

# Géométrie et microclimat

## Sinuosité et Vent

Présenté par BELGACEM Houda

Directeurs mémoire : LEDUC Thomas  
MORILLE Benjamin

Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités  
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes



## **Quelques thématiques de recherche abordées :**

- La visualisation du comportement des composants microclimatiques autour des constructions et leurs effets sur l'utilisateur.
- Perception de l'environnement construit : projet urbain, architectural
- Etude du vécu des individus dans les milieux urbains.
- Prise en compte de ces effets dans le processus de la conception.

**→ Notre sujet du stage de master s'intègre dans la première de ces thématiques.**

Urbanisation galopante



Expansion de la masse bâtie  
sur le territoire des villes



Complexité morphologique  
sur différentes échelles



Instabilité et turbulence  
microclimatique

● Ouameur, 2007

● Salat et al, 2011



Urbanisation galopante



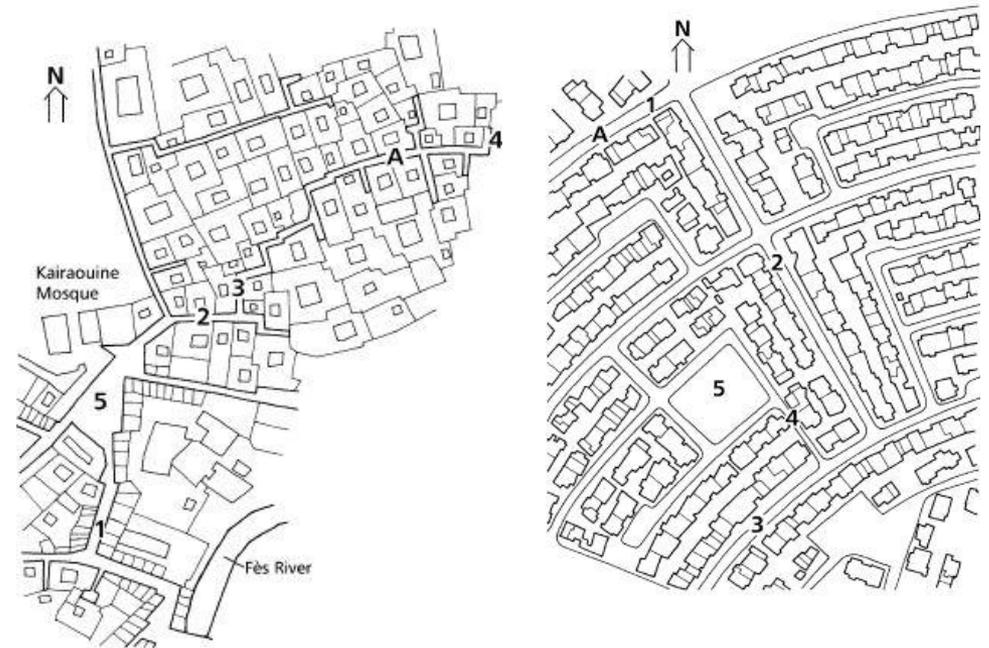
Expansion de la masse bâtie sur le territoire des villes



Complexité morphologique sur différentes échelles



Instabilité et turbulence microclimatique



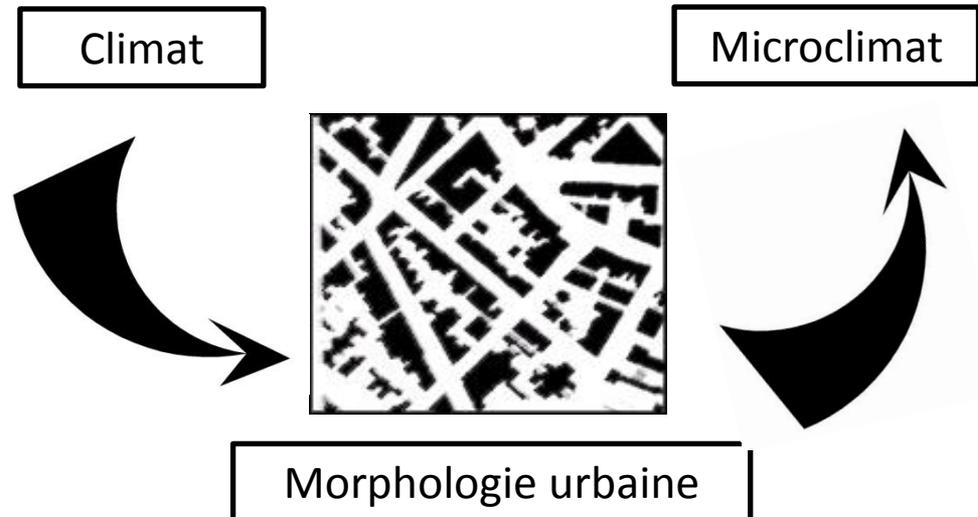
● Johansson, 2006

la **morphologie urbaine** joue un rôle important dans le changement des conditions climatiques, pour produire un **microclimat** propre sur une étendue urbaine bien déterminée.

Complexité morphologique  
sur différentes échelles

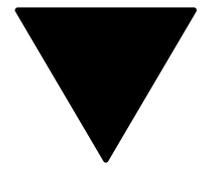


Instabilité et turbulence  
microclimatique



## Morphologie urbaine

Lien ?  
Outil de prévision et  
d'aide à la décision



## Microclimat local Vent



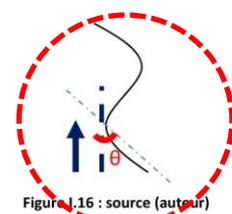
Caractéristiques  
géométriques :

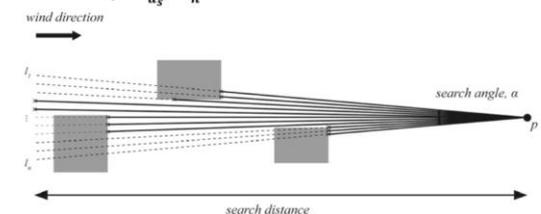
- Densité surfacique
- Densité planimétrique
- Hauteur moyenne

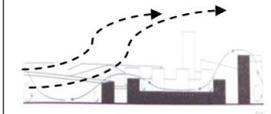
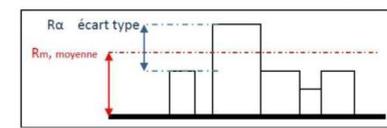
- Pratique piétonne
- Le renouvellement de l'air
- Le confort thermique
- Le confort aérodynamique
- Consommation énergétique des bâtiments
- Ventilation naturelle...

# Etat de l'art

Critères morphologiques	Formule – Source	Influence sur le vent
le taux de percement horizontal du tissu urbain :  (Ameur, 2002)	$PH = \frac{(S. \text{creux publics} + S. \text{creux privés})}{S. \text{totale}}$	
Le prospect équivalent de l'espace : (Ameur, 2002)	$Pe = \frac{H_m}{L_p}$  $H_m$ : hauteur moyenne de l'espace $L_p$ : plus petite largeur des rues	 Figure I.10 : source (Ameur, 2002)
La longueur équivalente de l'espace : (Ameur, 2002)	$Le = \frac{St}{L_p}$  $St$ : surface totale de l'espace $L_p$ : plus petite largeur de l'espace	 Figure I.11 : source (Ameur, 2002)

Sinuosité urbaine (Adolphe, 2001)	$S_\theta = \frac{\sum L_i * \cos^2(\theta_i)}{\sum L_i}$ Segments des rues  $L_i$ : la longueur du segment de la rue $\theta$ : angle entre l'azimut du flux et l'azimute du tronçon local de rues.	 Figure I.16 : source (auteur)
--------------------------------------	--	--

Fetch :  distance d'un point p au proche obstacle (bâtiment) dans la direction contre vent.  (cité dans Johansson, 2012)	La valeur résultante Fetch pour un point p : valeur moyenne des distances $d_1$ à $d_n$ représentées par les lignes continues (entre le point p et les marques x) pour $l_1$ à $l_n$ , où $n = \alpha$ normalisé par la distance de recherche $d_s$ : $Fetch_p = \frac{1}{d_s} \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$ , $n = \alpha$ (valeur entre 0 et 1).   Figure I.18 : source (Johansson, 2012)
--	--

Densité du bâti :  Occupation des parcelles par le bâti.	$Ds = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi}}{A_s}$  (Merlin, Choay, (1998) cité dans Ameur, 2002, P.152)	
Rugosité moyenne du tissu urbain :  Hauteur global du tissu tridimensionnel.	$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * h_i}{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^n A_j}$ (m) (Adolphe, 2001)  $A_i$ : surface hors œuvres du bâtiment i (emprise au sol) $A_j$ : surface de l'espace extérieur j $h_i$ : hauteur du bâtiment i	 Figure I.13 : source (Krauthelm et al, 2014)
Rugosité relative du tissu urbaine	$Ra = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i - h_a)^2 * l_i^2}}{\sum_{i=1}^n l_i}$ (m) (Adolphe, 2000)  $h_a$ : hauteur moyenne de la canopée dans une direction $h_i$ : hauteur de l'élément i de la canopée (bâti ou non bâti) $l_i$ : largeur de la canopée	
	 Figure I.14 : schéma explicatif de la différence entre la rugosité absolue et la rugosité relative du tissu urbain, source (auteur)	
Porosité urbaine	$\frac{\sum_{i=1}^n \pi * r_{hi}^2 * L_i}{\sum_{i=1}^n V_i + \sum_{j=1}^n V_j}$ (Adolphe, 2001)  $L_i$ : longueur de l'espace ouvert i. $r_{hi}$ : rayon hydraulique de l'espace ouvert i. $V_j$ : volume moyen de l'espace bâti j $V_i$ : volume moyen de la canopée au-dessus d'un espace ouvert i.	 Figure I.15 : source (Ameur, 2002)  Vide - espace ouvert Plein - espace bâti

Tracé urbain ?

Holland *et al*, 2008 - Macdonald, 1998 - Kim *et al*, 2011

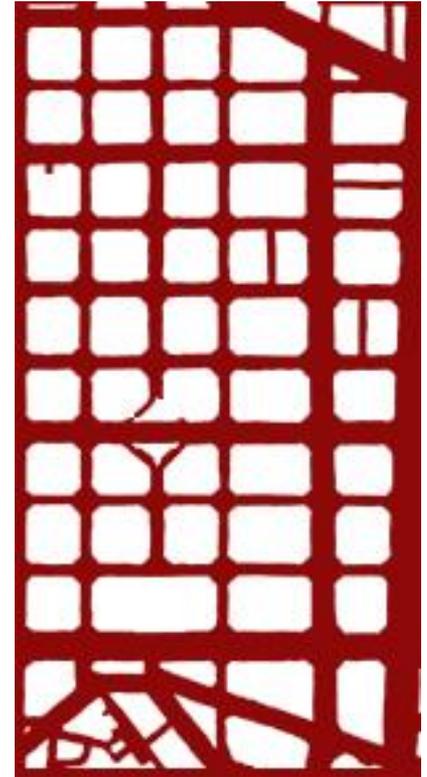
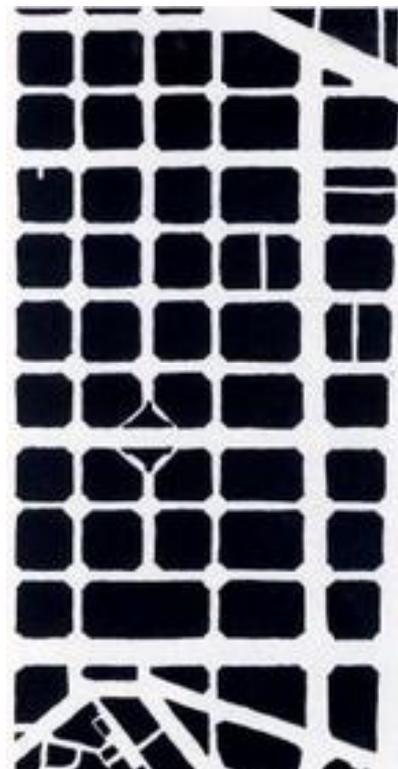
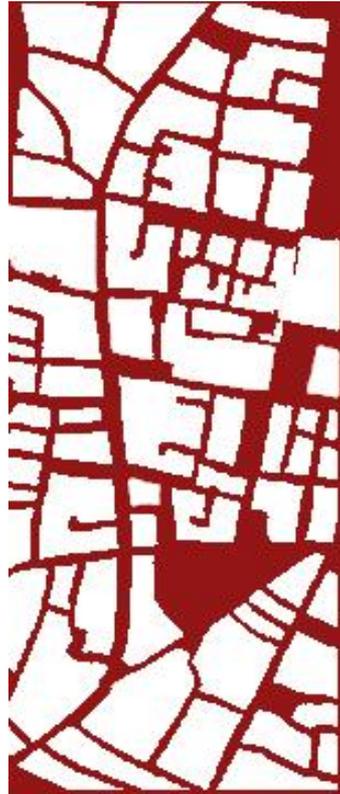
<i>Kutzbach</i>	1961	$Z_0 = \lambda_p^{1.13} * Z_H$
<i>Lettau</i>	1969	$Z_0 = 0.5 H \frac{A_f}{A_d} = 0.5 H * \lambda_f$
<i>Counihan</i>	1971	$\frac{z_0}{H} = 8.2 \frac{H}{X_F} + 1.08 \frac{A_p}{A_d} - 0.08$
<i>Theurer</i>	1993	$\frac{z_0}{H} = 1.6 \lambda_f (1 - 1.67 \lambda_p)$
<i>Macdonald</i>	1998	$\frac{z_0}{H} = \left(1 - \frac{d}{H}\right) \exp\left(-\left(0.5\beta \frac{C_D}{\kappa^2} \left(1 - \frac{d}{H}\right) \lambda_f\right)^{-0.5}\right)$
<i>Grimmond et Oke</i>	1999	$\frac{z_0}{H} = 0.1$
<i>Hanna and Britter</i>	2002	$\frac{z_0}{H} = \lambda_f$
<i>Byung-Gu Kim et al</i>	2011	$\frac{z_0}{H} = 0.164 \lambda_f$

- Densité planimétrique
- Hauteur moyenne des obstacles
- Façade frontale
- Coefficient de la traînée

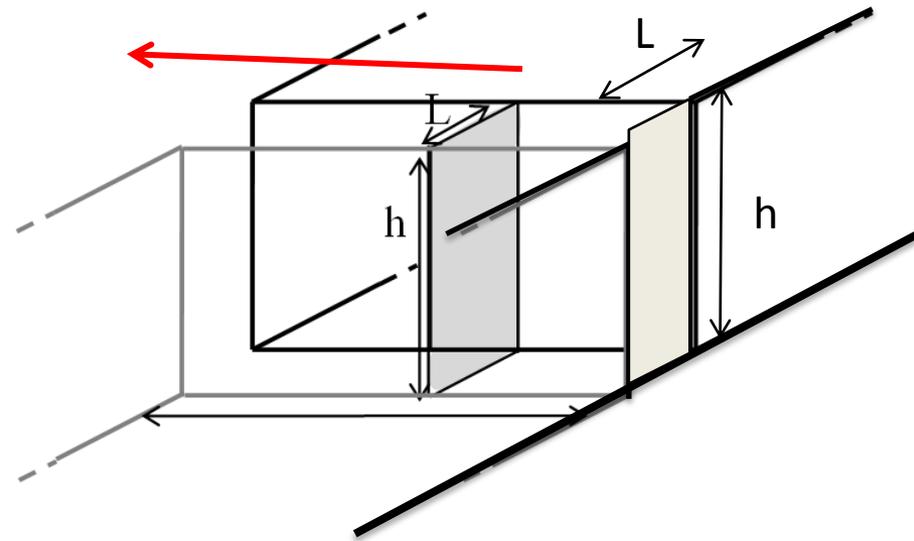
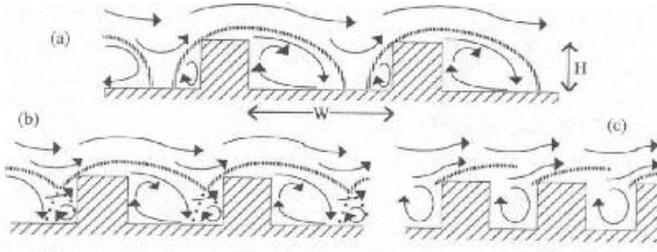
**Tracé urbain organique, sinueux?**

## vent

Paramètre géométrique qui transmet une information sur le type du tracé urbain à l'échelle **de la ville ou du quartier**.

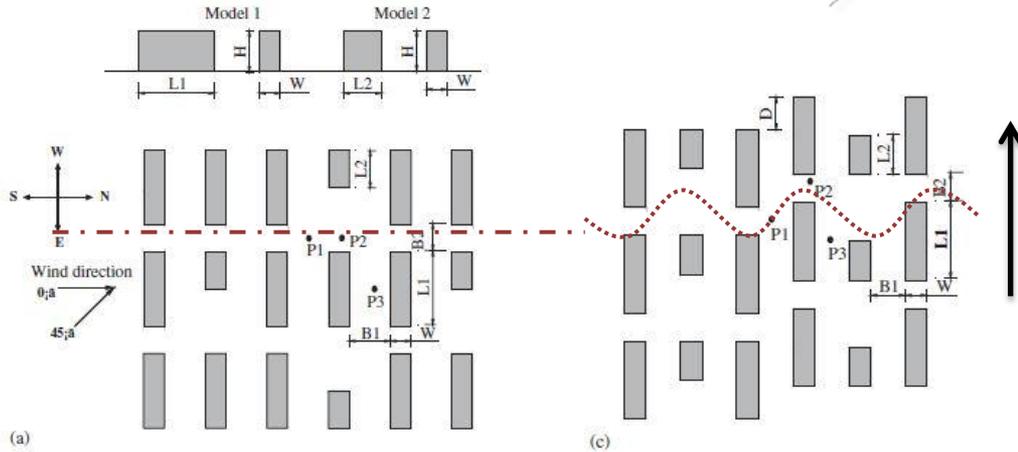


Paramètre géométrique qui transmet une information sur le type du tracé urbain à l'échelle **de la rue**.



● Oke, 1988

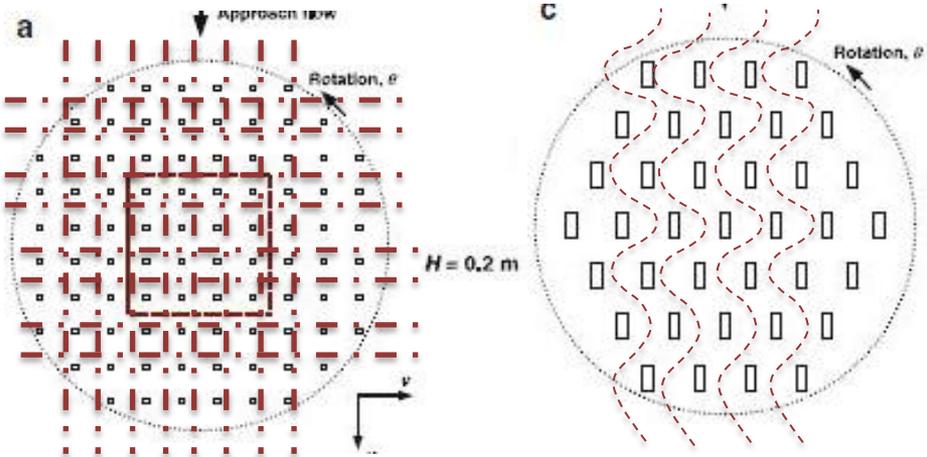
# Problématique



● Zhang, A., Cuilan, G. et Zhan, L. Numerical simulation of the wind field around different building arrangements.

Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics 93 (2005)

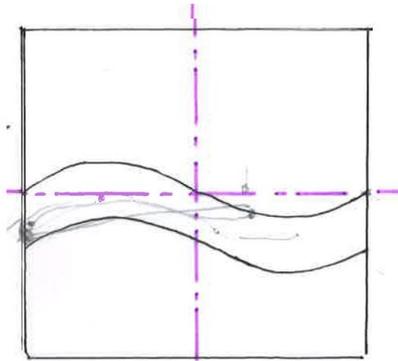
## Présence implicite de la sinuosité



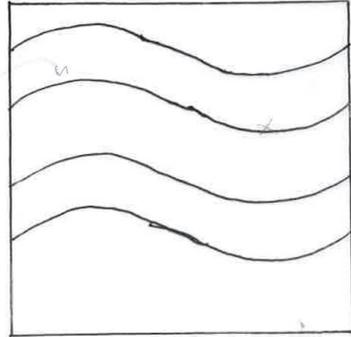
● Kim, B-G., Changhoon, L., Seokjun, J., Ki-Cheol, R., Kim, S., Donghyun You et Shim, W-S. Estimation of Roughness Parameters Within Sparse Urban-Like Obstacle Arrays.

Springer Science+Business Media B.V. (2011)

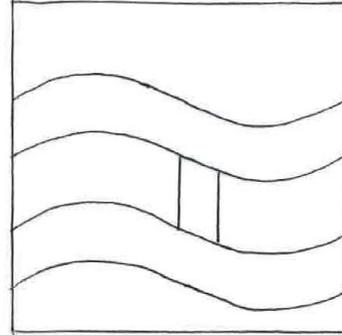
## Réflexion sur l'enchaînement des cas d'étude



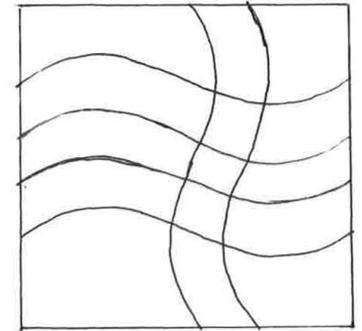
01



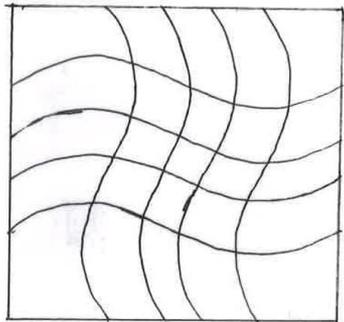
02



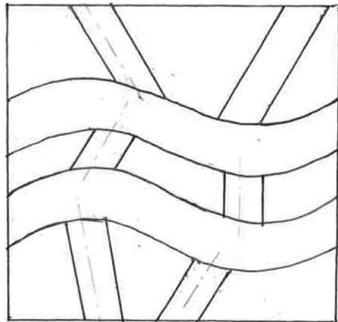
03



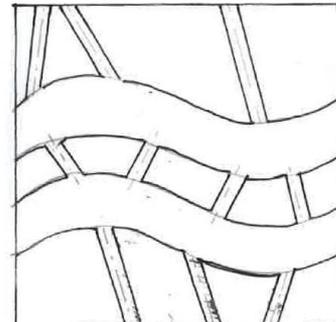
04



05



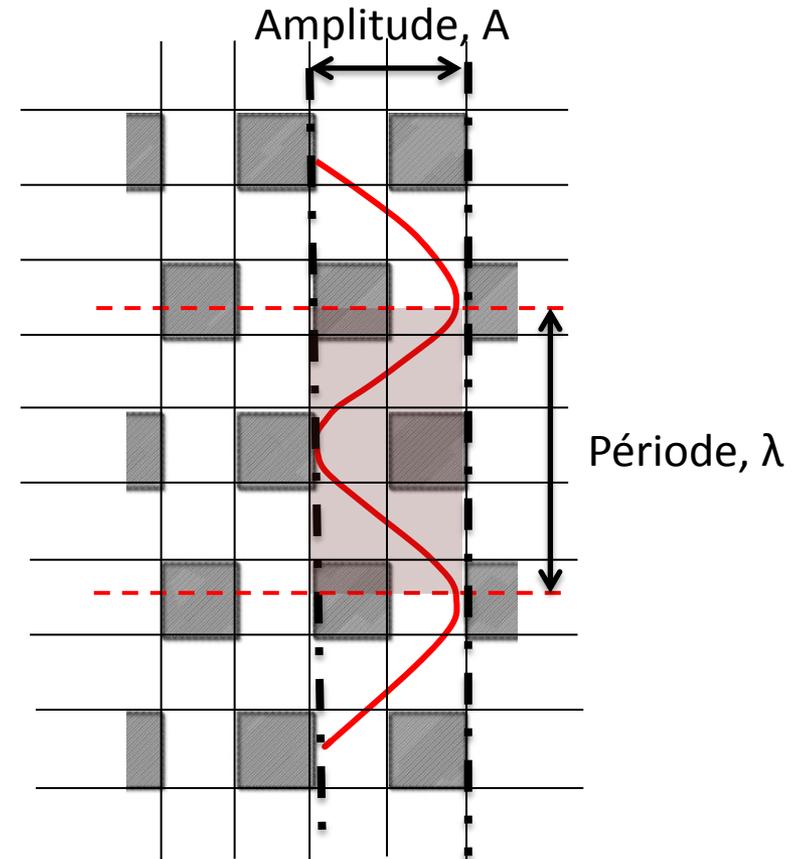
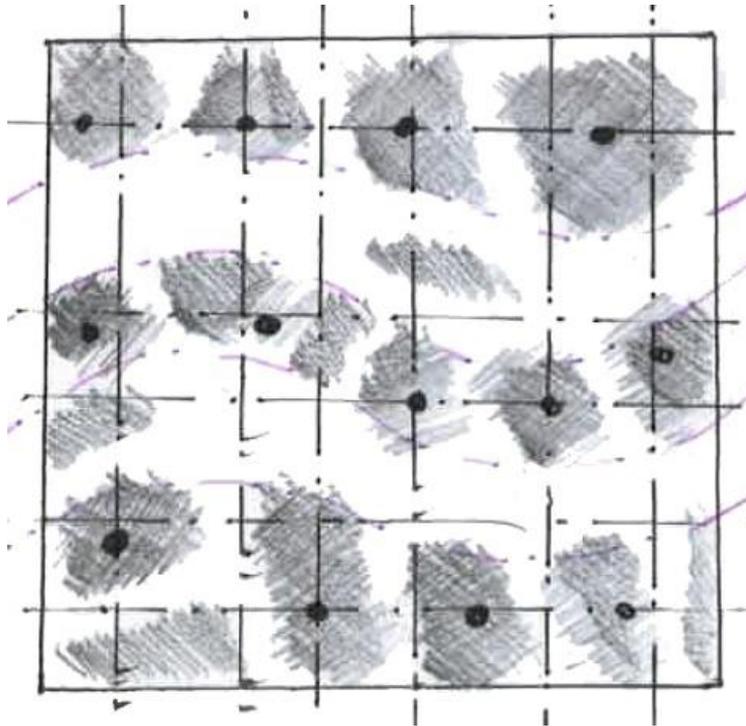
06



07



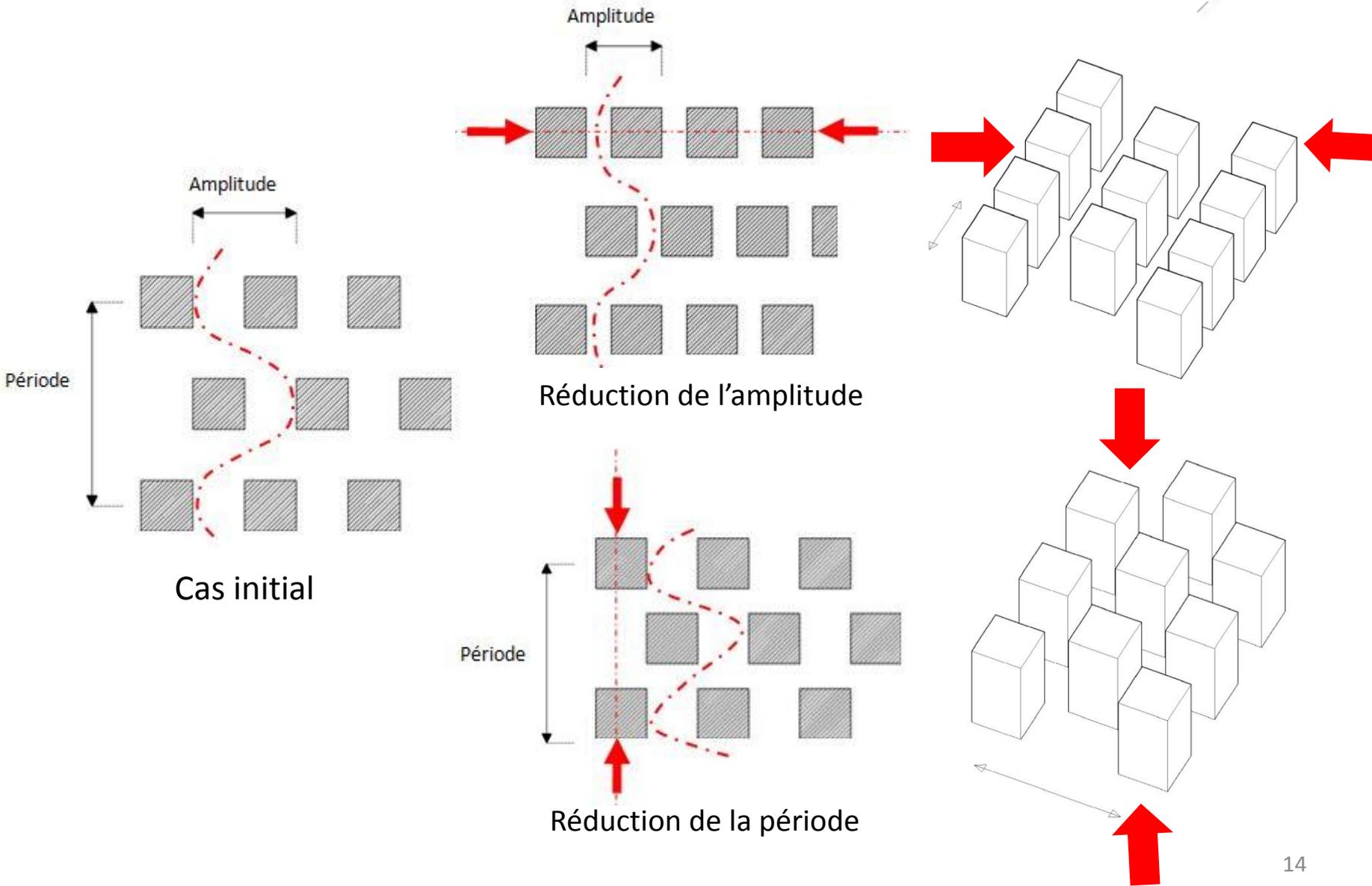
08

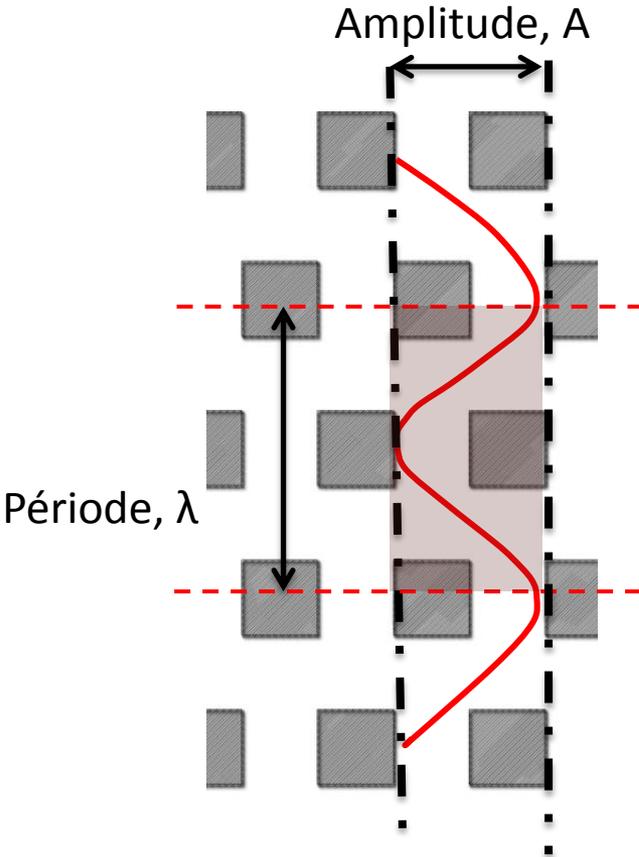


1. **Un damier** : plan urbain.
2. **des obstacles uniformes**
3. **une disposition alternée** des obstacles

**Sinuosité intrinsèque**

# Méthodologie du travail





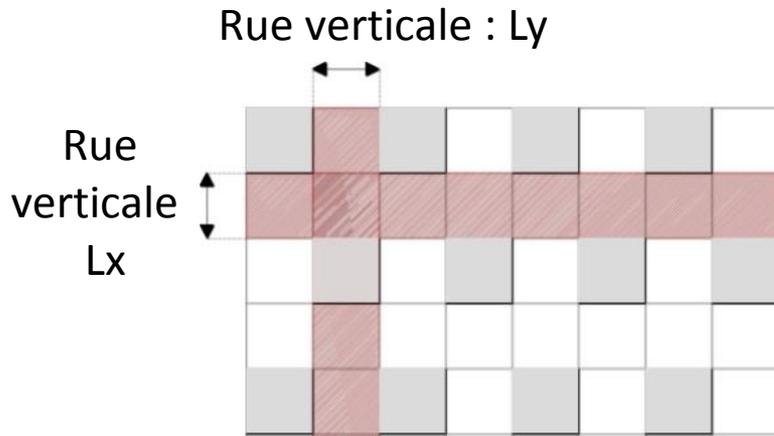
## Coefficient de sinuosité Si

$$Si = \frac{L}{l} \cong 2\pi \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 + \left(\frac{A}{\lambda}\right)^2} \left(1 - \frac{1}{4} \left(\frac{\left(\frac{A}{\lambda}\right)^2}{\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 + \left(\frac{A}{\lambda}\right)^2}\right)\right)$$

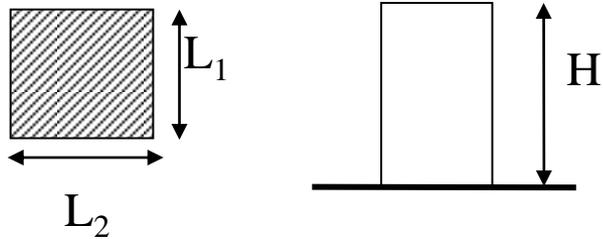
**Si et  $A/\lambda$  sont proportionnels.**

**Indice de forme**

$$\frac{A}{\lambda}$$



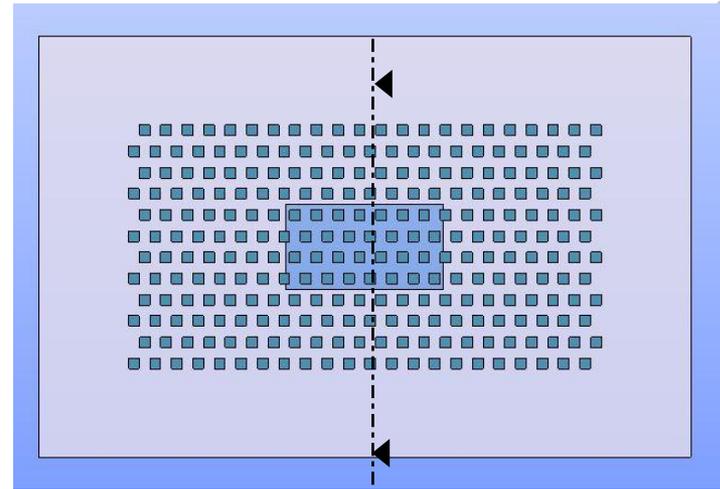
12 rangées sur l'axe vertical  
44 rangées sur l'axe horizontal



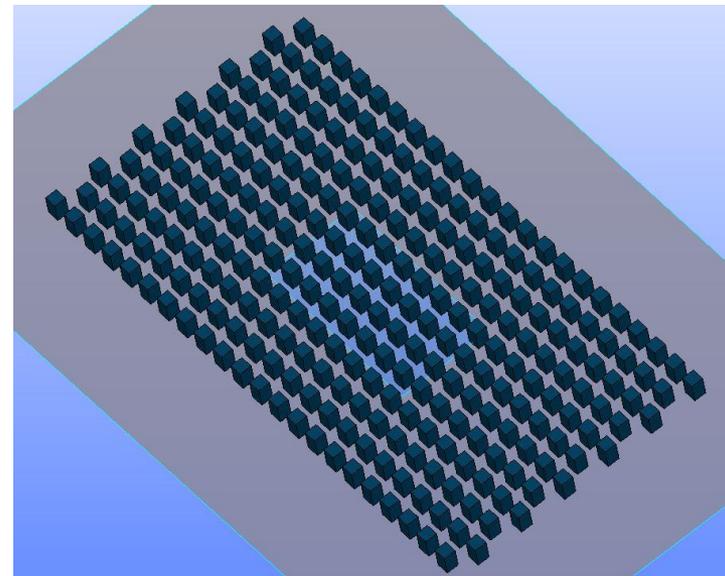
$H = 24 \text{ m}$

$Ly = Lx = L_1 = L_2 = 12 \text{ m}$

$H/Ly = 2$  : ratio d'aspect



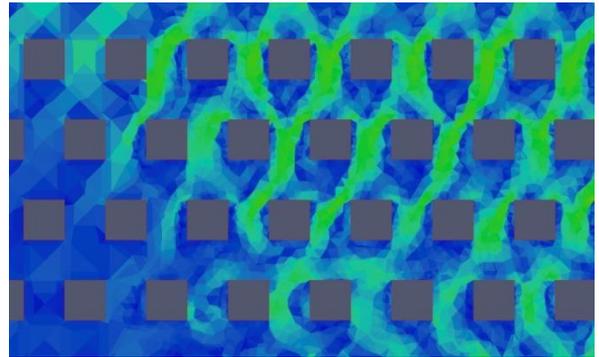
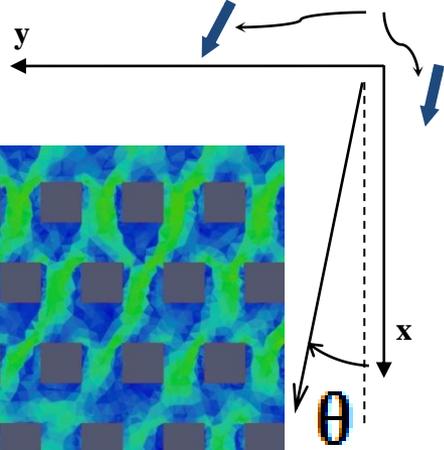
Présentation en 2D



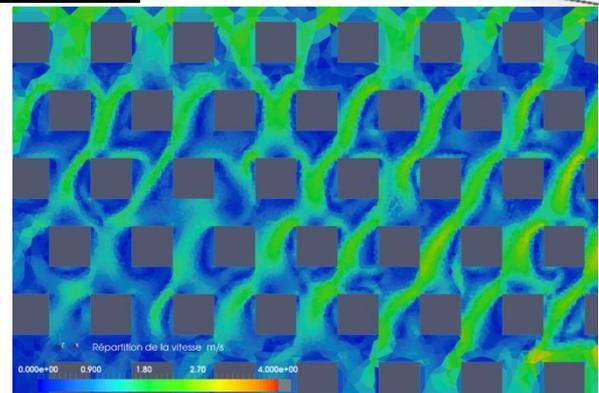
Présentation volumétrique

# Résultats et discussions

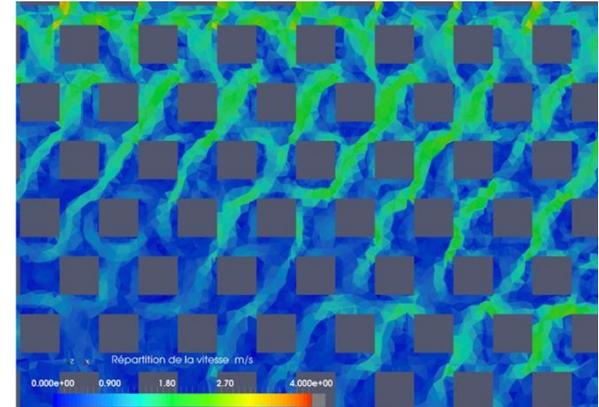
Variation de la longueur d'onde à une amplitude constante, ( $\theta = 45^\circ$ ) :



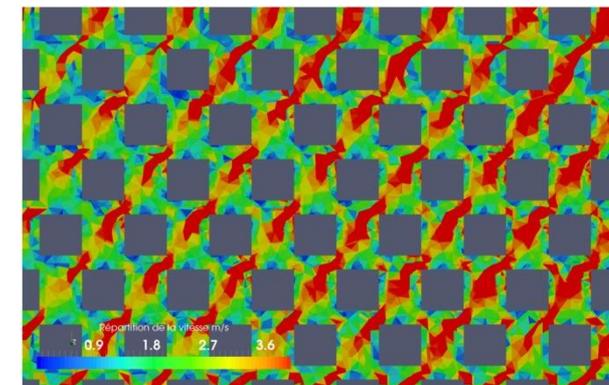
Cas 00



Cas 01



Cas 02

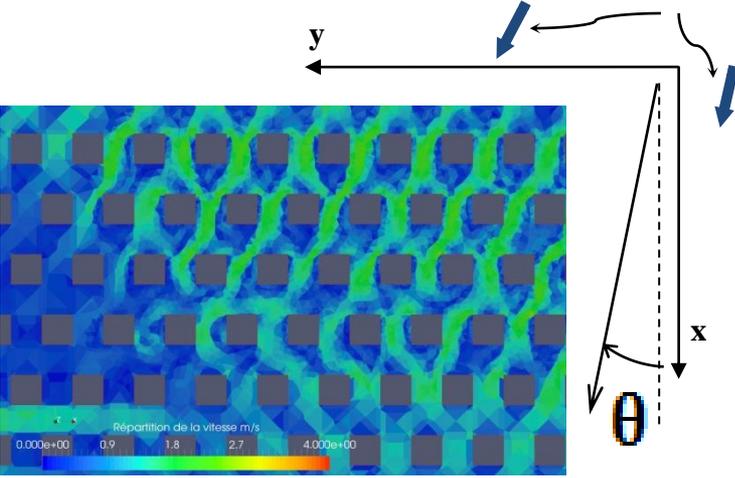


Cas 03

Cas théorique	00	01	02	03
$\lambda = (2 * l_x) + (2 * W)$	48	40	36	33.6
A	12	12	12	12
H/W	2	3	4	5
A/λ	0.25	0.3	0.33	0.35
S <sub>i</sub>	1.52	1.713	2	2.57

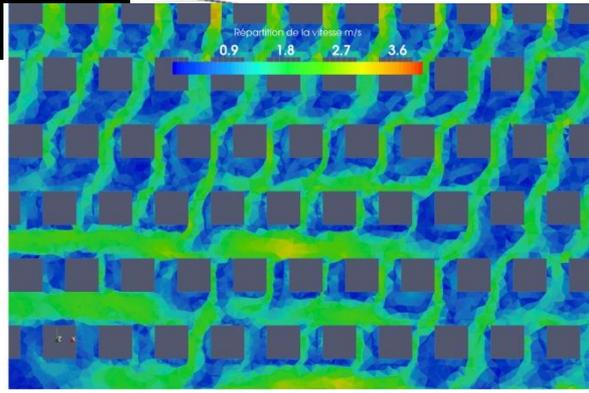
# Résultats et discussions

Variation de l'amplitude ,  
pour une période  $\lambda$   
constante ( $\theta = 45^\circ$ ):

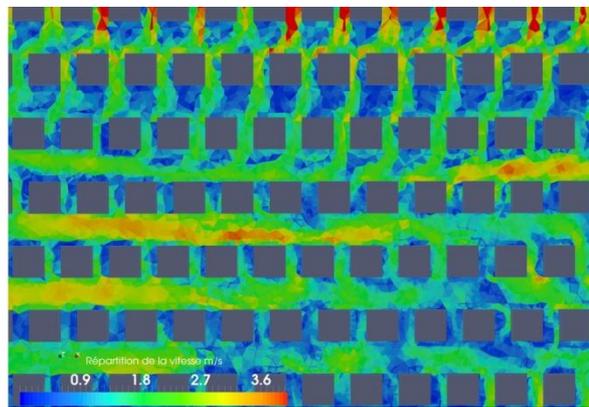


Cas 00

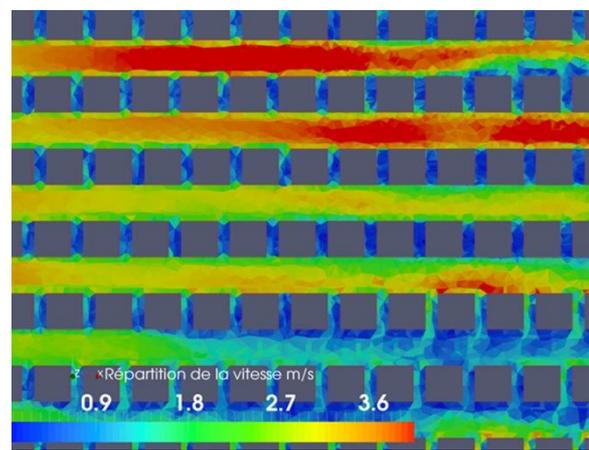
Cas théorique	00	04	05	06
A (m)	12	8	6	4.8
(m)	48	48	48	48
H/W	2	3	4	5
A/λ	0.25	0.166	0.125	0.1
S <sub>i</sub>	1.52	1.25	1.14	1.09



Cas 04

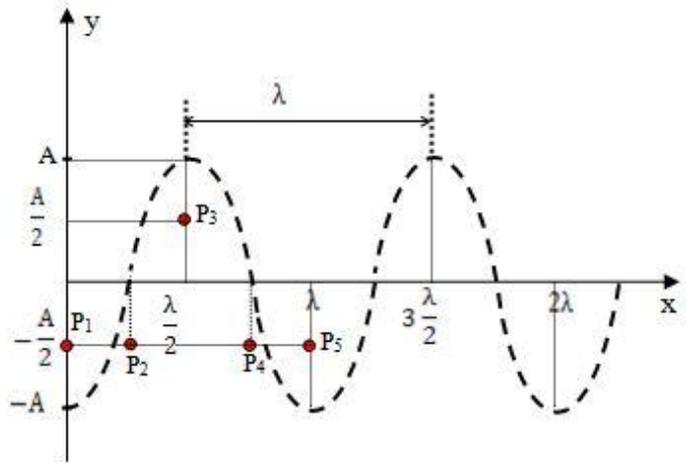


Cas 05



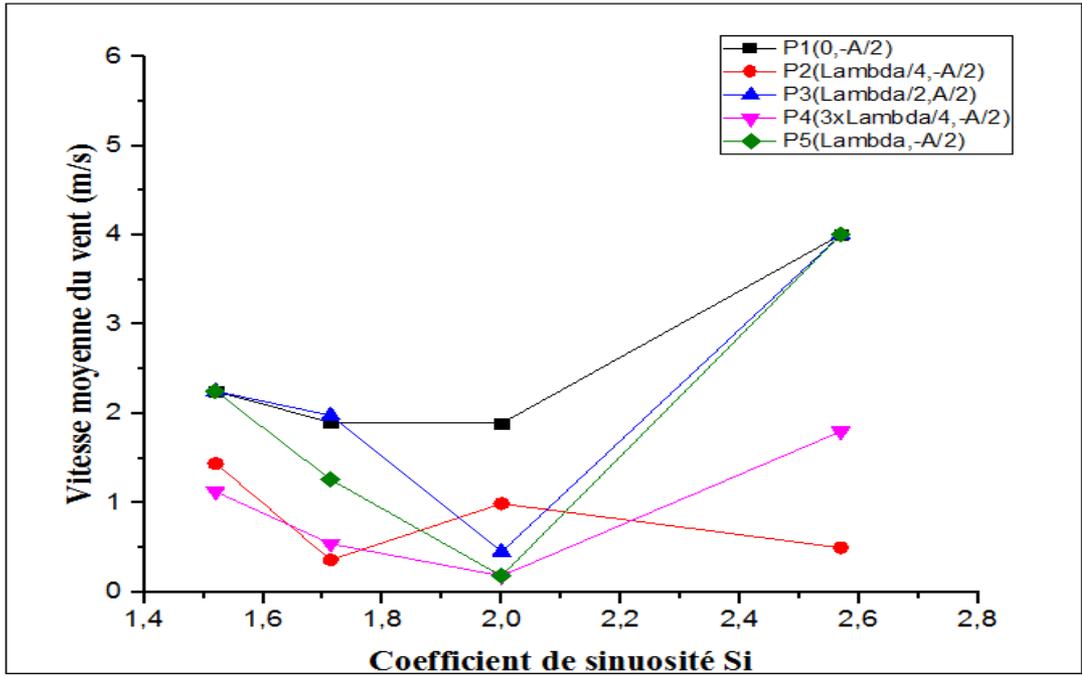
Cas 06

# Résultats et discussions

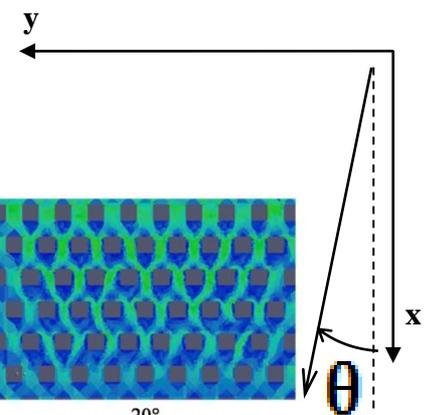


Disposition des points de mesure de la vitesse moyenne simulée

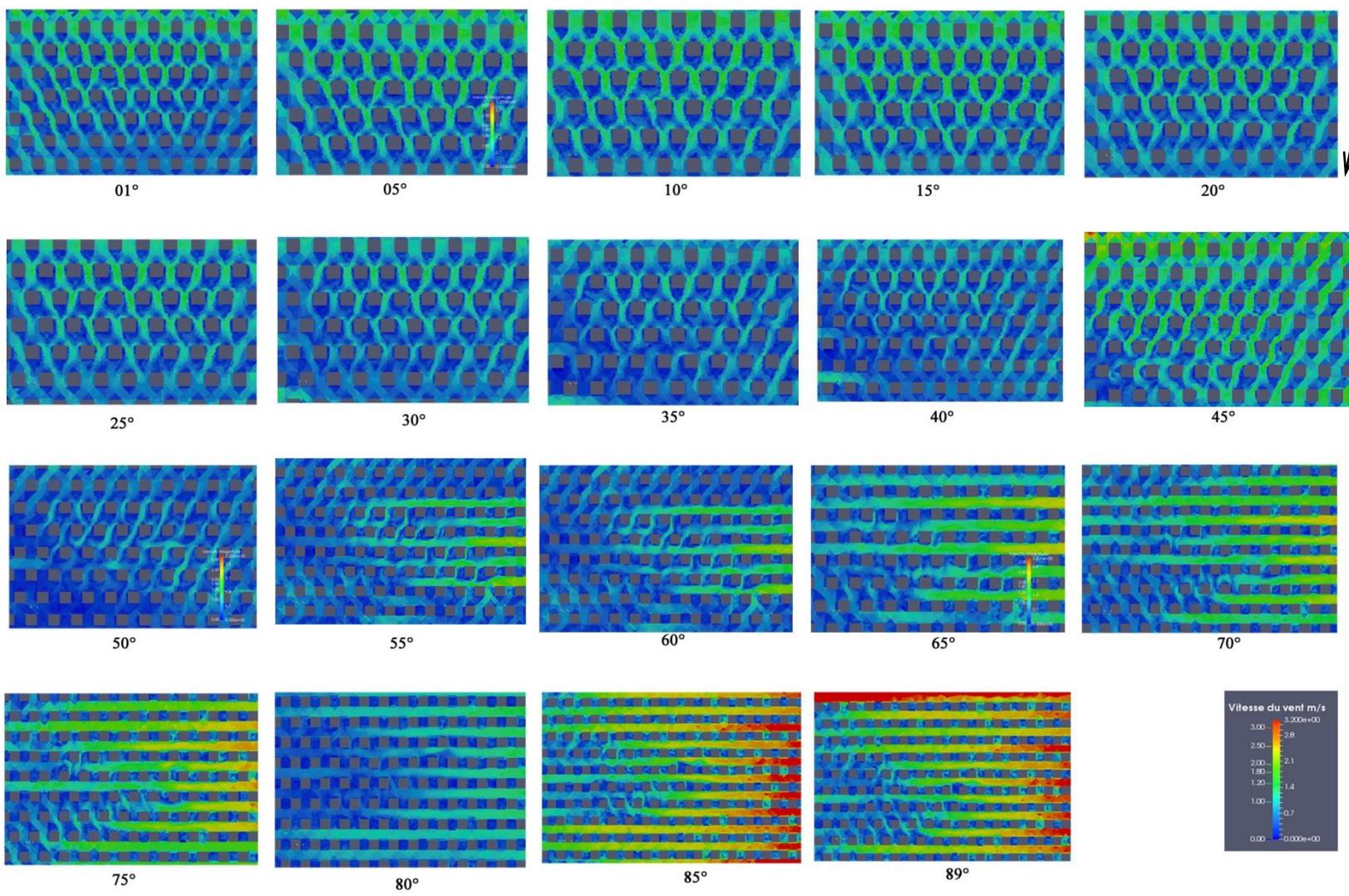
Variation de la vitesse moyenne du vent en fonction du coefficient de sinuosité



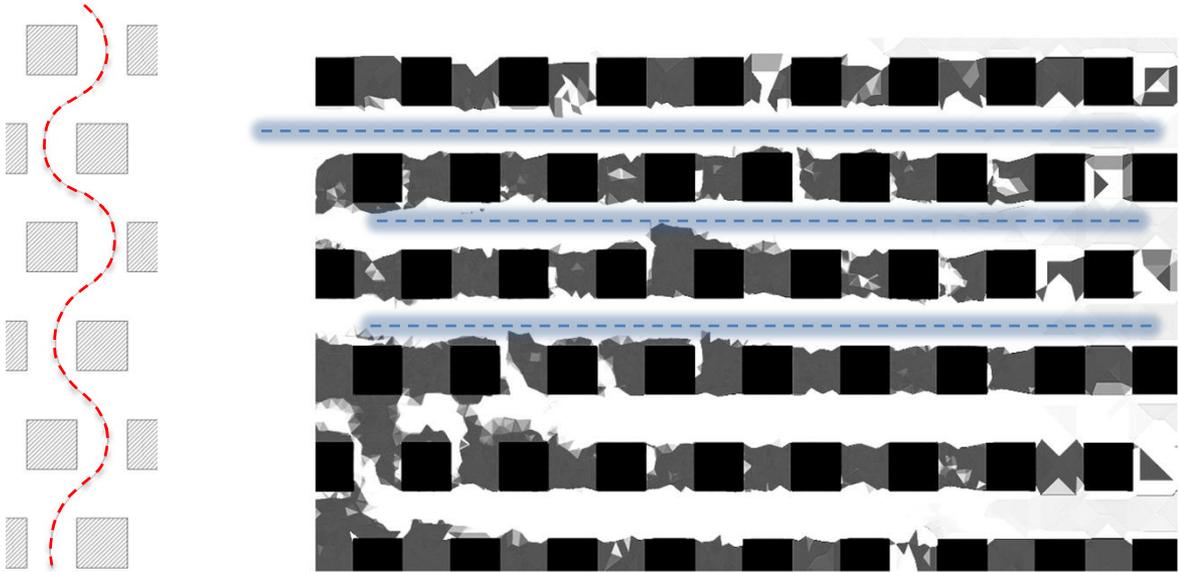
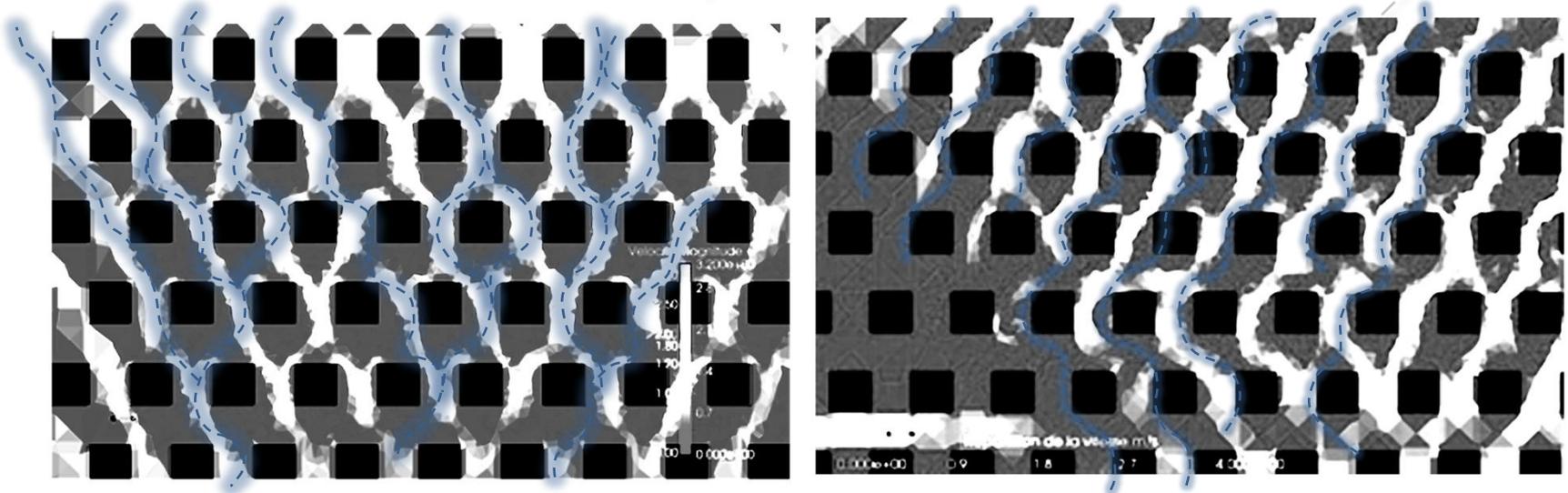
# Résultats et discussions



Variation de la direction du vent de  $1^\circ$  à  $89^\circ$



# Résultats et discussions

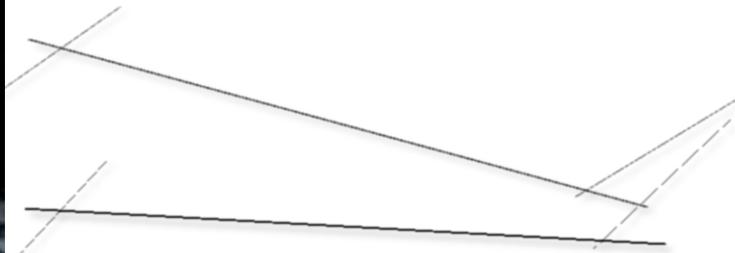


**Sinusosité directionnelle**



la relation entre l'impact de la forme sinusoïdale en termes d'augmentation ou atténuation de vitesse du vent, sur :

- la conception des espaces extérieurs
- l'influence du mouvement du vent de trajet sur la consommation énergétique des bâtiments



Merci de votre  
attention