EN-CAPE 14.234 C – V0

Etude du comportement au vent fort d'une pergola BRUSTOR

Bruno GAUDUCHEAU

Direction Climatologie – Aérodynamique – Pollution – Epuration

EN-CAPE 14.234 C – V0

Etude du comportement au vent fort d'une pergola BRUSTOR

Bruno GAUDUCHEAU

Direction Climatologie – Aérodynamique
Pollution – Epuration

Cette étude a été réalisée
à la demande de la Société BRUSTOR
suivant bon pour accord signé
en date du 06/11/2014

Offre n° 6822- 26054106

Nantes, 22 décembre 2014

Bruno GAUDUCHEAU
Technicien
Climatologie-Aérodynamique-Pollution-Epuration

Christian BARRE
Pilote de Département
Climatologie-Aérodynamique-Pollution-Epuration
Responsable domaine thématique Vent/Ouvrages

Mots clés : Pergola, tenue au vent, vibrations

Nbre de pages : 10
Version n° : 0

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
11 RUE HENRI PICHERIT, BP 82341, 44323 NANTES CEDEX 3
Tél : 02.40.37.20.00 Fax : 02.40.37.20.60
Site Web : http://www.cstb.fr/nantes/

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION 1

2. CONDITIONS EXPERIMENTALES 2

3. TENUE AU VENT DES LAMES DE LA PERGOLA EN CONFIGURATIONS ISOLEE ET ADOSSEE 4

3.1 RESULTATS 4

3.1.1 Essais lames fermées, configuration adossée à un mur 4

3.1.2 Essais lames ouvertes, configuration adossée à un mur 5

3.1.3 Essais lames fermées, configuration isolée 5

3.1.4 Essais lames ouvertes, configuration isolée 6

3.1.5 Synthèse 6

4. VITESSES SUR DIFFERENTS SITES SELON L'EUROCODE 7

5. CONCLUSION 9

6. ANNEXES 10

ANNEXE 1 - LA SOUFFLERIE CLIMATIQUE JULES VERNE 10

1. INTRODUCTION

A la demande de la société BRUSTOR, le CSTB a réalisé le 17 décembre 2014, dans la soufflerie climatique Jules Verne, une série de tests afin d'analyser le comportement aérodynamique et de valider la tenue au vent de la pergola en configurations adossée et isolée.

L'objectif de cette étude en soufflerie est de vérifier le comportement de la pergola, en configuration adossée, sous la charge du vent aux vitesses d'épreuve ELS (129km/h) et ELU (158km/h).

Les points suivants ont été abordés :

- Tenue au vent de la pergola, configuration adossée, pour des vitesses de 129 km/h et 158 km/h pour 2 incidences de vent 0° et 90°, avec 2 ouvertures de lames différentes (ouvertes et fermées).
- Tenue au vent de la pergola, configuration isolée, pour des vitesses de 129 km/h et 158 km/h pour 2 incidences de vent 0° et 90°, avec 2 ouvertures de lames différentes (ouvertes et fermées).
- Tenue au vent de la pergola, configuration isolée, pour la vitesse de 200 km/h pour 1 incidence de vent 90°, avec 2 ouvertures de lames différentes (ouvertes et fermées).

2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les essais ont été conduits comme suit :

- Pergola positionnée en configuration adossée à un bâtiment, sur le plateau tournant de la veine Haute Vitesse de la soufflerie. La présence du bâtiment est simulée par un écran.
- Pergola positionnée en configuration isolée (non adossée à un bâtiment) sur le plateau tournant de la veine Haute Vitesse de la soufflerie.
- Maintien de la pergola par des brides qui assurent la fixation mécanique du châssis simulant le sol de la pergola au plateau.
- Contrôle de la vitesse du vent, par mesure de la pression dynamique de référence au niveau du Pitot placé au-dessus du centre de la pergola à 70 cm du plafond.

Figure 1 : Pergola dans la section haute vitesse de la soufflerie climatique pour la direction du vent de 0°, lames ouvertes et lames fermées en configuration adossée

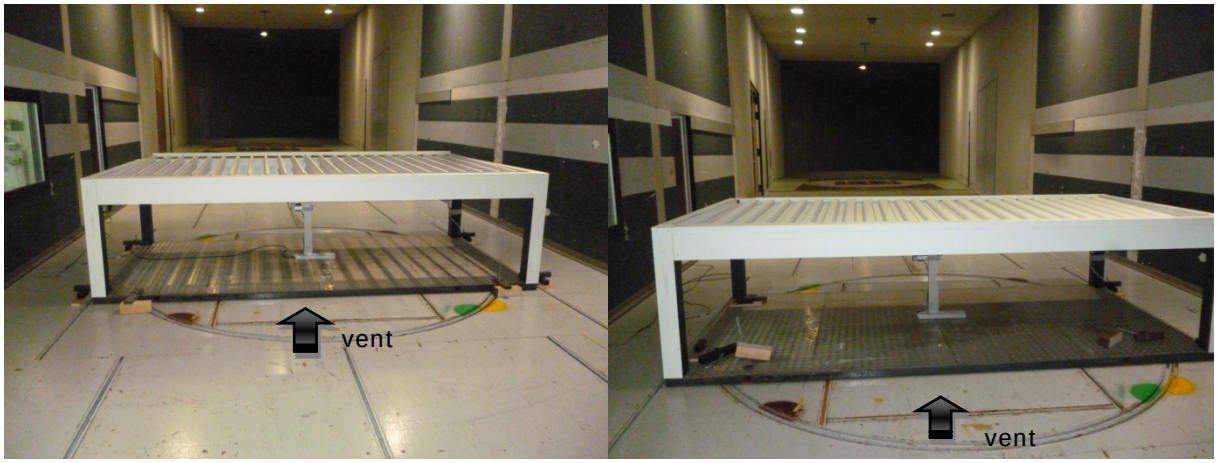


Figure 2 : Pergola dans la section haute vitesse de la soufflerie climatique pour des directions de vent 0°, lames ouvertes et lames fermées en configuration isolée

Figure 3 : Fixation de la pergola sur le socle fourni par Brustor

La pergola est équipée de lames inclinables. Les lames sont susceptibles de se comporter différemment sous vent fort en fonction de leur inclinaison. Les différentes inclinaisons testées sont 0° (totalement fermées) et 90° (ouverture maximale), cf figure 4.

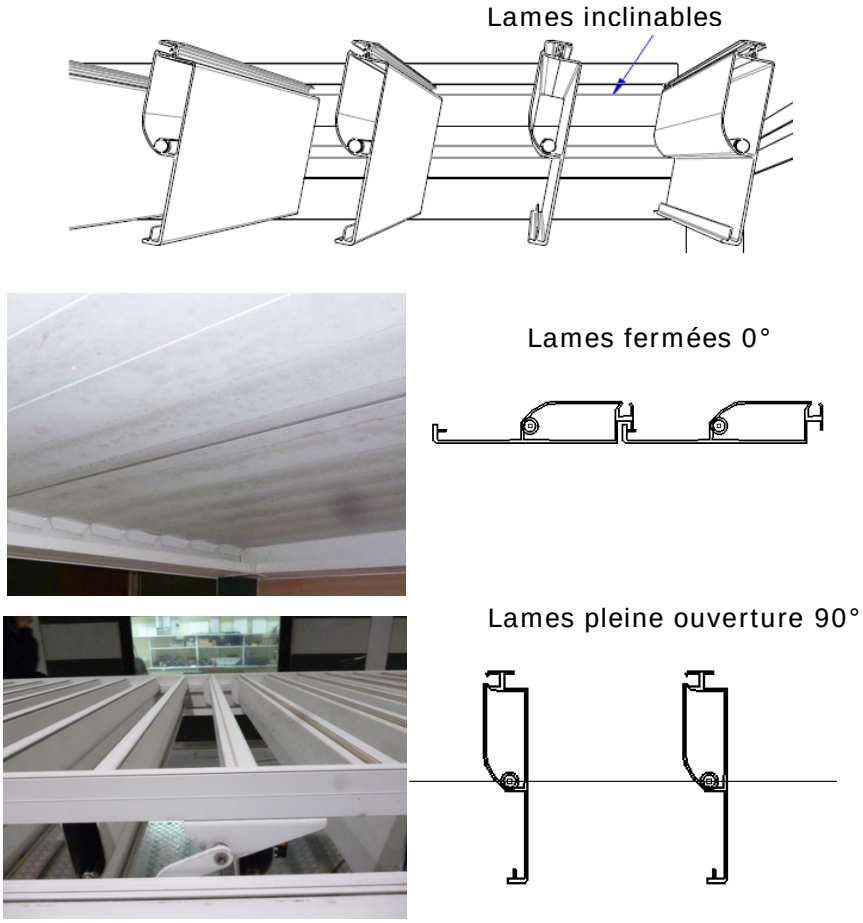


Figure 4 : Inclinaisons des lames testées

3. TENUE AU VENT DES LAMES DE LA PERGOLA EN CONFIGURATIONS ISOLEE ET ADOSSEE

Les lames sont testées en position "fermée" (sollicitation importante en portance), et « ouverte » complètement pour les solliciter en traînée.

Les lames sont testées selon les orientations 0° et 90°. Dans le cas de la pergola en configuration adossée, l'écran est placé successivement sur le côté de 4 mètres (orientation lames 0°) puis sur le côté de 2 mètres (orientation lames 90°).

Les tableaux ci-après donnent les résultats d'essai et les observations faites.

La mention « **VALIDE »** signifie que la pergola a subi correctement l'épreuve, éventuellement avec un dommage mineur. La mention « **NON VALIDE »** signifie que l'intégrité de la pergola n'est plus assurée.

3.1 Résultats

3.1.1 Essais lames fermées, configuration adossée

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
0°	fermées 0°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. (un joint de lame sort partiellement de son logement (fig6)) Les lames restent en position fermée
> lames fermées + direction de vent 0° + mur : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
90°	fermées 0°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
> lames fermées + direction de vent 90° + mur : **VALID**E jusqu'à 158 km/h					

Tableau 1 : Synthèse des essais lames fermées, configuration adossée

3.1.2 Essais lames ouvertes, configuration adossée

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
0°	ouvertes 90°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
> lames ouvertes + direction de vent 0° + mur : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	Observations
90°	ouvertes 90°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
> lames ouvertes + direction de vent 90° + mur : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

Tableau 2 : Synthèse des essais lames ouvertes, configuration adossée

3.1.3 Essais lames fermées, configuration isolée

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
0°	fermées 0°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. (un joint de lame sort partiellement de son logement (fig5)) Les lames restent en position fermée
> lames fermées + direction de vent 0° : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
90°	fermées 0°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée. Les lames restent en position fermée
		56	200	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
> lames fermées + direction de vent 90° : **VALID**E jusqu'à 200 km/h					

Tableau 3 : Synthèse des essais lames fermées, configuration isolée

3.1.4 Essais lames ouvertes, configuration isolée

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	observations
0°	ouvertes 90°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
> lames ouvertes + direction de vent 0° : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

orientation lames	inclinaison lames	vitesse (m/s)	vitesse (km/h)	durée essai (min)	Observations
90°	ouvertes 90°	36	130	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
		44	158	1	vibration de l'ensemble de la pergola et des lames; mais l'intégrité de la pergola est assurée.
> lames ouvertes + direction de vent 90° : **VALIDE** jusqu'à 158 km/h					

Tableau 4 : Synthèse des essais lames ouvertes, configuration isolée

3.1.5 Synthèse

L'ensemble des tests est VALIDE pour des vitesses de vent atteignant 158km/h (200km/h dans un cas), quelle que soit la direction du vent. L'intégrité de l'ensemble de la pergola est assurée.

Figure 5 : Vue du joint sortant partiellement de son logement

4. VITESSES SUR DIFFERENTS SITES SELON L'EUROCODE

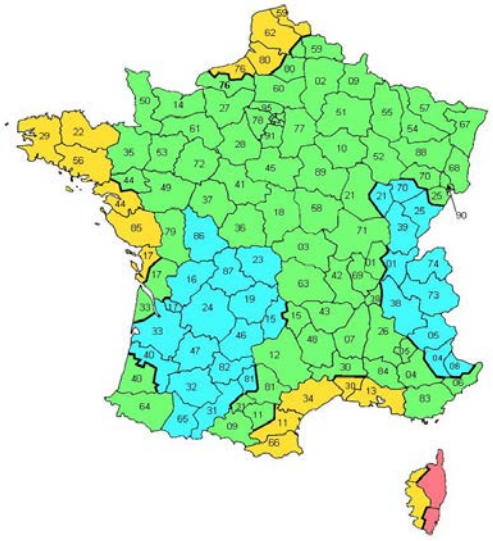
L'écoulement du vent est un phénomène fluctuant, la vitesse du vent varie en module et en direction au cours du temps. La vitesse et l'intensité turbulente varient avec la hauteur en fonction des caractéristiques du site (localisation et rugosité). La norme en vigueur pour définir les vitesses de vent de référence et les taux de turbulence associés à un site donné est l'Annexe Nationale de l'Eurocode vent NF EN 1991-1-4/NA: mars2008.

A titre d'information, les vitesses moyennes (sur 10 minutes) et de pointe (sur trois secondes) associées à des périodes de retour de 10 ans, en fonction de la région et de la rugosité du site, ont été calculées à hauteur de la pergola (soit environ 2,5 m au-dessus du sol), conformément à l'Annexe Nationale de l'Eurocode vent.

Les rugosités des différents sites sont définies dans le tableau suivant :

Catégorie de terrain	z_0 [m]	Z_{min} [m]
0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km	0,005	1
II Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2
IIIa Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé	0,20	5
IIIb Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers	0,5	9
IV Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts	1,0	15

Les régions 1 à 4, (France métropolitaine et DOM), sont définies figure 9.



Régions :	**1**	**2**	**3**	**4**
Valeur de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ [m/s]	**22**	**24**	**26**	**28**

Départements d'Outre-Mer			
Guadeloupe	Guyane	Martinique	Réunion
36	17	32	34

Figure 3: Carte de vent de l'Annexe Nationale de l'Eurocode Vent

Les valeurs de vitesse moyennes (Vmoy) et de pointe (Vmax), exprimées en km/h, pour un vent de période de retour 10 ans sont données dans le tableau ci-dessous :

		0	***II***	***IIIa***	***IIIb***	***IV***
Région 1	**Vmoy**	**73**	**54**	**49**	**47**	**46**
	Vmax	**107**	**90**	**87**	**85**	**83**
Région 2	**Vmoy**	**80**	**59**	**54**	**51**	**50**
	Vmax	**117**	**99**	**95**	**92**	**90**
Région 3	**Vmoy**	**87**	**64**	**58**	**56**	**55**
	Vmax	**126**	**107**	**102**	**100**	**98**
Région 4	**Vmoy**	**93**	**69**	**62**	**60**	**59**
	Vmax	**136**	**115**	**110**	**107**	**105**

On constate que les vitesses d'exposition des pergolas restent inférieures à 140 km/h quelques soient les régions et les rugosités pour une tempête de période de retour de 10 ans. Pour se placer dans le cas d'une tempête de période de retour 50 ans (critère Eurocode) il faut multiplier ces vitesses par 1.09 ce qui nous mène à environ 150 km/h dans la configuration la plus sévère (Région 4 en bord de mer).

Ainsi, les valeurs de vitesse de pointe des différentes régions en France métropolitaine restent inférieures aux vitesses d'exposition maximum auxquelles a été soumise la pergola testée en soufflerie. Il conviendra cependant d'être vigilant aux spécifications vent pour les DOM (par exemple, en Guadeloupe en bord de mer des vents peuvent atteindre 203 et 221 km/h en pointe pour des périodes de retour de 10 et 50 ans) et à l'international.

5. CONCLUSION

A la demande de la société BRUSTOR, le CSTB a réalisé le 17 décembre 2014 dans la soufflerie climatique Jules Verne une série de tests afin de valider la tenue au vent, aux vitesses d'épreuve ELS (129km/h) et ELU (158km/h) en configurations adossée et isolée.

Dans ce rapport, la méthodologie et la tenue au vent pour différentes configurations et incidences de vent sont présentées.

La tenue au vent de la pergola et notamment de ses lames a été vérifiée jusqu'à 158 km/h sans détérioration. Aucun incident n'est relevé sur la tenue des lames, aucune déformation permanente ni endommagement du système de maintien et d'orientation de ces lames.

Un essai supplémentaire (configuration isolée, lames fermées, direction vent 90°) est réalisé jusqu'à 200km/h : pas de détérioration visuelle.

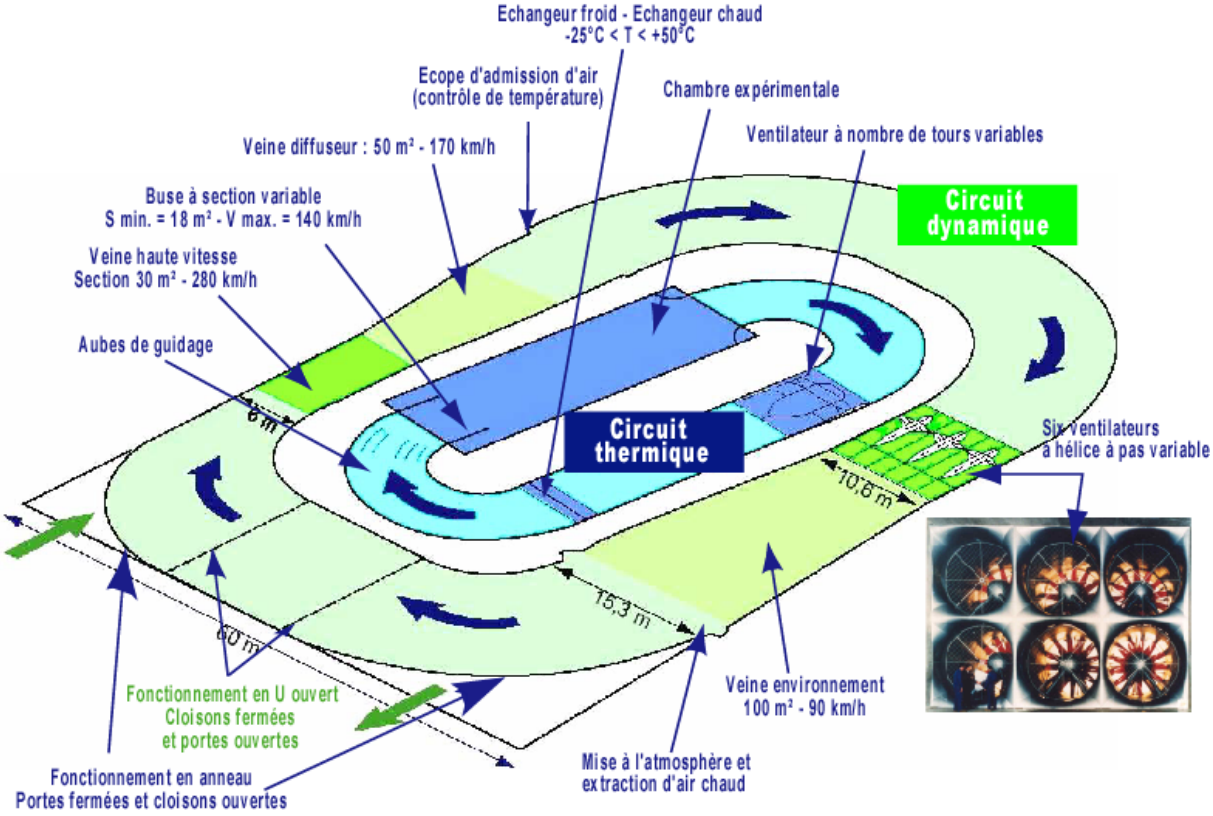
A titre d'information, les vitesses moyennes (sur 10 minutes) et de pointe (sur trois secondes) associées à des périodes de retour de 10 ans, en fonction de la région et de la rugosité du site, ont été calculées à hauteur de pergola (soit environ 2,5 m au-dessus du sol), conformément à l'Annexe Nationale de l'Eurocode vent. Les valeurs de vitesse de pointe des différentes régions en France métropolitaine restent inférieures aux vitesses d'exposition maximum testées en soufflerie. Il conviendra cependant d'être vigilent aux spécifications vent pour les DOM et à l'international, notamment en bord de mer (ou site exposé), où les vitesses de vents peuvent être supérieures à celles testées.

6. ANNEXES

Annexe 1 - La soufflerie climatique Jules Verne

La soufflerie climatique Jules Verne a été conçue pour étudier à l'échelle de la vraie grandeur, les effets combinés du vent et des autres paramètres climatiques (pluie, sable, soleil, température, neige, ...) sur des éléments de construction, des véhicules ou du matériel de transport, ou sur tout système soumis à des conditions climatiques de type extrême.

La figure 1.1 présente les principales caractéristiques de la soufflerie. Deux anneaux indépendants ont été réalisés :

Le circuit dynamique comporte trois veines d'essais. L'équipement de ce circuit permet de reproduire la structure spatio-temporelle du vent, la pluie et les vents de sable jusqu'à 90 km/h en veine environnement. La veine haute vitesse est équipée d'une balance dynamométrique qui autorise la mesure des coefficients aérodynamiques de véhicules automobiles jusqu'à 280 km/h.

Le circuit thermique permet de reproduire un très large éventail de paramètres climatiques combinés à un écoulement d'air pouvant atteindre 140 km/h. La température ambiante et l'hygrométrie y sont contrôlées. Divers types de précipitations sont reproduits : la pluie, le brouillard, la neige. Le système à l'étude peut également être soumis à un flux radiatif intense provenant du simulateur solaire.