

EN CAPE 09-179 C – V0

Etude du confort au vent autour du projet de la Canopée des Halles à Paris

Xavier FAURE et Olivier FLAMAND

Département Climatologie – Aérodynamique – Pollution – Epuration

Etude du confort au vent autour du projet de la Canopée des Halles à Paris

Xavier FAURE et Olivier FLAMAND

Département Climatologie – Aérodynamique

Pollution – Eputation

*Cette étude a été réalisée
à la demande de la Ville de Paris
suivant le devis CSTB en date du 13/02/2009
Marché n°20091020010007 du 27/04/2009
Offre n° 2918*

Nantes, le 12 octobre 2009


Xavier Faure
Ingénieur du Département CAPE
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epuration


Marc Dufresne de Virel
Pilote de Département CAPE
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epuration

Mots clés : confort vent, échelle réduite, soufflerie turbulente

Nbre de pages : 26

Version n° : 0



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

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
2. MODELE DE VENT.....	2
2.1 VENT SUR LE SITE.....	2
2.2 SIMULATION DU VENT EN SOUFFLERIE	3
3. NOTION DE CONFORT DANS LES ESPACES EXTERIEURS.....	6
3.1 DEFINITION DU CONFORT – EFFETS DU VENT.....	6
3.2 DESCRIPTION DE LA GENE – SEUIL DE CONFORT – FREQUENCE DE GENE	7
3.3 MESURE DE VITESSE LOCALE	9
4. CONFIGURATION D'ETUDE	10
5. RESULTATS DES MESURES	12
5.1 CONFIGURATIONS ETE ET HIVER	12
5.2 MESURES COMPLEMENTAIRES SOUS LES VENTELLES	14
6. VISUALISATION PAR INJECTION DE FUMEE	15
7. SYNTHESE	17
8. ANNEXES.....	18

1. INTRODUCTION

Le projet "Canopée" de Patrick Berger et Jacques Anziutti propose pour la rénovation des Halles une vaste couverture fine, élancée et partiellement ouverte aux éléments climatiques qui viendra couvrir le Forum souterrain entre les rue Lescot, Berger et Rambuteau.

Le jardin public revisité par le cabinet Seura/David Mangin associé au paysagiste Philippe Raguin prolongera cette canopée vers l'Ouest.

Le confort des usagers dans ces grands espaces publics ouverts sur l'extérieur dépendra en partie du vent.

Des études ont été engagées en soufflerie pour vérifier d'une part le dimensionnement au vent de la couverture des Halles, d'autre part assurer dans les espaces ouverts des niveaux de confort piétonnier de qualité. Trois études aérodynamiques et deux maquettes ont été nécessaires pour répondre à ces problématiques :

- Une maquette du bâtiment et de son environnement à l'échelle réduite 1/200 a été utilisée pour la mesure des efforts sur la toiture et du confort dans les espaces piétonniers sujet du présent rapport.
- Une maquette à l'échelle du 1/50 a servi à mesurer la stabilité aérodynamique des ventelles.



**Figure 1 : Maquette de la canopée dans son environnement bâti (à gauche)
et détail des façades côté jardin (à droite)**

2. MODELE DE VENT

2.1 Vent sur le site

En raison de la densité et de l'homogénéité des constructions dans le centre de Paris le vent sur le site a été considéré comme correspondant à une classe IV de l'Eurocode, quelle que soit sa direction.

Les paramètres de ce vent, respectant le référentiel choisi par le bureau d'étude INGEROP[1], l'Eurocode 1 – NF EN 1991 – Actions sur les structures – Partie 1-4 – Actions du Vent et Annexe Nationale, sont les suivants :

Vitesse de référence $V_b = 24 \text{ m/s}$ *86,4 Km/h*

Vitesse moyenne à 15 m de hauteur sur le site en l'absence de bâtiment $V_m(15) = 15.3 \text{ m/s}$ *55 Km/h*

Intensité de turbulence sur le site à 15m de hauteur $I(15) = 31\%$

Z_0 1 m

Z_{min} 15 m

La vitesse moyenne du vent augmente avec la hauteur suivant une loi logarithmique :

Vitesse de référence en m/s	
à 15 m (hauteur ref INGEROP)	15.3
à 33 m	19.7
à 50 m	22.0

Cette notion de vitesse de référence est représentative d'une extrapolation des événements exceptionnels, tempête ou orage, donnant lieu à des efforts extrêmes dans les structures. La notion de confort quant à elle met en œuvre une approche sensiblement différente qui utilise la fréquence d'occurrence et la direction des vents communs. La prise en compte de tous les vents observés sur le site ou à proximité est donc indispensable à l'analyse du confort. La Figure 2 présente les directions et intensités de vent privilégiées pour deux sites autour de Paris : Le Bourget et Vélizy. Les deux roses présentées intègrent une correction de rugosité pour être l'image du site des Halles (classe de rugosité IV).

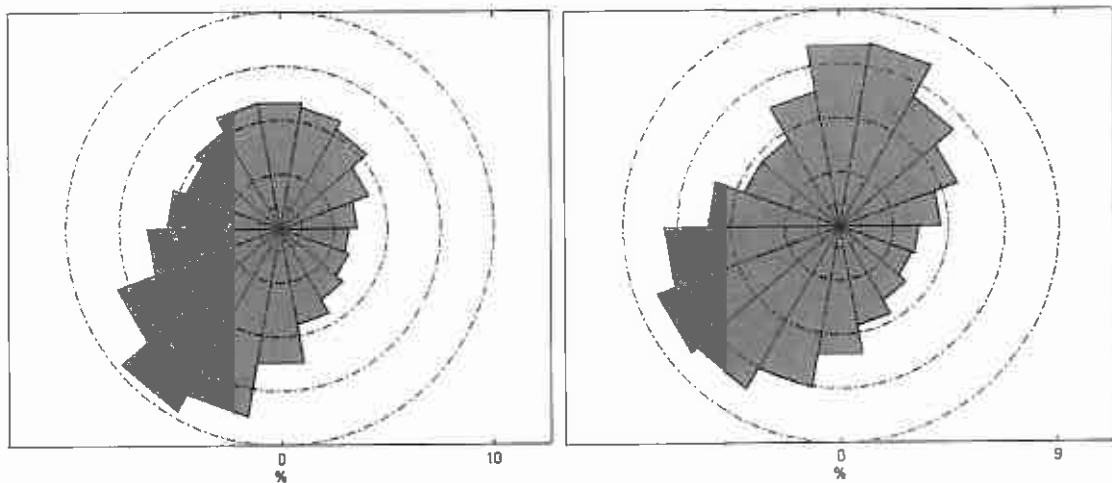


Figure 2 : Rose des vents calculée à partir des données de la station du Vélizy (à gauche) et du Bourget (à droite) pour une rugosité correspondant au site des Halles (classe IV).

Les deux sites présentent des vents dominants dans les directions Sud-Sud-Ouest, 220° pour Vélizy et 220-240° pour le Bourget. Une direction supplémentaire apparaît pour le site du Bourget, à 20°.

Ces deux roses sont utilisées dans la suite pour calculer une fréquence de gêne ou de dépassement d'un seuil préalablement définis. Les méthodologies de calcul sont présentées plus loin dans ce rapport. Le rapport présente les résultats relatifs au site de Vélizy, ceux correspondant au site du Bourget sont présentés en annexe et sont alors comparés à ceux de Vélizy.

2.2 Simulation du vent en soufflerie

Le vent est un phénomène fluctuant. Sa vitesse varie en module et en direction au cours du temps. Elle peut s'écrire à l'instant t :

$$V(t) = \bar{V} + u'(t)$$

où $\bar{V}$ est la valeur moyenne de la vitesse sur la période d'observation T et $u'(t)$ la fluctuation longitudinale de la vitesse autour de la valeur moyenne. Ainsi, la turbulence est caractérisée par l'écart type σ de la fluctuation $u'(t)$ sur la période T :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u'^2(t) dt}$$

L'intensité de turbulence longitudinale est reliée à l'écart type par :

$$I = \frac{\sigma}{\bar{V}}$$

La vitesse moyenne $\bar{V}$ varie avec la hauteur z . La rugosité du sol est caractérisée par le paramètre de rugosité z_0 et la topographie du site, suivant les règles de l'Eurocode 1.

Cette approche est utilisée aussi pour caractériser le vent à la même échelle dimensionnelle que la maquette, le 1/200.

En soufflerie le vent est simulé au moyen de rugosités et de générateurs de tourbillons placés en amont du modèle et de son environnement (figure 3).

En l'absence de la maquette d'environnement représentant la Canopée et les rues adjacentes la nature turbulente du vent reproduit en soufflerie a été mesurée avec un anémomètre à fil chaud (figure 4).

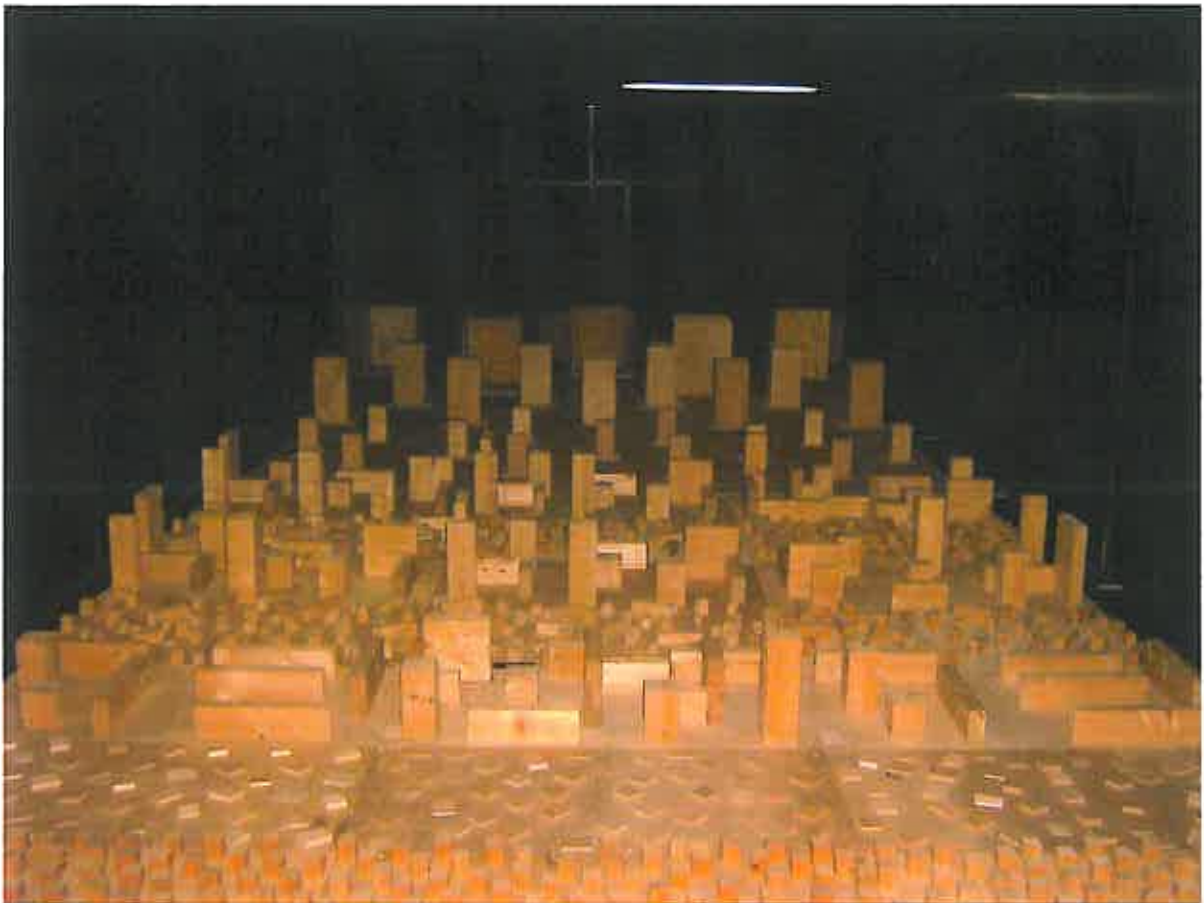


Figure 3 : Simulation en soufflerie de la couche limite terrestre à l'aide de rugosités calibrées placées en amont de la zone de mesure.



Figure 4 : Anémomètre à fil chaud et tube de Pitôt utilisés pour la mesure de la turbulence du vent à échelle réduite en soufflerie.

La comparaison des profils de vitesse moyenne et d'intensité de turbulence issus de l'Annexe Nationale de l'Eurocode avec ceux de la simulation soufflerie est donnée figure 5. Les profils de l'Annexe Nationale sont établis conformément à la catégorie de terrain IV, « zones urbaines dont au moins 15% de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 mètres – forêts », de longueur de rugosité 1 mètre.

Le gradient de vitesse moyenne est très proche de celui proposé par l'Eurocode 1.

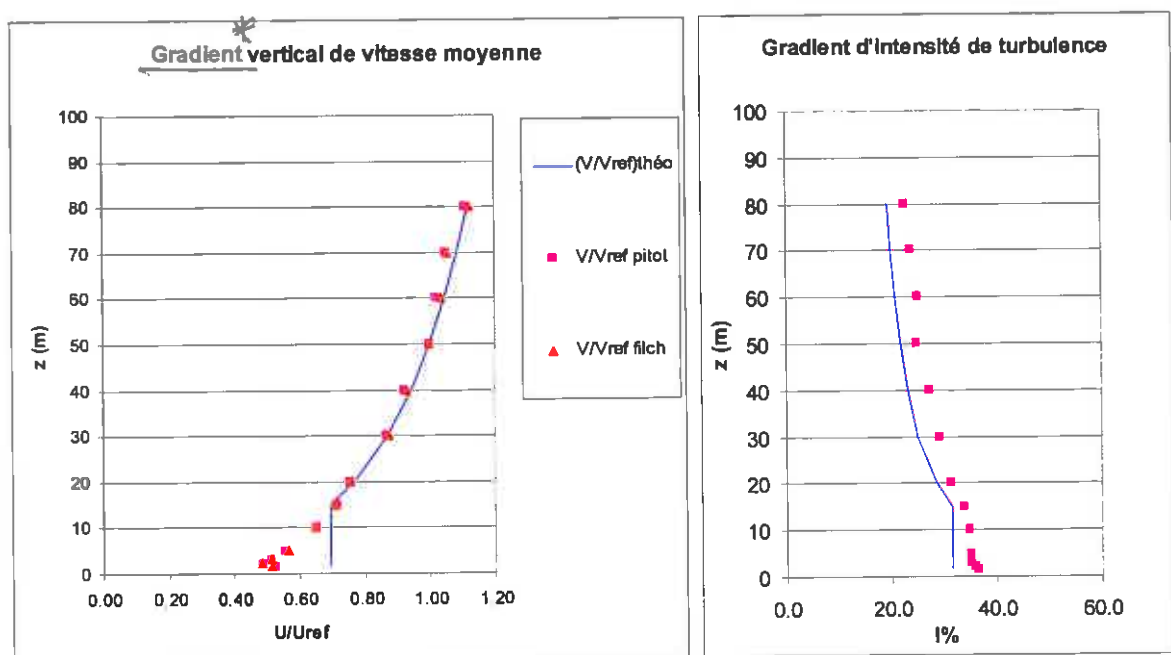


Figure 5 : Caractéristiques du flux turbulent simulé en soufflerie

Etude du confort au vent autour du projet de la Canopée des Halles à Paris

* taux de variation d'un élément météorologique selon une direction donnée.

3. NOTION DE CONFORT DANS LES ESPACES EXTERIEURS

3.1 Définition du confort – effets du vent

La prise en compte des effets du vent dans le confort piétonnier se base essentiellement sur l'échelle de Beaufort. Cette dernière propose une hiérarchisation des forces de vent et présente les effets sur terre et en mer compréhensibles par tout le monde (effet visible sur l'environnement). Cette échelle est présentée dans la Tableau 1 dans lequel seuls les effets sur terre sont présentés.

Vitesse du vent m/s		Caractéristiques du vent
Force	Z = 2 m	
2	5,4	1,5 - 3 10,4 km/h Les visages ressentent la sensation du vent. Les feuilles bruissent
3	3 - 4,5	16,2 Les feuilles sont en mouvement permanent. Les drapeaux flottent bien.
4	4,5 - 7	25,2 La poussière et les papiers se soulèvent. Les branches s'agitent. Les cheveux sont décoiffés.
5	7 - 9	32,4 Les petits arbres avec des feuilles oscillent. La poussière s'envole.
6	9 - 11	39,6 Les grosses branches se mettent en mouvement. Les sommets de tous les arbres sont en mouvement. La marche devient très instable.
7	11 - 14	50,4 Les arbres sont totalement en mouvement. Le vent siffle. On éprouve des difficultés à marcher contre le vent.
8	14 - 17	61,2 Les branches d'arbres se cassent. D'une façon générale, progression pedestre très difficile et dangereuse.
9	17 - 20	72,0 Risque d'être violemment projeté à terre sous l'effet des bourrasques.

Tableau 1 : Echelle de Beaufort

Au vu de l'échelle présentée, une vitesse d'air de 3 m/s peut sembler être une limite haute pour un lieu de stationnement (terrasse d'un café par exemple). A cette limite sera ajoutée la considération de la turbulence du vent. Une vitesse faible en moyenne mais largement fluctuante peut en effet être perçue comme désagréable.

Ces considérations ne tiennent pas compte des effets thermiques. Ce seuil peut naturellement être modulé suivant la fonctionnalité des lieux et la saison. En effet, des sensations de froid peuvent être rapidement perçues en cas de température basse. De la même manière, une brise est appréciée en cas de température ambiante plus chaude.

La démarche présentée et utilisée dans la suite du document n'intègre que les effets mécaniques du vent, de sa composante moyenne et de ses composantes turbulentes.

3.2 Description de la gêne – seuil de confort – fréquence de gêne

La somme $(\bar{U} + \sigma)$ est utilisée comme paramètre cible de l'étude. Cette somme associe à parité la valeur moyenne et l'écart type de la fluctuation de la vitesse. Rapportée à une situation de référence, dans un écoulement non perturbé, elle s'exprime par un paramètre sans dimension . En un point j d'un plan masse situé dans la couche 0-2 mètres au-dessus du sol (hauteur de mesure 1.5 m), l'indice de confort s'exprime par la relation (1).

$$\Psi_j = \frac{\bar{U}_j + \sigma_j}{\bar{U}_{ref\ 1.5m} + \sigma_{ref\ 1.5m}} \quad (1)$$

Ψ permet de comparer en un point donné la situation "vent" avec ce qu'elle serait au même endroit et à la même hauteur en l'absence de toute construction (ou en espace totalement dégagé à proximité immédiate de la zone testée). Il permet également d'établir une hiérarchie entre les différentes zones explorées dans le plan masse quelle que soit la vitesse de vent amont. Dans ces conditions, toute augmentation de vitesse et de turbulence induite par la présence du bâti, se traduit par $\Psi_j > 1$.

Pour présenter un intérêt vis à vis de l'évaluation correcte de l'inconfort, ce paramètre est traduit en une fréquence de gêne, c'est à dire un pourcentage de temps pendant lequel est dépassé un seuil de vitesse et de turbulence. Ce seuil est lui-même caractérisé par la somme $(\bar{U} + \sigma)_{seuil}$

Comme évoqué précédemment, un seuil de 3m/s peut être considéré. On associe à la valeur du seuil un écart type correspondant forfaitairement à la fluctuation du vent qui règne au niveau du sol en rase campagne soit :

$$\sigma = 0.2\bar{U}$$

On obtient alors :

$$(\bar{U} + \sigma)_{seuil} = 1.2\bar{U}_{seuil} = 3.6\text{ m/s}$$

Ainsi, en chaque point le seuil de gêne est atteint lorsque :

$$\Psi_j = \frac{3.6}{\bar{U}_{ref\ 1.5m} + \sigma_{ref\ 1.5m}} = \frac{3.6}{\bar{U}_{ref\ 1.5m}(1 + I_{ref\ 1.5m})}$$

(avec I : l'intensité de turbulence)

La fréquence de gêne se calcule ensuite en couplant les paramètres Ψ_j aux roses de vent du site considéré. Dans le cas de la Canopée des Halles, les deux roses présentées en Figure 2 sont utilisées. Les données météorologiques peuvent s'exprimer par une loi statistique définie par l'expression (2). P est le pourcentage de temps pendant lequel la vitesse du vent est supérieure à la vitesse U dans la direction D .

$$P = P_D \cdot \exp\left(-\left(\frac{\bar{U}}{A}\right)^k\right) \quad (2)$$

A et k sont des paramètres qui dépendent du lieu et du type de vent considéré. Pour le site considéré, les paramètres A et k ont été calculés pour les 18 secteurs de vent par pas de 20° . P_D est la fréquence d'occurrence du vent secteur par secteur.

La fréquence avec laquelle le seuil de gêne est atteint ou dépassé en un point j sur le site s'exprime alors par la relation (3).

$$P_j = P_D \cdot \exp\left(-\left(\frac{C}{A\Psi_j}\right)^k\right) \quad (3)$$

Compte tenu des coefficients A et k calculés pour chaque incidence de vent, et du pourcentage P_D de temps pendant lequel le vent souffle dans cette direction, la fréquence de dépassement P_j s'exprime en fonction du paramètre Ψ_j mesuré en chaque point.

Pour un point donné du plan masse, la fréquence annuelle totale de dépassement du seuil de confort s'obtient en additionnant les fréquences relatives à chaque secteur.

Dans un plan masse on peut établir une hiérarchie du confort à atteindre en fonction des activités qui ont lieu sur différentes zones. Ainsi, on peut admettre localement des fréquences de dépassement importantes si la zone considérée n'est pas une aire de promenade ou de séjour. Au contraire, on pourra privilégier le traitement de certains espaces jugés particulièrement sensibles du point de vue de l'usage. Les concepteurs ont un rôle essentiel dans ce choix stratégique.

Le Tableau 2 indique par catégories de sites et d'activités un ordre de grandeur des durées maximales admissibles de périodes d'inconfort.

activités		limite supérieure de la gêne pour inconfort convenable (en pourcentage du temps annuel)
STATION IMMOBILE PROLONGÉE Terrasse de café, théâtre en plein air, piscine, etc.		quelques pour cent
STATION IMMOBILE DE COURTE DURÉE Jardin public, aire de jeux, rue commerçante, galerie, etc.		5 %
MARCHE NORMALE Promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble, etc.		10 %
MARCHE RAPIDE Parc auto, trottoir des avenues, belvédère, etc.		20 %

Tableau 2 : Fréquences de gêne maximales admissibles en fonction des types d'activités

3.3 Mesure de vitesse locale

La définition des indices de confort implique une mesure de vitesse et d'intensité turbulente locale (cf. expression (2)).

Des sondes pariétales de pression différentielle sont utilisées dans cette étude. La vitesse locale à une hauteur donnée est définie par une loi polynomiale d'étalonnage.

$$U = A \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} + B \quad (4)$$

Les paramètres A et B sont issus d'un étalonnage préalable.

Ces sondes pariétales sont reliées via des tubes souples à des capteurs de pression différentielle sensibles à des variations de hautes fréquences. Ces mesures permettent donc une bonne appréhension du champ aérodynamique dans ses composantes moyenne et turbulente. Les données sont acquises à la fréquence de 200Hz.

Une autre technique de mesures est également utilisée dans ce projet, notamment pour les trois points de mesure sous les ventelles. Il s'agit d'une technique de mesure anémométrique à compensation en température (autrement dit : « fil chaud »). La Figure 6 présente des sondes « fil chaud ». Un tube de Pitot utilisé pour la mesure de la pression dynamique est également visible (celui-ci présente un orifice de 1 cm de diamètre).

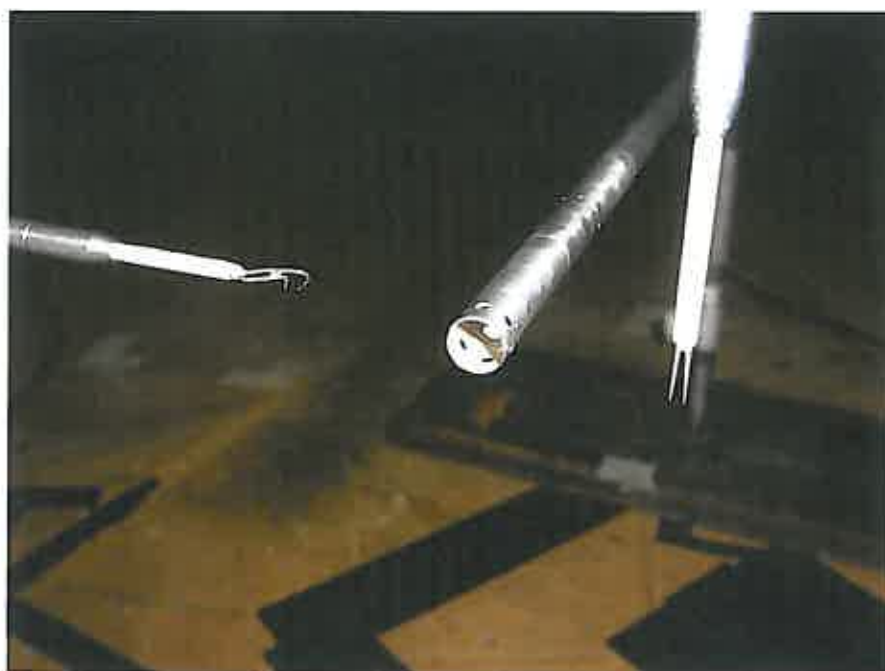


Figure 6 : Anémomètre à fil chaud

4. CONFIGURATION D'ETUDE

Deux configurations ont été simulées afin de bien cerner l'impact de la végétation sur le confort aéraulique. Toutes deux sont présentées Figure 7.



Figure 7 : Configuration d'étude : Eté (à gauche) et Hiver (à droite)

La configuration « Eté » est caractérisée par la présence d'arbres feuillus dans le jardin et les rues adjacentes au forum, pour la configuration « Hiver » tous les arbres ont été supprimés. Ce dernier état illustre de manière exacerbée l'absence de feuilles à la morte saison qui rend la ramure perméable au vent et supprime l'effet protecteur des végétaux.

Le le jardin au départ !

Les points de mesure à l'aide de sondes pariétales sont présentés dans la Figure 8. La Figure 9 présente une sonde pariétale en position sur le plan masse.



Figure 8 : Emplacement des sondes pariétales dans le projet de la canopée des Halles- Paris



Figure 9 : Sonde pariétale n°9 située sur le plan masse (à gauche) et comparaison des mesures par sonde pariétale et fil chaud (à droite) du projet de la canopée des Halles - Paris

Des mesures complémentaires ont été réalisées à environ 5 m vraie grandeur sous les ventelles et en trois points. Ceux-ci sont présentés dans la Figure 10.

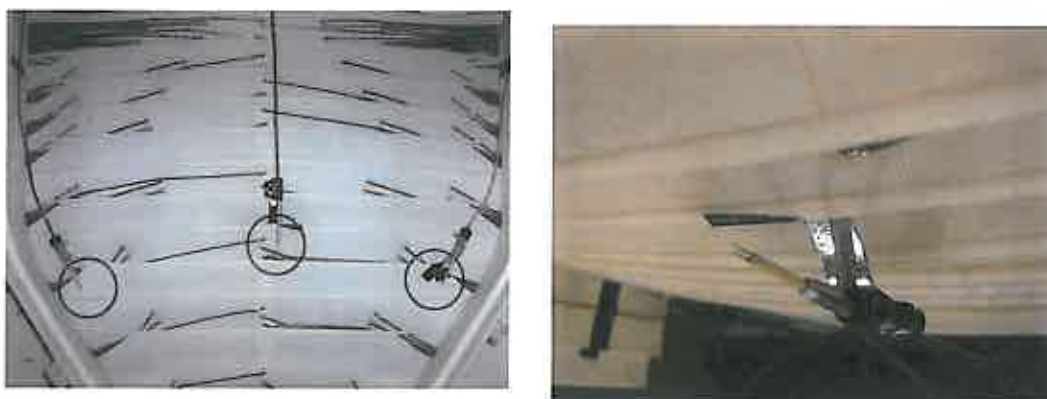


Figure 10 : Points de mesure au fil chaud sous les ventelles. Vue de l'intérieur de la maquette

Ces derniers points de mesure, sous les ventelles, n'ont été activés que pour la configuration Été et pour 7 directions différentes : 3 concernant les vents dominants (20° , 220° et 240°) et 4 concernant les axes de la Canopée (100° , 110° , 120° et 290°).

5. RESULTATS DES MESURES

Les résultats des mesures sont présentés dans cette partie. Ils sont présentés sous forme de fréquence de gêne (données de vitesse et d'intensité turbulente couplées aux données météorologiques) ainsi que sous forme de rose des vents en annexe (ces dernières serviront pour la définition du confort en incluant d'autres paramètres climatiques que le vent). Les roses des vents représentent le facteur d'accroissement de la vitesse par rapport à une vitesse de référence à 10 m (hauteur courante de positionnement pour les stations météorologiques). Concernant les fréquences de gêne, le seuil limite est de 3.6 m/s pour les deux jeux de données climatiques.

Les configurations été et hiver sont tout d'abord présentées, suivi des mesures complémentaires, sous les ventelles. Une synthèse des résultats est enfin proposée.

5.1 Configurations été et hiver

Dans cette partie, les résultats relatifs aux configurations été et hiver sont présentés. Les deux configurations se distinguent par la présence des arbres pour la configuration été. Les Figure 11 et Figure 12 présentent une visualisation des fréquences d'inconfort respectivement pour les configurations été et hiver. Cette représentation est obtenue par interpolation des résultats entre chacune des sondes du plan masse. Elle permet d'identifier globalement le confort mais ne peut se substituer à la lecture des valeurs réelles en chaque sonde. Les valeurs pour chaque sonde et pour les deux configurations sont présentées en Figure 13. Les sondes 43 et 55 respectivement pour les configurations hiver et été ont présenté des dysfonctionnements. Ces deux sondes n'ont donc pas été considérées dans la suite.

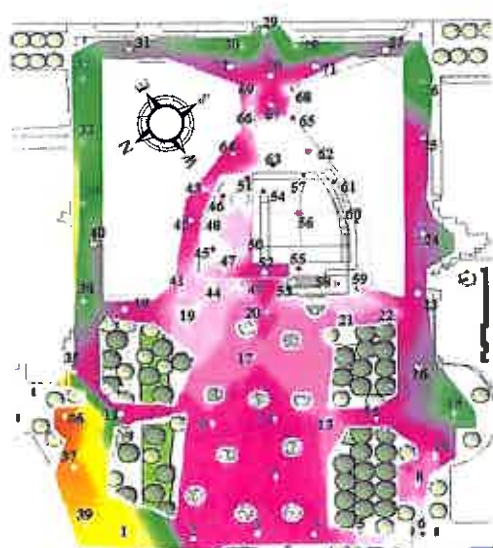


Figure 11 : Fréquences d'inconfort Interpolées pour la configuration été. Le seuil limite est de 3.6 m/s

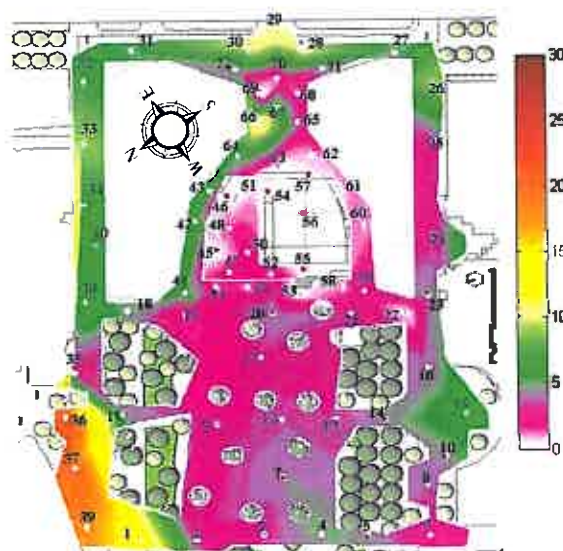


Figure 12 : Fréquences d'inconfort Interpolées pour la configuration hiver. Le seuil limite est de 3.6 m/s

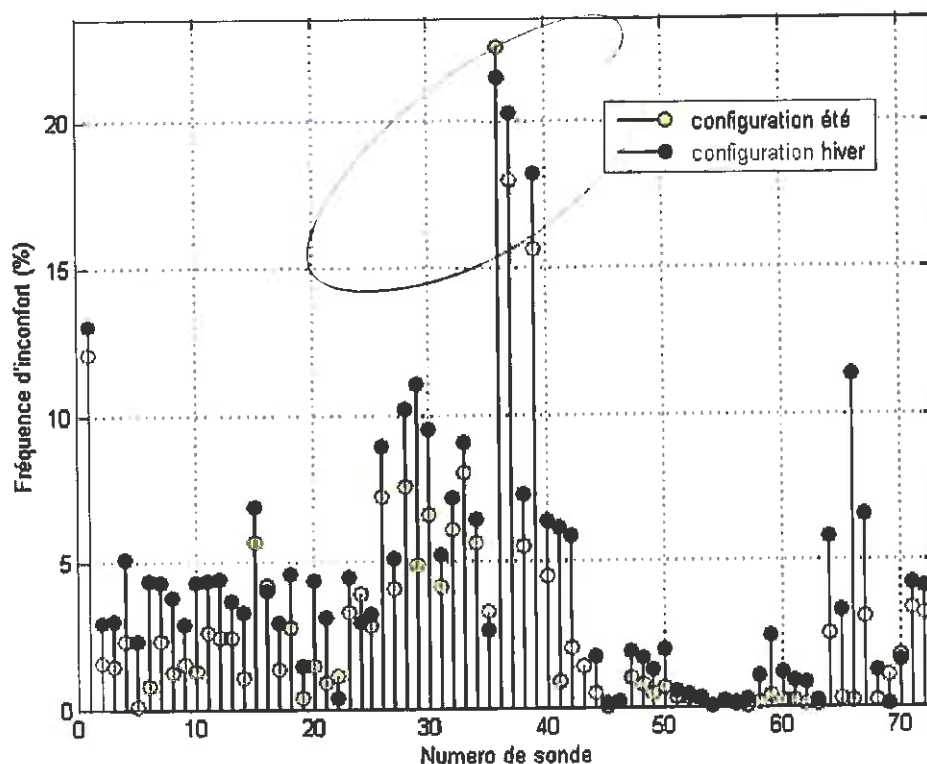


Figure 13 : Fréquences d'inconfort Identifiées en chaque sonde pour les deux configurations (seuil limite de 3.6 m/s)

Les représentations interpolées montrent des niveaux d'inconfort globalement faibles sur la zone étudiée. L'impact des arbres est identifiable sur la Figure 13. A l'exception de la sonde 36, des fréquences d'inconfort plus importantes sont obtenues pour la configuration hiver. Des effets de sillage derrière des arbres sont probablement à

Etude du confort au vent autour du projet de la Canopée des Halles à Paris

l'origine d'une fréquence plus importante en été qu'en hiver pour la sonde 36. Les fréquences les plus importantes se trouvent au voisinage de l'église Saint Eustache. En effet, l'ouverture à l'est de celle-ci présente un couloir de vent important se trouvant de plus dans les axes des vents dominants (incidence de 20°, 220° et 240° par rapport au Nord). La représentation sous forme de rose des vents montre bien la forte accélération dans cette zone pour des incidences particulières (cf.annexe).

A l'intérieur du bâtiment, le couloir Nord présente des fréquences d'inconfort plus importantes du fait de son exposition aux vents dominants. Les vitesses d'air mesurées dans les deux couloirs (sonde 41, 42 et 43 contre 59, 60 et 61) sont du même ordre de grandeur dans la configuration été et légèrement plus grande dans la configuration hiver. Cette légère augmentation peut être imputée en partie à la dissymétrie de l'architecture interne. Ceci cumulé à l'exposition aux vents dominants implique les écarts observés entre les deux couloirs. La sortie du bâtiment Sud-Est présente un effet venturi du fait du rétrécissement de section. Les sondes 65, 66 et 67, notamment, présentent des sensibilités fortes aux incidences de vent dans l'axe de la canopée (cf. annexe). Cet effet est logiquement accentué pour la configuration hiver. La sonde 66 présente des écarts importants entre les deux configurations. Bien que l'analyse des signaux dynamiques soit cohérente, ces écarts laissent à penser qu'il y a eu un mauvais fonctionnement de cette sonde pour la configuration été.

Néanmoins, les fréquences restent globalement basses et les différentes zones (extérieur jardin, autour du bâtiment, intérieur bâtiment et sortie Sud-Est) se distinguent bien les unes des autres (cf. Figure 13). Une ambiance plus calme est attendue dans le bâtiment que dans le parc ou autour de celui-ci.

5.2 Mesures complémentaires sous les ventelles

Cette partie présente les mesures réalisées sous les ventelles par anémométrie à compensation en température (fil chaud). Les trois mesures sont répertoriées comme indiqué dans la Figure 14. Comme évoqué précédemment, sept incidences de vent ont été considérées pour ces points et sous une configuration été. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.



Figure 14 : Emplacement et numérotations des points de mesures complémentaires

	Incidence (repère météo)						
	20°	100°	110°	120°	220°	240°	290°
Indice de confort							
1	0.56	0.21	0.23	0.22	0.18	0.26	0.59
2	0.44	0.53	0.53	0.52	0.50	0.56	0.52
3	0.22	0.23	0.21	0.19	0.55	0.75	0.70
Facteur d'accroissement							
1	0.40	0.15	0.17	0.17	0.11	0.17	0.43
2	0.34	0.40	0.42	0.40	0.36	0.41	0.38
3	0.17	0.17	0.16	0.14	0.41	0.56	0.53

Tableau 3 : Indice de confort et facteur d'accroissement sur les trois points de mesures sous les ventelles

Les mesures présentées dans le Tableau 3 montrent des vitesses différentes selon les emplacements. Le point central (n°2) est le plus venté pour les directions traitées. Les deux autres points présentent une influence de la direction plus prononcée. Les trois points présentent toutefois des indices de confort du même ordre de grandeur que les points situés au sol à l'intérieur du bâtiment.

6. VISUALISATION PAR INJECTION DE FUMÉE

Des injections de fumée ont été réalisées au voisinage et dans la canopée des Halles. Des visualisations ont été enregistrées dont quelques images sélectionnées sont présentées dans la suite. Seule l'incidence de 110° (dans l'axe de la canopée, parc en amont) a été traitée. Des images de l'injection de fumée en amont puis en aval du bâtiment sont présentées ci-dessous. Les images présentées montrent un effet dépressionnaire au dessus des ventelles. La fumée, injectée en amont du bâtiment ressort pour les espaces entre les ventelles. Une injection par l'aval (trois dernières images) montre un effet dépressionnaire global au sein du bâtiment. La fumée remonte dans le bâtiment pour en partie ressortir à travers la toiture.

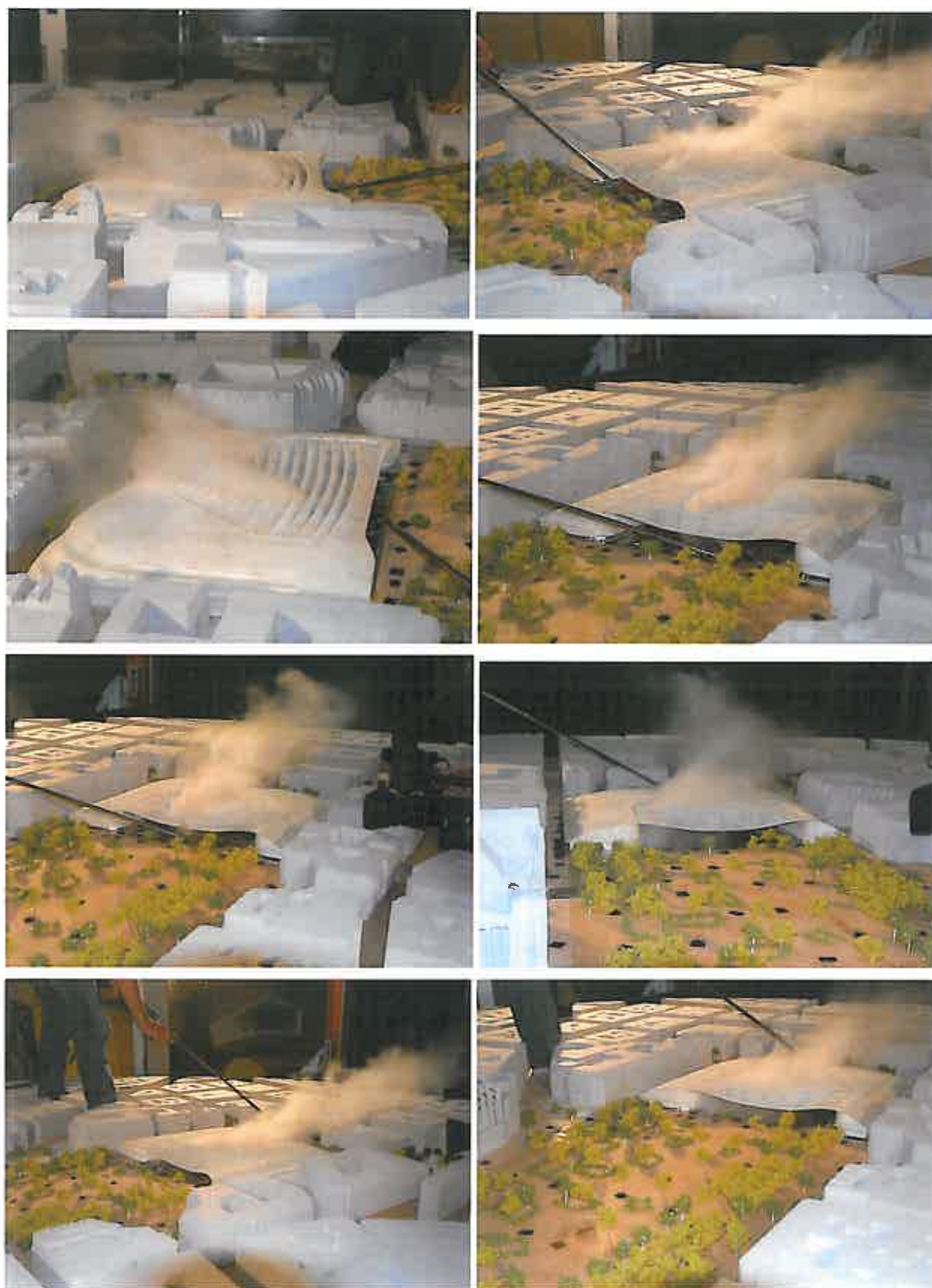


Figure 15 : Visualisation des champs aérodynamiques par injection de fumée

7. SYNTHÈSE

Le site des Halles, avec la Canopée et l'aménagement paysager, a été représenté sur maquette à l'échelle 1/200 et disposé dans la soufflerie à couche limite atmosphérique du CSTB de Nantes. Les vitesses et intensités turbulentes du vent ont été mesurées à l'échelle du piéton à l'aide de sondes pariétales à pression différentielle. L'environnement dans le parc, autour du bâtiment et dans le bâtiment a été maillé par 72 sondes disposées suivant les géométries et accidents aérodynamiques.

Deux configurations ont été traitées, incluant ou non la présence des arbres. La configuration dite hiver est caractérisée par l'absence des arbres dans le parc.

*à l'été
ou au début*

Les résultats montrent des ambiances différentes dans le parc, autour du bâtiment, dans le bâtiment ou à proximité du passage à l'Est de l'église Saint Eustache. Seul ce dernier présente des fréquences d'inconfort importantes (aux alentours de 20% pour les deux configurations). Le parc se caractérise par des fréquences inférieures à 5% pour les deux configurations, la zone autour du bâtiment est légèrement plus ventée (fréquence entre 5 et 10%) et l'intérieur du bâtiment est très calme avec des fréquences inférieures à 3%. Une zone, à l'intérieur du bâtiment, se distingue par des fréquences plus importantes. Il s'agit de la sortie Sud-Est. L'architecture présente un rétrécissement de section pour le passage de l'air. Ce rétrécissement amène un effet venturi dans la zone des sondes 65, 66 et 67. Les fréquences d'inconfort restent toutefois inférieures ou proches de 5%, ce qui est tout à fait acceptable même pour des lieux de stationnement (cf. Tableau 2).

Le site des Halles incluant le nouveau bâtiment ainsi que l'aménagement paysager ne présente pas de risque d'inconfort particulier, le passage à l'Est de l'église Saint Eustache étant le plus venté.

8. ANNEXES

A1 : Fréquence d'Inconfort intégrant les données météorologiques du site du Bourget.

A2 : Facteur d'accroissement de la vitesse par sonde et direction.

A1 : Fréquence d'Inconfort Intégrant les données météorologiques du site du Bourget.

Les figures suivantes présentent les fréquences d'inconfort calculées à partir des données météorologiques de Vélizy et du Bourget. Les deux configurations sont traitées.

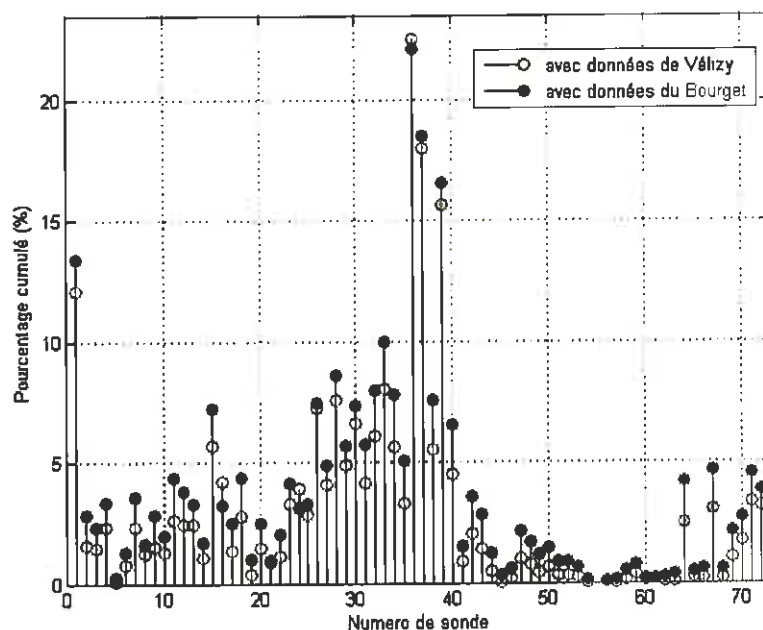


Figure 16 : Fréquence d'inconfort pour la configuration été suivant les données météorologiques de Vélizy et du Bourget

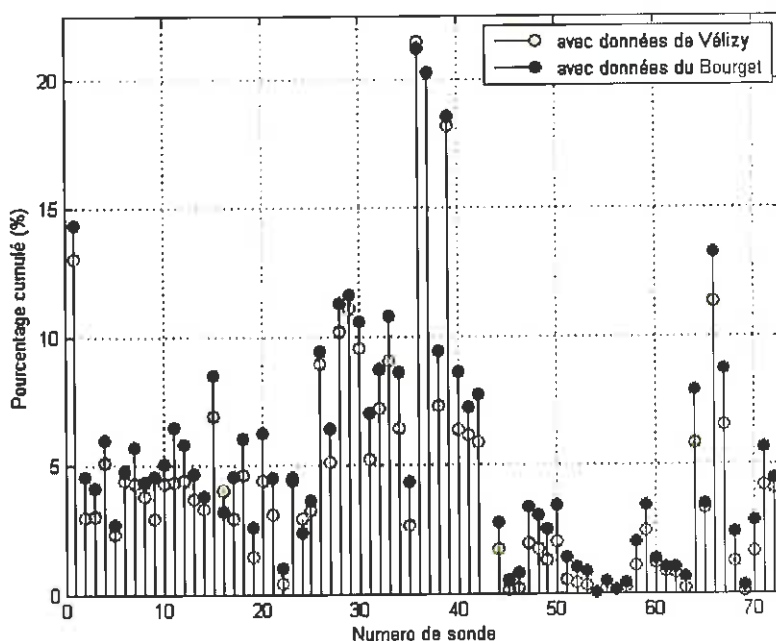
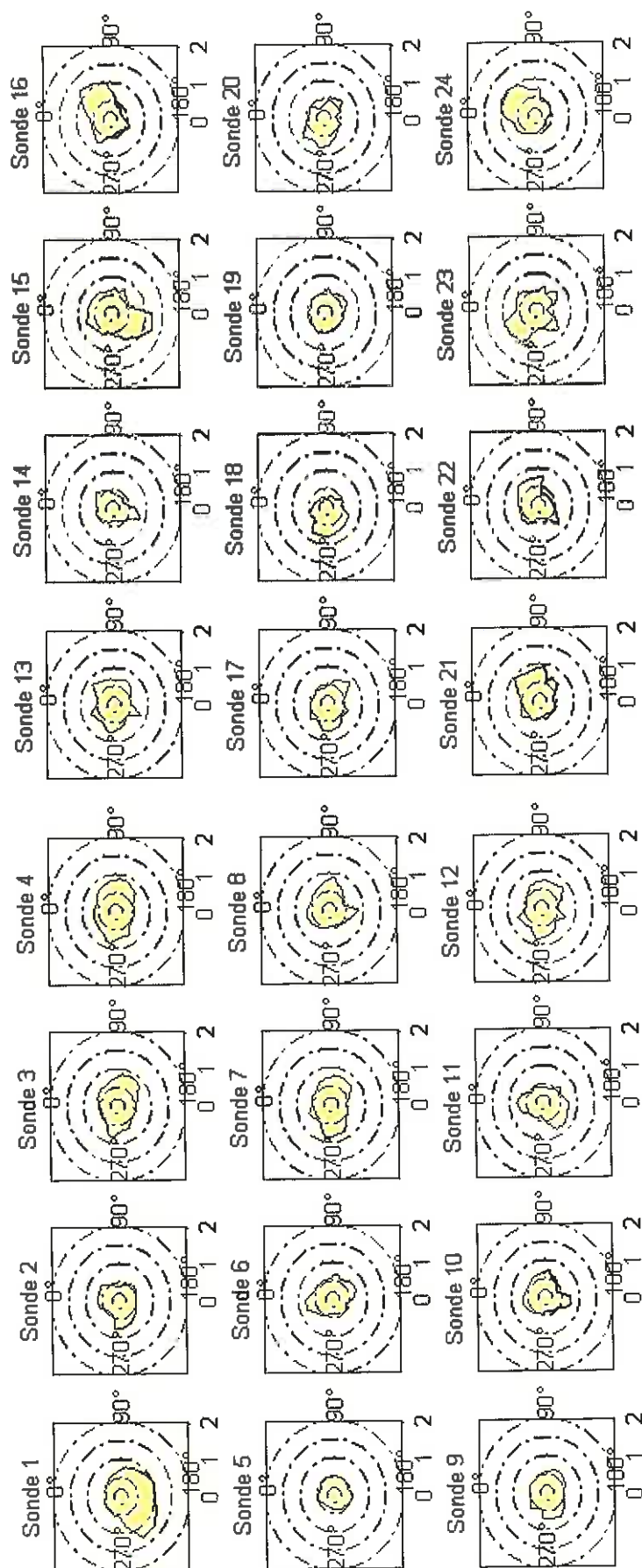
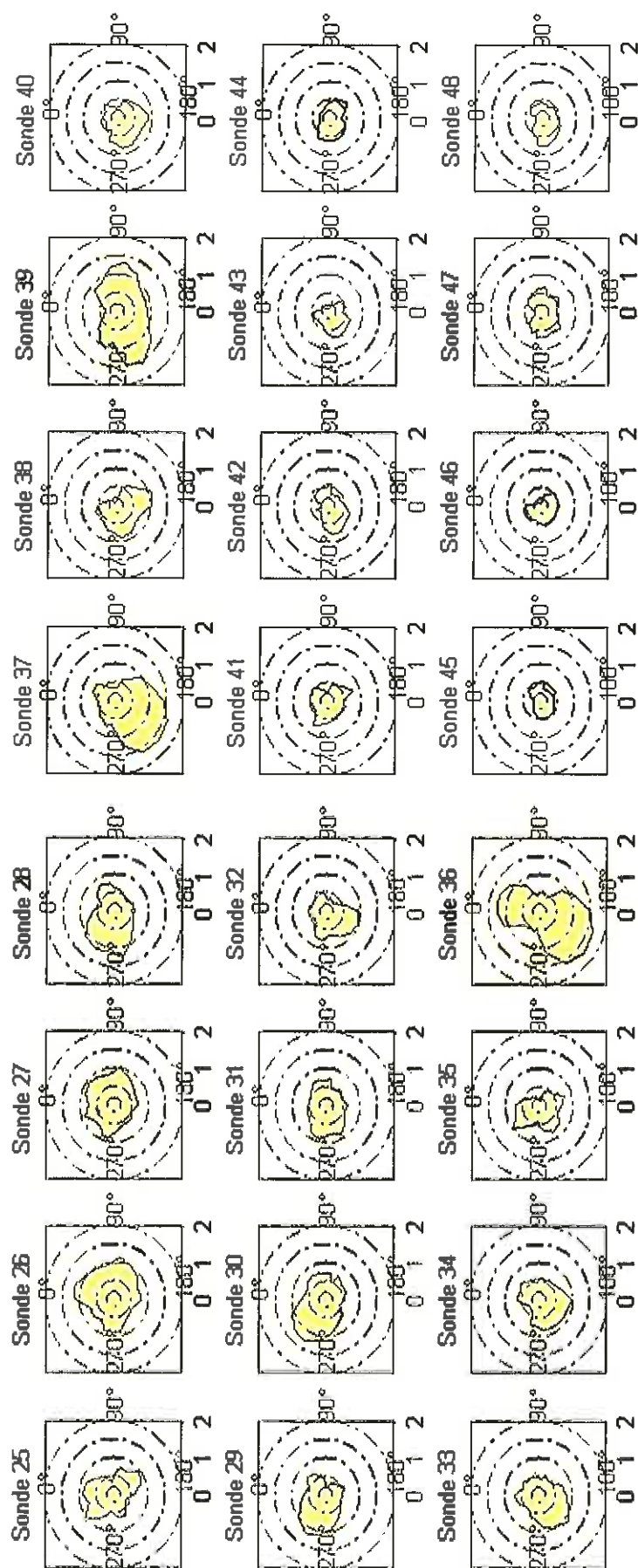


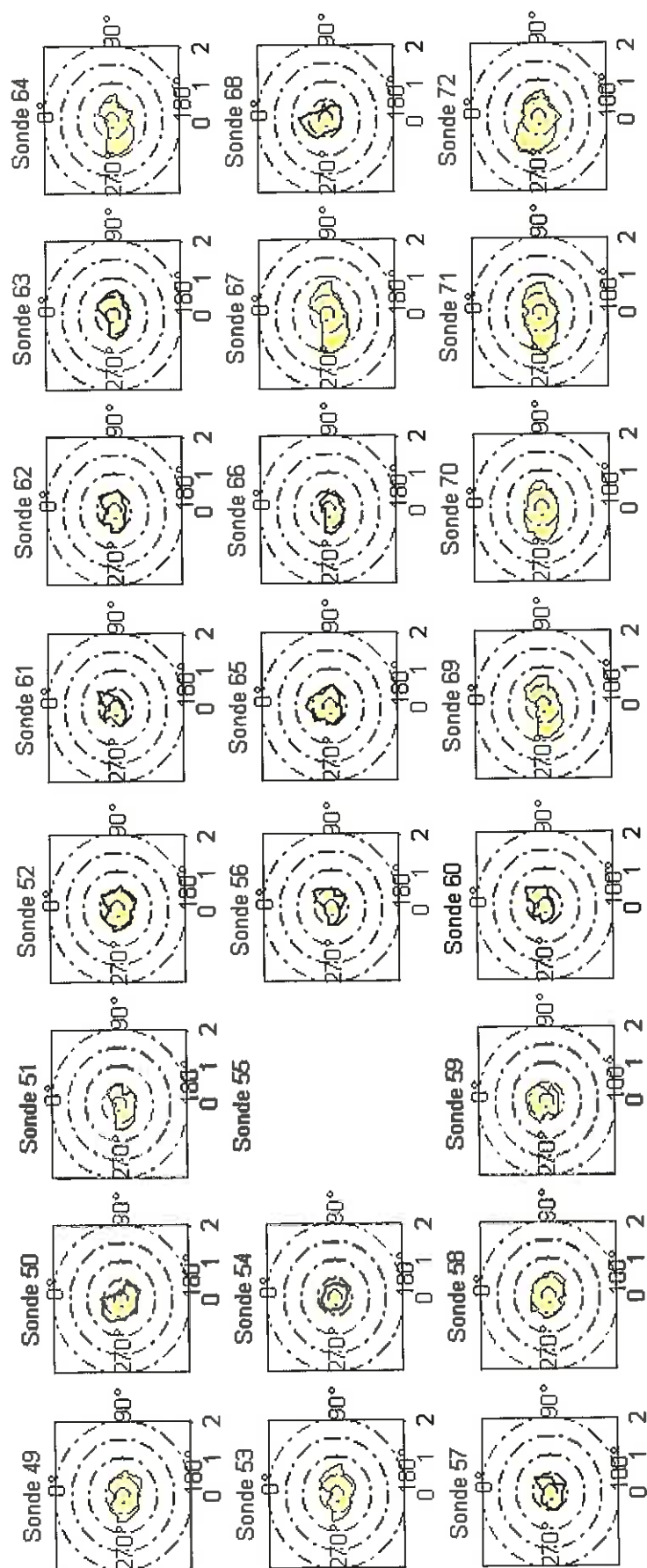
Figure 17 : Fréquence d'inconfort pour la configuration hiver suivant les données météorologiques de Vélizy et du Bourget

Les deux sites se distinguent par une direction privilégiée supplémentaire pour le Bourget (orientation 20°). Cette direction supplémentaire implique des fréquences d'inconfort plus grandes notamment pour les points présentant une sensibilité plus forte pour les incidences de 20°.

A2 : Facteur d'accroissement en vitesse par sonde et direction - configuration été







A2 : Facteur d'accroissement en vitesse par sonde et direction - configuration hiver

