



LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

STB GÉNÉRATEUR DE VENT

PROJET LAVOLI  
CCTP DU MARCHÉ

Référence : LVL-2400-GD-01

	Rédigé par	Approuvé par
Fonction	Technicien d’essais	Responsable d’unité
Nom	Guillaume Delannoy	Geoffrey Tanguy
Visa		

LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

HISTORIQUE

Version	Date	Description
2.0	27/05/2025	Rédaction initiale
2.1	04/06/2025	Modification niveau CcA4
2.2	27/06/2025	Ajout de la rubrique Prototypage : 4.12 Ajout des exigences environnementales et RSE : 7.6
2.3	10/07/2025	Modification des descriptions des niveaux de flexibilité

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## Table des matières

1	INTRODUCTION – BUT DU DOCUMENT .....	7
2	NOTATIONS, DEFINITIONS ET ABREVIATIONS .....	10
3	CcA1, CcA2, CcA3 ... Critère 1 de FcA, Critère 2 de FcA, Critère 3 de FcA ...DOCUMENTS APPLICABLES .....	11
4	PRESTATIONS DEMANDEES .....	12
4.1	Fourniture matérielle.....	12
4.2	Limite de fourniture .....	12
4.3	POSTE 1 - Études .....	13
4.4	POSTE 2 - Fabrications .....	14
4.5	POSTE 3 - Livraison.....	15
4.6	Poste 4 - Prestations sur site .....	16
4.6.1	Conditions générales .....	16
4.6.2	Protection des mires.....	16
4.7	POSTE 5 - Essais de recette et admission .....	16
4.8	POSTE 6 - Formation du personnel ONERA .....	17
4.9	POSTE 7 - Mise en service et démarrage .....	17
4.10	Documents à fournir à l'issuE de la prestation .....	18
4.11	Garantie - Prestation supplémentaire Éventuelle Obligatoire – n°1 .....	18
4.12	PROTOTYPAGE - Prestation supplémentaire Éventuelle Obligatoire – N°2 .....	19
5	SPECIFICATIONS TECHNIQUES GENERALES .....	20
5.1.1	Accès au chantier, manutention, montage.....	20
5.1.2	Emballage.....	21
5.1.3	Transport.....	21
5.1.4	Ambiance de la zone d'essais .....	21
5.1.5	Charge maximale au sol et sur les poteaux du bâtiment .....	21
5.1.6	Durée de vie.....	22
5.1.7	Réglementation des accessoires de levage .....	22
5.1.8	Visite de conformité électrique .....	22
5.1.9	Câbles brochables .....	22
6	EXIGENCES FONCTIONNELLES .....	23
6.1	Fonction d'usage A - Imposer un champ de vitesse de vent dans la zone d'expérimentation – FsA.....	24

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

6.1.1	Description de FsA .....	24
6.1.2	Tableau de critères de FsA – Niveaux de flexibilité .....	24
6.2	Fonction d’usage B - Imposer des vitesses de vent indépendantes selon un maillage de surface de $S_0$ – FsB.....	26
6.2.1	Description de FsB .....	31
6.2.2	Tableau de critères de FsB – Niveaux de flexibilité .....	32
6.3	Fonction d’usage C – Informer l’utilisateur sur la qualité de l’écoulement et les conditions d’essai – FsC.....	32
6.3.1	Description de FsC .....	33
6.3.2	Tableau de critères de FsC – Niveaux de flexibilité .....	33
6.4	Fonction d’usage D – Être contrôlable par un utilisateur via une IHM – <b>FsD</b> .....	34
6.4.1	Description de FsD .....	34
6.4.2	Tableau de critères de FsD – Niveaux de flexibilité .....	34
6.5	Fonction d’usage E – Enregistrer les conditions d’essai – FsE .....	35
6.5.1	Description de FsE.....	35
6.5.2	Tableau de critères de FsE – Niveaux de flexibilité.....	35
6.6	Fonction d’usage F – Être pilotable depuis une salle de commande – FsF .....	36
6.6.1	Description de FsF.....	36
6.6.2	Tableau de critères de FsF – Niveaux de flexibilité.....	36
6.7	Fonction contrainte A – Favoriser la stabilité et l’homogénéité de l’écoulement – <b>FcA</b> .....	37
6.7.1	Description de FcA .....	37
6.7.2	Tableau de critères de FcA – Niveaux de flexibilité .....	37
6.8	Fonction contrainte B – Limiter les phénomènes vibratoires et informer l’utilisateur – <b>FcB</b> .....	38
6.8.1	Description de FcB .....	38
6.9	Fonction contrainte C – Limiter les phénomènes acoustiques – FcC .....	38
6.9.1	Description de FcC .....	38
6.9.2	Tableau de critères de FcC – Niveaux de flexibilité .....	40
6.10	Fonction contrainte D – Permettre le passage des drones depuis et vers la zone d'expérimentations – FcD ....	41
6.10.1	Description de FcD .....	41
6.10.2	Tableau de critères de FcD – Niveaux de flexibilité .....	41
6.11	Résumé des fonctions à assurer : .....	42
7	EXIGENCES OPERATIONNELLES.....	43
7.1	Exigences de Sûreté de Fonctionnement .....	43

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

7.2	Exigences sur la durée de vie .....	44
7.3	Exigences d'interfaces .....	44
7.3.1	Interface numérique .....	44
7.3.2	Interfaces physiques .....	45
7.3.3	Interface Homme-Machine (IHM) .....	45
7.4	Exigence d'ergonomie .....	48
7.5	Exigence d'étude et solutions imposées.....	49
7.5.1	Spécifications – Normes et standards .....	49
7.5.2	Matériaux – Procédés – Composants .....	49
7.6	Exigence ENVIRONNEMENTALES.....	50
7.6.1	TRAITEMENT DES DECHETS .....	50
7.6.2	EMISSIONS DE GAZ A EFFETS DE SERRE.....	50
7.6.3	IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES PEINTURES.....	51
7.6.4	SUIVI DES MESURES ENVIRONNEMENTALES MISES EN OEUVRE .....	51
8	ADMISSION .....	51
8.1	Conditions de recette .....	51
8.2	Définition des opérations de contrôle et cahier de recette .....	51
8.2.1	Certificats matière .....	52
8.2.2	Soudures .....	52
8.2.3	Contrôle de la masse des éléments constitutifs de la fourniture.....	52
8.2.4	Contrôle dimensionnel en atelier de fabrication.....	52
8.2.5	Contrôle dimensionnel et de montage sur site ONERA.....	52
8.2.6	Contrôle du bon fonctionnement des organes de sécurité.....	53
8.3	Essais du Générateur de vent .....	54
8.3.1	Vitesse de l'écoulement.....	54
8.3.2	Taux de turbulence .....	55
8.3.3	Niveau de bruit .....	55
8.3.4	Autres relevés .....	55
8.3.5	Contrôle de la reproductibilité .....	55
8.3.6	Essais d'endurance.....	55
8.4	Autres contrôles.....	55

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

8.5	Cas de refus.....	55
9	ANNEXES .....	56
9.1	ANNEXE 1 : Concept d'ensemble.....	56
9.2	ANNEXE 2 : Concept d'actuateur - LVL-3150 MOT .....	61
9.3	ANNEXE 3 : Concept de structure - LVL-3140 STR .....	63
9.4	ANNEXE 4 : Concept de Nids d'abeilles - LVL-3130 NDA .....	66
9.5	ANNEXE 5 : Concept de Carénage - LVL-3130 NDA .....	69
9.6	ANNEXE 6 : Concept de salle de contrôle - LVL-3191 SDC.....	70

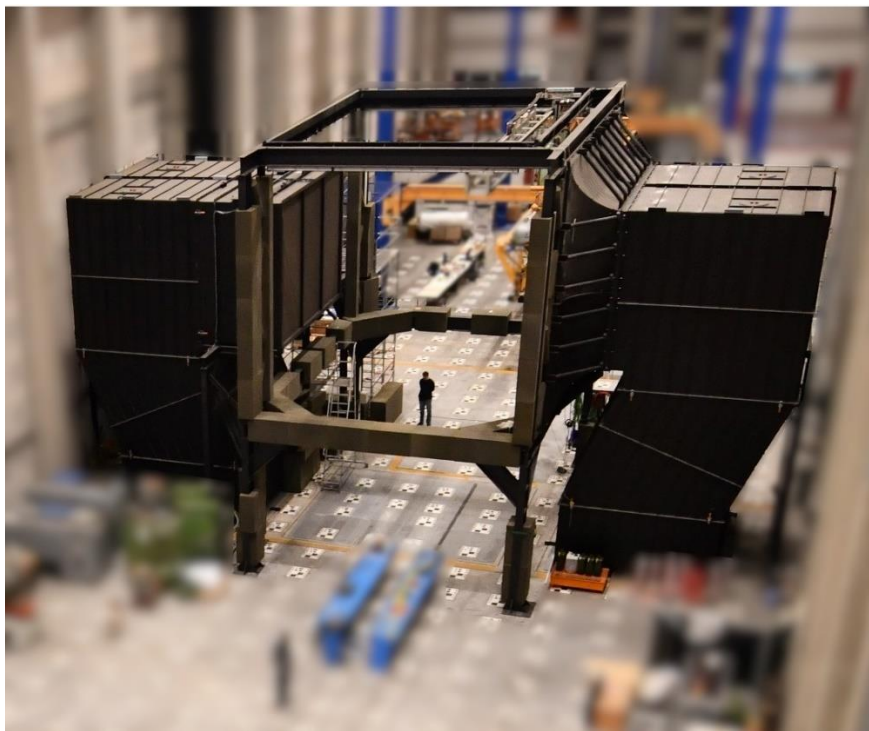
**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 1 INTRODUCTION – BUT DU DOCUMENT

Le laboratoire B20 du centre de l'ONERA de Lille permet d'étudier expérimentalement le comportement en vol libre de maquettes. L'étude de ces maquettes permet de caractériser par similitude les aéronefs de taille réelle. Le laboratoire est implanté à Lille dans un bâtiment dédié d'une longueur de 90 m, de hauteur 20 m et de largeur 20 m.

A l'origine, il s'agissait essentiellement de maquettes d'avions catapultées par une rampe de lancement puis soumises à une rafale de vent latérale ou verticale produite par un générateur de rafales. La maquette est alors observée à l'aide d'un dispositif de trajectographie optique et les instruments embarqués (accéléromètres, gyromètres, prises de pressions...) dans la maquette permettent d'étudier le comportement en vol et les caractéristiques aérodynamiques grâce aux mesures relevées.

Au fil du temps, les moyens à disposition au B20 ont été utilisés pour l'étude expérimentale de drones de type quad-copter / hexa-copter, plus généralement les drones capables d'effectuer du vol stationnaire. Ainsi, le générateur de rafale est surtout aujourd'hui utilisé afin d'étudier le comportement de drones soumis à un vent de faible vitesse soit 5 m/s au maximum. En complément, un système de trajectographie optique plus moderne que celui d'origine est venu s'ajouter au générateur de rafales en 2021.



La conception du générateur de rafale actuellement utilisé date de 2005 et sa fonction première est l'étude de maquettes d'avions catapultées sous contraintes aérologiques. Le générateur de rafale est un formidable outil. Cependant, les préoccupations de l'époque n'intégraient pas l'étude de drones. En l'état, lorsqu'il est utilisé pour l'étude de drones, le générateur de rafale ne permet au drone que d'évoluer dans une zone inférieure à 100 m<sup>3</sup> et de le soumettre à une vitesse de soufflage de 5 m/s. Qui plus est, le télépilote doit composer avec la structure mécano-soudée supportant le générateur. Ceci entraîne des restrictions sur la dimension des drones pouvant être testés, leur vitesse maximale, le parcours qu'ils

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

peuvent emprunter mais aussi des restrictions sur les possibilités de simulation de phénomènes aérologiques. Ces restrictions ne sont plus en adéquation avec ce qu'impose l'évolution des usages en matière de drones. Et, naturellement, l'ONERA-Lille a décidé de mettre en place une plateforme d'essais correspondant aux enjeux actuels et futurs dans le domaine. Il s'agit notamment de l'exploitation du générateur de vent dont fait l'objet ce cahier des charges.

L'ONERA-Lille souhaite développer une nouvelle plateforme d'essais dénommée « LAVOLI », pour Laboratoire de Vol Libre, dans le cadre du projet du même nom désigné ci-après par « Projet ».

Ce document a pour objet de préciser les prestations demandées pour :

- Poste 1 : les études
  - Sous-poste 1.1 : Dossier de définition préliminaire :
    - Sous-poste 1.1.1 : La recherche de solutions technologiques / L'Étude de faisabilité
    - Sous-poste 1.1.2 : L'Avant-projet
  - Sous-poste 1.2 : Dossier de définition détaillée :  
*l'étude complète (mécanique générale, mécanique des fluides, acoustique, contrôle-commande)*
    - Sous-poste 1.2.1 : Les définitions détaillées
    - Sous-poste 1.2.2 : Les spécifications machine
- Poste 2 : la fabrication
  - Sous poste 2.1 : l'approvisionnement des pièces et sous-ensembles :
  - Sous-poste 2.2 : la fabrication du générateur de vent et de sa salle de contrôle :
  - Sous-poste 2.3 : la recette sur le site du Titulaire
- Poste 3 : la livraison du générateur de vent et de sa salle de contrôle sur le site de l'ONERA-Lille ;
- Poste 4 : l'installation et l'assemblage sur le centre ONERA de Lille ;
- Poste 5 : les essais de recette sur le site de l'ONERA ;
- Poste 6 : la formation ;
- Poste 7 : la mise en service et démarrage

d'un générateur de vent ou mur de vent permettant de générer des profils de vitesses prescrits pour l'équipement de la nouvelle plateforme dite « LAVOLI » à créer pour le centre ONERA de Lille.

Il doit permettre d'éprouver des aéronefs - de type drone - d'une envergure maximum de l'ordre de 1 m, d'une masse maximum de l'ordre de 10 kg et d'une vitesse maximum de 40 m/s. Il s'agit d'étudier leur comportement lorsqu'ils sont en vol libre et soumis à la perturbation aérologique créée par le générateur de vent.

Il est prévu dans un autre cadre d'adjoindre à ces équipements un système de trajectographie optique permettant de suivre le comportement de drones lorsqu'ils traversent les différents profils de vents générés.

---

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GÉNÉRATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

De plus, il est aussi prévu dans un autre cadre que le système global soit dévolu à l'étude de l'empreinte acoustique des drones.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

## **2 NOTATIONS, DEFINITIONS ET ABREVIATIONS**

---

Ici sont repris tous les termes spécifiques, abréviations, sigles et acronymes.

<b>ONERA</b>	Office Nationale d'Études et de Recherches Aérospatiales
<b>ONERA-Lille</b>	Centre de Lille et lieu d'installation de la fourniture
<b>B20</b>	Bâtiment et laboratoire de l'ONERA-Lille, lieu d'installation de la fourniture
<b>ELV</b>	Unité responsable du B20 - Étude de Limite de Vol
<b>DAAA</b>	Département Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique de l'ONERA auquel appartient ELV
<b>Drone</b>	Engin sans équipage dont le pilotage est automatique ou télécommandé, ici, on ne considère que les engins volants
<b>Générateur de rafales</b>	Soufflerie modulaire basse vitesse, un des équipements du B20
<b>Mur de vent / Générateur de vent</b>	Générateur de vent, un des équipements du projet LAVOLI au B20 objet du présent cahier des charges
<b>Zone d'expérimentation</b>	Volume soumis au vent dans lequel circule le drone
<b>Système de sondage</b>	Système destiné à déplacer une sonde dans la zone d'évolution des drones comprenant la zone d'expérimentation et ses abords

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Type de **flexibilité de l'exigence** inspiré de la norme NF EN 16271 Février 2013 – « Management par la valeur - Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel » :

Type de flexibilité	Désignation	Définition
<b>F0</b>	Flexibilité nulle	<i>L'exigence a un caractère impératif. L'exécution doit la respecter, sinon la prestation ne sera pas admise. Une fois le marché attribué, l'engagement du titulaire doit être respecté.</i>
<b>F1</b>	Flexibilité faible	<i>L'exigence a un caractère impératif minimum, l'exécution doit respecter le minimum fixé par le présent document, la STB. La réponse du titulaire est valorisée en point de notation pour l'attribution du marché. Une plus-value est recherchée sur cette exigence. Une fois le marché attribué, l'engagement du titulaire doit être respecté.</i>
<b>F2</b>	Flexibilité bonne	<i>L'exigence est négociable. C'est-à-dire qu'elle peut ne pas être respectée à condition qu'il y ait une contrepartie sur une autre exigence (ce document ne comporte pas ce type d'exigence).</i>
<b>F3</b>	Flexibilité forte	<i>L'exigence n'a pas un caractère obligatoire. La réponse du titulaire est valorisée en point de notation pour l'attribution du marché. Une plus-value est recherchée sur cette exigence. Une fois le marché attribué, l'engagement du titulaire doit être respecté.</i>

**FsA, FsB, FsC ...** Fonction d'usage A, Fonction d'usage B, Fonction d'usage C...

**FcA, FcB, FcC ...** Fonction contrainte A, Fonction contrainte B, Fonction contrainte C ...

**CsA1, CsA2, CsA3 ...** Critère 1 de FsA, Critère 2 de FsA, Critère 3 de FsA ...

### 3 CCA1, CCA2, CCA3 ... CRITERE 1 DE FCA, CRITERE 2 DE FCA, CRITERE 3 DE FCA ...DOCUMENTS APPLICABLES

- Étude dalle bâtiment B20 : « A22 06988 BEI - ONERA - Diag dallage bâtiment N » ;
- CAO 3D bâtiment B20 au format SolidWorks ;
- Afnor NF X 60-000 : Niveaux de maintenance ;
- Règlement machines UE 2023/1230 ou Directive machines 2006/42/CE selon la date de mise en service ;
- Code du travail, particulièrement les articles R4311 à R4314 notamment les articles R4313-1 et R4313-2 ;
- Tous autres documents réglementaires concernés ;
- Tous autres documents normatifs après accord de l'ONERA.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

#### **4 PRESTATIONS DEMANDEES**

---

L'objectif général de la prestation consiste à étudier, réaliser, contrôler, livrer et installer le générateur de vent cité ci-avant.

La prestation comprend les éléments suivants :

- l'étude complète (mécanique structurelle, mécanique des fluides, acoustique) ;
- l'approvisionnement des pièces et sous-ensembles ;
- la réalisation du générateur de vent et de sa salle de contrôle ;
- la livraison du générateur de vent et de sa salle de contrôle sur le site de l'ONERA-Lille ;
- l'installation et l'assemblage sur le centre ONERA de Lille ;
- les essais in-situ ;
- la mise en service ;
- les contrôles sur site.

Il appartient au Titulaire d'analyser le contenu de la présente STB et de signaler impérativement à l'ONERA toute incohérence de manière à fournir un ensemble complet en ordre de marche, avec tous les accessoires utiles à son bon fonctionnement et à la sécurité des biens et des personnes.

Le Titulaire est vivement invité à prendre tous les renseignements nécessaires auprès de l'ONERA-Lille en cas de doute, pour mettre en œuvre le(s) mode(s) de conception ou de réalisation le(s) mieux adapté(s).

Le Titulaire fournira toutes les spécifications, règles, précautions ou recommandations préalables à la mise en service de la fourniture.

Tout matériel de cet ensemble et toute prestation nécessaire qui ne seraient pas explicitement laissés à la charge de l'ONERA est à la charge du Titulaire.

##### **4.1 FOURNITURE MATERIELLE**

La fourniture matérielle comprend tous les équipements et les moyens :

- le générateur de vent et sa salle de contrôle ;
- le câblage électrique de l'ensemble ;
- les outils nécessaires à la maintenance et/ou aux phases de préparation/montage s'ils sont spécifiques.

L'ONERA adaptera le circuit connecté au transformateur et réalisera le câblage qui amènera la puissance nécessaire au pied de l'armoire électrique de puissance du Titulaire. Le bornier et le câblage dans l'armoire est à la charge du Titulaire.

##### **4.2 LIMITE DE FOURNITURE**

Les limites de fourniture sont les structures du bâtiment B20 telles qu'existantes au moment de la passation du marché au Titulaire.

Les interfaces sont indiquées dans la partie 7.3 Exigences d'interfaces.

Les éventuels travaux de maçonnerie et de scellement sont compris dans la fourniture du Titulaire.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Toute fourniture ou prestation ONERA non mise par écrit à la disposition du Titulaire est réputée non-disponible pour la réalisation du marché.

**4.3 POSTE 1 - ÉTUDES**

L'exécution de la fourniture matérielle ainsi que son montage, sa manutention, son installation et ses essais sont conditionnées par l'étude préalable effectuée par le Titulaire en tenant compte des spécifications de la présente STB.

Le Titulaire effectuera les relevés des cotes nécessaires pour que sa fourniture puisse rentrer et se monter dans le bâtiment B20.

Les pièces à présenter lors de la phase d'étude comprennent notamment :

Sous-poste 1.1 : Le dossier de définition préliminaire comprenant :

- Sous-poste 1.1.1 : La recherche de solutions technologiques / L'Étude de faisabilité :
  - Analyses des fonctions techniques (diagramme FAST, schémas cinématiques, croquis...)
  - Analyse des risques, tests et essais préliminaires
  - Assemblages de solutions
  - Rapport de justification de la faisabilité et des choix au regard :
    - de la mécanique générale
    - de la mécanique des fluides
    - des contraintes acoustiques
    - de la partie contrôle-commande
- Sous-poste 1.1.2 : L'Avant-projet :
  - Récapitulatif des solutions retenues
  - Spécification des composants
    - Plans et schémas
    - Dimensionnement (calculs, justifications, notes)
    - Fourniture, fiabilité, défaillance, AMDEC
  - Rapport de justification de définition préliminaire au regard de :
    - de la mécanique générale
    - de la mécanique des fluides
    - des contraintes acoustiques
    - de la partie contrôle-commande

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Sous-poste 1.2 : Le dossier de définition comprenant :

- Sous-poste 1.2.1 : Les définitions détaillées :
  - Description du fonctionnement :
    - Schémas cinématiques
    - Cahier des charges automatisme / IHM
    - GEMMA / GRAFCET / diagramme de phases
    - Chaîne de sécurité (EN ISO 13849-1, EN 61508)
  - Conception détaillée :
    - Modèle en 3 dimensions (CAO)
    - Plans
    - Ajustements, chaînes de cotes, cotations...
  - Nomenclatures
  - Références :
    - Documents fournisseurs
    - Normes
- Sous-poste 1.2.2 : Les spécifications machine :
  - Spécifications de performances aérauliques/ aérologiques/aérodynamiques/fluidiques
  - Spécifications de stockage et de manutention
  - Spécifications de mise en service
    - Notice d'utilisation
    - Raccordements électriques
    - Raccordements fluidiques
  - Spécifications de maintenance

Ces documents seront à présenter à l'ONERA comme supports de discussion pour validation au passage à la phase de fabrication. Cette liste n'est pas exhaustive ; il appartient au titulaire de démontrer par tout moyen de l'adéquation des solutions proposées à la présente STB.

#### **4.4 POSTE 2 - FABRICATIONS**

Tous les éléments approvisionnés ou utilisés par le Titulaire pour la réalisation de sa fourniture doivent être de premier usage.

La fourniture du Titulaire comprend les fabrications et équipements en usine. Le Titulaire assurera aux représentants de l'ONERA le libre accès aux ateliers où s'élabore la fourniture, y compris ceux des sous-traitants.

Les documents à produire pour la phase d'approvisionnement sont notamment les suivant :

Sous-poste 2.1 : l'approvisionnement des pièces et sous-ensembles :

- la liste complète des approvisionnements principaux et secondaires et des sous-ensembles ;
- pour les capteurs : les certificats de contrôle (étalonnage, calibration...).

---

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Le Titulaire informe l'ONERA de la commande de chaque composant et de sa livraison au Titulaire.

**Sous-poste 2.2 : Fabrication :**

- les mises à jour à chaque étape du cahier de recette comprenant entre-autre :
  - o les certificats matière pour les pièces mécaniques jugées sensibles et le nécessitant ;
  - o les procès-verbaux de contrôle des soudures ;
  - o les procès-verbaux de contrôle des masses des pièces ou sous-ensembles ;
  - o les procès-verbaux de contrôle dimensionnel des pièces mécaniques ;
  - o les procès-verbaux d'essais IHM/automatisme/contrôle-commande ;
  - o les procès-verbaux de test de la chaîne de sécurité ;
  - o les procès-verbaux d'essais des actionneurs.
- les mises à jour du planning de fabrication.

**Sous-poste 2.3 : Recettes sur site Titulaire :**

- le cahier de recette à jour comprenant entre-autre :
  - o les certificats matière pour les pièces mécaniques jugées sensibles et le nécessitant ;
  - o les procès-verbaux de contrôle des soudures ;
  - o les procès-verbaux de contrôle des masses des pièces ou sous-ensembles ;
  - o les procès-verbaux de contrôle dimensionnel des pièces mécaniques ;
  - o les procès-verbaux d'essais IHM/automatisme/contrôle-commande ;
  - o les procès-verbaux de test de la chaîne de sécurité ;
  - o les procès-verbaux d'essais des actionneurs.
- Le procès-verbal de recette sur site du Titulaire définitif.

**4.5 POSTE 3 - LIVRAISON**

De par sa conception, le Titulaire veillera à faire les plus grands sous-ensembles possibles afin de réduire au maximum la phase de livraison sur site. Le Titulaire tiendra compte des spécificités d'accès au site pour dimensionner sa fourniture. Chaque livraison de sous-ensemble sera attestée par un Bon de Livraison. Les marchandises seront contrôlées conjointement avec l'ONERA en présence du transporteur. Dès lors, un procès-verbal de réception viendra attester de la présence sur site de la marchandise.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

En cas de litige, le Titulaire se chargera de notifier les réserves sans délai auprès du transporteur par lettre recommandée avec accusé de réception. Une copie de cette lettre recommandée sera remise à l'ONERA. Le Titulaire veillera à respecter les délais légaux (notamment l'article L133-3 du Code du Commerce).

**4.6 POSTE 4 - PRESTATIONS SUR SITE****4.6.1 Conditions générales**

Dans le bâtiment B20, le Titulaire a à sa charge toutes les opérations qui permettent d'aboutir à une configuration opérationnelle du Générateur de vent :

- La protection des mires existantes collées sur le sol et les murs du bâtiment ;
- le transport, la livraison au B20, le déchargement et la manutention des éléments de sa fourniture ;
- les travaux préparatoires éventuels au montage de sa fourniture ;
- les montages et réglages des éléments fournis ;
- la mise en place temporaire puis le retrait des accessoires du Titulaire pour les prestations de manutention, de montage, de réglage et de contrôle ;
- les retouches de protection et de peinture ;
- les raccordements électriques ;
- la remise en propreté après exécution.

**4.6.2 Protection des mires**

L'ONERA exige une protection des mires collées au sol. Un film plastique, du papier kraft ou du carton ne constituent en rien une protection suffisante et ne seront pas admis par l'ONERA en raison d'un risque trop important de déchirement des mires lors des manutentions.

L'ONERA pourra mettre à disposition du Titulaire des plaques de bois en quantité suffisante pour la protection des mires.

Toute dégradation des mires pendant la durée du chantier sera portée à la charge du Titulaire.

**4.7 POSTE 5 - ESSAIS DE RECETTE ET ADMISSION**

Les contrôles sont les étapes préliminaires à l'admission et servent à vérifier que la fourniture du Titulaire est conforme aux spécifications de la STB. Les contrôles sont réalisés par le Titulaire en présence de l'ONERA. Le Titulaire doit posséder ou louer les moyens nécessaires à leur réalisation (moyens de mesure et de contrôle, accès, supports, etc.).

Ces contrôles sont effectués à l'issue de la mise au point de l'équipement par le Titulaire. La mise au point comprendra entre-autre l'étalonnage de la chaîne de mesure.

Pendant les essais de recette, la pratique de la fourniture permettra de juger s'il est nécessaire de corriger la partie Contrôle-Commande/IHM. Le Titulaire tiendra compte des remarques de l'ONERA pour modifier en conséquence les éléments le nécessitant.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

**4.8 POSTE 6 - FORMATION DU PERSONNEL ONERA**

La formation du personnel est à la charge du Titulaire et sera effectuée en phase de recette de l'équipement. Elle comprendra :

- La formation à l'utilisation du système de contrôle commande du Générateur de vent incluant les logiciels et les programmes des automates ;
- la formation aux opérations de montage/démontage
- la formation aux opérations de maintenance.

Les supports de formation seront :

- Les notices d'utilisation et de maintenance du Générateur de vent ;
- les modes opératoires de maintenance, les gammes et les nomenclatures.

Jusqu'à six personnes d'un niveau technique minimum Bac. + 2 pourront être formées.

**4.9 POSTE 7 - MISE EN SERVICE ET DEMARRAGE**

La mise en service et le démarrage seront assurés par le Titulaire notamment, pour la construction de bases de données de références des profils de vitesse. Les relevés utiles à la construction de cette base pourront être fait concomitamment avec les essais validant les recettes de la fourniture comme évoqué au point 8.8 ESSAIS DU GENERATEUR DE VENT.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

**4.10 DOCUMENTS A FOURNIR A L'ISSUE DE LA PRESTATION**

Tous les documents relatifs au marché sont rédigés en langue française. A l'issu de la prestation, les documents à fournir comprennent notamment :

- les plans d'ensembles et de définition des éléments mécaniques tels de construits au format DXF ;
- les notes d'intentions accompagnant les plans si celles-ci sont pertinentes dans la compréhension du système au format PDF ;
- les nomenclatures au format XLSX ;
- les notes de calculs s'agissant du dimensionnement des éléments mécaniques au format PDF ;
- les notes de calculs s'agissant des niveaux de bruit au format PDF ;
- les notes de calculs s'agissant de l'écoulement de l'air au format PDF ;
- les fichiers 3D de l'ensemble et des sous-ensembles tels que construits au format SolidWorks, IGES et/ou STEP ;
- les schémas électriques tels que construits au format PDF et QElectroTech si possible ;
- les notes calculs concernant le dimensionnement des éléments électriques au format PDF ;
- la notice de mise en service au format PDF et DOCX ;
- les modes opératoires pour l'utilisation simple au format PDF et DOCX ;
- les modes opératoires pour la modification des programmes au format PDF et DOCX ;
- les grafjets des automates au format PDF et Grafjet Studio si possible ;
- des gammes de maintenance claires se reposant sur les nomenclatures et reprenant notamment la liste des opérations, la qualité/quantité des produits à utiliser s'agissant par exemple des graisses ou des solvants, les outils à préparer et la fréquence de réalisation de celle-ci au format PDF et DOCX ;
- le calendrier des maintenances préventives reprenant la désignation de l'opération, le niveau de maintenance de l'opération, sa périodicité, le niveau technique de l'intervenant, le nombre de personnes et la durée de l'opération ;
- les modes opératoires de maintenance au format PDF ;
- les programmes des automates avec commentaires et mnémoniques, y compris les bits internes ;
- les codes sources commentés des programmes des automates et des pupitres ;
- le matériel, les logiciels et les licences, nécessaires à la lecture, l'édition et à la modification des programmes des automates et des pupitres ;
- les vues des IHM ;
- la liste des pièces achetées mécaniques et électriques (Référence, fournisseur...) ;
- la liste exhaustive des sous-traitants et des fournisseurs mobilisés sur ce projet ;
- le certificat de conformité conforme à la directive machine ou au nouveau règlement machine.
- Le planning d'exécution mis à jour.

Le prestataire veillera à travailler en assurance qualité afin de garantir la bonne exécution du projet : L'ensemble des éléments fournis doivent être datés, versionnés et à jour.

**4.11 GARANTIE - PRESTATION SUPPLEMENTAIRE ÉVENTUELLE OBLIGATOIRE – N°1**

L'ONERA demande une extension de garantie de 2 ans.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

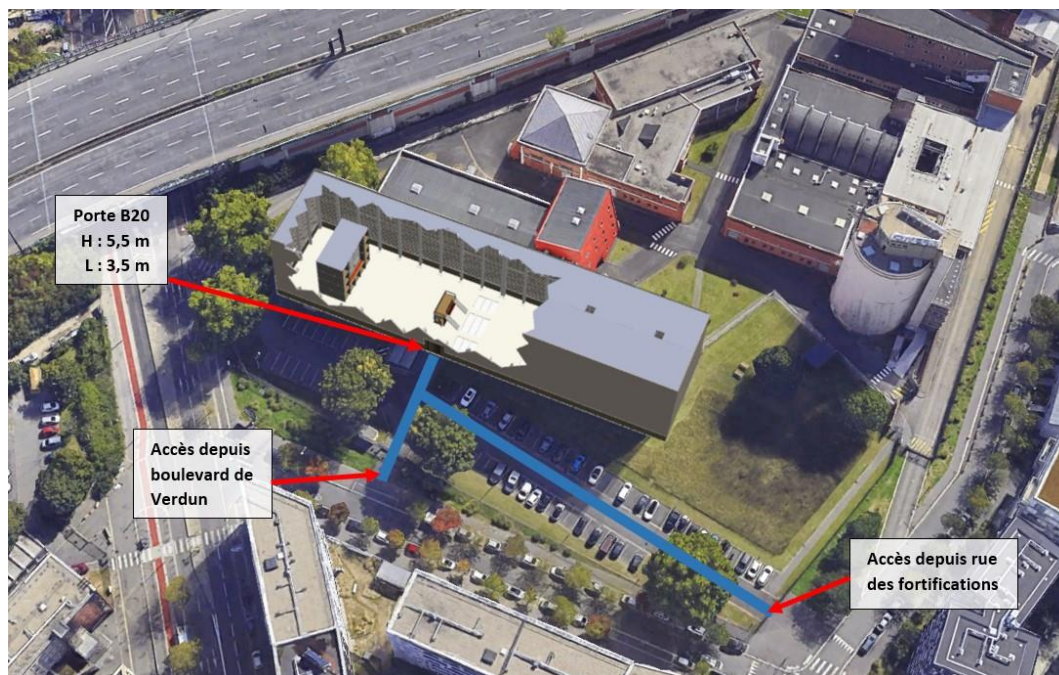
---

**4.12 PROTOTYPAGE - PRESTATION SUPPLEMENTAIRE ÉVENTUELLE OBLIGATOIRE – N°2**

Afin de faciliter la phase de réception et de permettre des corrections avant d'entrer en phase de fabrication, il est demandé au prestataire de réaliser un ou des prototypes des sous-ensembles méritant un traitement particulier. C'est-à-dire les sous-ensembles dont l'étude seule ne permet pas de lever tous les doutes quant au niveau de réponse obtenu vis-à-vis des exigences de la Spécifications Techniques du Besoin. Le ou les prototypes pourront être mis en situation dans le B20.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI****5 SPECIFICATIONS TECHNIQUES GENERALES****5.1.1 Accès au chantier, manutention, montage**

Portail et porte d'entrée du personnel : 5, Rue des fortifications – 59045 Lille. Une vue de situation des accès :



L'attention du Titulaire est attirée sur la nécessité d'une étude attentive des possibilités d'accès au chantier des éléments de la structure (taille maximale) et opérations de manutention et de montage.

Les dimensions de la porte sectionnelle d'accès au bâtiment sont : largeur 3,5 m x hauteur 4,3 m.

L'ONERA met à disposition de Titulaire :

- Un pont roulant d'une capacité de charge maximale de 6 tonnes. Le sur-classement du pont de 5 tonnes (capacité initiale) à 6 tonnes est intervenu en mars 2003 et aucun autre sur-classement du pont n'est possible. La hauteur sous crochet est de 17.20 m par rapport au niveau zéro (rez-de-chaussée). Le crochet descend jusqu'au sol. Dans le bâtiment, la course transversale du pont est limitée : le crochet demeure à une distance d'un mètre des poteaux latéraux.
- Une plateforme élévatrice de type 3B : panier de dimension 0.7 m x 1.4 m, hauteur de levage de 20 m, charge maximale de 230 kg.

Les manœuvres du pont roulant et de la nacelle sont sous la responsabilité du Titulaire qui devra fournir le personnel habilité à ces manœuvres dans les modalités définies par le Plan de Prévention.

L'achat, la location ou l'utilisation de tout matériel que l'ONERA n'a pas explicitement mis à la disposition du Titulaire est à la charge de ce dernier.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

**5.1.2** Emballage

- Emballage pour le transport sur site

Les éléments de la fourniture seront protégés par un emballage de protection adapté, qui permettra l'accès aux points de levage.

Un repérage apposé sur l'emballage permettra l'identification des matériels.

- Emballage pour la manutention de démontage et de remontage

Les éléments de la fourniture qui le nécessitent seront protégés par des dispositifs récupérables à chaque manutention. Ces dispositifs seront précisément repérés.

Toutes les indications de manutention et les consignes de manutention seront données. Des pictogrammes viendront indiquer les points de passage de fourche, les points de levage...

**5.1.3** Transport

Le titulaire tiendra compte du gabarit du transport routier en fonction des passages libres disponibles. A défaut de respecter cette contrainte, le Titulaire fera son affaire de la reprise de charge entre le transport et la zone de montage de la fourniture.

Une liste de colisage sera établie par le titulaire.

La livraison des éléments volumineux sera programmée en fonction des besoins au montage ou sur la base d'une organisation de stockage parfaitement établie.

**5.1.4** Ambiance de la zone d'essais

Le système sera utilisé dans un bâtiment dont la température ambiante varie entre 10°C et 35°C. Il sera donc à l'abri des éléments climatiques extérieurs dont les UV. Toutefois, lors des phases d'essais, la zone d'expérimentation sera soumise à des simulations de pluie.

**5.1.5** Charge maximale au sol et sur les poteaux du bâtiment

La dalle sur le terre-plein est prévue pour le passage d'un camion 44 tonnes ; pour protéger les mires au sol, il est interdit aux camions de manœuvrer dans le B20 : ceux-ci rentrent et sortent en ligne droite.

Les poteaux verticaux de la structure du bâtiment sont équipés de rails Halfen 25/15 d'une capacité maximale théorique de 300 daN (effort ponctuel) sur une hauteur de 13,2 m. Les fixations sur les poteaux doivent être minimisées et sont autorisées seulement comme points d'appui pour assurer la stabilité de la structure du générateur de vent si nécessaire. Toutes les autres charges devront être reprises au sol. Le Titulaire devra remédier à tout dépassement des limites de charge sur les rails à l'appréciation de l'ONERA-Lille (même si la charge ponctuelle n'excède pas les 300 daN).

Ces rails peuvent aussi éventuellement être utilisés ponctuellement comme point d'appui pour stabiliser des échafaudages lors des périodes de montage ou de démontage.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

**5.1.6** Durée de vie

La durée de vie minimale de la fourniture du Titulaire est de 20 ans, sans altération de son fonctionnement dans le temps, hors pièces de rechange déclarées dans les gammes de maintenance. Sur cette durée, le nombre d'heures d'utilisation estimé est de 8 000 heures pour un nombre de démarrages /arrêts de 16 000

**5.1.7** Réglementation des accessoires de levage

Les accessoires de levage faisant partie de la fourniture du Titulaire seront fournis avec leur certificat de conformité réglementaire. La fourniture étant livrée prête à l'usage, ils devront respecter les exigences de la directive 2006/42/CE ou du règlement UE 2023/1230 ainsi que les dispositions du code du travail concernant leur mise en œuvre : examen d'adéquation, épreuves (article R233-11, article R233-11-1).

**5.1.8** Visite de conformité électrique

A l'issue de l'installation et préalablement aux essais de réception sur site, le Titulaire devra mandater un organisme compétant en matière de vérification de conformité électrique aux normes en vigueur.

Le Titulaire devra effectuer toutes les modifications correspondant aux non-conformités.

Le certificat de conformité électrique devra être fourni à l'ONERA-Lille.

**5.1.9** Câbles brochables

Tous les câbles brochables devront être munis d'une prise avec détrompeur et bouchon de prise (protection lorsque le câble n'est pas branché).

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 6 EXIGENCES FONCTIONNELLES

Ce paragraphe est découpé en exigences fonctionnelles. Pour chaque fonction, un tableau de critères sera associé avec les critères, leur niveau et la flexibilité demandée.

Pour éprouver des aéronefs de petite envergure, l'ONERA-Lille cherche à faire étudier, faire concevoir, faire fabriquer et faire installer un système permettant de simuler des profils de vent connus et caractérisés sur les trois dimensions ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) dans une zone d'expérimentation d'un volume dont la capacité en mètres cubes ( $m^3$ ) est définie par la formule  $V = X \times S_0$  avec :

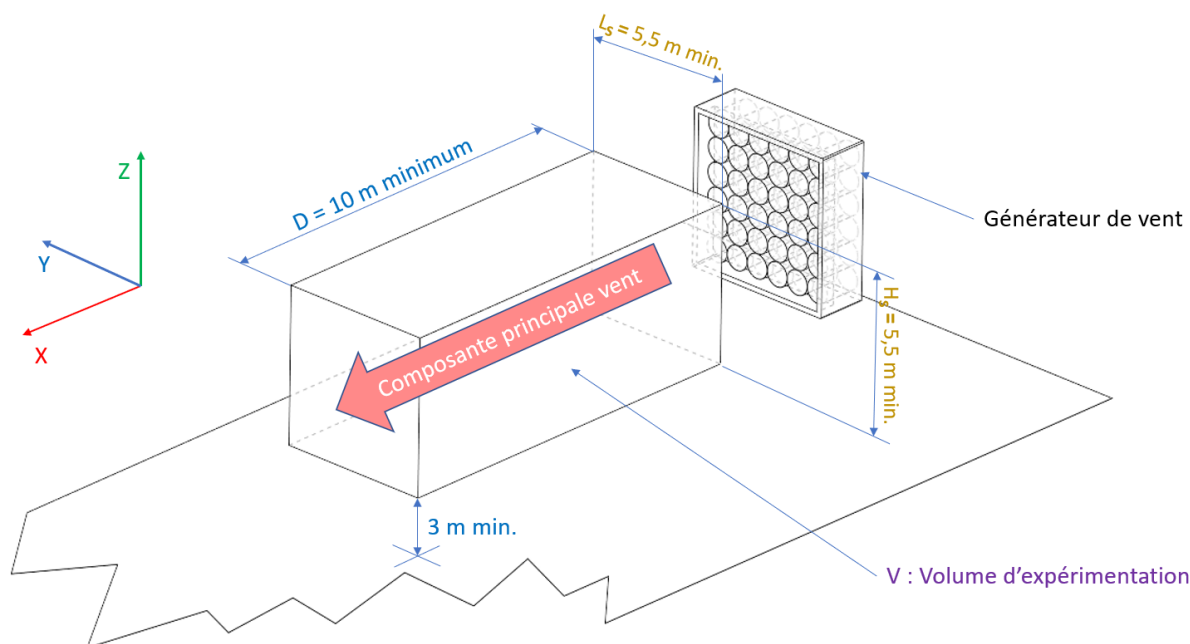
- $X$  l'axe vent ;
- $S_0$  la surface verticale à l'origine de la zone d'expérimentation d'où la vitesse est imposée ;
- $V$  le volume dans lequel les aéronefs seront testés.

$S_0$  la surface à l'origine de la zone d'expérimentation est elle-même définie par la formule  $S_0 = L_s \times H_s$  avec :

- $L_s$  la largeur de la surface d'origine  $S_0$  ;
- $H_s$  la hauteur de la surface d'origine  $S_0$ .

Selon les technologies mises en œuvre par le titulaire, la surface  $S_0$  peut se situer plus ou moins loin des actuateurs générant le vent. Aussi, l'emplacement de  $S_0$  est à sa discrétion tant que les critères définis dans ce paragraphe sont respectés.

Le système sera installé au B20 dans une salle de 90 m de long (axe  $X$ ) par 20 m de haut (axe  $Z$ ) et 20 m de large (axe  $Y$ ). La moitié de la longueur de cette salle sera dévolue à la zone d'expérimentation et à l'emplacement physique du système. Cette partie de la salle peut supporter une charge d'environ 8 tonnes par mètre carré.



Les vitesses décrites sont entendues sans la présence d'obstacles dans la zone d'expérimentation et donc sans la présence de drones.

Version 2.3 – 10/07/2025

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 6.1 FONCTION D'USAGE A - IMPOSER UN CHAMP DE VITESSE DE VENT DANS LA ZONE D'EXPERIMENTATION – FSA

Dans un premier cas d'usage, on souhaite que la vitesse soit uniforme sur la surface  $S_0$  à l'origine de la zone d'expérimentation.

### 6.1.1 Description de FSA

L'objet de la prestation consiste donc d'abord en l'étude, la conception, la fabrication et l'installation d'un système qui permette d'imposer un champ de vitesse de vent (FSA) :

- quasi-horizontal le long d'un axe  $X$  depuis la surface d'origine de la zone d'expérimentation  $S_0$  (CsA1) ;
- avec une vitesse initiale en  $S_0$  voulue allant de 0 m/s jusqu'à 21 m/s minimum selon la direction de l'axe  $X$  (CsA2) ;
- depuis la surface à l'origine  $S_0$ , de forme rectangulaire ou carrée de dimensions minimales 5,5 m en  $Y$  sur 5,5 m en  $Z$  (CsA3) et perpendiculaire à l'axe  $X$  (CsA1) ;
- dans un volume  $V$  en champ libre, la zone d'expérimentation étant d'une longueur minimale de  $D=10$  mètres, soit un volume de  $S_0 \cdot D$  m<sup>3</sup> (CsA4) avec une largeur minimum  $L_s$  de 5,5m de  $S_0$  et une hauteur minimum  $H_s$  de  $S_0$  de 5,5 m (CsA5) ;
- avec une vitesse quasi-constante égale à la vitesse initiale voulue sur une distance  $D$  de 10 mètres au minimum selon la direction de l'axe  $X$  (CsA6) ;
- le moins turbulent possible (CsA7) ;
- avec une vitesse moyenne selon  $X$  constante le temps de l'expérimentation, soit 1 heure (CsA8) ;
- avec une capacité d'accélération de l'écoulement de 2 m/s<sup>2</sup> entre 0 et la vitesse maximale (CsA9) ;
- avec une qualité d'uniformité de vitesse d'écoulement (CsA10).

### 6.1.2 Tableau de critères de FSA – Niveaux de flexibilité

FSA			
Imposer un champ de vitesse de vent dans la zone d'expérimentation			
Critères		Niveau de critère	Flexibilité
CsA1	Direction du déplacement de l'air le long de $X$ dans le volume d'expérimentation $V$	Quasi-horizontalité sur la longueur minimale définie en CsA6 : 0,25 m/s de vitesse verticale maximum par rapport à l'écoulement moyen pour 21 m/s au centre du volume d'essai	F3
CsA2	Vitesse initiale en $S_0$ de déplacement de l'air dans le volume d'expérimentation $V$ – Composante en $X$	Vitesse de 0 m/s jusqu'à 21 m/s minimum	F1
CsA3	Forme du volume d'expérimentation $V$ dans lequel se déplace l'air	Forme de parallélépipède rectangle	F3
CsA4	Volume d'expérimentation $V$ dans lequel se déplace l'air	A partir de 300 m <sup>3</sup> minimum	F1

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**FsA*****Imposer un champ de vitesse de vent dans la zone d'expérimentation***

Critères		Niveau de critère	Flexibilité
<u>CsA5</u>	Dimensions de la surface d'origine $S_0$ du volume d'expérimentation V dans lequel se déplace l'air dans le plan XZ	A partir de 5.5 m x 5.5 m minimum - Jusqu'à 10 m x 10 m	F1
<u>CsA6</u>	Longueur D du volume d'expérimentation V dans lequel se déplace l'air le long de l'axe X	A partir de 10 m minimum – Jusqu'à 25 m maximum	F1
<u>CsA7</u>	Uniformité de l'écoulement de l'air dans le volume d'expérimentation V	Taux de turbulence de 5 % maximum	F1
<u>CsA8</u>	Constance dans la durée	Durée d'essai minimum de 1h pendant lequel <u>CsA1</u> / <u>CsA2</u> / <u>CsA3</u> / <u>CsA4</u> / <u>CsA5</u> / <u>CsA6</u> / <u>CsA7</u> constants	F3
<u>CsA9</u>	Accélération	Accélération minimum de 2 m/s <sup>2</sup>	F1
<u>CsA10</u>	Uniformité de l'écoulement de l'air dans le volume d'expérimentation V	Écart de vitesse moyenne maximum de 0,2 m/s par rapport à la consigne selon X, de 0,1 m/s selon Y et de 0,1 m/s selon Z	F3

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 6.2 FONCTION D'USAGE B - IMPOSER DES VITESSES DE VENT INDEPENDANTES SELON UN MAILLAGE DE SURFACE DE $S_0$ – FSB

Dans un second cas d'usage, on souhaite pouvoir générer des profils de vitesse dans la zone d'expérimentation en imposant des vitesses différentes selon l'endroit de la surface  $S_0$ .

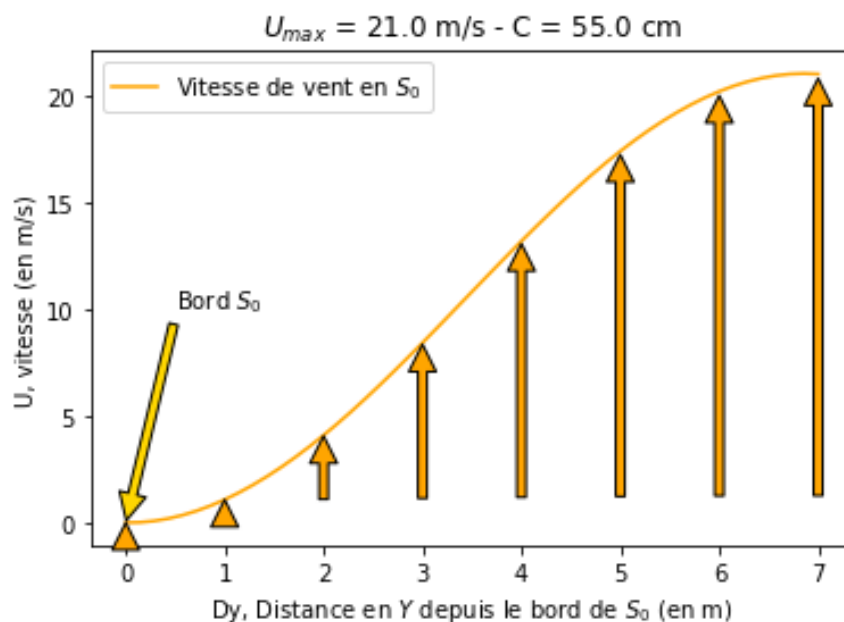
Le but est d'étudier l'impact sur le drone de sa pénétration dans un profil de rafale. Pour exemple, on peut retenir une forme de rafale typique définie par la formule :

$$U = \frac{U_{max}}{2} \times (1 - \cos(\frac{2\pi Dy}{25 \times C}))$$

Avec :

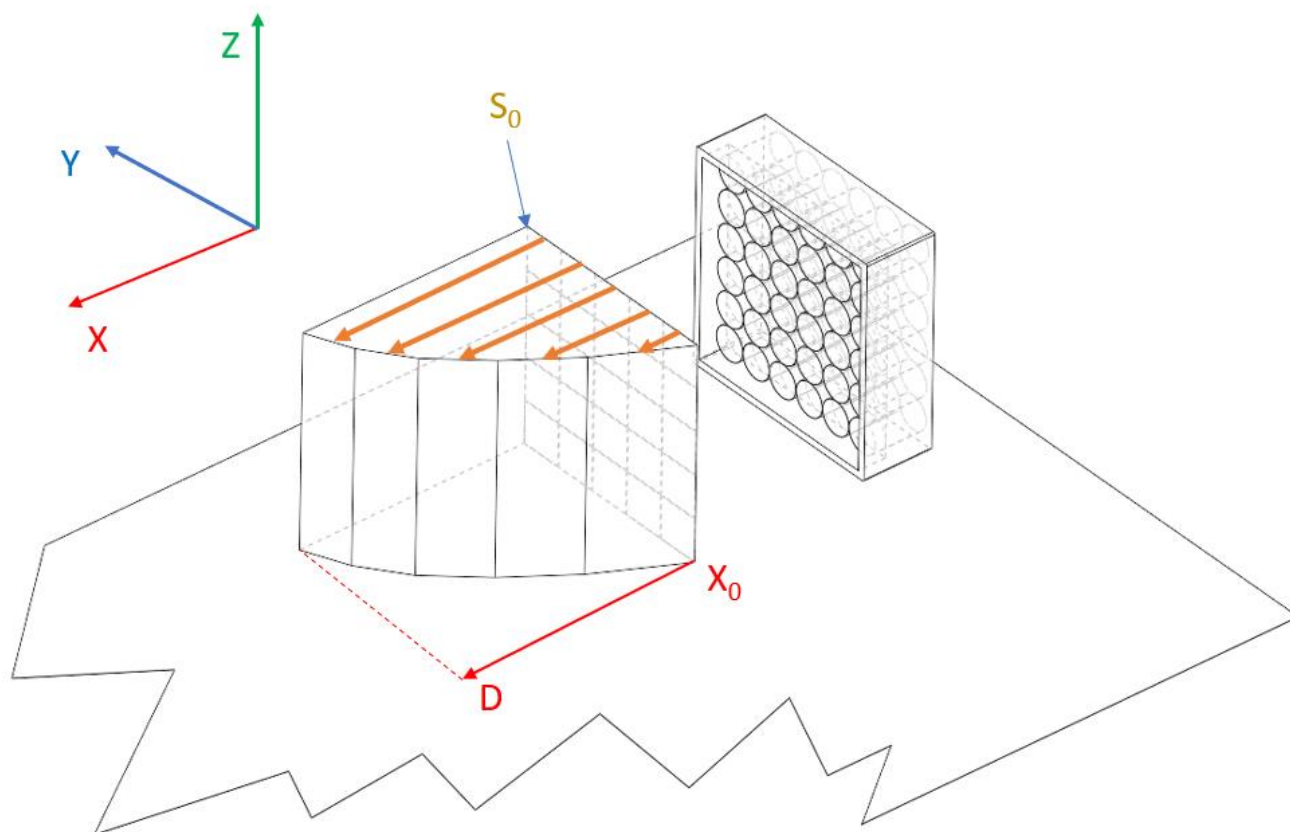
- $U$  la vitesse de vent dans la direction de  $X$  le long de  $Y$  sur la surface  $S_0$  ;
- $U_{max}$  la vitesse maximale que peut atteindre le générateur de vent ;
- $Dy$  la distance depuis le bord de la surface  $S_0$  le long de l'axe  $Y$  ;
- $C$  la dimension caractéristique de l'aéronef étudiée, on peut choisir sa corde ou l'envergure d'une hélice par exemple.

Le graphique ci-après montre le profil de rafale correspondant à un drone d'une corde de 0,5 mètres soumis à un générateur de rafale d'une largeur de 7 mètres et dont la vitesse maximum de vent est de 21 m/s. L'axe des abscisses correspond à  $Dy$  et l'axe des ordonnées correspond à  $U$  dans la formule exposée précédemment. Ce type de profil est idéal pour l'étude d'un drone de type quad-copter d'empattement 500 mm par exemple. L'empattement étant la distance entre deux axes moteurs opposés.



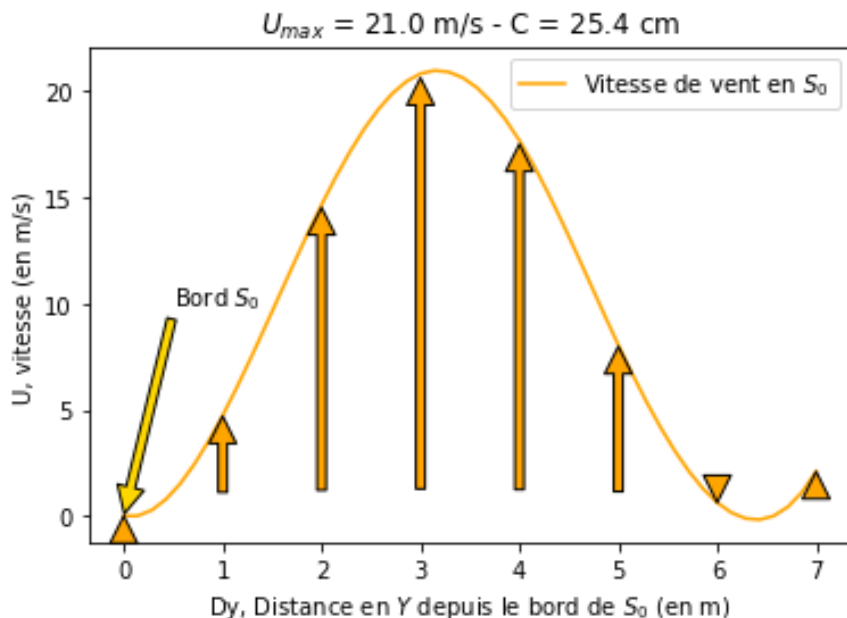
## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

La figure ci-après présente dans l'espace ce profil de vitesse en  $S_0$ . Dans le contexte d'un essai, le drone devra par exemple traverser la zone d'essais selon la direction de l'axe  $Y$ . En orange, on trouve les vecteurs vitesse distribués sur  $S_0$  le long de  $Y$ .

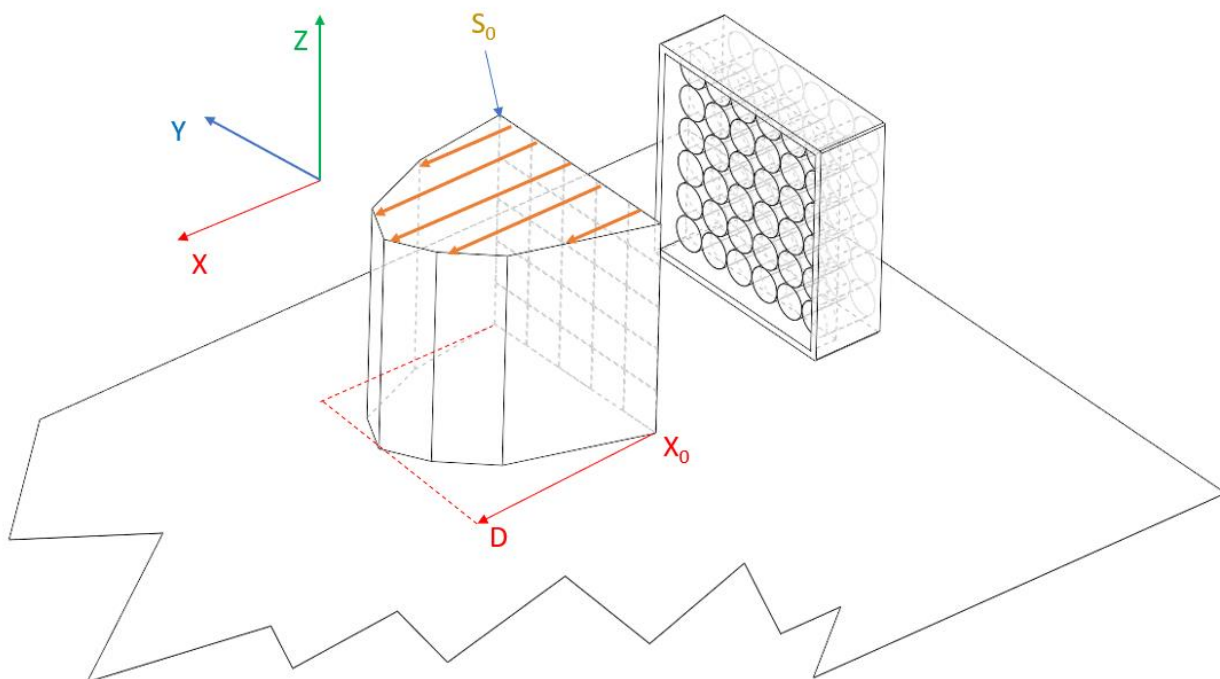


## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Le graphique suivant montre le même type de profil que le précédent à ceci près que  $C$ , la dimension caractéristique retenue, est de 10 pouces (soit 25.4 cm). Ce profil est idéal si l'on souhaite étudier l'hélice d'un quad-copter d'empannement 500 mm, soit une hélice de 10 pouces.

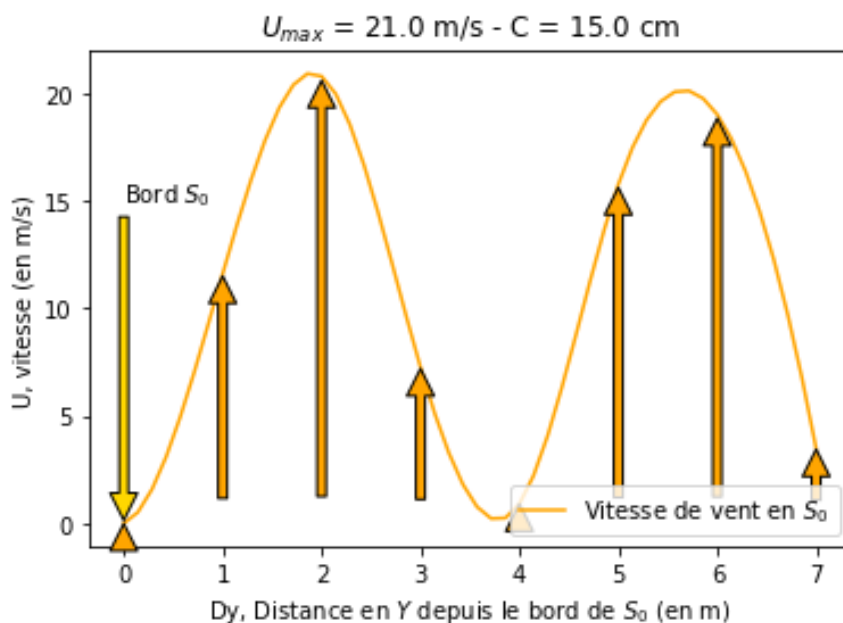


Le figure ci-après est une représentation dans l'espace du profil précédent. En orange sont représentés les vecteurs vitesse.



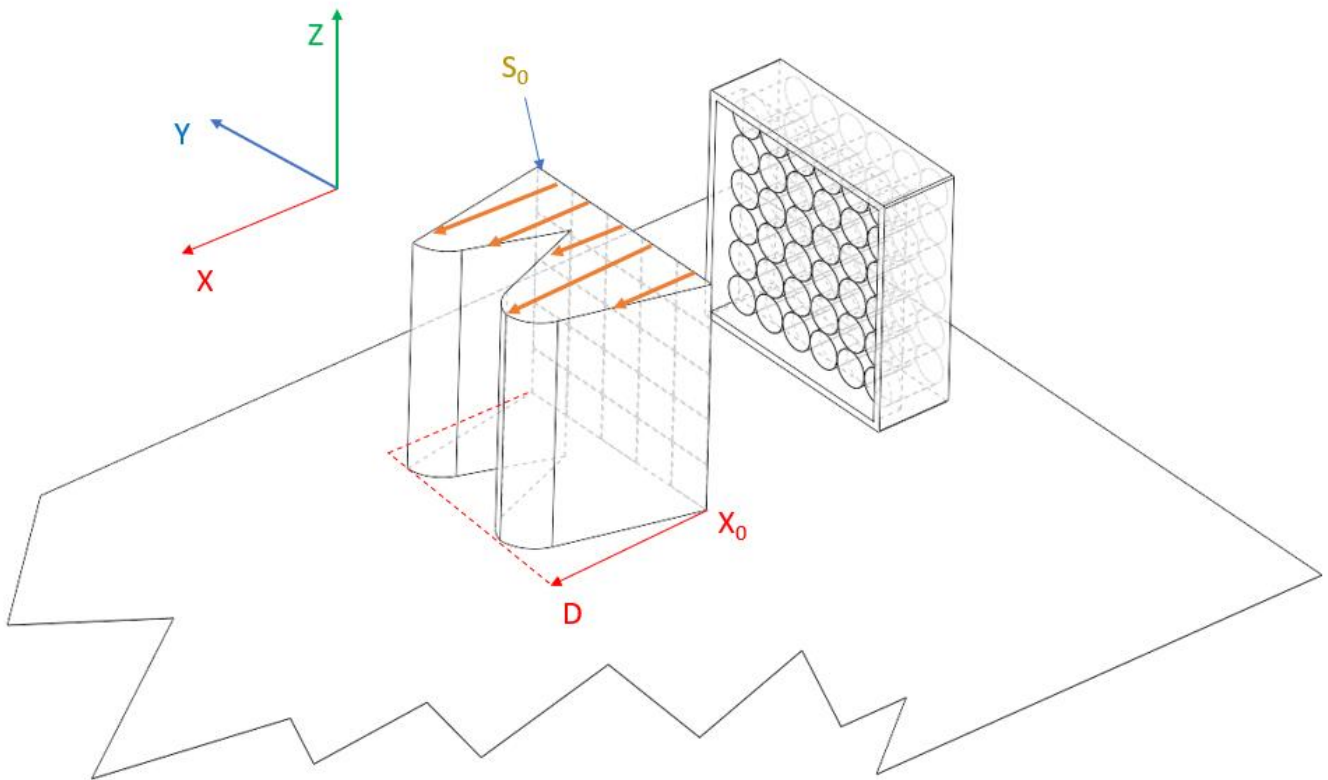
## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Le graphique suivant représente le profil de vitesse en  $S_0$  dans la direction de  $Y$  pour l'étude d'un objet dont  $C$ , la dimension caractéristique retenue, est de 15 cm. Tout comme les exemples précédents, le système générateur de la rafale est d'une largeur de 7 m et capacité de vitesse maximale de 21 m/s. Ce profil serait adéquat pour l'étude de drones d'une envergure de 15 cm.



**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Le figure ci-après est une représentation dans l'espace du profil précédent. En orange sont représentés les vecteurs vitesse.



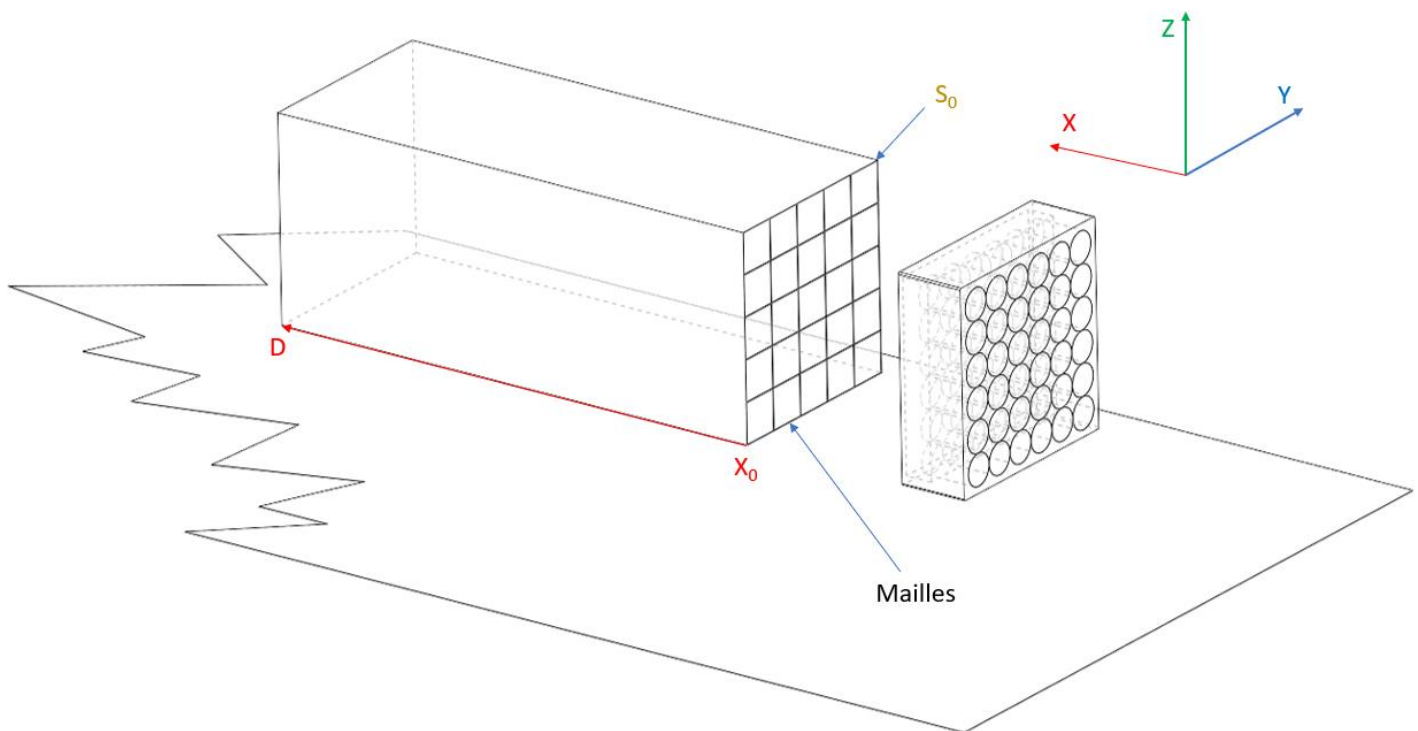
Les profils de vitesses exposés le sont à titre d'exemple. Les gradients de vitesse des profils de rafales peuvent aussi être nécessaires le long de l'axe  $Z$  par exemple. Le dispositif devra aussi être capable de générer tout type de profils avec comme seules contraintes la taille des actuateurs et la vitesse maximale que ceux-ci peuvent atteindre.

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**
**6.2.1 Description de FsB**

Afin de créer des profils de vent, le système pourra aussi **imposer des vitesses de vent indépendantes** selon l'endroit voulu de la surface  $S_0$ , et ce, **selon un maillage de surface de  $S_0$  (FsB)** composé de cellules :

- dont la vitesse de vent moyennée en son centre est de 0 à 21 m/s minimum selon la direction de l'axe **X** (**CsB1**) ;
- de forme rectangulaire (**CsB2**) ;
- d'une hauteur maximum de l'ordre de  $H_s \div 5,5$  et d'une largeur maximum de l'ordre de  $L_s \div 5,5$  (**CsB3**).

Vu le caractère inhomogène du déplacement de l'air lors de phase d'utilisation, la longueur **D** pourra être réduite à un minimum de 4 mètres (**CsB4**) contre 10 mètres pour le premier cas d'usage.



## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

6.2.2 Tableau de critères de FsB – Niveaux de flexibilité

FsB			
Imposer des vitesses de vent indépendantes selon un maillage de surface de $S_0$			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
<u>CsB1</u>	Vitesse moyenne le long de $X$ au centre de chaque maille en $S_0$	Vitesse selon $X$ de 0 m/s jusqu'à 21 m/s Ecart de 0,1 m/s selon $Y$ et de 0,1 m/s selon $Z$	F3
<u>CsB2</u>	Ségrégation selon maillage de la surface $YZ$ en $S_0$	Commande de la vitesse de déplacement de l'air de manière indépendante pour chaque maille	F1
<u>CsB3</u>	Taille de maille	Hauteur maximum de l'ordre de $H_s \div 5,5$ et largeur maximum de l'ordre de $L_s \div 5,5$	F3
<u>CsB4</u>	Longueur $D$ de la zone d'expérimentation	Longueur minimum de 4 mètres	F1

6.3 FONCTION D'USAGE C – INFORMER L'UTILISATEUR SUR LA QUALITE DE L'ECOULEMENT ET LES CONDITIONS D'ESSAI – FSC

*Il est quasi-impossible de contrôler ce type d'équipement en boucle fermée du fait de l'inertie du volume d'air à déplacer. De fait, il est essentiel que l'utilisateur de l'équipement soit informé sur les conditions d'essais et la qualité de l'écoulement au cours d'une campagne d'essais pour corriger les consignes imposées aux actuateurs.*

*Il est entendu qu'il ne peut y avoir la présence de capteurs dans la zone d'essais lors du déroulement de ceux-ci. Aussi, les capteurs nécessaires peuvent éventuellement être disposés à l'entrée de la zone d'expérimentation, en  $S_0$ , ou en amont de celle-ci pour capter la pression dynamique par exemple et à proximité directe de la zone d'essai pour capter la température par exemple. Par ailleurs, le Lot juridique n°2, le système de sondage, permettra de caractériser l'écoulement et d'avoir des valeurs fiables sur lesquelles se reposer pour établir des lois de commandes en fonction des conditions d'essais. De fait, les informations restituées à l'utilisateur peuvent très bien être issues de ces lois.*

*A noter que la qualité de l'écoulement est entendue ici comme l'ensemble de ses caractéristiques qui définissent l'écoulement : vitesse, pression, température, hygrométrie, ...*

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**6.3.1 Description de FsC**

L'utilisateur doit pouvoir **être informé sur la qualité de l'écoulement de l'air** au cours du temps de l'expérimentation (**FsC**) :

- à tout moment, de manière instantanée par mesure directe ou indirecte (**CsC1**) ;
- de manière indiscutable (fiabilité, reproductibilité) (**CsC2**).

Afin de satisfaire à cette dernière exigence, la mesure indirecte des informations pourra se faire à la fois sur la base de données de capteurs et au moyen de lois empiriques ou abaques réalisés suite à une campagne de caractérisation par exemple.

Les informations reçues par l'utilisateur doivent au moins comporter (**CsC3**) :

- la vitesse de vent moyenne au centre de chaque maille ;
- la pression dynamique au centre de chaque maille ;
- la température dans la zone d'essais ;
- la pression statique dans la zone d'essai ;
- l'hygrométrie dans la zone d'essai ;
- les régimes des éléments d'actuation de l'écoulement.

**6.3.2 Tableau de critères de FsC – Niveaux de flexibilité**

<b>FsC</b>			
<b>Informé l'utilisateur sur la qualité de l'écoulement et les conditions d'essai</b>			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
<b>CsC1</b>	Instantanéité de la lecture des informations	Les informations doivent être envoyées à l'utilisateur à une fréquence minimum de 50 Hz	F3
<b>CsC2</b>	Fiabilité de la mesure, répétabilité de la mesure	Niveau de confiance de 95 % minimum	F0
<b>CsC3</b>	Exhaustivité des données relevées	Comporter au minimum : <ul style="list-style-type: none"> <li>- la vitesse au centre de la maille ;</li> <li>- la pression dynamique au centre de la maille ;</li> <li>- la température dans la zone d'essai ou à proximité directe ;</li> <li>- la pression statique à proximité directe de la zone d'essai ;</li> <li>- l'hygrométrie à proximité directe de la zone d'essai ;</li> <li>- le régime de vitesse des actuateurs.</li> </ul>	F3

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.4 FONCTION D'USAGE D – ÊTRE CONTROLABLE PAR UN UTILISATEUR VIA UNE IHM – FSD****6.4.1 Description de FsD**

Dans son utilisation normale, la vitesse du vent pourra être **imposée par le système au moyen d'une commande** qu'actionnera l'utilisateur via une IHM, Interface Homme-Machine (FSD). Depuis cette IHM, il sera possible :

- de donner une consigne au système en m/s (CsD1) pour chacune des mailles de la surface  $S_0$  (CsD2) ;
- de sauvegarder les profils de vitesses et de les rappeler à loisir (CsD3) ;
- d'enchaîner des séquences de profils de vitesses dans le temps (CsD4) et de sauvegarder ces enchaînements (CsD3) ;
- de visualiser les informations relevées concernant la qualité de l'écoulement (CsD5).

**6.4.2 Tableau de critères de FsD – Niveaux de flexibilité**

FSD			
Être contrôlable par un utilisateur via une IHM (IHM)			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CsD1	Compréhensibilité : consignes et valeurs atteintes en unité SI ou fonction des actuateurs sélectionnés	Unités affichées en m/s ou tours par minute si compatible avec les actuateurs retenus	F0
CsD2	Ségrégation selon maille de la surface YZ	Une consigne par maille	F0
CsD3	Sauvegarde : Mise en mémoire des paramétrages, des séquences et des configurations	De 10 configurations ou plus et de 20 enchaînements ou plus	F0
CsD4	Programmation : enchaînement de séquences de configuration	De 10 configurations ou plus et de 20 enchaînements ou plus	F0
CsD5	Lecture des informations relevées	Voir FsC	Voir FsC

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.5 FONCTION D'USAGE E – ENREGISTRER LES CONDITIONS D'ESSAI – FSE****6.5.1 Description de FsE**

Toutes les données inhérentes aux **conditions d'essais devront pouvoir être enregistrées** sur un support de stockage physique (FsE) avec :

- une vitesse d'écriture la plus rapide possible (CsE1) ;
- une fréquence d'acquisitions d'au moins 50 Hz (CsE2) ;
- un horodatage des acquisitions (CsE3) ;
- une possibilité de copier les données ou d'emporter le support de stockage physique (CsE4) ;
- la possibilité d'exploiter les données et mesures sur un ordinateur soit directement, soit après une conversion (CsE5). Par ailleurs, il sera possible de récupérer l'ensemble de ces données de manière instantanée sur une chaîne d'acquisition (CsE6).

**6.5.2 Tableau de critères de FsE – Niveaux de flexibilité**

FsE			
Enregistrer les conditions d'essai			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CsE1	Vitesse d'écriture	400 mo/s minimum	F0
CsE2	Fréquence d'acquisition	Jusqu'à au moins 50 Hz	F3
CsE3	Temporalité des relevés	Horodatage des données relevées	F0
CsE4	Programmation : enchaînement de séquences de configuration	De 10 configurations ou plus et de 20 enchaînements ou plus	F0
CsE5	Exploitabilité des données et des mesures	Enregistrement des signaux bruts et des données converties	F0
CsE6	Lecture des informations relevées sur une chaîne d'acquisition	Possibilité de récupérer les données en temps réel	F3

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.6 FONCTION D'USAGE F – ÊTRE PILOTABLE DEPUIS UNE SALLE DE COMMANDE – FSF**

*Dans le cadre des essais drones, les utilisateurs du générateur de vent seront soumis à des niveaux de bruit et de vent non-supportables dans le temps sans protection appropriées. Il n'y a pas à proximité de l'emplacement voulu pour l'installation de salle permettant son pilotage. Le système devra donc être fourni avec un poste de pilotage servant aussi d'abris aux utilisateurs le temps des essais.*

**6.6.1 Description de FsF**

Le système devra **être pilotable depuis une salle de commande (FsF)**. Cette salle doit permettre à l'opérateur :

- d'être à l'abri du vent (CsF1) ;
- d'être à l'abri du bruit (CsF2) ;
- de piloter l'installation (CsF3) ;
- d'être protégé de la projection d'un drone (CsF4) ;
- d'avoir une vue totale sur la zone d'expérimentation (CsF5).

**6.6.2 Tableau de critères de FsF – Niveaux de flexibilité**

FsF			
Être pilotable depuis une salle de commande			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CsF1	Protection des utilisateurs du vent	Absolue	F0
CsF2	Protection des utilisateurs du bruit	Niveau inférieur à 55 dB(A) lors d'un essai	F1
CsF3	Pilotabilité depuis la salle de l'installation par les utilisateurs	Accueillir le poste de pilotage de l'installation	F0
CsF4	Protection des utilisateurs des drones	Absolue	F0
CsF5	Visibilité sur la zone d'expérimentation par les utilisateurs	Vue totale sur la zone d'expérimentation et ses abords	F0

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.7 FONCTION CONTRAINTE A – FAVORISER LA STABILITE ET L'HOMOGENEITE DE L'ÉCOULEMENT – FcA**

*L'idée associée à cette fonction de contrainte est de ne pas créer involontairement un déséquilibre dans le flux d'air généré par le système.*

**6.7.1 Description de FcA**

Afin de **favoriser la stabilité de l'écoulement et favoriser l'homogénéité (FcA)** de celui-ci, le système :

- aura une forme et une disposition la plus symétrique possible par rapport au plan XZ (CcA1) ;
- sera centré sur la largeur (Y) de la pièce où il sera installé (CcA1) ;
- s'il est composé de plusieurs volumes, ces volumes seront disposés symétriquement au plan longitudinal (XZ) de la pièce (CcA1) ;
- aura des formes extérieures présentant des surfaces lisses, continues ou ajustées entre elles afin d'être exemptes de chevauchement autant que faire se peut (CcA2) ;
- si ses surfaces extérieures comportent des chevauchements, ceux-ci seront en marche descendante par rapport au sens de l'écoulement pour ne pas s'opposer au fluide (CcA3) ;
- sera composé d'éléments mécaniques conçus de telle manière qu'ils ne gênent pas ou peu l'écoulement de l'air lorsque ceux-ci seront dévolus au maintien des formes extérieures.

**6.7.2 Tableau de critères de FcA – Niveaux de flexibilité**

FcA			
Favoriser la stabilité et l'homogénéité de l'écoulement			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CcA1	Installation symétrique par rapport au plan XZ	±40 mm	F3
CcA2	Finition des forme extérieures	Surfaces lisses, continues et ajustées	F1
CcA3	Décollement descendant	Pas de chevauchement d'habillage sinon en marche descendante par rapport au sens d'écoulement de l'air	F0
CcA4	Intrusivité de la visserie	Lorsqu'elle est nécessaire, privilégier de la visserie peu saillante par exemple de type ISO 7380 pour limiter les interactions avec l'air	F1

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 6.8 FONCTION CONTRAINTES B – LIMITER LES PHENOMENES VIBRATOIRES ET INFORMER L'UTILISATEUR – FCB

### 6.8.1 Description de FcB

Une attention particulière sera attachée par le titulaire à **réduire les phénomènes vibratoires (FcB)** par exemple par le découplage des parties en mouvement avec le sol ou les éléments de structure, le remplissage d'éventuelles cavités, l'utilisation d'amortisseurs, l'utilisation de surfaces poreuses ou molles (CcB1). En tout état de cause, les phénomènes vibratoires doivent être signalés et caractérisés s'ils ne peuvent être complètement annulés. Et une surveillance de ceux-ci doit être mise en place par exemple au moyen d'accéléromètres sur les éléments critiques du système (CcB2).

#### 6.8.1.1 Tableau de critères de FcB – Niveaux de flexibilité

FcB			
Limites des phénomènes vibratoires et informer l'utilisateur			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CcB1	Limitation des phénomènes vibratoires	Mise en place de technologies adaptées pour atteindre une valeur maximale de 0,5 m/s <sup>2</sup> à 10 mètres du système	F3
CcB2	Surveillance des phénomènes vibratoires	Mise en place de technologies adaptées pour retourner l'information du niveau de vibration à l'opérateur	F1

## 6.9 FONCTION CONTRAINTES C – LIMITER LES PHENOMENES ACOUSTIQUES – FCC

Concernant les **phénomènes acoustiques**, ceux-ci doivent être **réduits au maximum (Fcc)** afin de ne pas interférer avec les essais mettant en œuvre des antennes acoustiques installées dans le cadre de la recherche spatiale de drone par exemple.

### 6.9.1 Description de FcC

S'il s'avère que les bruits générés par le système ne puissent pas être contenus, il faut que le cumul de ces bruits soit d'une puissance acoustique strictement inférieure à 78 dB SPL à 2 mètres de  $S_0$ , micros tournés vers la zone d'expérimentation, lorsque le générateur fonctionne à une vitesse de 15 m/s et ce dans le cadre du premier cas d'usage. C'est-à-dire avec une vitesse uniforme en  $S_0$  (CcC1). En effet, il est souhaité que la pression acoustique générée par l'installation soit inférieure à celle générée par les hélices du drone additionnée de 10 dB SPL.

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Pour illustration, le tableau ci-après reprend les niveaux de SPL bpf (dB) caractéristiques au passage des pales pour des hélices de drones que l'on souhaite étudier. De manière arbitraire, on considère un vol stationnaire pour lequel la vitesse de rotation des hélices est de 6000 tours par minutes soit 100 Hz pour la rotation de l'arbre moteur. Les données de la colonne *SPL bpf (blade passing frequency) (dB)* indiquent le niveau SPL en dB à la fréquence de passage des pales. C'est celle-ci que l'on doit comparer à la puissance acoustique induite par le générateur de vent.

Type d'hélice	Tour par minutes	OASPL (dB)			Poussée(N)			SPL bpf (dB)		
		Type de montage Nombre d'hélices			Type de montage Nombre d'hélices			Type de montage Nombre d'hélices		
		1	4	6	1	4	6	1	4	6
APC 16"	6000	87	93	95	30	120	180	81	87	89
APC 15"	6000	81	87	89	<u>21</u> (min)	84	126	75	81	83
APC 14"	6000	80	86	88	17	68	102	74	80	82
T-Motor 15"	6000	83	89	91	18	<u>72</u> (max)	108	76	<u>82</u> (max)	84
DJI 9.44"	6000	69	75	77	4.8	19.2	28.8	59	<u>65</u> (min)	67
XOAR 13"	6000	77	83	85	12	48	72	70	76	78
Eachine 4.7"	6000	60	66	68	3	12	18	30	36	38
Parrot (4H 3.5")	6000		64			5			40	
DJI F550 (6H 9.44")	6000			81			24			66

Dans notre cas, nous nous intéressons surtout à l'étude des drones d'un poids allant de 2 à 7 kg en vol stationnaire évoluant dans un vent de 15 m/s. On peut retenir les types de montage pour lesquels la poussée est de l'ordre de 20 N minimum et de l'ordre de 70 N maximum pour les études acoustiques. De ces données expérimentales, on retient les types de montages pour lesquels la poussée va de 21 N à 72 N. Ceci correspond à des niveaux de SPL bpf de 65 à 82 dB. Ils sont signalés par un fond bleu dans le tableau. Les niveaux maximums sont signalés par les mentions min et max. De ce tableau, on en déduit qu'il faut que le générateur de vent ne dépasse pas un niveau de puissance acoustique SPL bpf de 75 dB dans les plages de fréquences de 200 Hz à 400 Hz correspondant à 2 à 4 pales.

Pour réduire la puissance sonore des bruits de fond, les éléments sources de nuisances devront être contenus (CcC1). Ainsi, par exemple, les armoires électriques devront être coffrées acoustiquement. Des systèmes passifs de réduction de bruit tels que des résonateurs de Helmholtz pourront être utilisés (CcC1). Par ailleurs, afin de pouvoir réaliser les essais mettant en œuvre des antennes acoustiques, il faut que la vitesse maximum de vent à 1 mètre du sol soit de l'ordre de 1 m/s (CcC2) à 2 m de distance de S<sub>0</sub> lorsque le générateur de vent sera à 15 m/s.

Version 2.3 – 10/07/2025

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

6.9.2 Tableau de critères de FcC – Niveaux de flexibilité

FcC			
Limiter les phénomènes acoustiques			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
<u>CcC1</u>	Limitation des phénomènes acoustiques	Ne pas dépasser une puissance sonore SPL bpf de 75 dB à 2 mètres de $S_0$ pour les fréquences de 200 Hz à 400 Hz lorsque le générateur fonctionne à une vitesse de 15 m/s sur toute la surface $S_0$	F0
<u>CcC2</u>	Limitation du niveau de vent sur les antennes acoustiques	Vitesse maximum de vent à 1 mètre du sol de 1 m/s à une distance de 2 mètres de $S_0$ lorsque le générateur de vent fonctionne à une vitesse de 15 m/s sur toute la surface $S_0$	F0

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.10 FONCTION CONTRAINTE D – PERMETTRE LE PASSAGE DES DRONES DEPUIS ET VERS LA ZONE D'EXPERIMENTATIONS – FcD****6.10.1 Description de FcD**

Dans le cadre des essais, il faut absolument que les drones puissent entrer et sortir de la zone d'expérimentations. Rien ne doit entraver le passage des drones puisque l'essentiel des études portent sur le passage de ceux-ci dans la rafale.

Le système doit permettre le passage des drones depuis l'extérieur du volume d'expérimentation vers l'intérieur et inversement sur tous les côtés (FcD) à l'exception en  $S_0$  si cela s'avère nécessaire. Il faut donc réserver de l'espace autour de la zone d'expérimentation. De chaque côté de la zone, il faut qu'il reste un espace minimum de 4 mètres jusqu'aux murs (CcD1).

Depuis le haut de la zone, le drone pourra aussi entrer ou sortir, il faudra donc réserver un espace entre la zone d'expérimentation et le plafond du B20 d'au moins 4 mètres (CcD3).

De même, le point bas de la zone d'expérimentation devra démarrer à une hauteur depuis le sol de 3 mètres minimum afin de permettre l'entrée des drones à la vitesse escomptée (CcD3).

**6.10.2 Tableau de critères de FcD – Niveaux de flexibilité**

<b>FcD</b>			
<b>Permettre le passage des drones depuis et vers la zone d'expérimentation</b>			
Critère		Niveau de critère	Flexibilité
CcD1	Permettre le passage des drones depuis les côtés gauche et droit de la zone d'expérimentation (référence axe X) et inversement	Démarrer la zone d'expérimentation à une distance minimum de 4 mètres depuis les murs du laboratoires	F0
CcD2	Permettre le passage des drones depuis le haut du laboratoire vers la zone d'expérimentation et inversement	Démarrer la zone d'expérimentation à une distance minimum de 4 mètres depuis du plafond du laboratoires	F0
CcD3	Permettre le passage des drones depuis le sol vers la zone d'expérimentation et inversement	Démarrer la zone d'expérimentation à une hauteur de 3 mètres depuis le sol	F0

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

**6.11 RESUME DES FONCTIONS A ASSURER :**

Le tableau ci-après reprend l'ensemble des fonctions que le générateur de vent devra assurer.

Acronyme	Désignation	Définition
<b>FsA</b>	Fonction d'usage A	<i>Imposer un champ de vitesse de vent dans la zone d'expérimentation</i>
<b>FsB</b>	Fonction d'usage B	<i>Imposer des vitesses de vent indépendantes selon un maillage de surface de <math>S_0</math></i>
<b>FsC</b>	Fonction d'usage C	<i>Informar l'utilisateur sur la qualité de l'écoulement et les conditions d'essai</i>
<b>FsD</b>	Fonction d'usage D	<i>Être contrôlable par un utilisateur via une IHM</i>
<b>FsE</b>	Fonction d'usage E	<i>Enregistrer les conditions d'essai</i>
<b>FsF</b>	Fonction d'usage F	<i>Être pilotable depuis une salle de commande</i>
<b>FcA</b>	Fonction contrainte A	<i>Favoriser la stabilité et l'homogénéité de l'écoulement</i>
<b>FcB</b>	Fonction contrainte B	<i>Limiter les phénomènes vibratoires et informer l'utilisateur</i>
<b>FcC</b>	Fonction contrainte C	<i>Limiter les phénomènes acoustiques</i>
<b>FcD</b>	Fonction contrainte D	<i>Permettre le passage des drones depuis et vers le volume d'expérimentation</i>

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

## **7 EXIGENCES OPERATIONNELLES**

---

### **7.1 EXIGENCES DE SURETE DE FONCTIONNEMENT**

- *Disponibilité :*

Le taux de disponibilité de l'équipement doit être a minima de 80 % sur l'amplitude horaire d'ouverture du centre ONERA-Lille (7:30 – 18:30). Le système doit pouvoir être en état de fonctionnement nominal à tout instant durant ces heures. S'il s'avère que celui-ci soit en panne, cette dernière doit pouvoir être traitée en moins de 2 heures s'agissant d'une panne jusqu'au niveau 2 inclus (Niveaux selon Afnor NF X 60-000).

- *Fiabilité :*

Comme indiqué dans la partie 6 EXIGENCES FONCTIONNELLES, le système doit être fiable et en ce sens, l'information qu'il renvoie à l'utilisateur doit respecter les termes définis dans 6 EXIGENCES FONCTIONNELLES. S'il s'avère que l'un des capteurs soit défaillant, le système doit pouvoir renseigner l'utilisateur de son état.

- *Maintenabilité :*

Comme indiqué dans la partie 4 PRESTATIONS DEMANDEES, le système sera fourni avec tous les éléments nécessaires à la compréhension de son fonctionnement ainsi qu'à son maintien à l'état nominal. Les opérations de maintenance préventives et leur périodicité auront été définies par le titulaire. Ainsi fait, les gammes, les nomenclatures et les modes opératoires associés seront fournis par celui-ci. On veillera à ce que les opérations de niveau 1 soient aussi explicitées pour ne pas souffrir d'omissions.

La recherche de panne sera facilitée soit par lecture d'un message d'alerte ou a minima par la lecture d'un synoptique. Par ailleurs, toujours pour faciliter la recherche de panne, la documentation fournie sera suffisamment claire pour que l'utilisateur du système puisse de lui-même réaliser un premier diagnostic.

La fréquence des actions de maintenance préventives devra être raisonnée. C'est-à-dire que si par exemple le système doit être graissé périodiquement, il est préférable de prévoir des graisseurs automatiques interchangeables.

Un calendrier de maintenance préventive reprenant la désignation de l'opération, le niveau de maintenance de l'opération, sa périodicité, le niveau technique de l'intervenant, le nombre de personnes et la durée de l'opération sera fourni par le Titulaire.

L'essentiel des opérations de maintenance jusqu'au niveau 2 inclus doit pouvoir se faire au maximum à deux personnes en moins de deux heures.

La conception du système doit tenir compte des phases de maintenance. C'est-à-dire que les actes de maintenance doivent être aussi jugés sur un critère d'ergonomie. Ainsi, par exemple, on veillera à ce que l'essentiel des opérations se fassent au niveau du sol en déportant les canaux de graissage s'ils sont nécessaires ou en y installant les armoires électriques.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Le système doit comporter le maximum de pièces du commerce. Le fabricant du système veillera à ce que les pièces choisies ne soient pas en fin de série ou sur le point de l'être, le titulaire devra fournir la liste des pièces de rechanges. Deux jeux d'éléments critiques selon le titulaire seront fournis en sus.

- *Sécurité :*

Le système doit être conforme à la Directive 2006/42/CE dite « Directive Machine » ou au règlement UE 2023/1230 du Parlement européen et du Conseil du 14 juin 2023 sur les machines et aux exigences du Code du Travail Français.

En aucun cas, dans son utilisation normale, il ne doit dégrader l'intégrité des biens ou des personnes. Il en va de même pour toutes des phases de son cycle de vie (installation, utilisation, maintenance, nettoyage, préparation...).

Le système devra être protégé d'une éventuelle surcharge et d'une coupure inopinée du réseau électrique.

Le système ne pourra être conduit que par du personnel habilité. Sa conception respectera, entre-autre, les préconisations de la dernière version de la norme 13849-1 (sécurité des machines).

Lors des essais, l'utilisateur aura toujours à proximité directe un moyen de déclencher un arrêt d'urgence. Les IHM comporteront aussi la possibilité de procéder à un arrêt d'urgence.

Tout au long de ce projet, tout sera fait pour réduire les risques. Un processus itératif de réduction du risque sera mis en place par le Titulaire. Celui-ci devra déterminer les limites de la machine, identifier les phénomènes dangereux, estimer le risque engendré pour chaque phénomène dangereux identifié, déterminer les prescription et/ou les mesures nécessaires, valider et renouveler si nécessaire. La méthode est laissée au titulaire (AMDEC, IDER, IDAR...). Comme exigé par la Directive Machine, les analyses de risques seront soumises à l'ONERA. Le Titulaire tiendra compte des remarques qui lui seront formulées.

## **7.2 EXIGENCES SUR LA DUREE DE VIE**

La durée de vie minimale de la fourniture du Titulaire est de 20 ans, sans altération de son fonctionnement dans le temps, hors pièces de rechange déclarées dans les gammes de maintenance. Sur cette durée, le nombre d'heure d'utilisation estimé est de 8000 heures.

## **7.3 EXIGENCES D'INTERFACES**

### **7.3.1 Interface numérique**

Par soucis de compatibilité et de continuité avec les solutions actuellement utilisées sur le site de l'ONERA-Lille, les automates seront de préférence de la marque SIEMENS ou équivalent. En effet, l'équipe d'essais de ELV est pour partie formée à ces automates qui équipent la plupart de ses souffleries. L'utilisation d'une autre technologie engendrerait un surcoût de formation et une perte d'autonomie à court terme. L'unité possède déjà un stock de pièces de rechanges pour cette marque qu'il est possible de mutualiser avec le nouvel équipement.

Un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) permettra de contrôler l'équipement. Celui-ci pourra être interrogé et recevoir des commandes depuis un autre ordinateur.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Les programmes des automates doivent pouvoir être accessibles et éditables par l'ONERA-Lille. Ainsi, les logiciels et le matériel permettant l'édition des programmes devront être fournis (par exemple SIMATIC WinCC RC (développement) Professional - SIMATIC STEP 7 Professional et/ou WinCC Unified V19 ou équivalent).

Concernant les IHM (Interface Homme-Machine), les technologies web basées sur Html, JavaScript et SVG sont à privilégier, elles sont libres de droit et sont des standards inscrits au W3C ce qui est un gage de continuité. Ceci permettra de faciliter d'éventuelles modifications dans le futur (SIMATIC WinCC Unified System ou équivalent). Les interfaces devront être développées sous SIMATIC ou équivalent. Bien entendu, cette solution devra être en corrélation avec l'automate retenu. S'agissant des écrans déportés, s'ils s'avèrent nécessaires, une préférence va aux produits de type écran web tels que le STW6000 IHM de Pro-Face ou équivalent mettant en œuvre les technologies web mentionnées ci-avant.

Afin de se synchroniser avec les drones, la station-sol et les autres équipements, le générateur de profils de vent devra gérer le protocole de temps Network Time Protocol (NTP) basé sur le protocole User Datagram Protocol (UDP) sans passer par SICLOCK de Siemens ou équivalent. Un petit serveur servant à la synchronisation via ce protocole devra être fourni idéalement sous Linux version Debian. Le générateur de vent s'y connectera pour synchroniser son horloge. Un serveur de type DELL Smart Selection PowerEdge R250 ou techniquement équivalent sera suffisant. Les autres équipements pourront aussi s'y connecter pour se synchroniser.

### 7.3.2 Interfaces physiques

- Dispositif de maîtrise des turbulences

Si un dispositif passif est nécessaire à l'obtention d'un taux de turbulence tel que demandé dans le présent document, celui-ci sera interchangeable afin de pouvoir éventuellement modifier le taux de turbulence obtenu.

- Reprise au sol

Le système sera installé sur un dalle béton supportant une charge maximale de 8 tonnes au mètre carré (document : A22 06988 BEI - ONERA - Diag dallage bâtiment N).

- Réseaux

Le bâtiment est desservi par le réseau d'eau de ville, un réseau d'air 8 bars commun à l'ensemble du site, un réseau électrique 380 V et 220 V, un réseau téléphonique et un réseau informatique RJ45.

### 7.3.3 Interface Homme-Machine (IHM)

Le contrôle de l'équipement se fera soit depuis la salle de commande soit depuis une commande à distance dans la zone d'essais. Ces deux commandes ne pourront pas être utilisées en même temps.

Pour utiliser le système chacun des opérateurs habilités devra saisir un login et un mot de passe. Un super-utilisateur, personnel de l'ONERA-Lille, aura au préalable créé les comptes utilisateurs, ouvert les droits de ces derniers et créé les mots de passe de chacun d'entre eux dans le système. Le système n'admettra qu'un et un seul utilisateur à la fois.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Une fois identifié, l'utilisateur aura en visuel un menu d'accueil depuis lequel il pourra accéder aux rubriques suivantes :

- historique et la liste des messages d'alerte des automates ;
- surveillance de l'état des capteurs ;
- campagne d'essais ;
- groupes de moteurs ;
- création de séquences ;
- lancement rapide.

S'il s'avère que le système soit défaillant, un message d'alerte de type pop-up s'affichera au moment d'entrer dans le menu. Ce message indiquera la cause de l'alerte et le système ne pourra pas être utilisé sans un acquittement. Cet acquittement sera possible que si la cause est éliminée.

L'utilisateur retrouvera ce message d'alerte dans la rubrique reprenant l'historique et la liste des messages d'alerte antérieurs. Depuis cette rubrique, on pourra consulter les messages d'alerte en cours et les messages d'alerte passés. Ceux-ci seront bien-entendu horodatés. On pourra depuis cette rubrique acquitter les messages d'alerte. Une fois acquittés, ils seront conservés dans l'historique. Dans l'historique, on trouvera aussi un compteur reprenant les temps d'utilisation de chaque moteur.

Dans la rubrique « surveillance de l'état des capteurs », l'utilisateur pourra lire en direct les sorties de capteurs en tensions et en unités physiques. Depuis cette rubrique, on pourra imposer une vitesse de vent au système afin de faire varier les données renvoyées. La consigne sera générale pour l'ensemble de la surface.

Dans la rubrique « campagne d'essais », l'utilisateur pourra créer une nouvelle campagne d'essai. La campagne d'essai pourra être nommée par l'utilisateur, elle regroupera les différentes séquences et les différents groupes. L'utilisateur créera d'abord l'arborescence de la campagne avec les différentes séquences. Il pourra ajouter d'autres séquences temporelles s'il le souhaite plus tard. Lorsque l'utilisateur enregistrera la campagne, seront concomitamment enregistrés les groupes et les séquences avec un index propre à la campagne en cours d'utilisation. Pendant le temps de l'essai, l'utilisateur aura une vue sur les données de capteur et le déroulement de la séquence en temps réel. Depuis la rubrique campagne d'essais, l'utilisateur pourra lancer une séquence dans le cadre d'un essai. Dès lors, selon sa volonté, les données de capteurs seront horodatées et enregistrées dans un fichier. Ce fichier pourra être récupéré par l'utilisateur par la suite pour dépouillement.

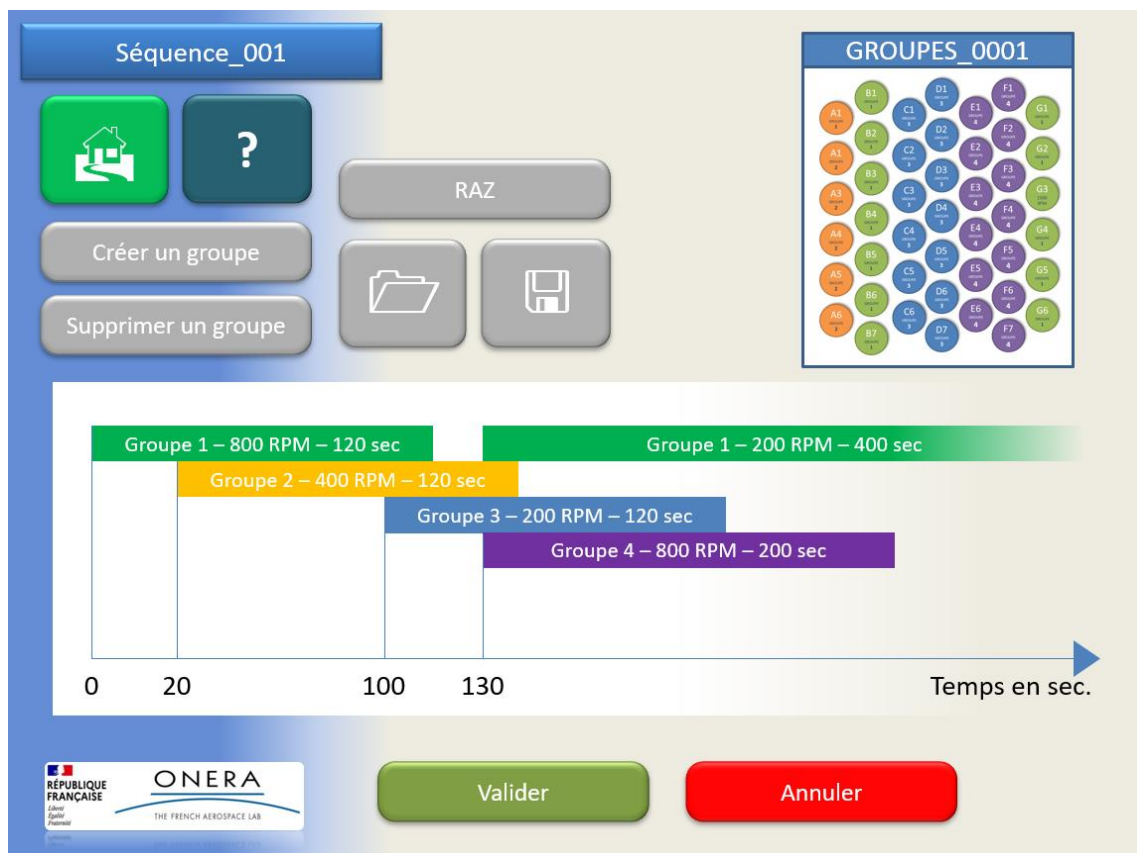
La rubrique groupes permettra de rassembler les différents moteurs par groupe. L'utilisateur pourra sélectionner les ventilateurs selon sa volonté et l'adjoindre à un groupe. Le canevas ainsi créé pourra être sauvegardé par l'utilisateur. Il pourra lui donner une dénomination et une description. Les canevas créés précédemment pourront être rappelés, édités et enregistrés sous un autre nom. L'utilisateur pourra détromper chaque groupe par un code couleur et une dénomination (incrémentielle). L'illustration ci-après présente une possibilité d'interface pour la création de groupe :

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI



Dans la rubrique création de séquences, l'utilisateur pourra créer les séquences temporelles où l'on définira les moments et les temps de fonctionnement des différents moto-ventilateurs à une consigne voulue. Pour créer ces séquences, l'utilisateur fera appel à un canevas qui aura été créé préalablement. L'utilisateur placera les différents groupes de moteurs du canevas sur un graphe lui permettant de créer la séquence désirée. Il rentrera les informations suivantes : début de mise en marche, temps de mise en marche, vitesse de marche. Pour s'aider dans cette démarche, un encart permettra d'avoir une vue du canevas en cours d'utilisation. L'illustration suivante montre un exemple possible d'interface pour cette rubrique :

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI



L'utilisateur pourra exporter :

- les groupes de moteurs au format .csv ou .json ;
- les séquences au format .csv ou .json ;
- les campagnes au format .csv ou .json ;
- les données d'essais au format binaire.

#### 7.4 EXIGENCE D'ERGONOMIE

Le système doit pouvoir se piloter depuis un poste de travail déporté à l'abri du vent. Dans l'idéal, l'installation doit aussi pouvoir être contrôlée depuis la zone d'expérimentation via un terminal mobile.

Concernant les phases de maintenance, de nettoyage et de préparation, si cela s'avère nécessaire d'en disposer, les trous d'hommes auront une largeur minimale de 0,8 mètre et une hauteur/longueur minimale de 0,8 mètre. Ils ne pourront en aucun cas être d'une dimension inférieure à celle d'une éventuelle pièce à démonter pour maintenance additionnée de la surface projetée du moyen de manutention nécessaire.

Afin de faciliter la manutention et éviter les chutes de plein pied, pour tous les passages de porte ou trous d'hommes, les seuils seront à éviter autant que faire se peut. Si un accès doit se faire en hauteur, celui-ci devra se faire par un escalier d'une pente maximum de 45° (EN ISO 14122, EN 547). S'il est impossible de mettre en place un escalier du fait de

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

l'encombrement, des points de reprise hauts seront disposés afin d'y attacher une échelle et/ou un arrimage supportant au moins le poids de la pièce la plus lourde à manutentionner en cas d'avarie augmenté de 200 kg.

Comme indiqué dans la directive 2006/42/CE, l'accès aux éléments présentant un danger ne pourra se faire que par un démontage nécessitant un outil. En considérant les portes et trappes de trou d'homme comme des carter et pour faciliter les opérations de maintenance, de préparation et de nettoyage tout en respectant la directive machine, il est demandé au prestataire qu'il fasse en sorte que tous les accès nécessaires s'ouvrent et se ferment avec le même outil par une seule manipulation de ce dernier. Bien entendu, l'accès aux éléments constituant un danger ne sera pas possible pendant la phase d'utilisation.

## **7.5 EXIGENCE D'ETUDE ET SOLUTIONS IMPOSEES**

### **7.5.1 Spécifications – Normes et standards**

Par anticipation, l'installation devra être conforme au règlement UE 2023/1230 du Parlement européen et du Conseil du 14 juin 2023 sur les machines. S'il s'avère impossible de respecter ces nouvelles conditions, l'installation devra être conforme à la directive Européenne 2006/42/CE concernant la prise en compte de la sécurité dans la conception des machines et matériels. Le titulaire veillera à nous indiquer à quelles obligations du futur règlement UE 2023/1230 il a dû déroger s'il en est dans la capacité. Si l'installation de l'équipement se fait après la date d'entrée en vigueur du nouveau règlement machine, celui-ci devra impérativement le respecter.

Le titulaire veillera à respecter le Code du Travail notamment l'article R4313-2 concernant l'évaluation de la conformité ainsi que l'article R4312-1 concernant les règles techniques applicables. Une préférence va à la certification par un organisme tiers notifié laissé au choix du répondant.

Au-delà des obligations de la directive machines, le titulaire veillera à ce que l'installation ne soit pas accidentogène quel que soit le moment. En ce sens, les analyses de risques produites en partenariat avec celui-ci devront être phasées avec une découpe par étapes du cycle de vie de l'équipement (Installation, utilisation, nettoyage, mode maintenance...), l'idée sous-jacente étant de percevoir si chaque moyen de protection mis en œuvre pour une phase ne devienne pas une contrainte sur une autre.

L'installation et le matériel électrique devront être conforme aux règlements UTE en vigueur et aux normes françaises.

La visserie sera au pas métrique soit de norme NF, ISO ou DIN.

### **7.5.2 Matériaux – Procédés – Composants**

Afin de garantir la pérennité de l'équipement celui-ci devra comporter le maximum de pièces du commerce. Pour la fabrication des pièces spécifiques, le titulaire devra produire à la fois le dossier de conception, les plans de définition et les plans de fabrication TQC.

*- Protections contre la corrosion, peinture :*

De par leur nature ou un traitement, les éléments constitutifs du système devront donc être protégés d'une corrosion atmosphérique similaire à l'environnement extérieur. Sur la base des préconisations de l'ISO 12944, la peinture des aciers nécessitant une protection devra avoir une épaisseur minimale de 160 à 200 µm.

---

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

En cas d'utilisation de peinture, la couleur des différents éléments devra être discutée sur la base d'un nuancier type RAL. Son procédé d'application, sa référence et sa nuance de type RAL devront être donnés par le prestataire lors des études. Un nuancier de même facture, marque, modèle, fournit par le prestataire, sera utilisé par le prestataire et l'ONERA.

*- Soudures :*

En cas d'éventuelles soudures, les cordons devront être réguliers, les grattons devront être nettoyés et les cordons devront être exempts de défauts tels que décrits dans la norme EN ISO 6520-1. Par ailleurs, sans que la technologie mise en œuvre ne soit encore définie, vu le risque élevé de voir apparaître des phénomènes vibratoires, il est demandé au prestataire de vérifier scrupuleusement le travail effectué en soudure : copie des carnets de soudure, inspections par radiographie ou ultra-son, ressurgences... pour éviter tout problèmes ultérieurement.

## **7.6 EXIGENCE ENVIRONNEMENTALES**

Une attention particulière sera portée par l'ONERA sur les dispositions générales engagées par le Prestataire pour le respect de l'Environnement.

### **7.6.1 TRAITEMENT DES DECHETS**

Les déchets générés par l'activité du titulaire en usine pour réaliser les prestations attendues par l'ONERA (chutes de matériaux lors de la fabrication en usine, déchets d'emballage de produits mis en œuvre, huiles et autres liquides usagés, etc...) doivent faire l'objet d'un tri et d'un traitement.

Les déchets résiduels générés par les prestations à la charge du titulaire sur le site de l'ONERA sont sous la responsabilité du titulaire qui est tenu de les enlever ou les faire enlever du centre ONERA au fur et à mesure de l'exécution des prestations. En particulier et sauf demande contraire dûment exprimée par l'ONERA, le titulaire laisse le CMA libre de tout emballage secondaire et tertiaire servant au conditionnement et au transport des matériels, équipements et produits utilisés pour l'exécution des prestations.

Le titulaire assure le traitement desdits déchets (usine et sur site ONERA) dans les conditions définies par la réglementation spécifique à chaque typologie de déchet, selon la hiérarchie des modes traitement exprimée à l'article L. 541-1 du code de l'environnement :

1. Préparation en vue de la réutilisation ;
2. Recyclage ;
3. Toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique ;
4. En dernier recours, élimination.

Le titulaire veille au tri des déchets en vue de leur traitement dans les filières de valorisation adaptées.

### **7.6.2 EMISSIONS DE GAZ A EFFETS DE SERRE**

Le titulaire recourt, autant que possible et lorsque les trajets le permettent, à des solutions alternatives au transport routier conventionnel utilisant l'essence ou le diesel comme carburant, dans un objectif de minimiser leur impact en

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

matière d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces solutions alternatives portent, à la discrétion du titulaire sur le type de source d'énergie alimentant les véhicules routiers utilisés (électricité, hydrogène, gaz naturel (GNC/GNL) y compris biogaz, gaz de pétrole liquéfié (GPL), biocarburant non produit à partir d'huile de palme ou de soja, ou carburant de synthèse).

**7.6.3 IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES PEINTURES**

Le titulaire privilégie l'utilisation de peintures ayant un faible impact sur l'environnement, voire disposant d'un Ecolabel ou tout autre certification.

**7.6.4 SUIVI DES MESURES ENVIRONNEMENTALES MISES EN OEUVRE**

Le titulaire est tenu d'effectuer un reporting à l'ONERA sur les mesures environnementales mises en œuvre ainsi qu'un bilan précis relatif à la collecte et à la gestion des déchets issus des prestations.

---

**8 ADMISSION****8.1 CONDITIONS DE RECETTE**

La fourniture du Titulaire est soumise à une recette à la fin du montage sur site. L'admission est prononcée par l'ONERA-Lille à l'issue favorable des contrôles et après obtention de tous les documents contractuels à jour (tels que construit) intégrant les remarques de l'ONERA le cas échéant et selon les dispositions du CCAP.

**8.2 DEFINITION DES OPERATIONS DE CONTROLE ET CAHIER DE RECETTE**

Toute opération de contrôle nécessite l'établissement d'un programme détaillé par le Titulaire. Ce programme est consigné dans le cahier de recette et doit être soumis aux remarques de l'ONERA.

Le programme comportera au moins les renseignements suivants :

- l'énoncé du but recherché ;
- le rappel des critères de qualité énoncés dans la STB ou dans spécifications techniques du dossier d'exécution ;
- le principe de contrôle ;
- la description de la mise en œuvre ;
- les caractéristiques des instruments de mesure et de contrôle utilisés et les tolérances résultantes sur les grandeurs contrôlées.

Les opérations de contrôle comprennent :

- la fourniture des certificats matière pour les pièces fabriquées ;
- le contrôle des soudures ;
- le contrôle des masses de l'équipement ;
- le contrôle dimensionnel en usine et sur site ONERA,
- le contrôle du montage des fournitures ;

---

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

- le contrôle du contrôle-commande,
- le contrôle du bon fonctionnement des organes de sécurité
- du fonctionnement et des performances du Générateur de vent.

**8.2.1** Certificats matière

Le Titulaire fournira les certificats matière des pièces mécaniques le nécessitant en accord avec l'ONERA s'agissant des métaux et les fiches de données techniques pour les autres matériaux.

**8.2.2** Soudures

Un examen visuel à 100 %, à la charge du Titulaire, portera sur les soudures d'assemblage avant peinture.

Un contrôle par ressuage à 100 % et par magnétoscopie à 10 % + nœuds, à la charge du Titulaire, concernera les soudures résistantes (points de levage, organes de manutention...).

Le Titulaire sanctionnera ces contrôles par la fourniture d'un Procès-Verbal.

En aucun cas, ces contrôles ne peuvent diminuer les exigences d'un contrôle réglementaire.

**8.2.3** Contrôle de la masse des éléments constitutifs de la fourniture

Le Titulaire mesurera les masses des éléments constitutifs du Générateur de vent qu'ils soient fixés à demeure ou amovibles. Un Procès-Verbal de contrôle sera fourni.

**8.2.4** Contrôle dimensionnel en atelier de fabrication

Les pièces mécaniques sont contrôlées individuellement (conformité aux plans de détail).

Les éléments seront contrôlés individuellement en usine au cours du montage à blanc (cotes générales, cotes d'interfaces, parallélisme, perpendicularité...).

Tous ces contrôles seront réalisés par le Titulaire : celui-ci doit fournir le Procès-Verbal de contrôle.

**8.2.5** Contrôle dimensionnel et de montage sur site ONERA

Après montage et avant essais, le Titulaire procédera aux relevés et contrôles en présence de l'ONERA-Lille :

- dimensionnels d'ensemble (cotes hors tout) ;
- de positionnement dans l'espace (voir partie 6 EXIGENCES FONCTIONNELLES).

Le matériel de contrôle est à la charge du Titulaire (laser, cibles...).

Les contrôles géométriques du Générateur de vent seront effectués par le Titulaire en présence de l'ONERA-Lille. Toutes les dispositions seront prises pour que les dimensions d'implantation se situent dans la plage des cotes fonctionnelles indiquées sur les documents contractuels de réalisation. Un Procès-Verbal de contrôle sera fourni.

Les interfaces électriques démontables du Générateur de vent (matériel de mesure : pression, température, hygrométrie...) et de la salle de contrôle seront contrôlés : en particulier les conditions d'accès aux interfaces et les modes de raccordement devront permettre des interventions rapides et aisées.

---

Version 2.3 – 10/07/2025

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Le Titulaire procédera avec l'ONERA-Lille à l'examen :

- des notices de montage ;
- des notices de manutention ;
- des notices de repérage des ensembles, des sous-ensembles et équipements ;

Les déformations dues aux chocs éventuels occasionnés lors du transport, de la manutention ou du montage, seront réparées par le Titulaire suivant une procédure soumise aux remarques de l'ONERA-Lille ou remplacés si l'ONERA l'exige.

#### 8.2.6 Contrôle du bon fonctionnement des organes de sécurité

Le contrôle du bon fonctionnement des organes de sécurité se fera sur la base de scénario établis conjointement entre le Titulaire et l'ONERA. On pourra se baser sur les analyses de risques réalisées en amont lors du déroulement de la phase de conception. Toutes les phases de vie de la machine seront étudiées (maintenance, nettoyage, utilisation, ...). Ces mises en situation permettront de constater de la performance des organes de sécurité mais aussi de chaîne de sécurité.

A l'issue de ce contrôle, si l'on constate des phénomènes dangereux significatifs résiduels, comme préconisé dans la directive machine le Titulaire veillera dans l'ordre à :

- éliminer ou réduire les risques dans toute la mesure du possible (intégration de la sécurité à la conception et à la construction de la machine) ;
- prendre les mesures de protection nécessaires vis-à-vis des risques ne pouvant être éliminés ;
- informer les utilisateurs des risques résiduels dus à l'efficacité incomplète des mesures de protection adoptées, indiquer si une formation particulière est requise et signaler s'il est nécessaire de prévoir un équipement de protection individuelle.

A la suite de ces modifications, un nouveau contrôle sera effectué. On répétera cette démarche jusqu'à atteindre un niveau de sécurité suffisant au regard des éléments ci-après.

Si la sécurité repose sur des mesures complémentaires (prévention intrinsèque, moyens de protection, mesures compensatoires), on pourra s'appuyer sur la brochure INRS ED 6122 ainsi que les normes traitant de ce sujet pour juger de la pertinence des moyens mis en œuvre.

Si la sécurité repose pour partie sur le circuit de commande, on s'appuiera aussi sur la brochure INRS ED 6310, et la note scientifique et technique INRS NS 302 ainsi que sur les normes qui traitent de ce sujet (NF EN ISO 13849-1, NF EN 62061/A2, NF EN 60204-1, NF EN ISO 14119, NF EN 574+A1, etc.).

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

### 8.3 ESSAIS DU GENERATEUR DE VENT

Les essais avec vents seront réalisés :

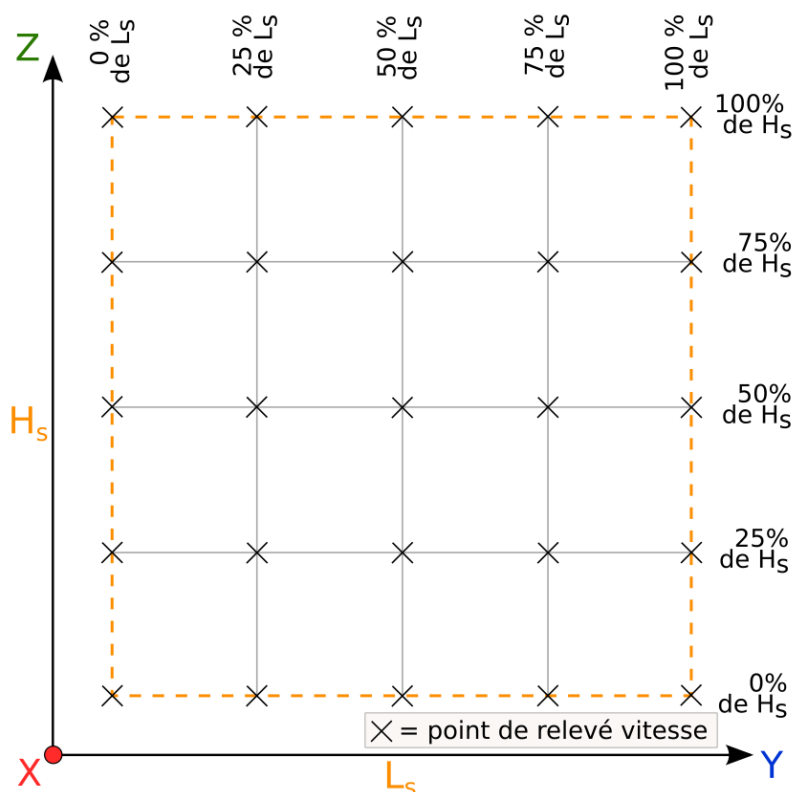
- dans la configuration décrite au point 6.1 FONCTION D'USAGE A - IMPOSER UN CHAMP DE VITESSE DE VENT DANS LA ZONE D'EXPERIMENTATION – **FSA** à cinq vitesses différentes : 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % du maximum de vitesse ;
- dans les trois configurations décrites en introduction du point 6.2 FONCTION D'USAGE B – IMPOSER DES VITESSES DE VENT INDEPENDANTES SELON UN MAILLAGE DE SURFACE DE  $S_0$  – **FSB**.

Ces essais seront conduits par le Titulaire en présence de l'ONERA-Lille. A l'issue des essais, un rapport et un Procès-Verbal sera remis.

Ces essais seront aussi prétexte à nourrir la base de données des profils de vitesse tel que proposé au point 7.3.3 Interface Homme-Machine (IHM).

#### 8.3.1 Vitesse de l'écoulement

Les essais comprendront les relevés des vitesses de vent selon **X** à 0 %, 12.5 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de **D** à des points définis sur la carte suivante :



## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

---

Si le lot juridique n°2, Système de sondage, est en place, et réceptionné au moment des essais sur le Générateur de vent, le Titulaire pourra s'appuyer sur ce système pour réaliser ses essais.

Des essais seront aussi prévus pour qualifier la vitesse et l'accélération des moteurs afin de vérifier leur adéquation avec les exigences **FsA** – critère **CsA9**.

### 8.3.2 Taux de turbulence

Le taux de turbulence de l'écoulement sera mesuré sur la bande de fréquence 0 – 100 Hz par le Titulaire dans des conditions discutées avec l'ONERA-Lille ultérieurement. Le nombre de points relevés sera d'au moins 20 par configuration.

### 8.3.3 Niveau de bruit

Le niveau de bruit dans la salle de contrôle sera relevé durant les essais et autour du volume d'essais de manière à vérifier, respectivement, la réponse aux niveaux de critères **CcC1** et **CsF2**.

### 8.3.4 Autres relevés

Le Titulaire contrôlera pendant ces essais la régulation des moteurs et relèvera les conditions d'essais (température, hygrométrie, vibrations...) telles qu'énumérées au point 6.3 FONCTION D'USAGE C – INFORMER L'UTILISATEUR SUR LA QUALITE DE L'ECOULEMENT ET LES CONDITIONS D'ESSAI – **FSC** et 6.5 FONCTION D'USAGE E – ENREGISTRER LES CONDITIONS D'ESSAI – **FSE**.

### 8.3.5 Contrôle de la reproductibilité

Cinq cartographies seront répétées au moins une fois afin de juger de la reproductibilité des essais. Le Titulaire mesurera la position dans l'espace de ces relevés. L'écart maximum attendu est de 10 mm en **X**, **Y** et **Z**.

### 8.3.6 Essais d'endurance

On effectuera 100 cycles démarrage/arrêt jusqu'à atteindre la vitesse maximale. Les performances fonctionnelles de l'équipement après ce premier essai d'endurance devront être identiques à celles mesurées avant l'essai.

On effectuera un essai en continue de 2 heures à pleine vitesse. Les performances fonctionnelles de l'équipement après ce second essai d'endurance devront être identiques à celles mesurées avant essai.

## 8.4 AUTRES CONTROLES

L'ONERA se réserve la possibilité de réaliser d'autres vérifications ou contrôles, par exemple :

- les vérifications pouvant s'avérer nécessaires au cours de la définition du matériel et de son programme de réception ;
- des vérifications pouvant être prescrites par des règlements à respecter ;
- des contrôles complémentaires à l'initiative du Service HSE de l'ONERA.

Ces contrôles seront pris en charge par l'ONERA.

## 8.5 CAS DE REFUS

L'ONERA n'est pas tenu d'accepter une fourniture dont les caractéristiques et/ou le fonctionnement ne sont pas conformes aux exigences explicitées dans la STB et aux études, plans et notices du Titulaire et de ses fournisseurs.

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

## 9 ANNEXES

### 9.1 ANNEXE 1 : CONCEPT D'ENSEMBLE

L'ONERA-Lille a réalisé un avant-projet. Une partie des éléments relevés sont explicités dans cette section afin de les présenter au titulaire. Il ne s'agit en aucun cas d'imposer au titulaire les technologies exposées mais d'illustrer des concepts de réalisation **qui restent à étudier par le titulaire**. Beaucoup de points n'ont pas été traités ; l'ONERA-Lille n'est pas au fait de toutes les possibilités offertes sur le marché.

L'ONERA a tout d'abord réalisé des simulations simplifiées d'un système de mur de vent dans le laboratoire B20. Dans l'exemple décrit ci-après, le mur de vent est de section carrée de côté 7 mètres. Il est situé à 8 mètres du fond du laboratoire et à 3 mètres de hauteur. Une ouverture donnant sur l'extérieur est pratiquée dans le mur du fond pour créer une prise d'air.

Les simulations numériques sont réalisées avec le module Flow Simulation de SolidWorks. Il s'agit du solveur de Mentor Graphics, qui résout les formes instationnaires des équations de Navier-Stokes, complétées par des formulations de lois d'état et de lois de paroi, sur la base d'un maillage de type octree.

Pour toutes les simulations, le mur de vent est défini comme un ventilateur interne. En l'absence de pertes de charge ou en présence de pertes de charge très faible, le débit s'ajuste à environ 600 m<sup>3</sup>/s, soit une vitesse sortante de 12,25 m/s.

Les courbes suivantes exposent les vitesses selon les composantes X, Y et Z.

On remarque que, selon X, la vitesse est quasi-stable sur environ 20 mètres :

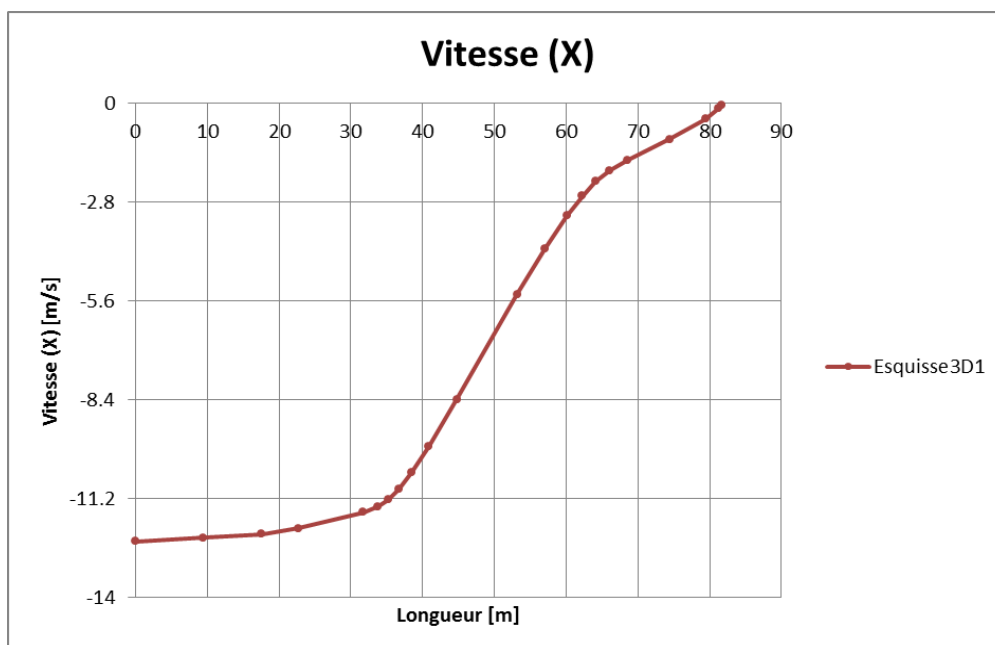


Figure 1 : Composante X de la vitesse le long de X

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

La composante Y de la vitesse est quasi-nulle sur une dizaine de mètres :

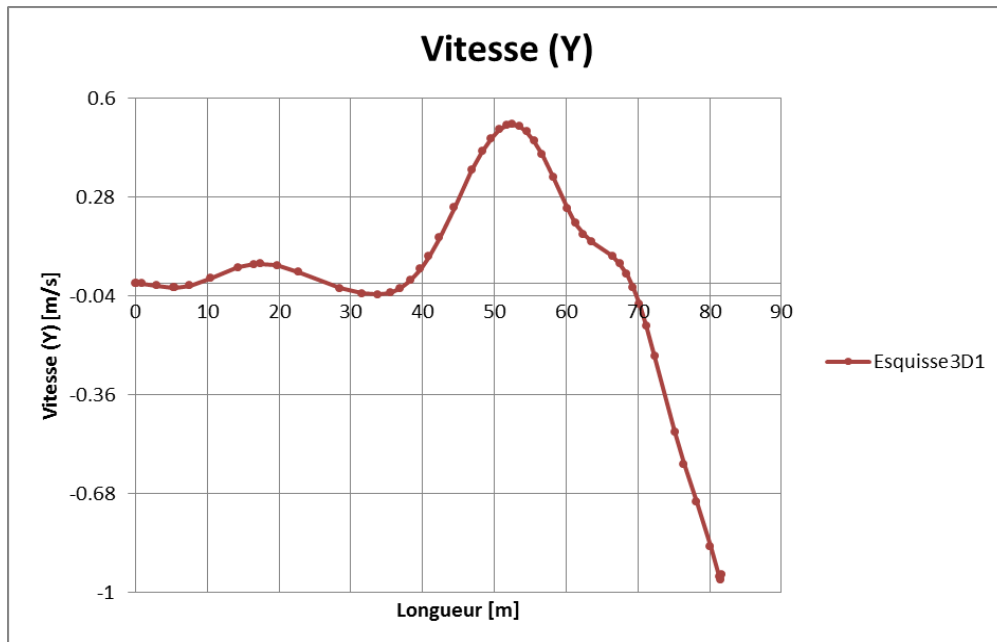


Figure 2 : Composante Y de la vitesse le long de X

La composante Z de la vitesse a tendance à augmenter sur le long de l'axe X :

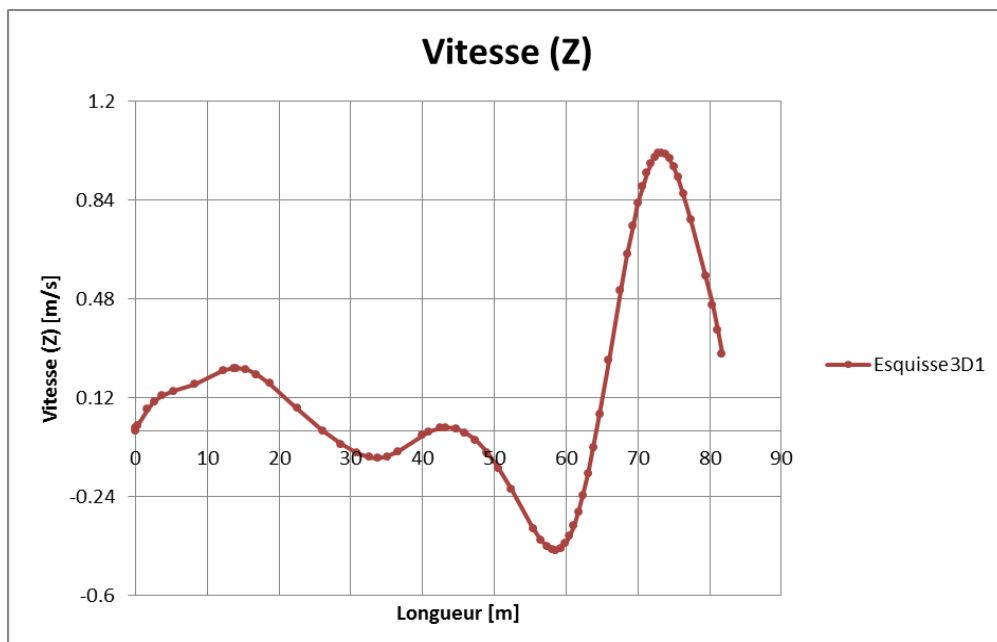


Figure 3 : Composante Z de la vitesse le long de X

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

La figure suivante présente les vecteurs vitesses vues dans le plan de coupe longitudinale centrée sur le générateur de vents :

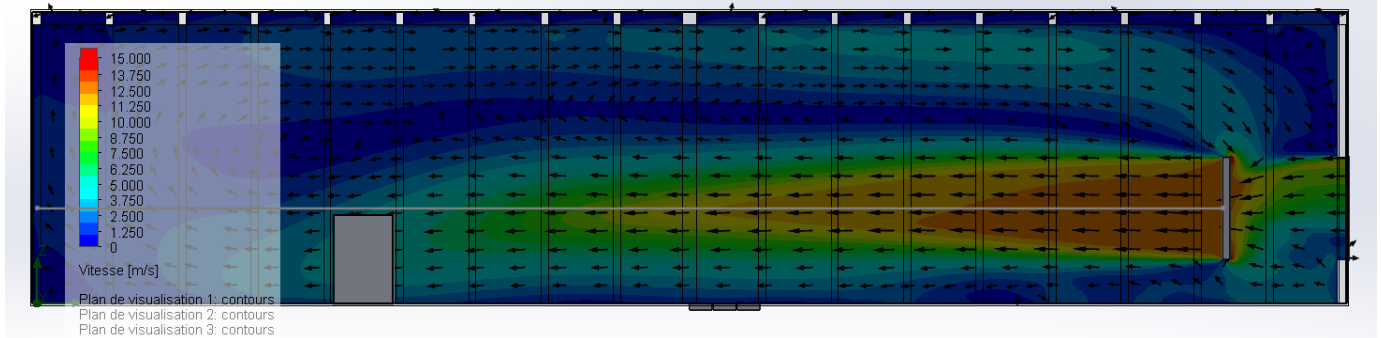


Figure 4 : Vue de côté, sur l'axe du mur ( $y=0m$ )

La figure suivante présente les vecteurs vitesses vues dans le plan de coupe longitudinal au bord du générateur de vent, bord gauche dans le sens de l'écoulement :

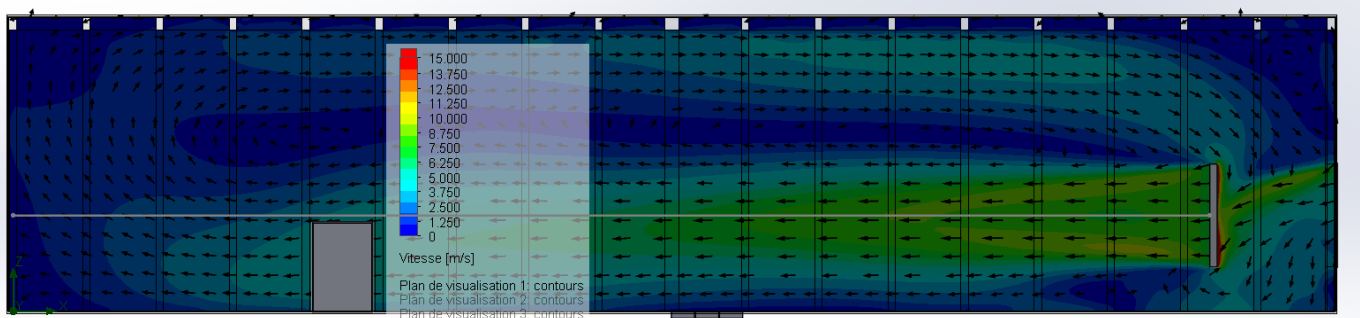


Figure 5 : Au bord gauche du mur ( $y=+3.5m$ )

La figure suivante présente les vecteurs vitesses vues dans le plan de coupe longitudinal au bord du générateur de vent, bord droit dans le sens de l'écoulement :

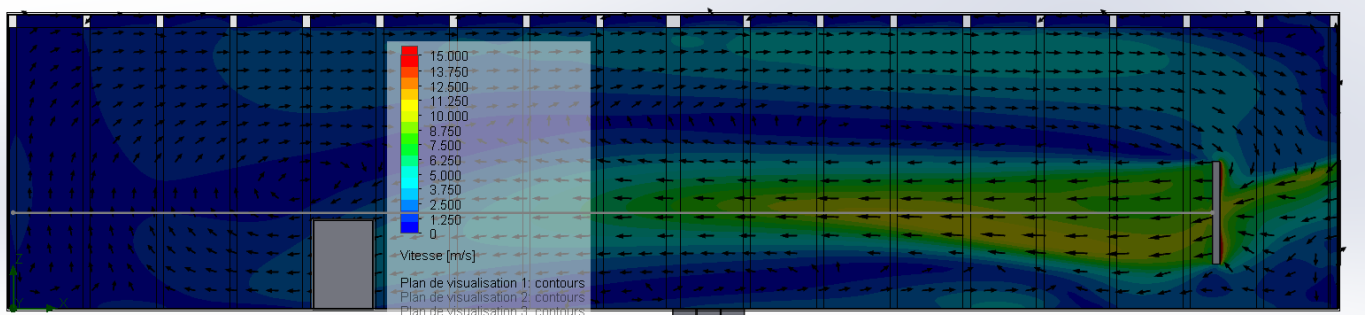


Figure 6 : Au bord droit du mur ( $y=-3.5m$ )

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

La figure suivante présente une vue de coupe horizontale au centre du mur de vent :

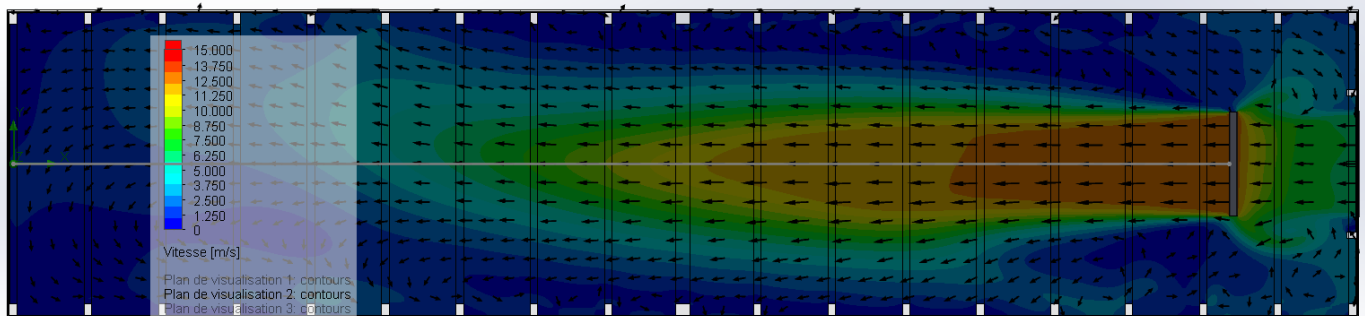


Figure 7: Vue de dessus à l'axe ( $h=6.5m$ )

De ces différentes simulations, on peut conclure que l'idée d'un mur de vent générant un écoulement uniforme sur un volume de  $300\text{ m}^3$  en aval du mur paraît viable.

Un concept a été imaginé susceptible de répondre aux critères imposés dans la section *Exigences Fonctionnelles* de ce présent document. Elle se compose principalement des composants suivants :

- un ensemble de moto-ventilateurs dont l'hélice a un diamètre de 1000 mm (LVL-3150 MOT) ;
- un nid d'abeille et un macro-filtre pour casser le rotationnel et homogénéiser la vitesse (LVL-3130 NDA) ;
- une structure porteuse de ces ensembles (LVL-3140 STR) ;
- un carénage permettant de guider le fluide (LVL-3160 CAR) ;
- une salle de contrôle (LVL-3191 SDC).

Plus explicitement, il s'agit d'un assemblage de moto-ventilateurs axiaux (LVL-3150 MOT) assemblés en chaudronnerie et portés par une structure mécano-soudée montée à partir de containers maritimes (LVL-3140 STR). Le tout est caréné par un habillage en plastique fait de plaques PVC et quelques éléments façonnés toujours en PVC (LVL-3160 CAR). Un nid d'abeille permet de guider dans la direction de l'axe X l'air brassé par les ventilateurs (LVL-3130 NDA). Et, une salle de contrôle permet à l'utilisateur de piloter l'installation tout en étant protégé (LVL-3191 SDC).

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

L'illustration ci-après donne une représentation générale du concept a priori hors carénage et macro-filtre :

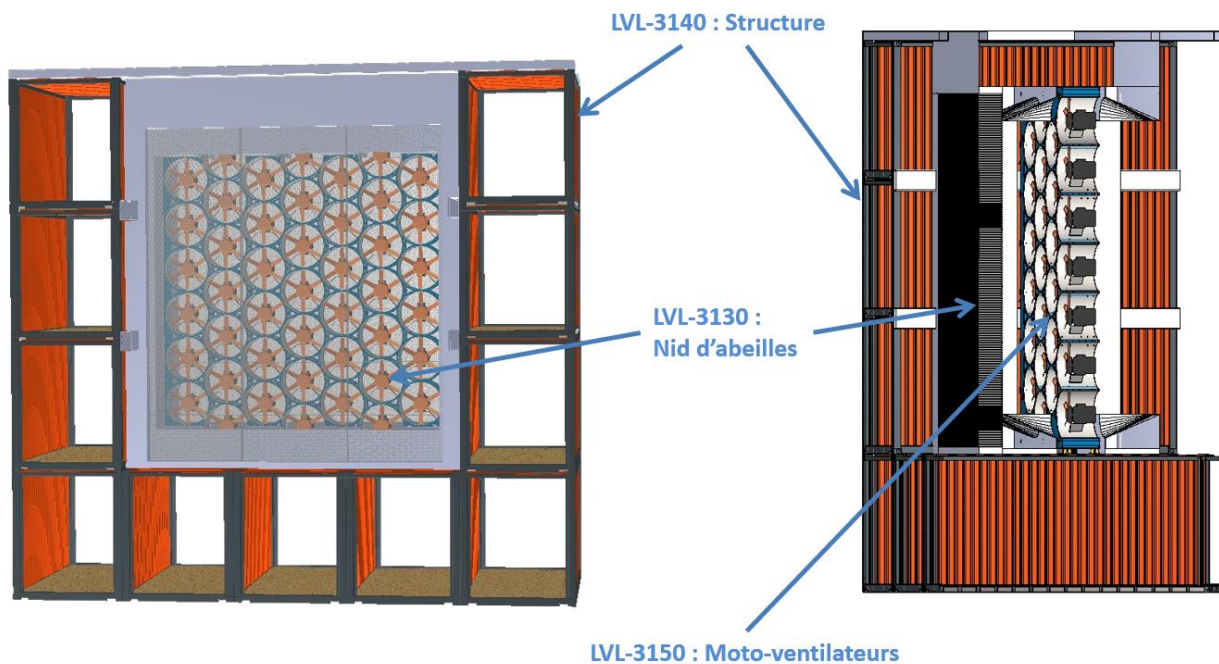


Figure 8 : Une illustration du concept « mur de vents »

Ici, on retrouve l'encombrement général du concept envisagé hors carénages :

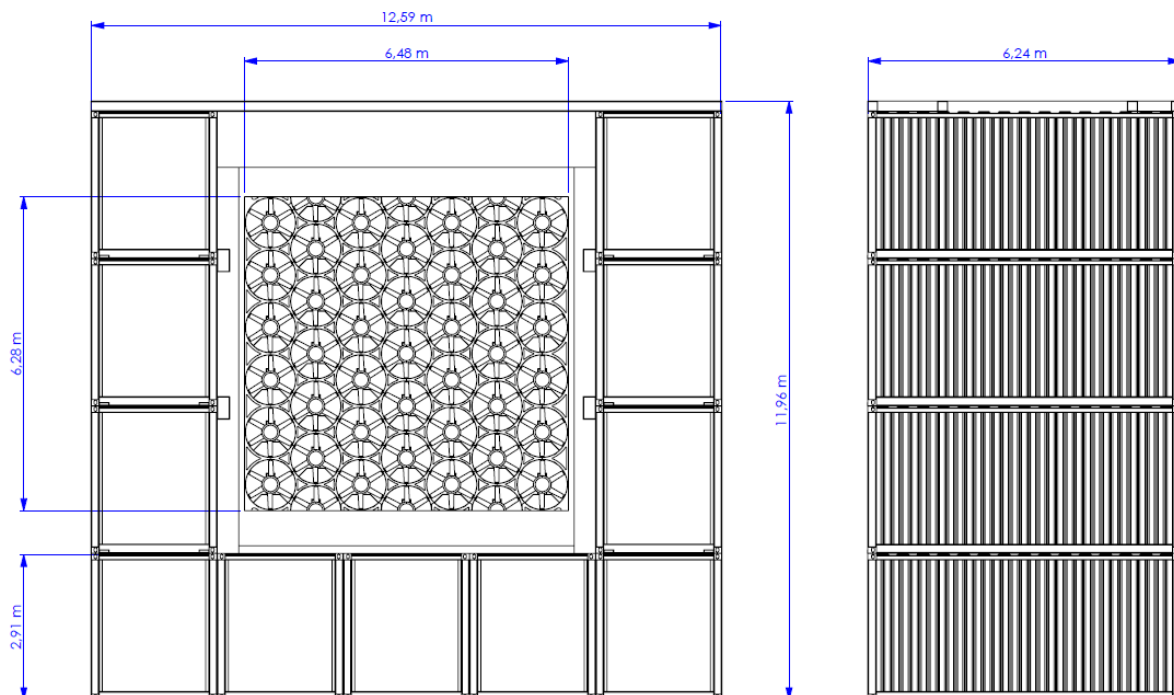


Figure 9 : Encombrements du concept « mur de vents »

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

---

Dans les points suivants, nous allons décrire les différents sous-ensembles tels qu'ils ont été imaginés.

**9.2 ANNEXE 2 : CONCEPT D'ACTUATEUR - LVL-3150 MOT**

Pour pouvoir déplacer l'air à une vitesse de 21 m/s de manière homogène dans la zone d'expérimentation, nous avons imaginé utiliser des moto-ventilateurs hélicoïdaux du commerce d'un diamètre de  $\varnothing 1000$  mm répartis sur la surface de soufflage ( $S_0$ ). Ce type de technologie est déjà utilisé dans d'autres souffleries de l'ONERA depuis de nombreuses années. Ce principe de solution est donc validé depuis longtemps. Par ailleurs, le fait d'utiliser des sous-ensembles du commerce est favorable à l'idée de maintenabilité du futur système.

Plusieurs marque-modèles ont été comparés et, à ce jour, le choix n'a pas encore été arrêté sur un modèle précis. En effet, la consommation électrique, la puissance acoustique, la vitesse axiale, le poids et le prix sont autant de facteurs à comparer.

Toutefois, une dimension intérieure de tube de  $\varnothing 1000$  mm semble être en concordance avec le projet. En effet, nous nous sommes d'abord basé sur cette dimension par similitude avec la soufflerie L2 présente à l'ONERA-Lille au sein de l'unité ELV. Celle-ci est capable de tenir les 20 m/s sous certaines conditions. Nous avons estimé, à force de recherches dans les documentations constructeurs à notre disposition, que ce diamètre offrait le meilleur compromis entre dimensions, vitesses, consommations électriques et niveau de bruit.

Pour pouvoir estimer les encombrements et les possibilités offertes en terme de structure porteuse (LVL-3140 STR), nous avons repris les dimensions d'un des modèles les plus courant du marché. Toujours par comparaison entre les différentes documentations constructeurs à notre disposition, nous avons pu constater que les dimensions des interfaces étaient sensiblement les mêmes d'un modèle à l'autre et d'une marque à l'autre.



*Figure 10 : Ventilateur axial du commerce*

Nous nous sommes aussi basé sur ce modèle pour étudier la possibilité de casser le rotatif, ou swirl, inhérent aux moto-ventilateurs hélicoïdaux (LVL-3130 NDA).

La documentation du moto-ventilateur en question annonce une vitesse axiale moyenne de 24,9 m/s pour un débit de 72000 m<sup>3</sup>/h ce qui semble aussi être favorable à notre objectif de 21 m/s dans la zone d'expérimentation.

Afin de maximiser la possibilité d'atteindre les 21 m/s, nous avons aussi travaillé sur la façon de répartir les moto-ventilateurs sur la surface de soufflage. En effet, nous avons pu constater que la répartition des moto-ventilateurs

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

en soufflerie était en général en damier. La photographie suivante montre en arrière-plan ce type d'implantation dans la soufflerie L2 d'ELV.

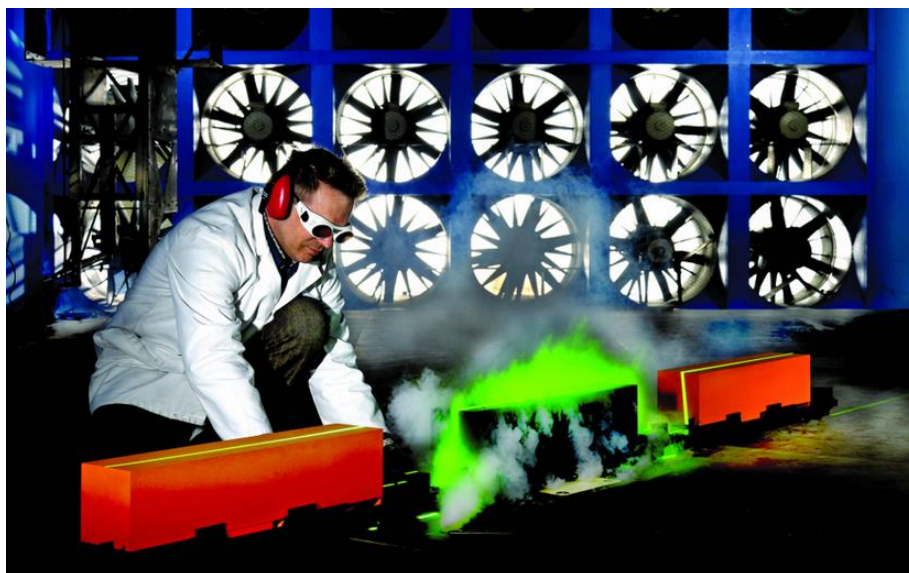


Figure 11 : Soufflerie L2 ELV

Même s'il y a un intérêt certain à ce type de répartition, avec l'objectif d'atteindre une vitesse élevée, nous avons imaginé augmenter le nombre de ventilateurs sur la surface pour augmenter le rapport débit/surface et, dès lors, augmenter la vitesse totale. Aussi, à cette fin, nous nous sommes arrêtés sur une répartition en quinconce. C'est logiquement, la seule distribution possible sur la surface qui permettrait de maximiser le nombre de ventilateurs. La figure suivante présente ce type de répartition :

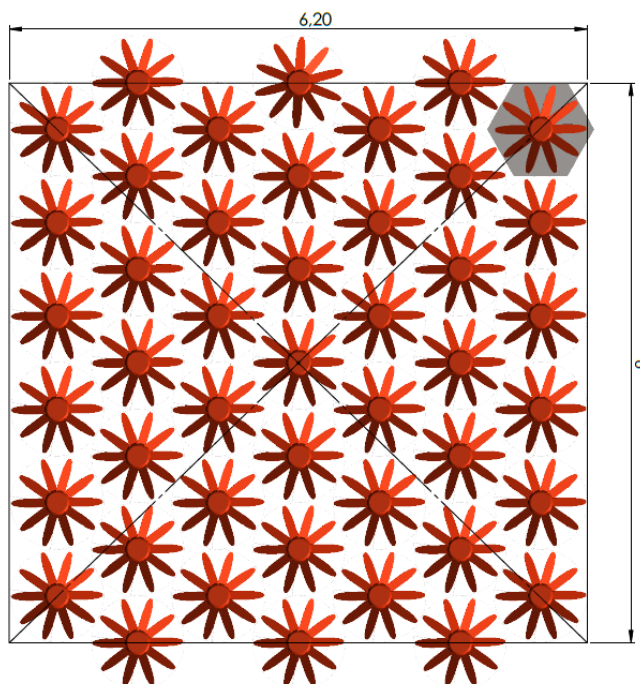


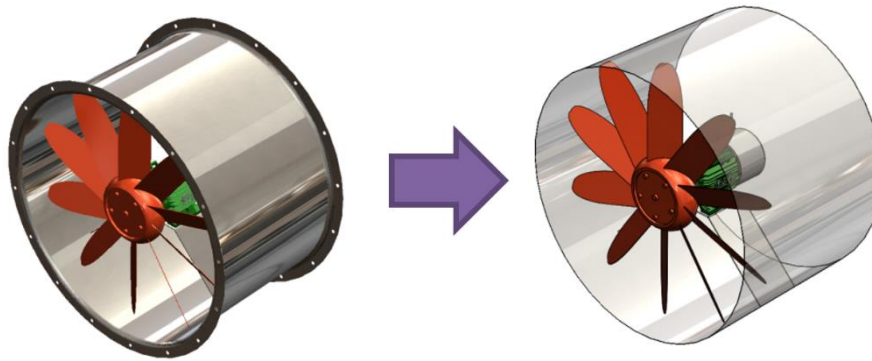
Figure 12 : Disposition des ventilateurs

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

Le concept tel qu'envisagé portera ainsi 45 moto-ventilateurs de 1 mètre de diamètre au lieu de 36 ventilateurs si une répartition en damier avait été retenue. Par ailleurs, nous avons estimé que le passage d'une répartition en damier à une répartition en quinconce offrait un gain de vitesse non-négligeable. Avec le modèle retenu, on passe ainsi d'une vitesse moyenne sur la surface  $S_0$  de 18,5 m/s à 23 m/s environ hors pertes de charges.

**9.3 ANNEXE 3 : CONCEPT DE STRUCTURE - LVL-3140 STR**

D'un point de vue structurel, le fait d'avoir choisi une répartition en quinconce offre aussi l'avantage de minimiser la quantité de matière nécessaire à la tenue des tubes qui portent les moto-ventilateurs. En effet, il est alors possible de les monter en les faisant directement reposer les uns sur les autres. Afin de faciliter ce type de montage et favoriser l'implantation des moto-ventilateurs tel qu'exposé dans le point *LVL-3150 MOT – Moto-ventilateurs*, nous avons demandé à plusieurs constructeurs de ventilateurs hélicoïdaux s'il leur était possible de nous produire des ensembles spécifiques ne comportant pas de cols rabattus tel que le montre l'illustration qui suit, leur réponse a été positive.

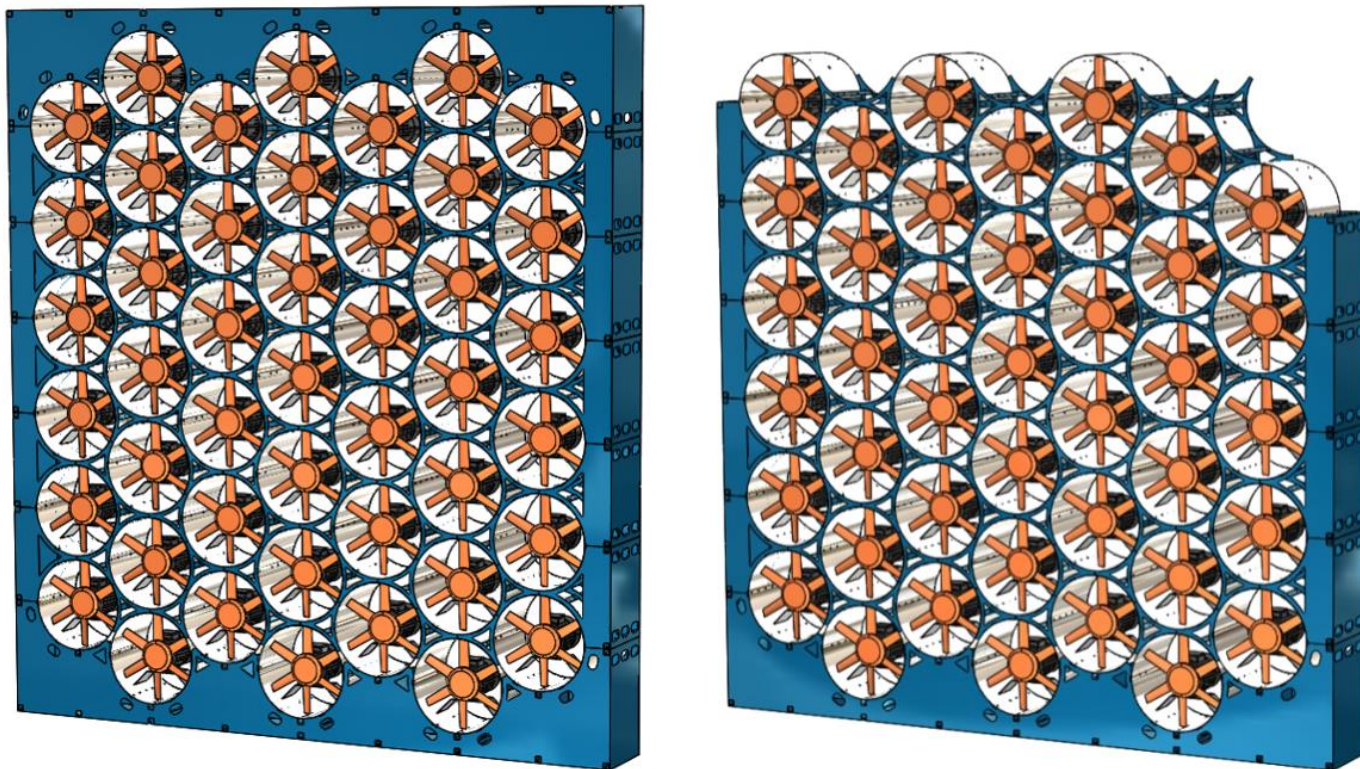


*Figure 13 : Modification du tube de support*

Ce retour nous a permis de considérer un montage autoportant avec un renforcement par un ouvrage chaudronné comportant le maximum de pièces découpées au laser. Plusieurs techniques ont été envisagées et le coût dérisoire de la fabrication de pièces en découpe laser a retenu notre attention. Malgré son coût faible, cette technique se prête bien au niveau de qualité attendu pour ce système. Par ailleurs, ce type de conception permet de faciliter l'assemblage final en procédant par élévation de chaque rang.

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

L'illustration suivante présente la partie de la structure reprenant l'ensemble des ventilateurs hélicoïdaux :



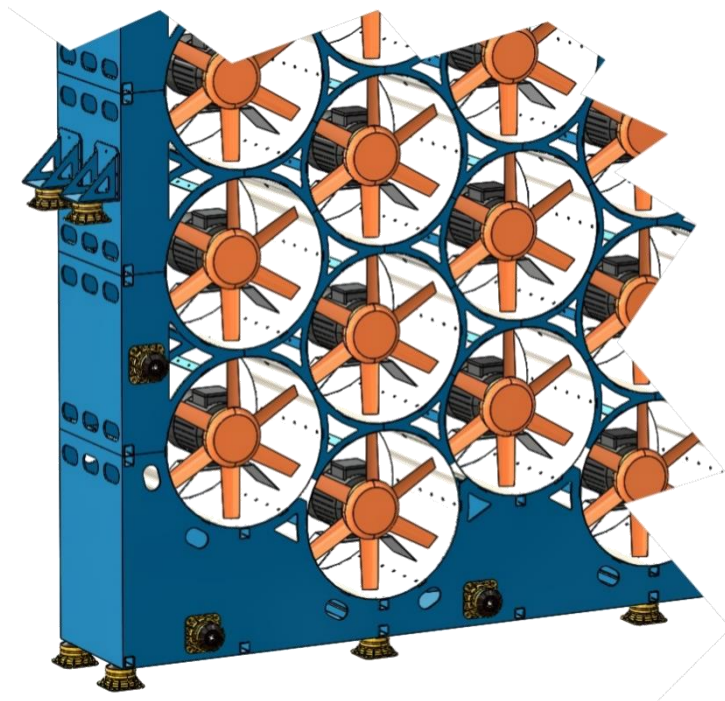
*Figure 14 : Partie structure actuateurs*

Pour supporter cet ensemble de ventilateurs, une structure porteuse a été imaginée. Toujours avec un souci de simplicité et de maîtrise des coûts, ce concept se repose sur l'assemblage de conteneurs maritimes. En effet, il s'agit d'éléments facilement trouvables et assemblables. Ceux-ci permettent une reprise de charge élevée (acier S355jowp) et sont déjà traités pour résister à la corrosion. S'ils sont présentés portes retirées et dans le sens de l'écoulement, ils permettent de guider ce dernier. Enfin, la surface de contact au sol élevée que représente un conteneur permet de répartir au mieux le poids du système sur la dalle. Sur l'illustration Figure 8 : Une illustration du concept « mur de vents », on peut voir les conteneurs maritimes qui composent la structure.

La structure étant une coque, il faut éviter les phénomènes vibratoires, les compenser ou les éliminer. Pour ainsi faire, la partie de la structure dévolue au support des moteurs est découplée à l'aide de Paulstras de type suspension métallique v318-d. Par ailleurs, les évidements sont comblés par une mousse de type époxydique à faible densité et faible pression d'expansion. En complément, les tubes recevant les moteurs pourront être perforés à l'endroit du passage des hélices afin de diminuer les bruits générés par les bouts de pales.

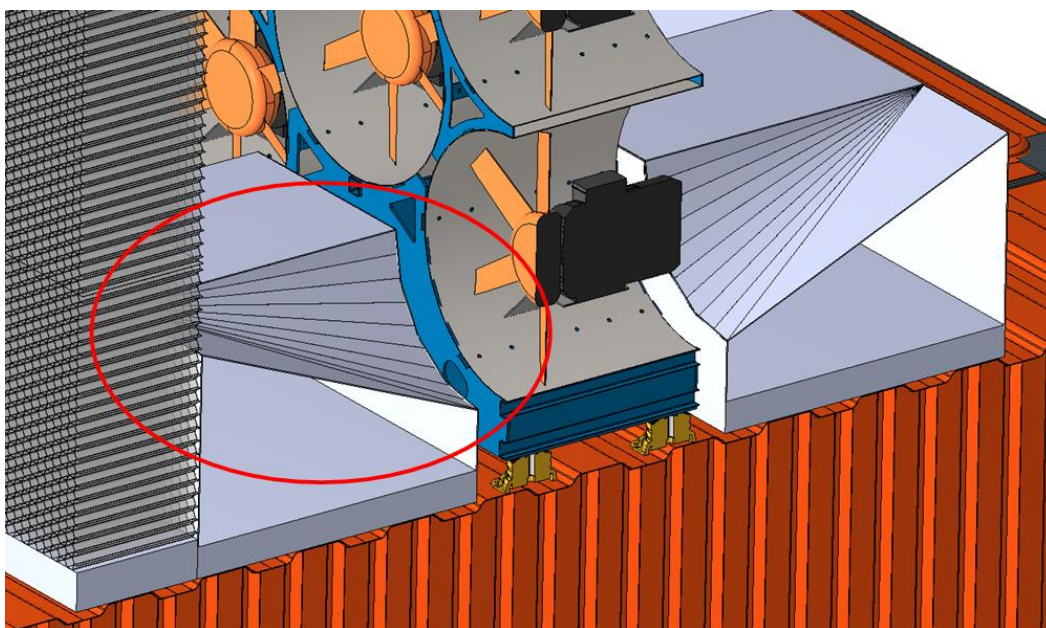
**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI**

L'illustration suivante montre une possibilité de montage de ce découplage :

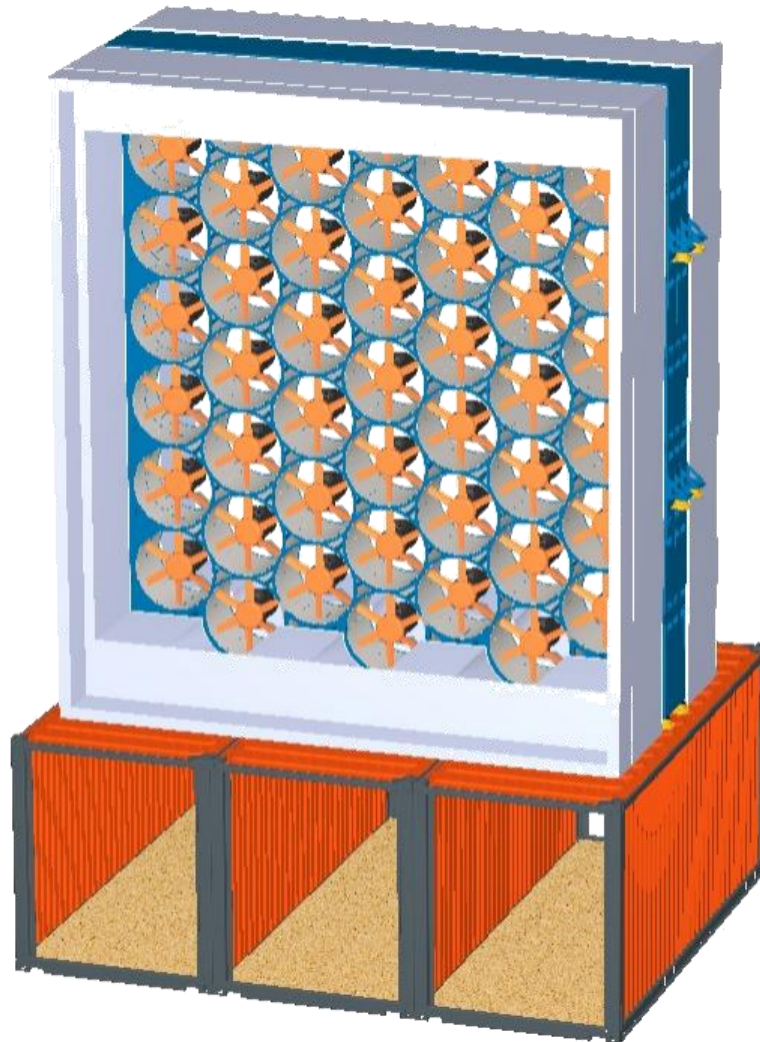


*Figure 15 : Disposition des Paulstras*

Un dernier élément de la structure permet de venir accueillir les nids d'abeilles (LVL-3130 NDA) et de guider l'air provenant des ventilateurs à la périphérie de la surface de soufflage.



*Figure 16 : Écobe chaudronnée*

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

*Figure 17 : Partie actuateurs montée sur la structure porteuse*

#### **9.4 ANNEXE 4 : CONCEPT DE NIDS D'ABEILLES - LVL-3130 NDA**

Afin de réduire la puissance du courant rotationnel induit par les pales des ventilateurs hélicoïdaux, il est possible de faire appel à plusieurs techniques. L'une de ces techniques est la mise en place d'une grille plus ou moins épaisse permettant de guider l'air et de redresser ainsi les lignes de courant.

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

L'image suivante illustre ce phénomène :

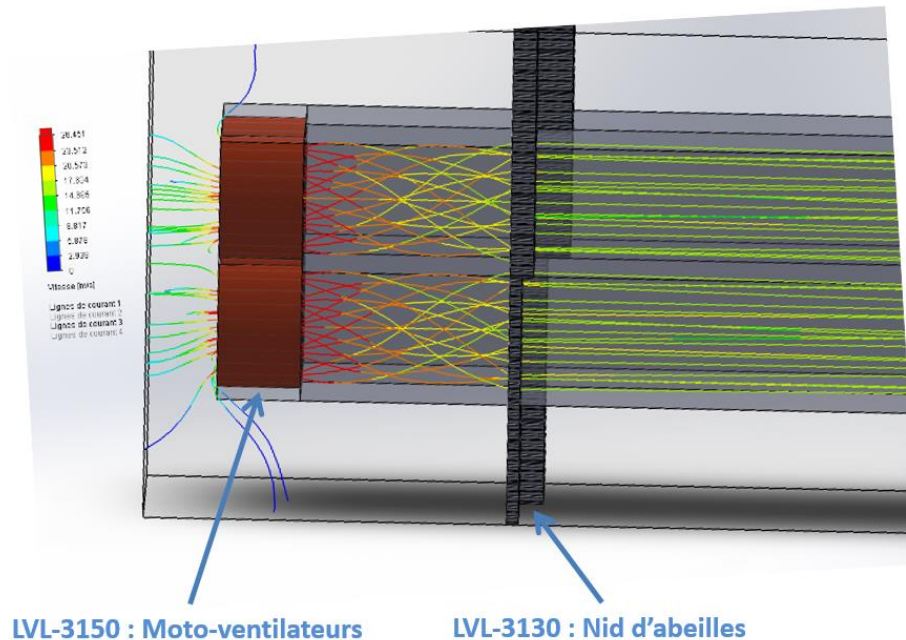


Figure 18 : Simulation Solidworks nid d'abeilles

La mise en place d'un nid d'abeille permet aussi d'homogénéiser les vitesses. La littérature, notamment Barlow et Pope dans "Low speed wind tunnel testing", indiquent qu'il doit y avoir un rapport épaisseur/diamètre de maille de 6 à 8 pour que le nid d'abeille soit efficace et que la forme de grille en mailles hexagonales est la plus efficace car elle permet d'avoir la perte de charge la plus faible.

Il n'est pas évident de faire fabriquer une grille spécifique pour réaliser un nid d'abeilles à mailles hexagonales. Aussi, nous avons cherché des produits du commerce dont nous pourrions détourner l'usage afin de pouvoir assurer cette fonction.

Un produit du commerce utilisé pour créer des réserves d'eau a retenu notre attention. Il s'agit de plaques extrudées en polypropylène d'une longueur de 2,4 mètres, d'une largeur de 1,2 mètre et d'une profondeur de 120 à 520 mm. Ces plaques sont des grilles de mailles hexagonales avec un diamètre de maille de 50 mm.

## LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI



Figure 19 : Plaques Polypropylènes réserve d'eau

A priori, il semble que ce produit réponde bien à notre besoin. A ce jour, nous n'avons pas trouvé de produit équivalent. En effet, au-delà du coût d'achat et du service rendu une fois sa mise en place, il s'avère que cette grille soit suffisamment résistante pour ne pas nécessiter d'être contrainte par des éléments de structure qui alourdiraient le système et nécessiteraient davantage de main d'œuvre au montage. Par ailleurs, vu le procédé de fabrication, il est certainement possible de demander au fabricant une profondeur d'extrusion adaptée à notre besoin.

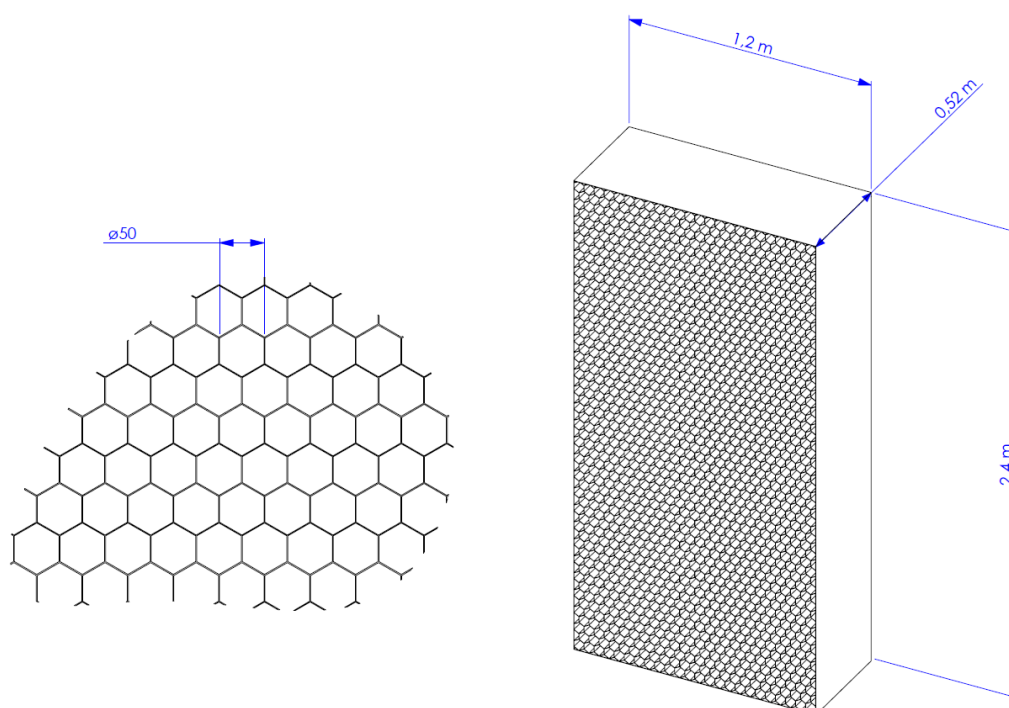
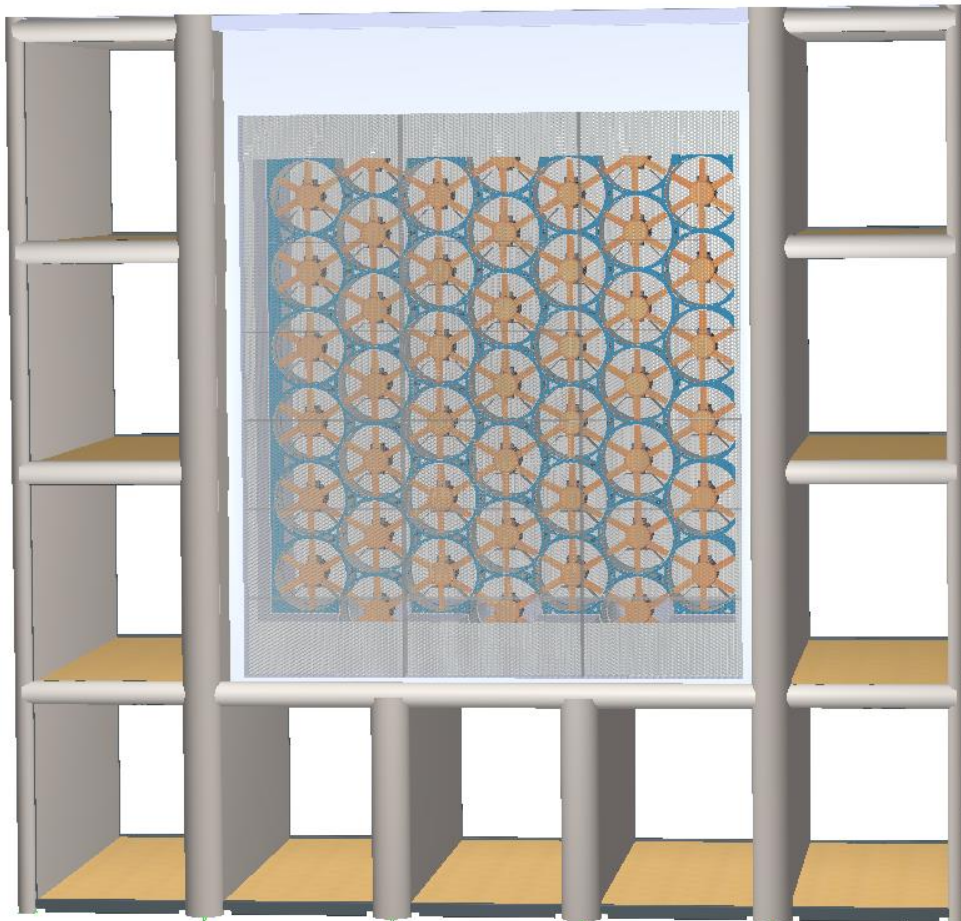


Figure 20 : Plaques PP en nid d'abeilles

**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI****9.5 ANNEXE 5 : CONCEPT DE CARENAGE - LVL-3130 NDA**

Le système doit être caréné afin de guider au mieux le flux d'air et d'éviter des phénomènes aérodynamiques non-désirés comme des tourbillons. Afin de s'en prémunir, nous avons réfléchi à un habillage en composite qui viendrait masquer les éléments de structure pour arrondir les arêtes vives et masquer les angles saillants.

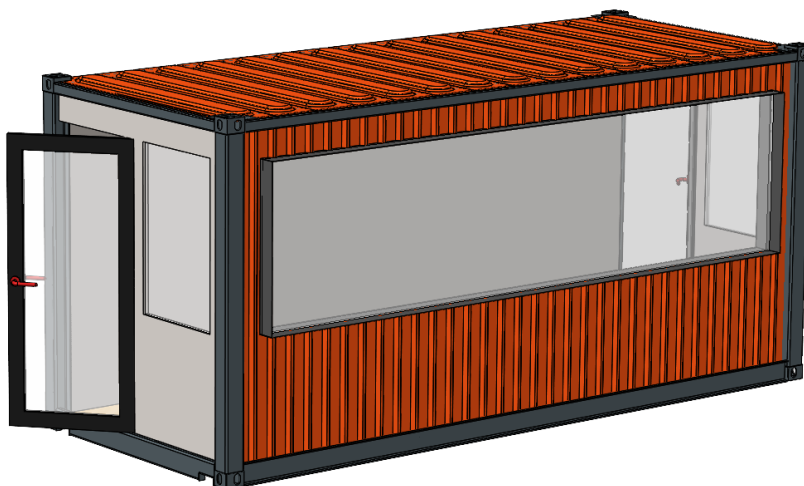
Nous nous sommes intéressés aux composites utilisés dans le domaine aéronautique et nautique mais il semble que cette solution soit difficile à mettre en œuvre. Une solution plus simple serait l'utilisation de plaques faites d'un matériau plastique ou de bois et l'utilisation de demi-tubes ouverts dans leur longueur avec un diamètre idéalement choisi pour habiller la structure. On peut facilement partir de tubes plastiques PVC de dimensions standards et les faire usiner par un atelier de façonnage pour réaliser l'habillage des montants par exemple. L'illustration suivante présente un exemple de carénage possible sur cette base.



*Figure 21 : Carénage*

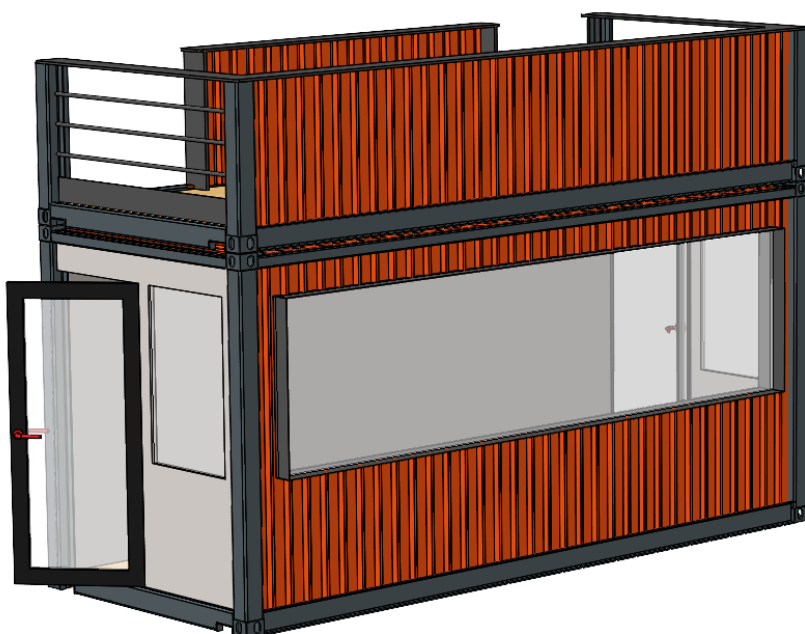
**LVL-2400-GD-01 STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI****9.6 ANNEXE 6 : CONCEPT DE SALLE DE CONTRÔLE - LVL-3191 SDC**

Pour ce qui est de la salle de contrôle, afin de réaliser des économies d'échelle, nous avons pensé aménager un conteneur maritime en y découpant une grande surface vitrée de 5,5 mètres par 1,4 mètre pour avoir une vue dégagée sur la zone d'essai.



*Figure 22 : Salle de contrôle (1)*

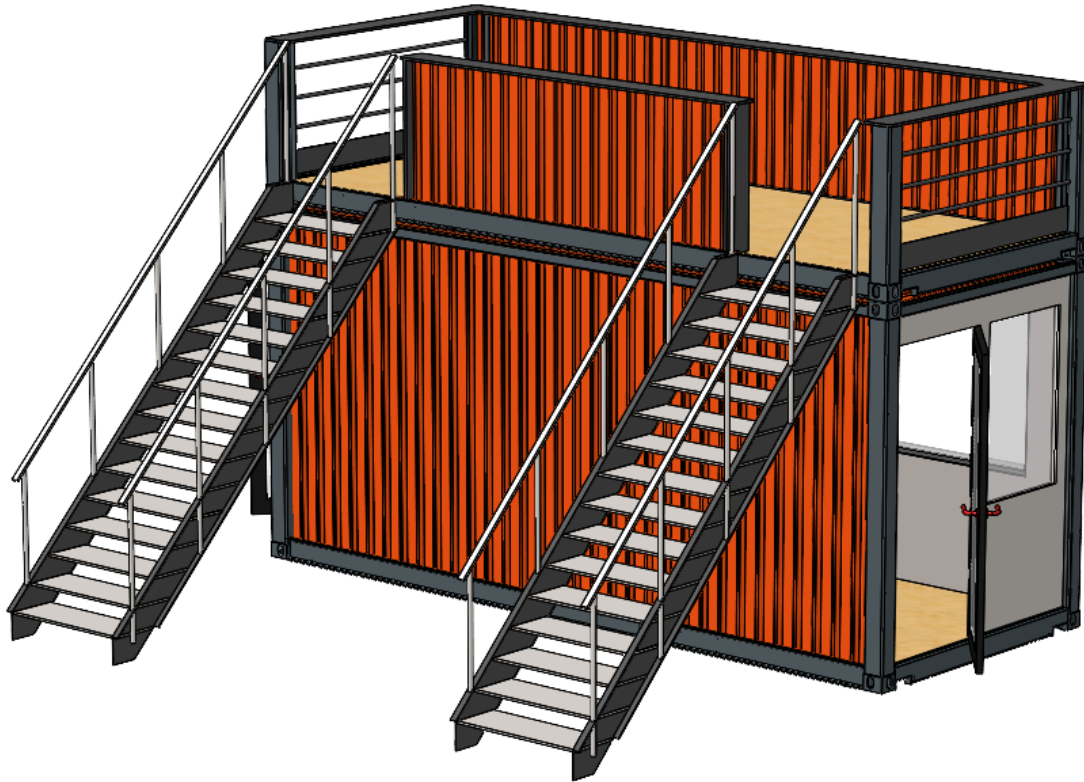
Toujours sur cette même base, nous avons pensé à ajouter par le dessus une plateforme accessible par un ou des escaliers. Celle-ci est fabriquée sur la base d'un conteneur coupé dans sa hauteur à 1100 mm pour respecter les normes concernant la hauteur des garde-corps. Sur les côtés est ajouté des profilés pour finir de ceinturer la plateforme. Cette configuration pourra être utile aux télépilotes par exemple.



*Figure 23 : Salle de contrôle (2)*

**LVL-2400-GD-01** STB GENERATEUR DE VENT – PROJET LAVOLI

Bien entendu, pour pouvoir accéder à cette plateforme, un ou des escaliers mécano-soudés sont ajoutés à l'ensemble.



*Figure 24 : Salle de contrôle (3)*

Dans tous les cas, cette salle de contrôle doit être équipée de prises réseaux RJ45, reliée au réseau téléphonique et disposer de prises électrique 220 V. La salle recueillera l'ensemble des équipements permettant de piloter l'installation et les équipements de motion capture permettant de suivre la trajectoire du drone : Serveurs, PC, écrans de contrôle ...