

Essai CFD avril 2013

FLUENT 12.0

Donnée d'entrer : $V = V_0 * (z/z_0)^\alpha$ Équation 01

Dont : V est la vitesse du vent d'entrer à l'hauteur de z, présume que la vitesse annuelle moyenne $V_0 = 3 \text{ m/s}$ à l'hauteur $z_0 = 10 \text{ m}$, et la longueur de rugosité de cette ville $\alpha = 0.4 \text{ m}$ (grande ville avec des tours)

Modèle de turbulence : $k - \epsilon$ réalisé

Champ du vent : une demi-sphère dont rayon $r = 300\text{-}350 \text{ m}$ (Figure 01, 02)

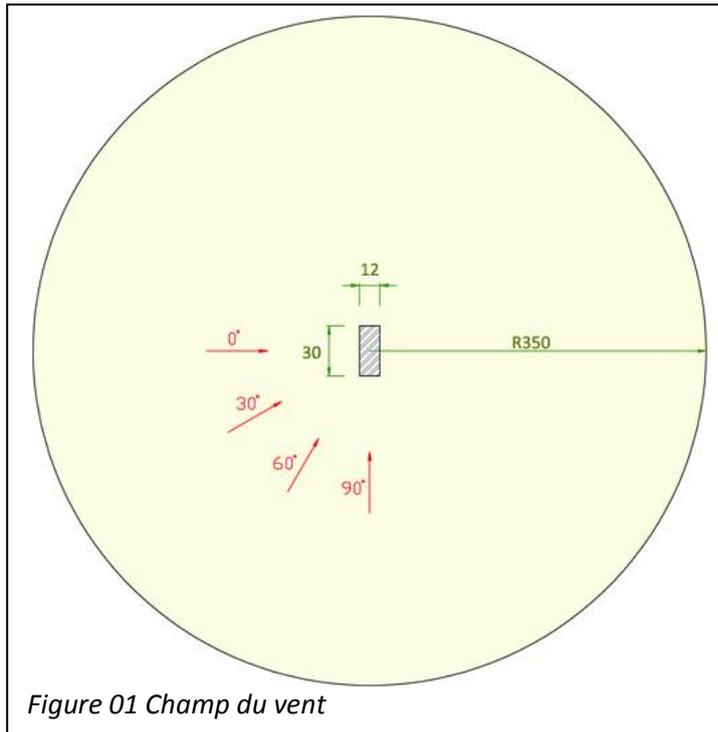


Figure 01 Champ du vent

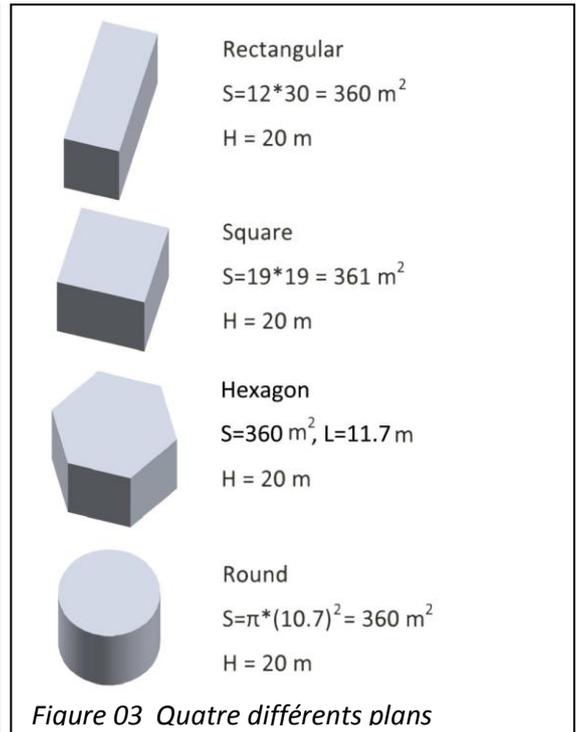


Figure 03 Quatre différents plans

1. Comparaison entre les différents plans

Voir Figure 02, trois modèles avec différents plans (avec même superficie et même hauteur) sont testés.

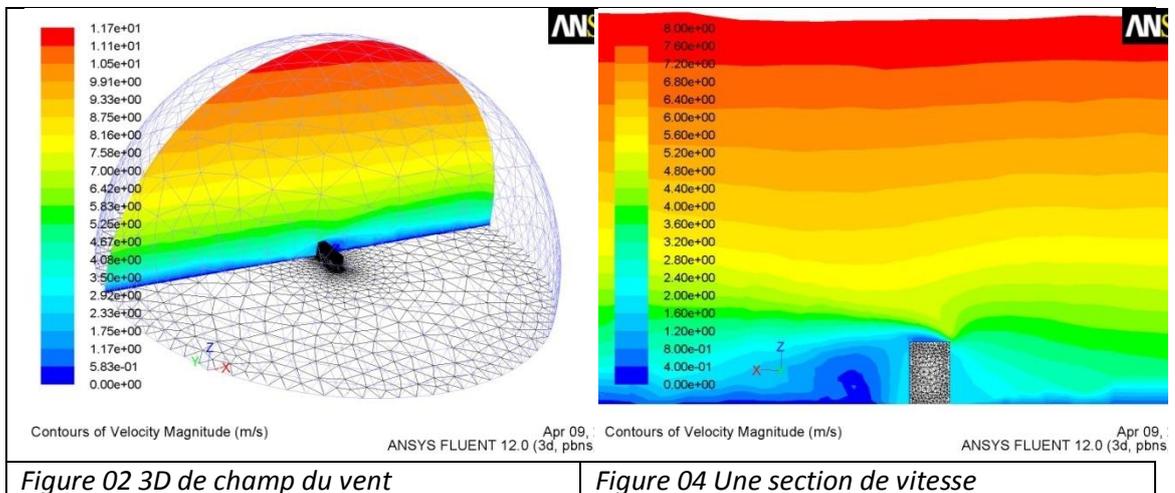


Figure 02 3D de champ du vent

Figure 04 Une section de vitesse

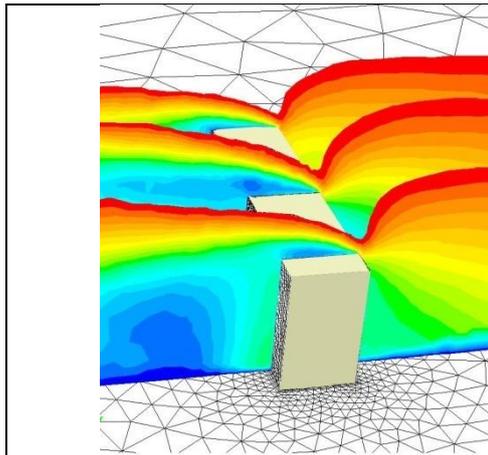


Figure 05 Plusieurs coupes pour une valeur moyenne

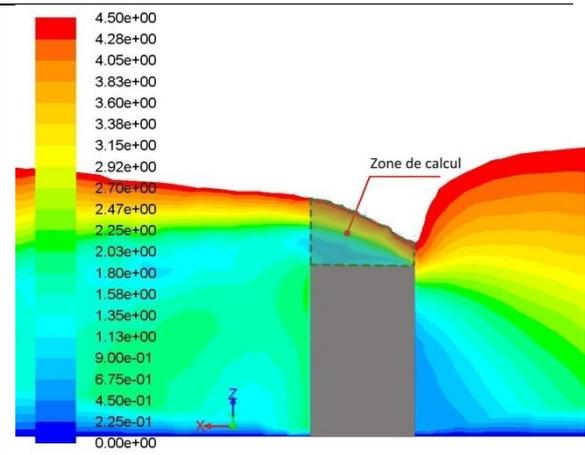


Figure 06 Zone de surface pour la calcul

Pour mesurer le potentiel d'énergie éolienne, tout à bords on considère celui sur toit. Ayant vu la vitesse du vent augmente avec l'hauteur (Figure 04), l'hauteur moyenne H_t pour obtenir une telle vitesse V_t est considérée comme un indicateur de facilité de capture d'énergie éolienne sur toit. Ici on présume que $V_t = 4.5 \text{ m/s}$ et les superficies de zone moins de V_t dans chaque coupe sont calculées pour arriver une valeur moyenne (Figure 05, 06). (On calcule la superficie dans autoCAD avec la sortie des images de FLUENT.)

Tableau 1-1 Calculs de zone moins 4.5 m/s sur toit 01

		X=-5,1	X=-3,4	X=-1,7	X=0	X=1,7	X=3,4	X=5,1	A.V	Vol.	Som.	Ho
Rect.	0°	67,7	101,1	129,9	153,3	175,6	193,5	209,4	147,21	1767	8504	3,94
	30°	62,8	90,8	110,8	127,4	137,2	145,0	147,8	117,40	1409		
	60°	63,6	76,8	85,8	91,0	91,2	88,9	82,4	82,81	994		
	90°	144,6	160,3	168,1	173,4	170,6	160,7	149,6	161,04	1933		
Carré		X=-8,1	X=-5,4	X=-2,7	X=0	X=2,7	X=5,4	X=8,1			8495	3,93
	0°	39,4	65,4	83,7	99,7	109,6	119,1	125,9	91,83	1745		
	30°	37,8	57,8	68,7	73,7	73,8	74,9	74,3	65,86	1251		

Tableau 1-2 Calculs de zone moins 4.5 m/s sur toit 02¹

Hexaèdre		X=-9,33	X=-7,4	X=-5,55	X=-3,7	X=-1,85	X=0	X=1,85	X=3,7	X=5,55	X=7,4	X=9,33	A.V	Vol	Som.	Ho
0°	0°	19,2	35,2	46,9	60,1	73,6	87,2	89,1	86,9	80,5	72,8	62,8	64,94	1324	8104	3,75
	30°	17,8	32,3	47,2	61,0	77,9	95,4	94,7	90,6	83,9	75,4	66,9	67,55	1377		
Rond		X=-10	X=-8	X=-6	X=-4	X=-2	X=0	X=2	X=4	X=6	X=8	X=10				
		10,0	27,7	45,5	61,2	77,6	89,2	94,6	96,7	93,1	77,3	43,2	65,10	1393	8359	3,87
		Y=-10	Y=-8	Y=-6	Y=-4	Y=-2	Y=0	Y=2	Y=4	Y=6	Y=8	Y=10				
		23,3	49,8	68,1	78,8	86,8	90,0	88,4	82,8	71,6	52,2	24,6	65,13	1394	8362	3,87

Note: A.V. est la superficie moyenne (m^2), $A.V. = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} S^k$;

Vol. est la volume d'espace (m^3), $Vol. = A.V. * L$ (longueur au long de l'axe de coupe) ;

Som. est la somme de Vol. (m^3) en 6 directions entre 180° (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°) ;

Ho est l'hauteur moyenne (m), $Ho = Vol. / S_{plan}$ (Superficie du plan).

D'après l'expérience on peut voir (Tableau 1-1, 1-2), entre ces quatre modèles (avec même superficie de plan, même hauteur, même entrée du vent):

- Relativement le cylindre hexaèdre a plus de potentiel sur toit à une hauteur donnée car sa somme de volume d'espace moins de 4.5 m/s est plus petite et l'hauteur moyenne d'obtenir

¹ Plus complexes et variées des surfaces de coupes, le cylindre et le prisme hexaèdre sont fait des tranches plus fines pour préciser les résultats.

4.5 m/s est 3.75 m, et puis le cylindre, alors que la barre rectangulaire et le cylindre carré ont près que même et le moins de potentiel, mais la différence n'est que 5% comparé avec ce du cylindre hexaèdre.

- Selon équation 01 on trouve que à l' hauteur de $z = 23.93$ m la vitesse normale $V = 3 * (23.93/10)^{0.4} = 4.25$ m/s, alors même pour les cylindre carré le vent sur toit est augmenté ($P = 4.5/4.25 - 1 = 6\%$).

En vue de rendement à l'impact de l'orientation du vent d'entrée :

- Pour la barre rectangulaire, la meilleur orientation est 60° (sa superficie moyenne est le plus petite: 73 m^2), le pire est de 0° et 90° , alors que 30° est un peu mieux (Tableau 1-3);
- Pour le cylindre carré, l'angle oblique est aussi mieux que perpendiculaire.

En outre, Tableau 1-2 montre que les résultats en tranche de l'axe X et de l'axe Y sont semblables, qui à certain niveau prouve la précision de calcul en méthode de tranche.

En effet, les différences entre les quatre essais d'une même barre sous les conditions identiques, sont assez importantes, qui seraient à cause de l'instabilité de modèle de turbulence, la précision de résidu. (?)

Tableau 1-3 Quatre essais d'une même barre (12m*30m*20m)

		X=-6	X=-3	X=0	X=3	X=6	A.V	Vol.	Som.	Ha		
Rect. 01	0°	102	121	169	201	214	161	1936,8	9528	4.41		
	30°	133	120	150	167	179	150	1797,6				
	60°	70	76	80	84	80	78	936				
	90°	171	179	184	179	172	177	2124				
Rect. 02	0°	85,4	96,4	133,5	163,3	182,7	133	1587,12	8087	3.74		
	30°	87,8	116,6	144,1	162,2	170,6	136	1635,12				
	60°	51,1	73	77,8	69,2	57,5	66	788,64				
	90°	118,1	145,6	153,4	148,9	122,4	138	1652,16				
Rect. 03	0°	88,2	129,9	174,9	207,3	234,4	167	2003,3	8885	4.11		
	30°	91,2	114,9	146,5	162,3	168,9	137	1641,1				
	60°	57,1	74	84,3	79,7	72,2	73	881,5				
	90°	136,8	158,3	165,3	161,7	143,1	153	1836,5				
		Y=-15	Y=-10	Y=-5	Y=0	Y=5	Y=10	Y=15	A.V	Vol.		
Rect. 04	0°	56,9	65,0	70,0	74,9	71,7	65,9	53,9	65	1964	9062	4.20
	30°	22,7	35,4	47,8	58,0	66,6	74,7	83,8	56	1667		
	60°	19,7	31,0	30,0	25,7	28,0	37,6	51,4	32	957		
	90°	20,2	43,9	59,2	71,6	77,7	78,9	79,9	62	1849		
		X=-6	X=-4	X=-2	X=0	X=2	X=4	X=6	A.V	Vol.		
Rect. 04	0°	53,7	90,4	124,8	153,3	179,4	199,0	218,6	145,60	1747	8047	3.73
	30°	48,5	82,2	108,9	127,7	140,0	147,6	151,5	115,20	1382		
	60°	35,2	61,5	76,0	81,7	81,3	77,0	67,8	68,64	824		
	90°	135,6	156,8	167,9	173,0	168,4	157,4	141,8	157,27	1887		
A											8721	4.04

2. Comparaison entre les différentes longueurs

Ici les barres avec différentes longueurs sont choisies pour évaluer l'impact de longueur.

Les résultats de Tableau 2-1 montrent que :

- pour une barre de Largeur*Longueur*H=12m* 15m*20m, la potentiel en unité de surface de l'énergie éolienne sur toit en générale diminue avec l'augmentation de longueur (l'hauteur moyenne d'obtenir 4.5 m/s augmente). Même s'il y aurait des erreurs existantes comme dans le tableau 1-3, les dégagements entre les barres des différentes longueurs sont assez grands pour éprouver la tendance. C'est-à-dire, pour un bâtiment de barre, la

croissance de longueur en revanche d'abaisser le rendement unitaire de surface sur toit (même si la totalité augmente). **(Les raisons ?)**

- En vue de vitesse maximale à l' hauteur de 20 m (niveau de toit), elle augmente en générale avec la croissance de la longueur de barre, grâce à l' effet d' accumulation. Si les résultats sont valides, l' anomalie entre les longueurs de 15 m et 30 m est intéressante et sera l' objet d' un prochain essai lié du rapport de taille de forme. (Figure 2-1)
- Concernant les deux points ci-dessus, on peut quand-même réserver l' espoir pour les barres de longueur importante, car la puissance d' éolien est très sensible de la vitesse du vent, et les vents de vitesse plus grande peut-être plus puissant que ceux de surface plus élevée. Donc, il faut que l' évaluation de rendement de potentiel éolien prenne la considération des rendements des vents de différents intervalles de vitesse comme la distribution de Weibull.

Tableau 2-1 Calculs de zone moins 4.5 m/s sur toit

L	X												A.V	Vol.	Som	Ha	Vm	V	
	0°	30°	60°	90°	-6	-3	0	3	6	9	12	15							
L=15m	0°				29,8	44,2	60,0	71,9	76,0					56,38	676,6	3551	3.29	4,76	4,62
	30°				31,4	41,5	51,3	53,6	52,7					46,10	553,2			4,57	
	60°				29,6	34,8	45,7	55,6	60,8					45,30	543,6			4,54	
	90°				53,7	59,1	62,0	58,3	50,7					56,76	681,1			4,73	
L=30m	0°				X=-6	X=-3	X=0	X=3	X=6					166,94	2003,3	8885	4.11	4,60	4,59
	30°				88,2	129,9	174,9	207,3	234,4					136,76	1641,1			4,53	
	60°				91,2	114,9	146,5	162,3	168,9					73,46	881,5			4,62	
	90°				57,1	74	84,3	79,7	72,2					153,04	1836,5			4,61	
L=50m	0°	Y=-25	Y=-20	Y=-15	Y=-10	Y=-5	Y=0	Y=5	Y=10	Y=15	Y=20	Y=25		55,2	2759	18442	5.12	5,09	4,73
	30°	43,6	53,4	57,4	59,0	63,3	62,2	61,0	57,8	55,9	51,2	42,2		58,7	2934			4,75	
	60°	16,3	32,8	44,6	54,9	62,2	67,9	66,9	69,7	73,2	74,1	83,0		52,0	2601			4,67	
	90°	23,5	27,7	26,7	24,6	33,0	41,8	51,6	62,7	78,4	95,5	106,8		92,2	4611			4,46	
L=65m	0°				X=-6	X=-3	X=0	X=3	X=6					366,5	4398	23754	5.08	4,81	4,82
	30°				197,6	273,9	378,0	467,2	516,0					328,9	3947			4,88	
	60°				180,4	263,4	348,9	411,4	440,6					238,2	2858			4,84	
	90°				187,0	227,6	264,7	260,3	251,5					478,7	5744			4,67	
L=80m	0°				X=-6	X=-3	X=0	X=3	X=6					455,8	5469	29742	5.16	4,83	4,88
	30°				244,4	340,6	475,2	583,0	635,7					403,8	4845			5,05	
	60°				217,8	312,3	427,5	511,2	550,1					326,7	3920			4,88	
	90°				288,2	336,6	374,1	337,4	297,0					561,8	6742			4,61	
L=100m	0°				X=-6	X=-3	X=0	X=3	X=6					587,4	7049	42962	5.97	4,94	4,92
	30°				306,0	451,2	610,0	746,4	823,4					551,5	6618			5,12	
	60°				315,4	449,5	587,4	673,5	731,9					571,6	6860			4,88	
	90°				529,5	540,6	597,4	602,2	588,7					746,3	8956			4,57	

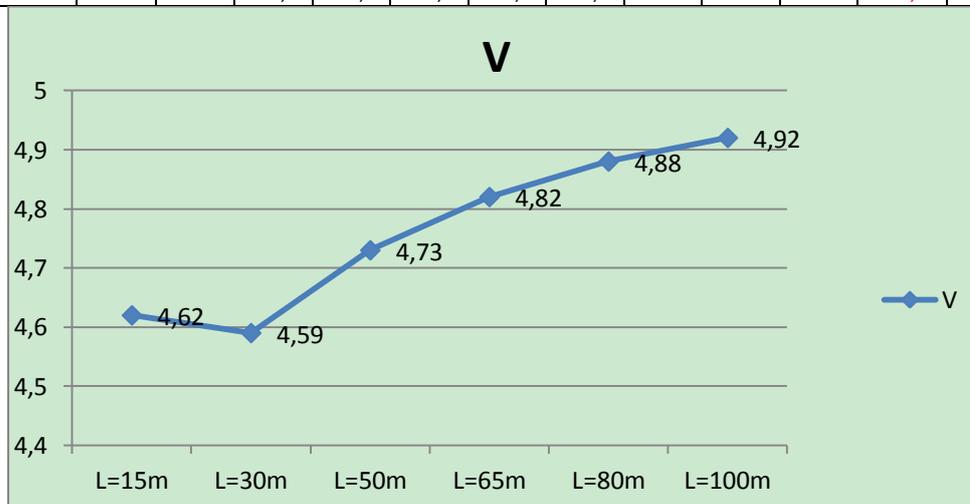


Figure 2-1 La vitesse maximale moyenne à 20 m avec les cas de différentes longueurs de barre

3. Comparaison de l'impact de différentes orientations du vent d'entrée

Tableau 3-1 L'impact de différentes orientation du vent d'entrée (barre 12m*30m*30m)

	X=-6	X=-4	X=-2	X=0	X=2	X=4	X=6.	A.V	Vol.
0°									1733
15°	64,3	96,2	128,5	155,0	173,0	190,4	203,2	144,37	1732
30°									1685
45°	113,6	92,0	108,8	119,3	123,4	121,8	116,1	113,57	1363
50°	73,3	85,8	106,8	119,5	127,4	128,6	125,8	109,60	1315
55°	70,5	74,3	88,8	94,3	94,7	88,1	81,7	84,63	1016
57,5°	50,2	62,9	79,6	85,4	85,6	81,9	74,8	74,34	892
58,125°	35,8	59,4	74,4	80,4	79,1	76,9	68,3	67,76	813
58,75°	35,1	59,1	73,6	80,0	77,7	74,4	66,1	66,57	799
59,375°	35,5	60,6	75,4	80,8	81,2	77,7	69,9	68,73	825
60°	35,2	61,5	76,0	81,7	81,3	77,0	67,8	68,64	824
61,25°	38,5	64,3	76,2	84,0	82,5	79,9	69,4	70,69	848
62,5°	44,8	66,5	79,3	84,2	85,0	81,1	73,1	73,43	881
65°	111,3	92,7	108,3	119,7	123,9	122,8	117,4	113,73	1365
70°	143,4	129,3	124,0	126,9	129,6	127,1	126,5	129,54	1555
75°	136,7	133,8	135,3	141,9	144,2	144,8	140,0	139,53	1674
90°									1865

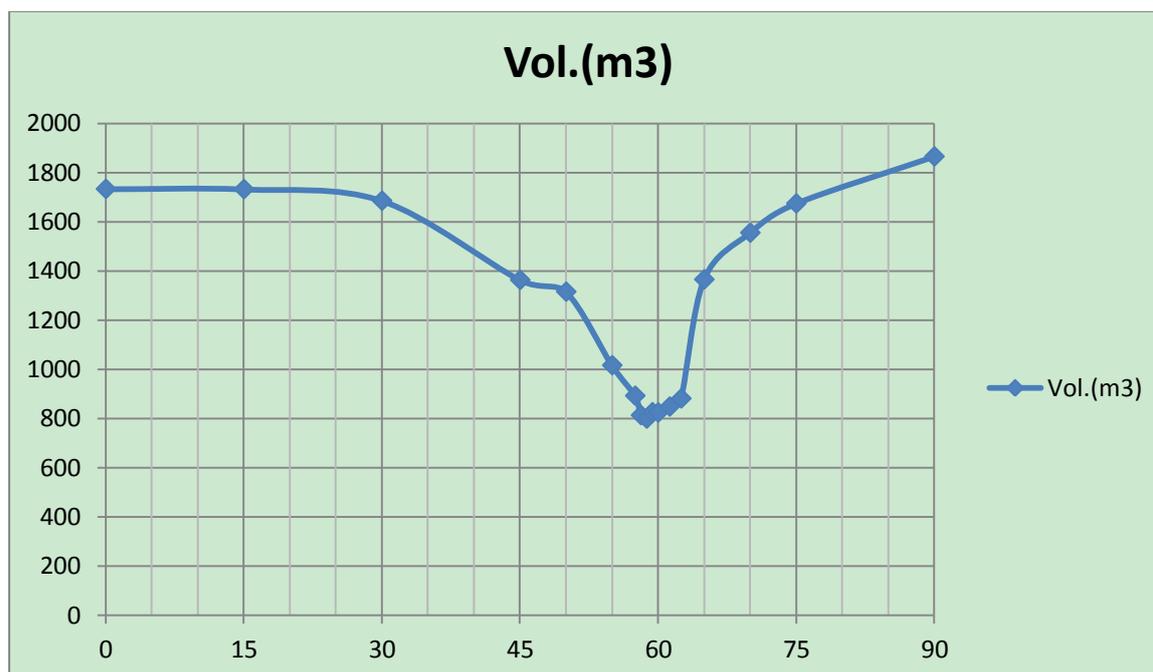


Figure 3-1 Courbe de valeur de zone négative² avec les orientations d'entrée du vent (barre 12m*30m*30m)

² Zone où la vitesse du vent est moins qu'une certaine valeur, ici c'est moins 4.5 m/s.

Tableau 3-2 L'impact de différentes orientation du vent d'entrée (barre 18m*30m*30m)

	X=-9	X=-6,75	X=-4,5	X=-2,25	X=0	X=2,25	X=4,5	X=6,75	X=9	A.V	Vol.
0°	39,6	83,8	121,5	148,0	173,3	192,0	212,5	225,1	238,0	159,31	2868
15°	45,1	88,8	123,5	151,4	172,2	189,6	200,3	209,5	218,1	155,39	2797
30°	49,8	91,5	120,4	141,1	153,6	162,7	165,9	166,5	161,2	134,74	2425
45°	112,7	99,2	112,7	122,8	128,0	125,6	116,8	107,9	99,0	113,86	2049
55°	77,7	80,3	95,6	101,7	102,7	101,6	99,3	97,3	94,9	94,57	1702
56,25°	68,3	78,8	91,2	98,2	98,8	99,3	99,0	98,5	97,9	92,22	1660
56,875°	64,5	76,6	90,1	97,1	97,7	98,3	99,8	98,9	100,5	91,50	1647
57,5°	62,3	76,7	91,9	94,5	97,5	97,9	97,5	101,8	102,8	91,43	1646
58,125°	59,6	75,6	89,7	93,1	97,5	99,1	100,6	104,6	106,6	91,82	1653
58,75°	58,6	74,6	88,3	94,3	96,4	99,2	102,5	107,8	110,8	92,50	1665
60°	56,9	73,3	86,7	93,8	97,0	101,2	105,1	112,4	117,0	93,71	1687
61,25°	58,2	74,5	88,6	92,9	98,3	104,9	110,7	117,3	123,9	96,59	1739
62,5°	63,1	77,0	88,8	96,1	99,1	108,8	115,7	125,7	133,8	100,90	1816
65°	75,6	85,3	96,7	103,0	109,6	122,8	131,4	139,8	147,3	112,39	2023
75°	123,4	132,0	131,3	157,7	174,5	185,5	185,2	186,8	178,2	161,62	2909
90°	157,4	179,7	196,0	203,4	202,7	197,3	182,3	167,2	146,9	181,43	3266

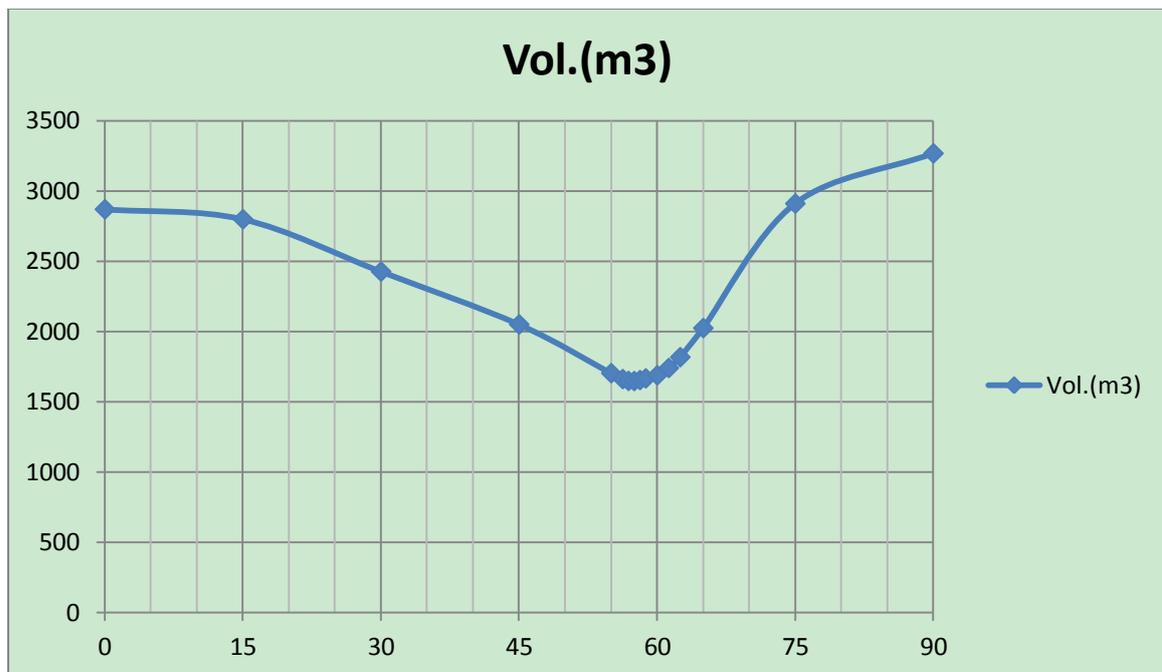


Figure 3-2 Courbe de valeur de zone négative³ avec les orientations d'entrée du vent (barre 18m*30m*30m)

Selon les Figures 3-1, 3-2, on voit que les courbes ont la même tendance d'évolution :

- Haute en deux côtés et basse en milieu,
- La valeur crête se trouve à 90 degrés et celle à 0 degré est un peu moins importante (8-14% moins),
- La vallée se monte à peu près de 60 degrés. En effet, pour la barre 12m*30m*30m, la fond de vallée se trouve à 58,75° ± 0.625°, alors que pour la barre 18m*30m*30m, c'est à 57,5° ± 0.625°.

³ Zone où la vitesse du vent est moins qu'une certaine valeur, ici c'est moins 4.5 m/s.

4. Comparaison de l'impact de différents largeurs

Ici on compare les barres avec différents largeurs. (12m*30m*30m, 18m*30m*30m, 24m*30m*30m, 30m*30m*30m)

Tableau 4-1 L'impact de différents largeurs

		X=-6	X=-4	X=-2	X=0	X=2	X=4	X=6	A.V	Vol.	Som	Ha
12m	0°										8721	4.04
	30°											
	60°											
	90°											
18m	0°								159,31	2868	14358	4.43
	30°								134,74	2425		
	60°								93,71	1687		
	90°								181,43	3266		
		y=-15	y=-10	Y=-5	Y=0	Y=5	Y=10	Y=15				
24m	0°	98,6	139,7	156,9	154,6	148,3	156,7	110,7	137,93	4138	19863	4.60
	30°	24,3	44,2	70,5	108,9	115,8	116,1	100,8	82,94	2488		
	60°	42,0	89,8	122,6	132,5	130,6	135,9	125,6	111,29	3339		
	90°	174,2	91,8	133,5	160,1	176,7	181,6	31,9	135,69	4071		
30m	0°	145,8	178,4	197,9	203,3	191,8	177,4	150,0	177,80	5334	25454	4.71
	30°	57,3	85,3	95,5	110,4	134,8	159,1	180,6	117,57	3527		
	60°	51,0	109,4	133,9	145,0	149,3	152,4	153,7	127,81	3834		
	90°	47,6	118,9	166,3	200,7	224,0	247,5	254,5	179,93	5398		

Selon le Tableau 4-1 on peut voir que l'hauteur moyenne pour obtenir 4.5 m/s augmente avec rajoute de largeur, c'est-à-dire, l'efficacité de capter l'énergie éolienne sur toit de barre avec minimum largeur est la meilleure.

5. Comparaison de l'impact de différents hauteurs

Ici on compare les barres avec différentes hauteurs: 12m*30m*30m, 12m*30m*35m, 12m*30m*50m. A cause de l'influence de l'augmentation naturelle du vent avec accroissement de l'hauteur, la vitesse standard pour évaluer l'impact de différentes hauteurs de bâtiments doivent réglée par leurs propres niveaux. Pour la barre 12m*30m*30m, la vitesse standard est 4.5 m/s, qui est la vitesse normale à l'hauteur $z=27.56 \text{ m}^4$ sans bâtiment. Donc, on peut noter la vitesse standard comme celle à l'hauteur de 7.56 m sur toit, c'est-à-dire, pour la barre 12m*30m*35m, $V_s = 3 * (42.56/10)^{0.4} = 5.3545 \text{ m/s}$, pour celle de 50 m, $V_s = 3 * (57.56/10)^{0.4} = 6.0418 \text{ m/s}$. Selon les résultats de Tableau 5-1, l'efficacité de l'effet d'augmentation du vent sur toit est généralement diminue avec accroissement de l'hauteur.

Tableau 5-1 L'impact de différentes hauteurs

		X=-6	X=-4	X=-2	X=0	X=2	X=4	X=6	A.V	Vol.	Som.	Ha
20m (V<4,5 m/s)	0°	53,7	90,4	124,8	153,3	179,4	199,0	218,6	145,60	1747	8047	3,73
	30°	48,5	82,2	108,9	127,7	140,0	147,6	151,5	115,20	1382		
	60°	35,2	61,5	76,0	81,7	81,3	77,0	67,8	68,64	824		
	90°	135,6	156,8	167,9	173,0	168,4	157,4	141,8	157,27	1887		
35m (V<5,3545 m/s)	0°	350,9	145,6	175,6	206,8	234,0	255,5	274,6	234,71	2817	11208	5,19
	30°	101,3	98,3	126,3	148,7	162,8	178,0	185,2	142,94	1715		
	60°	109,2	95,5	105,2	111,8	118,4	120,8	130,8	113,10	1357		
	90°	171,8	184,7	196,9	198,6	198,0	187,0	173,9	187,27	2247		
50m (V<6,0418 m/s)	0°	226,1	112,5	144,5	177,0	198,7	230,1	251,7	191,51	2298	11118	5,15
	30°	129,8	96,0	126,4	150,7	168,1	180,7	194,4	149,44	1793		
	60°	120,2	100,4	110,0	117,7	125,2	132,2	147,1	121,83	1462		
	90°	177,4	191,6	199,5	204,5	200,8	193,3	180,5	192,51	2310		

6. Analyser les erreurs

Ici on voir bien la inexactitude de calculer la valeur de volume de zone négative (Vol.), lorsque une valeur moyenne de simplement quelque coupes. Néanmoins, la méthode de choisir les coupes a aussi des problèmes : pour une même longueur (ou largeur) avec un certaine nombre des coupes, il faux mieux choisir les coupes au milieu de chaque partie au lieu des coupes de leurs bouts. Donc, on va comparer les différences entre les deux méthodes pour la valeur moyenne.

Tableau 6-1 L'analyse de différence entre deux méthodes de choix de coupe (pour la barre 24m*30m*30m)

		y=-15	y=-10	Y=-5	Y=0	Y=5	Y=10	Y=15	A.V	Vol.	Som	Ratio
A	0°	98,6	139,7	156,9	154,6	148,3	156,7	110,7	137,93	4138	19862	1
	30°	24,3	44,2	70,5	108,9	115,8	116,1	100,8	82,94	2488		
	60°	42,0	89,8	122,6	132,5	130,6	135,9	125,6	111,29	3339		
	90°	174,2	91,8	133,5	160,1	176,7	181,6	31,9	135,69	4071		
		y=-12,9	y=-8,6	Y=-4,3	Y=0	Y=4,3	Y=8,6	Y=12,9	A.V	Vol.		
B	0°	120,1	148,1	156,0	154,6	148,3	152,1	131,7	144,41	4332	20739	1.0441
	30°	31,9	50,1	72,2	108,9	114,7	118,8	102,3	85,56	2567		
	60°	65,5	101,7	125,0	132,5	128,9	136,4	124,1	116,30	3489		
	90°	56,7	112,0	138,2	160,1	176,4	181,4	177,5	143,19	4296		

Traverser la Tableau 6-1, on voit la valeur de méthode de A est un peu moins que celle de méthode B (4.41%) et pour tout les orientations les cas sont très ressemblés (les décalages de A et B sont entre 3-6%), qui seront les preuves pour la stabilité de ces deux méthodes. Les valeurs de méthode de B sont plus raisonnables et doivent rend un résultat plus précise. Pourtant, généralement, pour tout les

⁴ On peut la trouve par l'équation 01 : $3 * (z/10)^{0.4} = 4.5 \text{ m/s}$

comparaisons mentionnées ci-dessus avec les même décalages et niveau d'erreur, et leurs résultats seront juste et raisonnables.

En outre, comme le chapitre 2 (sur l'évaluation de longueur), on a des invalidités d'évaluer le rendement que par les espace qui a une vitesse plus d'une valeur nominée, mais les compositions de différents intervalles de vitesse ne sont pas clairs. En vu de rôle de vitesse du vent dans la puissance de vent:

$P = 0.5 * \rho * A * V^3$ Équation O2
 (dont : ρ est la masse volumique de l'air, A est la surface que le vent a balayé et V sa vitesse.), il vaut rajouter les analyses entre les différents vitesse à partir une certaine valeur (peut-être comme la vitesse d'entrée d'un éolien).

D'ailleurs, les erreurs de manipulation sont aussi évaluées. Ci-dessous est le diagramme de données de Tableau 3-2. Normalement les courbes seront lisses, n'import les tendances. Par exemple, pour le courbe de 45°, la valeur de tranche x=-9m, ou le point de X=-6.75m pour le courbe de 75°, sont comme des mutations, qui seront vérifiées après.

