

## **ANALYSE DES EFFETS DU VENT SUR LES CONSTRUCTIONS AU TOGO : DETERMINATION DES VITESSES ET PRESSION DYNAMIQUE DE BASE**

AMEY K. B.

Département de Génie Civil, Ecole Nationale des Ingénieurs,  
Université de Lomé, BP. 1515 Lomé (Togo)

(Reçu le 07 juin 2004 ; Accepté le 25 septembre 2004)

### **RESUME**

Au Togo, les concepteurs et réalisateurs utilisent par simulation des données de vent (vitesse et pression dynamique) définies dans les textes techniques étrangers ou définit globalement pour des régions d'Afrique, pour le dimensionnement des ouvrages. Ce qui ne permet pas une évaluation aussi correcte que possible des actions réelles du vent sur les constructions selon les conditions aérodynamiques locales. Cette étude a pour objectif d'évaluer les actions réelles du vent sur les constructions au Togo. Pour atteindre cet objectif, nous avons recueilli et analysé des données (vitesses) du vent de neuf (9) stations météorologiques qui couvrent en générale des périodes de 18 à 21 ans. A l'issu de cette étude, nous avons déterminé les vitesses et pressions dynamiques de base des différentes stations météorologique du Togo.

Mots clés : Vitesse du vent, pression dynamique du vent, Togo.

### **ABSTRACT**

In the Togolese civil engineering practice, the wind data (wind speed and dynamic pressure) are usually obtained from simulation using predefined data in foreign literature or fro predefined data for different African regions. This approach doesn't give an accurate evaluation of wind actions on buildings or any other civil engineering constructions with regard to local aerodynamic conditions. The goal of this study is to estimate actual wind actions on civil engineering structure in Togo. In order to achieve that goal, wind data (such as wind speed) have been collected from nine (9) Togolese meteorological stations and analyzed; these data covered periods from 18 t 21 years. The results of the study give the (basic) base wind speed and its dynamic pressure for the different Togolese regions represented by its meteorological stations.

Key words: Wind, wind speed, wind dynamic pressure, Togo.

## **INTRODUCTION**

**L**e vent est une masse d'air en mouvement. Ce mouvement trouve son origine dans les différences de température et de pressions atmosphériques en divers point du globe. Ce comportement fait du vent l'un des agents dynamiques de la nature qui provoque d'importantes forces lorsqu'il rencontre les ouvrages de génie civil. Il y a lieu de connaître et de maîtriser les actions défavorables des vents sur les constructions, actions aléatoires traduites en terme de pression dynamique du vent.

Dans certains pays africains, ces phénomènes n'étant pas maîtrisés, la prise en compte des

surcharges provoquées par le vent s'est toujours fait par simple transposition des données d'autres régions en l'occurrence française ou l'utilisation de données globalement établies pour certaines régions d'Afrique. Le vent étant une donnée climatique très aléatoire, la transposition de ses paramètres pour la conception d'un ouvrage dans une autre région ne peut se faire qu'avec beaucoup de précautions. C'est dire que les surcharges dues au vent ont un caractère régional non transposable.

Ainsi cette manière de procéder ne permet pas une évaluation aussi correcte que possible des actions réelles du vent sur les constructions selon les conditions aérodynamiques locales. La stabilité et l'aspect économique de l'ouvrage ainsi réalisé peuvent être compromis. Une des conséquences principales de cette

simulation est l'enlèvement des toits des bâtiments qui est devenu monnaie courante dans certaines régions septentrionales et des plateaux du Togo. Nous allons dans cette étude, nous intéresser aux paramètres du vent au Togo. Situé en Afrique occidentale, le Togo est limité au nord par le Burkina-Faso, au sud par l'Océan Atlantique, à l'Ouest par le Ghana et à l'Est par le Bénin. Dans cette présente étude nous recherchons les différentes vitesses et pressions dynamiques de base à utiliser pour le dimensionnement des

ouvrages au Togo.

**MATÉRIEL ET METHODE**

Pour notre étude nous avons recueilli à la Direction de la météorologie Nationale du Togo, les données des neuf (9) stations météorologiques principales. Elles sont situées dans les localités suivantes : Lomé, Tabligbo, Atakpamé, Kouma-Konda, Sokodé, Kara, Niamtougou, Mango et Dapaong. Leurs coordonnées géographiques et nombre d'années d'observations sont donnés par le tableau I.

Tableau I : Coordonnées géographiques et nombre d'années d'observations des stations météorologiques du Togo

Stations météorologiques principale	Latitude (Nord)	Longitude (Est)	Altitude (m)	Années d'observations	Périodes d'observation
Lomé-Aéroport	06°10'	01°15'	19,60	1978-1998	21
Tabligbo	06°35'	01°30'0	44,00	1978-1998	21
Atakpamé	07°35'	01°07'	399,66	1978-1998	21
Kouma-Konda	06°57'	00°35'	638,00	1989-1998	10
Sokodé	08°59'50''	01°09'10''	386,48	1978-1998	21
Kara	09°33'	01°10'	341,73	1978-1998	21
Niamtougou	09°46'	01°06'	461,73	1980-1998	19
Mango	10°22'	00°22'	144,70	1981-1998	18
Dapaong	10°52'	00°15'	329,01	1980-1998	19

Les vitesses horaires moyennes du vent sont mesurées à l'aide d'un anémomètre sur les neuf (9) stations météorologiques. La station de Lomé aéroport mesure également des vitesses instantanées.

vitesses du vent. Ce nombre d'observations a permis de déterminer la vitesse de base correspondante.

Les différentes vitesses de base ont servi à calculer les pressions de base du vent dans les neuf stations météorologiques du Togo.

Les vitesses horaires moyennes sont analysées en utilisant la norme canadienne (CNB) qui est une méthode basée sur l'analyse des maxima des vitesses horaires moyennes [1], [2]. Ainsi à partir des vitesses de référence du vent, nous avons identifié les vitesses maximales annuelles de chaque station météorologique. A partir de la loi de Gumbel qui est adaptée aux valeurs extrêmes, nous avons estimé les vitesses de base correspondantes.

**EQUATIONS DE BASE**

**Détermination de la vitesse de référence**

Les vitesses de référence des stations météorologique sont données par la formule suivante [1] [3]:

$$\frac{V_H}{V_{10}} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^{1/7} \tag{1}$$

Dans cette formule :

-  $V_H$  (m/s) désigne la vitesse du vent mesurée à l'anémomètre à la hauteur H au dessus du sol. Les

Quant aux vitesses instantanées, nous avons procédé à une analyse de leurs maxima enregistrées chaque jour, conformément aux Règles NV65. Ainsi sur la période d'observation considérée, nous avons décompté le nombre d'observations des

Analyse des effets du vent sur les constructions au Togo : détermination des vitesses et pression dynamique de base

valeurs de H sont données dans le tableau II.  
 -  $V_{10}$  (m/s) désigne les vitesses de référence mesurées à la hauteur de référence  $H_o$   
 -  $H_o$  (m) est la hauteur de référence au dessus du sol ( $H_o=10m$ )

$$V_{10} = \frac{V_H}{\left(\frac{H}{10}\right)^{1/7}} \quad (2)$$

La vitesse de référence  $V_{10}$  est donc donnée par :

Tableau II : Valeurs des hauteurs H

Types de données	Stations météorologiques principales												
	Lomé - Aéroport	Tabligbo	Kouma - Konda	Atakpamé	Sokodé	Niamtougou	Kara	Mango	Dapaong				
Années d'observation	1978-1998	1978-1998	1989-1998	1978-1985	1986-1998	1978-1998	1980-1985	1986-1998	1978-1981	1982-1998	1981-1982	1983-1998	1980-1998
Valeur de H (m)	10,08	10	10,5	9,3	11,3	9,97	7,2	10,3	9,3	9,73	9	10	9

**Analyse des vitesses horaires moyennes par la loi de Gumbel**

Pour x élément de  $\mathfrak{R}$ ,  
 La fonction de densité de probabilité de Gumbel est donnée par [4]:

$$f(x) = \alpha e^{-y - e^{-y}} \quad (3)$$

Quant à la fonction de distribution associée, elle est donnée par l'expression suivante:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (4)$$

avec:

$$y = \alpha(x - \beta) \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1,2825}{\sigma} \quad (6)$$

$$\beta = \bar{x} - 0,450\sigma \quad (7)$$

$\bar{x}$  et  $\sigma$  sont respectivement la moyenne et l'écart type de l'échantillon. Leurs expressions sont :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (9)$$

$x_i$  est la *i*<sup>ème</sup> vitesse maximale annuelle du vent de la période d'observation n de chacune des 9 stations météorologiques.

L'expression du temps de récurrence est donné par :

$$T_r = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (10)$$

d'où l'expression de la fonction de distribution donnée par :

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (11)$$

Nous allons considérer dans notre étude, des temps de récurrence  $T_r$  de 10 à 100 ans à intervalle régulier de 10 ans.

La valeur de  $F(x)$  étant ainsi connue, celle de  $x$  (la vitesse du vent ayant une probabilité donnée d'être atteinte) peut être déterminée par l'expression (4).  
On obtient alors :

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \text{Ln}(-\text{Ln} F(x)) \quad (12)$$

A partir des formules (6), (7) et (12), la vitesse peut s'écrire:

$$V = x = \bar{x} - \sigma \left[ 0.450 + \frac{\text{Ln} \left[ -\text{Ln} \left[ 1 - \frac{1}{Tr} \right] \right]}{1,2825} \right] \quad (13)$$

La vitesse de rafale est donnée par la formule suivante [3]:

$$V_o = \sqrt{2} V \quad (14)$$

Avec:

- $V$  (en m/s) la vitesse du vent calculée au moyen de la loi de Gumbel (formule 13)
- $V_o$  (en m/s) la vitesse de rafale ou de base.

### Analyse statistique des vitesses instantanées du vent

Soient :

- $n_{ij}$ , le nombre d'observation de la  $i^{\text{ème}}$  vitesse du vent de la  $j^{\text{ème}}$  année d'observation
- $n_j$ , le nombre d'observation total de la  $j^{\text{ème}}$  année d'observation

Le nombre d'observation en millième appelé fréquence d'observation est donnée par :

$$f_{ij} = 1000 \frac{n_{ij}}{n_j} \quad (15)$$

Le nombre total d'observation  $n_i$  de la  $i^{\text{ème}}$  vitesse du vent sur toute la période d'observation considérée est donné par :

$$n_i = \sum_j n_{ij} \quad (16)$$

la fréquence  $f_i$  associée à  $n_i$  est donnée par :

$$f_i = 1000 \frac{n_i}{n} \quad (17)$$

avec  $n$  le nombre total d'observation de la période considérée (toutes les années) dans la station.

La vitesse normale de base (ou vitesse de rafale) est par définition celle qui n'est atteinte ou dépassée que 3 fois sur 1000 sur une période de 25 ans. C'est donc le vent de fréquence  $3^{\text{‰}}$  qui est recherchée [3].

### Pressions dynamiques issues de l'analyse des vitesses du vent.

La pression dynamique ( $q$ ) est donnée par application du théorème de Benouilli par la formule (18)

$$W = \rho \frac{V^2}{20} \quad (18)$$

avec :

- $W_o$  = pression dynamique de rafale (en daN/m<sup>2</sup>)
- $V_o$  = la vitesse de rafale (en m/s)
- $\rho$  = la masse volumique de l'air sec (en kg/m<sup>3</sup>)

En assimilant l'air au gaz parfait, sa masse volumique est donnée par l'expression :

$$\rho = \frac{P}{rT} \quad (19)$$

Dans cette expression :

- $P$  = pression atmosphérique normale dont la valeur est :

$$P = 101325 \text{ Pa} \quad (20)$$

- $r$  = constante massique de l'air considéré comme gaz parfait ; sa valeur est :

$$r = 287 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K} \quad (21)$$

- $T$  = température de l'air (en  $^\circ\text{K}$ ); son expression est :

$$T = 273 + t \quad (22)$$

$t$  est la température de l'air (en  $^\circ\text{C}$ ).

Une analyse des températures des neufs (9) stations météorologiques a permis d'avoir les températures moyennes qui ont servi à calculer les masses volumiques de l'air au niveau de chaque station (Tableau III).

Tableau III : Masse volumique de l'air sec ( $\text{kg/m}^3$ )

	Stations météorologiques principales								
	Lomé - Aéroport	Tabligbo	Kouma - Konda	Atakpamé	Sokodé	Niamtoug ou	Kara	Mango	Dapaong
Années d'observation	1961 -	1961 -	1961 -	1961 -	1961 -	1981 -	1981 -	1968 -	1981 -
Périodes d'observation	1998 38	1998 38	1998 38	1998 38	1998 38	1998 18	1998 18	1998 31	1998 18
Températures moyennes	27,5	28,0	24,2	26,1	26,4	26,6	27,3	28,4	28,1
Masse volumique de l'air	1,175	1,173	1,188	1,180	1,179	1,178	1,176	1,171	1,173

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le calcul des vitesses de rafale ( $V_o$ ) à partir des vitesses moyennes des 9 stations météorologiques a donné les résultats du tableau IV.

La figure 1 donne l'évolution des vitesses de références en fonction des stations météorologiques pour un temps de récurrence de 10 ans.

Il ressort de la courbe de la figure 2, que les vitesses du vent n'évoluent pas suivant une loi précise. Ceci confirme la thèse selon laquelle, le vent est un phénomène aléatoire dont les caractéristiques (vitesse et direction) sont fonction de plusieurs paramètres naturels tels que le relief, la végétation, le climat, etc.

Le tableau V donne le nombre d'observations des vitesses instantanées du vent en millième à la station Lomé- aéroport.

Soit  $V_o$  la vitesse de rafale dont la fréquence est aussi proche que possible de 3‰.

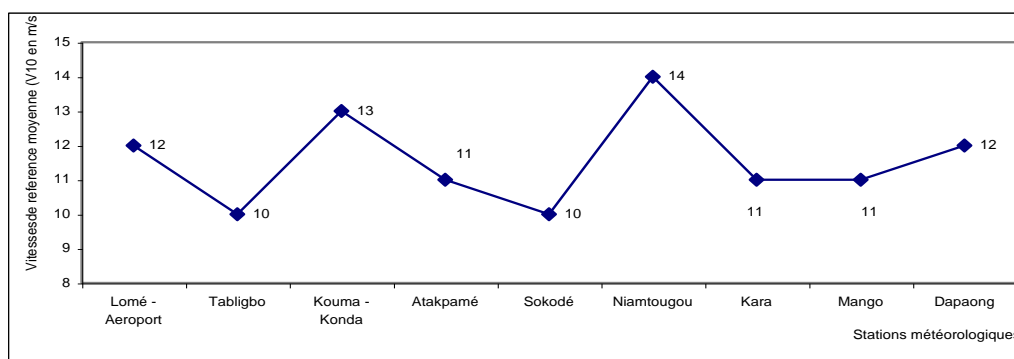
En se référant aux données du tableau V, la fréquence  $f_i$  la plus proche de 3‰ est 3,1‰. Ce qui correspond à une vitesse de rafale ou de base de :

$$V_n = 15,0\text{m/s} \quad (24)$$

Cette vitesse est nettement inférieure à la plus petite vitesse (24m/s) donnée par l'analyse faite à partir des vitesses moyennes (règles CNB) sur la station de Lomé aéroport (Figure 2).

Tout en reconnaissant qu'il s'agit de deux approches différentes nous pouvons donc retenir les vitesses obtenues à partir des vitesses moyennes du vent. Par conséquent nous adoptons pour les localités associées aux stations météorologiques principales du Togo les vitesses du tableau IV comme vitesses et pression de base pour l'évaluation des actions du vent sur les constructions au Togo.

Figure 1 : Evolution de la vitesse pour un temps de récurrence de 10 ans en fonction des 9 stations météorologiques.

Tableau IV : Vitesses ( $V_0$  en m/s) et pression ( $W_0$  en daN/m<sup>2</sup>) de base en fonction des temps de récurrences

Stations météorologiques		Lomé - Aeroport	Tabligbo	Kouma - Konda	Atakpamé	Sokodé	Niamtougou	Kara	Mango	Dapaong	
Vitesse de référence moyenne (m/s)		12	10	13	11	10	14	11	11	12	
Ecart type sur vitesse de référence		4	4	3	3	2	5	4	3	4	
Temps de récurrence	10	$V_0$	24,00	20,70	23,00	20,50	17,00	29,30	23,20	21,90	23,00
	10	$W_0$	33,84	25,13	31,42	24,80	17,04	50,58	31,64	28,09	31,01
	20	$V_0$	27,20	23,70	25,90	22,90	19,10	33,20	26,70	24,50	26,70
	20	$W_0$	43,46	32,94	39,84	30,95	21,51	64,94	41,91	35,16	41,79
	30	$V_0$	29,10	25,30	27,20	24,30	19,90	35,40	28,70	25,90	28,40
	30	$W_0$	49,74	37,54	43,94	34,85	23,35	73,84	48,42	39,29	47,29
	40	$V_0$	30,40	26,50	28,20	25,20	20,50	36,90	30,10	27,00	29,70
	40	$W_0$	54,29	41,18	47,23	37,48	24,78	80,23	53,26	42,70	51,71
	50	$V_0$	31,40	27,40	28,90	26,00	21,00	38,10	31,20	27,80	30,60
	50	$W_0$	57,92	44,03	49,61	39,90	26,00	85,53	57,22	45,26	54,90
	60	$V_0$	32,20	28,80	29,50	26,60	21,40	39,10	32,10	28,40	31,40
	60	$W_0$	60,91	48,64	51,69	41,76	27,00	90,08	60,57	47,24	57,80
	70	$V_0$	32,90	28,80	30,00	27,10	21,70	39,90	32,80	29,00	32,10
	70	$W_0$	63,58	48,64	53,46	43,34	27,76	93,80	63,24	49,26	60,41
	80	$V_0$	33,50	29,40	30,40	27,60	22,00	40,70	33,50	29,40	32,70
	80	$W_0$	65,92	50,69	54,89	44,96	28,54	97,60	65,97	50,62	62,69
	90	$V_0$	34,10	29,90	30,80	28,00	22,20	40,90	34,00	29,90	33,20
	90	$W_0$	68,31	52,43	56,35	46,27	29,06	98,56	67,95	52,36	64,62
	100	$V_0$	34,50	30,30	31,20	28,30	22,40	41,90	34,50	30,20	33,60
	100	$W_0$	69,92	53,84	57,82	47,27	29,58	103,40	69,97	53,42	66,19

Analyse des effets du vent sur les constructions au Togo : détermination des vitesses  
et pression dynamique de base

Tableau V : Le nombre d'observation (fréquence fij) des vitesses instantanées du vent en millièmetre à la station Lomé - aéroport

Vitesse en m/s	Années d'observation																	Total: fi
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	
0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,3
2	5	8	14	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	8	25	11	3	4,7
3	25	55	27	52	0	0	3	3	3	3	0	0	0	140	219	118	36	40,5
4	49	93	93	142	14	3	49	30	3	22	0	3	0	367	364	129	90	86,1
5	132	230	372	351	38	8	128	115	27	93	0	41	0	370	299	164	175	152,7
6	241	266	292	321	162	28	175	227	60	110	22	82	38	101	71	88	107	150,6
7	225	208	158	118	310	88	232	268	108	159	123	268	98	8	19	93	123	163,5
8	148	115	33	8	285	198	227	211	210	153	181	361	148	5	3	118	161	167,3
9	71	8	8	0	101	344	93	82	225	153	318	158	208	0	0	99	123	99,4
10	63	8	3	0	58	201	46	22	183	162	170	44	199	0		85	77	65,9
11	33	3	0	0	8	99	11	16	54	71	82	5	172	0	0	33	44	31,1
12	3	3	0	0	5	22	16	8	42	36	58	8	63	0	0	16	5	13
13	5	0	0	3	3	3	3	3	33	11	14	11	46	0	0	11	14	8,9
14	0	0	0	3	5	3	3	5	9	0	8	8	8	0	0	3	5	3,2
15	0	0	0	0	5	0	5	5	9	5	5	5	0	0	0	5	0	3,1
16	0	0	0	0	0	0	5	0	6	5	11	0	11	0	0	0	8	2,3
17	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	3	3	0	0	0	5	3	1,3
18	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	3	3	0	0	3	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0,8
20	0	0	0	0	5	0	0	0	3	5	5	0	0	0	0	8	0	1,5
21	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0,2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0,5
23	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,5
24	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	5	0,5
25	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	5	5	0,8
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0,3
Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

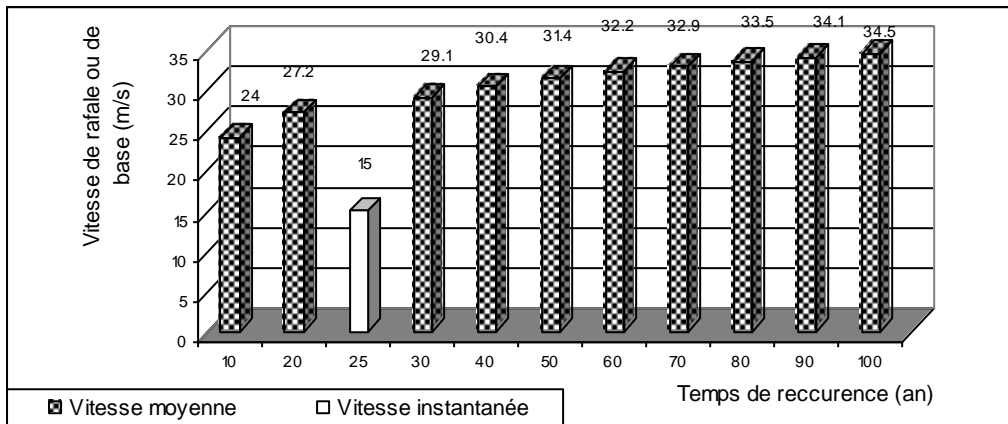


Figure 2 : vitesse de rafale du vent à la station Lomé -aéroport

## CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'analyser les effets du vent sur les constructions au Togo par la détermination des vitesses et pressions du vent sur les constructions. Nous avons constaté que la vitesse du

vent au Togo à un caractère aléatoire et que une vitesse obtenue en un lieu n'est valable qu'en ce lieu. Nous avons aussi obtenu les vitesses et pressions dynamiques sur les zones des neuf (9) stations météorologiques principales du Togo.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHE DU CANADA, 1985.- Supplément du Code National du Bâtiment du Canada. Ottawa
2. CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHE DU CANADA, 1980.- Code National du Bâtiment du Canada. Ottawa
3. GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES TECHNIQUES, 1990.- *Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes*. Documents techniques Unifiés, Col. UTI, éd. Eyrolles.
4. LIAMAS J., 1992.- *Hydrologie générale : Principes et application*. Gaétan Morin éd., 487 p.
5. CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHE DUCANADA OTTAWA, 1985.- Code National du Bâtiment du Canada.
6. AITCIN P.C., 1980.- *Notes de cours de technologie avancée des bétons*. Université de Sherbrooke.
7. GRET/I.T. DELLO, 1984.- *Les éoliennes de pompage ; Théorie, matériels et réalisations*.
8. BERNARD G., 2000.- *Méthodes statistiques : Techniques statistiques, 2. 3è éd.*, Dunod, Paris, 400 p.