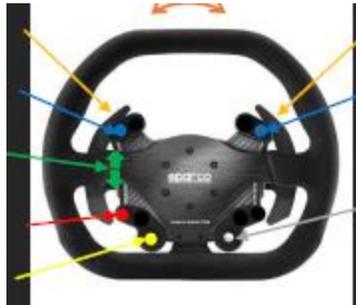


Electronics flight



Volant + joystick

\\BP01\mini-bee-projects\mini-bee 2019-2020\mb-201910
Estaca 4A SQY Certif\Présentations

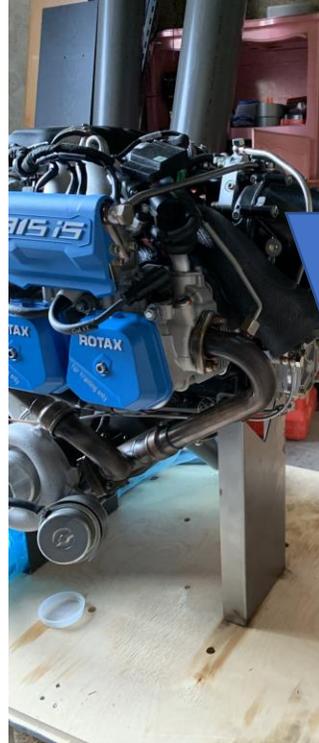
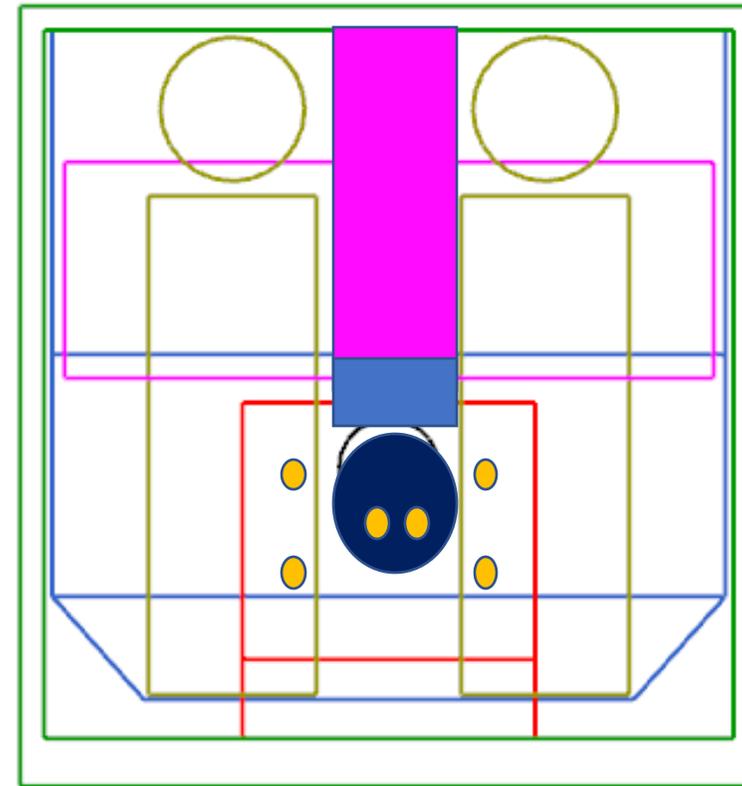
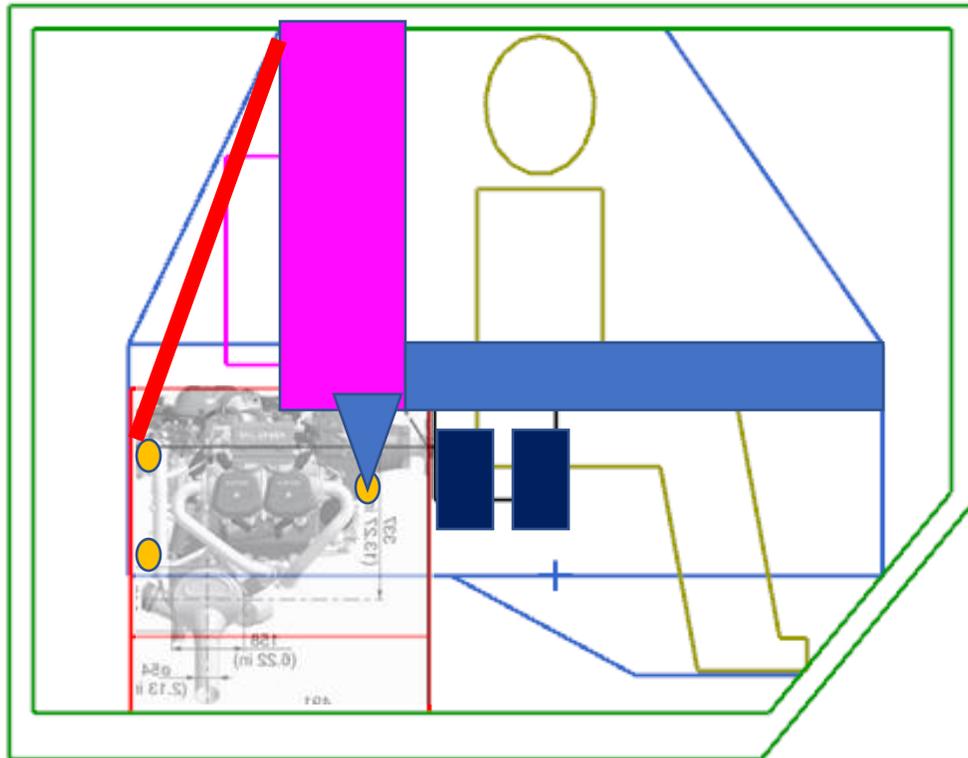


2.2 Structure du MiniBee : Structure supérieure et Châssis

Révision du projet conceptuel

Détail

Volume réservoir ?



Equipements

C10cm haut, largeur 30cm,
longueur 180

