

C. I. E. H.

COMITE INTERAFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES

01 B. P. 369 OUAGADOUGOU 01
BURKINA FASO
TEL. : 30-71-12/30-71-15
TELEX : 5277 BF

2 3 2 . 3
8 9 E V

6791/10
C. E. R. E. R.

CENTRE D'ETUDES ET DE
RECHERCHES SUR LES ENERGIES
RENOUVELABLES

B. P. 476 HANN - EQUIPE
SENEGAL
TEL. : 21-14-14/22-57-08

EVALUATION DU POTENTIEL EOLIEN POUR L'EXHAURE DE L'EAU

1 - ASPECTS METHODOLOGIQUES ET OUTILS DEVELOPPES

Par C. MARTIN, H. PIATON, P. VARDON.



ETUDE REALISEE AVEC LE CONCOURS :

- DE L'ASECNA : AGENCE POUR LA SECURITE DE LA NAVIGATION
AERIENNE EN AFRIQUE ET A MADAGASCAR (DAKAR)
- DU CENTRE AGRHYMET : CENTRE REGIONAL DE FORMATION ET D'APPLICATION
EN AGROMETEOROLOGIE ET HYDROLOGIE
OPERATIONNELLE (NIAMEY)

ET FINANCEE PAR LE FONDS D'AIDE ET DE COOPERATION
DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE.

OUAGADOUGOU MADE 1989

232.3 - 89EV-6791

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IIRC)

P.O. Box 85190, 2300 AD The Hague

Tel. (070) 814011 ext. 141/142

RN:

ISN 6791

LO:

232 3 89 EV

AVANT-PROPOS

L'énergie éolienne a été utilisée et est encore utilisée à l'heure actuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale avec plus ou moins de réussite. L'expérience acquise en la matière a permis de mieux cerner les conditions requises pour que cette forme d'énergie soit pérenne et se révèle intéressante d'un point de vue économique (organisation d'un système de maintenance). Cependant une grosse inconnue demeure: la connaissance du régime des vents à l'échelle régionale en termes de vitesses, mais aussi en termes de régularité et potentiel énergétique utilisable. En effet, les études climatologiques sur ce sujet sont anciennes, ou très localisées.

C'est pourquoi le CIEH a entrepris une remise à jour de la connaissance du régime des vents sur l'ensemble de ses pays membres, afin de donner aux concepteurs de projets nouveaux un outil de travail efficace (cartes des vents).

La première phase de ce travail consiste à analyser les données fournies par le réseau météorologique existant et la méthodologie à suivre pour traiter les données fiables. Tel est l'objet de ce rapport.

R E S U M E

Le gisement éolien en Afrique de l'Ouest et Centrale est à l'heure actuelle mal connu, et les études sur ce sujet sont anciennes. Le CIEH a pour cette raison entrepris de créer une base de données de vitesses et de directions du vent qui permettrait un zonage des sites propices à l'échelle régionale. Le présent rapport rend compte de la première partie de cette étude: les aspects méthodologiques.

En premier lieu sont dégagés les critères d'évaluation du potentiel éolien nécessaires à la décision d'implanter une éolienne en un site donné, et au choix de cette éolienne. Les principaux types de machines commercialisées sont présentés, ainsi que quelques méthodes simples de calcul de débit et de puissance développée.

Le chapitre suivant analyse la représentativité des données de vent selon le type de stations météorologiques étudié (stations synoptiques ou postes agrométéorologiques), et sur une même station, selon le support d'information utilisé, à savoir les TCM (Tableaux Climatologiques mensuels), et les enregistrements graphiques. Il s'avère que les données des postes agrométéorologiques ne sont pas exploitables, essentiellement à cause du fait que les mesures à 2 m au dessus du sol ne sont pas extrapolables à 10 m, hauteur de mesure des stations synoptiques. Sur les stations synoptiques, le support le plus fiable est sans doute le graphe, mais il n'est disponible que sur un nombre réduit de stations. Les TCM permettront néanmoins une étude satisfaisante de la plupart des critères. Pour l'énergie, on utilisera la loi de Weibull (modèle de loi de distribution mathématique adapté aux vitesses de vent) avec comme valeurs d'entrée les vitesses moyennes et écarts types issus des TCM (le calcul direct de l'énergie à partir des vitesses de vent des TCM comporte un risque d'erreur important). En dernier lieu, on trouvera une description des programmes DBASE III utilisés pour cette étude de représentativité.

Le dernier chapitre est consacré à l'exploitation statistique des données de TCM des stations synoptiques, et les critères quantitatifs qui pourront être pris pour le dimensionnement des éoliennes à installer. Le logiciel (programmes DBASE III et utilisation de FRAMEWORK) mis au point pour la 2ème phase de cette étude (Tome 2: Résultats obtenus) est présenté en détail, ainsi que les fichiers utilisés et la façon de les créer. A titre d'exemple, les résultats obtenus sur 3 stations sont donnés en annexe 4.

En conclusion est résumée la méthodologie pour la 2ème phase de l'étude; notamment, l'utilisation du krigeage (méthode statistique de cartographie) pourra permettre d'évaluer le potentiel éolien dans les zones où les données de vent sont rares.

SOMMAIRE

	page
INTRODUCTION	1
I - Critères d'évaluation du potentiel éolien.....	2
I.1 Energie éolienne.....	3
I.1.1 Energie disponible.....	3
I.1.2 Energie de Betz.....	3
I.1.3 Energie totale récupérable maximale.....	4
I.1.4 Quantification du gisement éolien.....	4
I.1.5 Energie utilisable.....	5
I.1.6 Théorie de WEIBULL.....	5
I.2 Description des grandes familles d'éoliennes.....	6
I.2.1 Eoliennes lentes à axe horizontal.....	6
I.2.2 Eoliennes rapides à axe horizontal.....	7
I.2.3 Eoliennes à axe vertical.....	8
I.2.3.1 Rotor de Savonius.....	8
I.2.3.2 Rotor de Darrieus.....	8
I.3 Caractéristiques de quelques éoliennes commercialisées.....	9
I.3.1 Calcul de débit.....	9
I.3.2 Eoliennes de pompage.....	10
I.3.3 Aérogénérateurs.....	13
I.3.4 Ordre de grandeur du volume journalier pompé en fonction du rendement	16
I.4 Eléments nécessaires à l'implantation et au choix des éoliennes pour l'exhaure de l'eau	17
I.4.1 Données sur le vent.....	17
I.4.2 Données sur le terrain.....	17
I.4.3 Données sur les besoins et ressources en eau.....	17

II. Représentativité des données de vent disponibles pour l'étude du gisement éolien à des fins énergétiques.....	19
II.1. Origine des données.....	20
II.2. Objectif de l'étude de représentativité.....	22
II.2.1. Stations synoptiques.....	22
II.2.2. Postes agrométéorologiques (PAM)	22
II.3. Choix des sites et des périodes d'étude.....	23
II.4. Stations synoptiques - Résultats.....	24
II.4.1. Vitesses moyennes journalières et mensuelles.....	24
II.4.2. Vitesses maximales instantanées.....	31
II.4.3. Répartition des vents en classes de vitesses..... (histogrammes de vitesse)	33
II.4.4. Energie maximale récupérable.....	42
II.4.5. Répartition en directions.....	50
II.4.6. Conclusion concernant les stations synoptiques.....	56
II.5. Postes agrométéorologiques (PAM) - Résultats.....	57
II.5.1. Etude du CIEH au Burkina Faso.....	57
II.5.1.1. Moyennes graphiques et Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM).....	57
II.5.1.2. Comparaison des PAM et des stations synoptiques voisines.....	61
II.5.2. Etude du CERER à Dakar, Sénégal.....	64
II.5.2.1. Présentation.....	64
II.5.2.2. Résultats.....	64
II.5.2.3. Recherche de corrélation.....	66
II.5.2.4. Conclusion du CERER.....	68
II.5.3. Conclusion concernant la représentativité des PAM.....	69
II.6. Conclusion générale relative à la représentativité des données de vent.....	69
II.7. Logiciel développé par le CIEH pour l'étude de représentativité des données.....	70
II.7.1. Description des programmes.....	70
II.7.2. Détail des programmes.....	75

	page
III. Analyse statistique.....	76
III.1 Possibilité d'exploitation des données ASECNA.....	77
III.2 Détermination du nombre d'années à prendre en compte	78
III.3 Méthodologie d'exploitation des résultats.....	79
III.3.1 Vitesses moyennes et quantiles.....	79
III.3.2 Vitesses maximums.....	80
III.3.3 Fréquences cumulées d'occurrence des vents par classes de vitesse.....	80
III.3.4 Fréquences annuelles des vents et énergies de Betz....	81
III.3.5 Profil des journées types d'énergie de fréquence observée 0,9 ; 0,5 ; 0,1	82
III.3.6 Pourcentages cumulés des périodes de calme et de vent.	83
III.3.7 Direction du vent.....	85
III.4 Exploitation des résultats.....	85
(même sous-paragraphes que III.3.)	
III.5 Logiciel développé au CIEH pour l'exploitation statistique des données des TCM des stations synoptiques.....	90
III.5.1. Plan.....	90
III.5.2. Description des programmes.....	91
III.5.3 Structures des fichiers.....	94
III.5.4 Manuel de l'utilisateur.....	95
III.5.4.1 Création de la base de données.....	95
III.5.4.2 Lancement des calculs.....	96
III.5.4.3 Traçé des courbes par Framework.....	96
CONCLUSION.....	98
ANNEXES.....	100
Annexe 1: Adresses de constructeurs d'éoliennes.....	101
Annexe 2: Bibliographie disponible au CIEH.....	102
Annexe 3: Listings des programmes.....	107
Annexe 4: Résultats sur 3 stations.....	125
1. Ouagadougou.....	127
2. Agadez.....	148
3. Dakar.....	173

INTRODUCTION

Très peu d'études systématiques du régime des vents en vue de son utilisation pour l'exhaure de l'eau ont vu le jour ces dernières années. Ce manque de données exploitables a été déploré en 1977 par le club du Sahel dans une étude intitulée "L'énergie éolienne au Sahel".

Le but de cette étude est précisément de rassembler et analyser des données de base concernant le régime des vents, afin de fournir aux états concernés des éléments de planification, en déterminant de façon plus précise les potentialités d'utilisation des différents types d'éoliennes disponibles à l'heure actuelle.

Ce programme global d'étude régionale du potentiel éolien a été divisé en deux phases. Nous n'en rapportons ici que la première partie à caractère méthodologique, qui consiste à :

- définir les critères d'évaluation du potentiel éolien
- évaluer la représentativité des données disponibles auprès des centres informatiques de l'ASECNA et du centre AGRHYMET, à partir de quelques stations test.
- proposer une méthode et des outils logiciels d'exploitation de ces données.

Dans la seconde phase de l'étude seront réalisées à l'échelle régionale:

- la collecte et l'exploitation des données,
- la diffusion des résultats obtenus.

I. CRITERES D'EVALUATION
DU POTENTIEL EOLIEN

I.1. Energie éolienne

I.1.1. Energie disponible

Un aéromoteur transforme l'énergie cinétique du vent ($E_c = 1/2 \rho S V^3 t$) en énergie mécanique .

L'énergie disponible s'exprime par la relation :

$$E = 1/2 \rho S V^3 t \quad (J)$$

avec ρ : masse volumique de l'air (kg/m³)
 S : surface balayée par le rotor (m²)
 V : vitesse du vent (m/s)
 t : temps (s)

L'énergie disponible est donc proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

I.1.2. Energie de Betz

La puissance maximale récupérable, dite limite de Betz, est une grandeur théorique, qui correspond au cas idéal où la vitesse de l'air à la sortie du rotor vaut les 2/3 de la vitesse incidente, cas où le rendement aérodynamique est maximum.

La limite de Betz est donnée par la formule:

$$P = 8/27 \rho S V^3 \quad (W)$$

avec les mêmes notations que précédemment.

Soit, en prenant $\rho = 1.26$ kg/m³ (conditions normales de température et de pression),

$$P = 0.37 \rho S V^3 \quad (W)$$

Le rendement des éoliennes se mesure par rapport à cette limite théorique. Il est de l'ordre de 0.7 pour les aéromoteurs les plus perfectionnés.

(J) : Joules

(W) : Watts

I.1.3. Energie totale récupérable

A partir de la formule de Betz, qui correspond à un maximum théorique, on peut, si on connaît la distribution de la vitesse sur une période donnée, calculer l'énergie récupérable, par m² de surface balayée, pendant cette période.

Si on dispose d'un enregistrement continu des vitesses de vent sur une journée, on peut alors calculer l'énergie :

$$E = \int_{24h} 0.37 \times V^3 dt \quad (\text{Wh/j/m}^2)$$

En général, on ne dispose que de relevés ponctuels au cours de la journée. Par exemple, des relevés trihoraires (vitesses mesurées toutes les 3 heures pendant les dix minutes précédant l'heure inscrite sur le relevé), qui sont regroupés sur les tableaux climatologiques mensuels (TCM) des stations météorologiques (synoptiques).

$$\text{On écrit alors : } E = \sum_{i=1}^n 0.37 \times V_i^3 \times 3 \quad (\text{Wh/j/m}^2)$$

ceci en supposant la vitesse du vent constante et égale pendant chaque période de 3h, centrée sur chaque mesure, ce qui représente une approximation assez grossière. On n'a cependant pas les moyens dans de nombreux cas de faire une analyse plus fine, faute de relevés de vent plus précis, à moins de travailler avec une modélisation de la distribution statistique des vitesses de vent, ce que nous évoquerons plus loin (théorie de Weibull).

I.1.4 Quantification du gisement éolien

Le coefficient 0.37 intervenant dans la formule de Betz ne dépend pas du type d'éolienne utilisé. Il est lié à une notion théorique de coefficient de performance idéal. En fait, il n'apporte pas grand chose à la connaissance du gisement éolien proprement dit.

Nous utiliserons cependant la formule de Betz, pour pouvoir comparer les performances des différents types d'éoliennes, puisque leurs rendements sont définis par rapport à cette limite.

I.1.5 Energie utilisable

En réalité, les éoliennes ne peuvent pas récupérer la totalité de l'énergie disponible.

Mis à part le fait que le rendement des systèmes éoliennes-pompes n'est jamais égal à 1, l'exploitation du gisement éolien est limité par la vitesse de démarrage de l'éolienne et sa vitesse de "mise en drapeau", ou vitesse d'arrêt.

En effet, une éolienne ne peut démarrer qu'à partir d'une certaine vitesse du vent, d'autant plus grande que le couple résistant au moment du démarrage est important (pompe à actionner, et frottements propres de l'axe du rotor sur ses paliers à vaincre).

Le système de "mise en drapeau" est un dispositif de sécurité, permettant d'éviter la destruction de l'éolienne par vent trop fort.

L'énergie utilisable se calcule en tenant compte de ces vitesses, propres à chaque machine, et spécifiées par leur constructeur. L'énergie utilisable ne représente donc pas le gisement éolien intrinsèque, puisqu'elle se réfère à un type de machine donné.

I.1.6. Théorie de WEIBULL

La loi de Weibull est une modélisation mathématique de distribution des probabilités d'occurrence des vitesses de vent dans une classe donnée de vitesse. La loi de distribution de Weibull s'adapte assez bien aux distributions de vitesses de vent mesurées.

La probabilité pour que la vitesse du vent soit comprise entre V et $V+dV$ s'écrit:

$$P(V) = K \left[\frac{V}{\bar{V}} \right]^{K-1} e^{-\left[\frac{V}{\bar{V}} \right]^K}$$

avec \bar{V} : la vitesse moyenne du vent sur la période d'étude
en m/s
K : paramètre de forme

Pour $1.4 \leq K \leq 4.5$, ce qui correspond aux cas rencontrés le plus souvent, la fonction $\Gamma(1 + 1/K)$ s'écrit:

$$\Gamma(1 + 1/K) = 0.8525 + 0.013 K + \exp(-(2+3(K-1)))$$

σ étant l'écart type de la vitesse, le paramètre de forme K et \bar{V} sont liés par la relation:

$$\frac{\sigma}{\bar{V}} = \left[\frac{1+2/K}{(1+1/K)} - 1 \right]^{1/2}$$

relation qui peut être approchée, pour $1 \leq K \leq 10$, par :

$$K = \left(\frac{\sigma}{\bar{V}} \right)^{-1.086}$$

\bar{V} et σ étant calculés sur un échantillon de mesures le plus large possible.

Donc, à partir du gisement observé au niveau des stations météorologiques connues et fiables, on peut déterminer le paramètre de Weibull K , et ainsi la probabilité des différentes classes de vitesse.

En supposant que ce paramètre de forme ne varie pas trop dans la zone étudiée (si toutefois celle-ci n'est pas trop étendue), on peut alors quantifier le gisement éolien sur des sites où l'on ne dispose que d'anémomètres totalisateurs ne donnant que la vitesse moyenne du vent, ou sur des stations où les données de vent sont peu fiables pour l'évaluation énergétique du gisement éolien.

1.2. Description des grandes familles d'éoliennes

- éoliennes lentes à axe horizontal
- éoliennes rapides à axe horizontal
- éoliennes à axe vertical

1.2.1. Eoliennes lentes à axe horizontal

La roue est constituée de 8 à 20 pales, maintenue face au vent par un gouvernail situé en aval. Les diamètres courants de ces roues vont de 1m50 à 7m.

Elles démarrent pour des vents de 2 à 3 m/s avec un couple assez fort.

Les résultats expérimentaux permettent d'établir l'expression de la puissance maximale fournie par ce type de machine:

$$P = 0.15 D^2 V^3$$

P en Watt

D: diamètre du rotor en m

V: vitesse du vent en m/s

ce qui correspond à 50% de la limite de Betz.

Ces éoliennes utilisent principalement les vents de vitesse comprise entre 3 et 7 m/s. Par vent fort, un dispositif de sécurité met le rotor en "drapeau". Les puissances développées sont donc relativement faibles.

1.2.2. Eoliennes rapides à axe horizontal

Le dispositif capteur d'énergie est constitué d'une hélice de 2 à 4 pales, orientée par un gouvernail situé en aval de l'hélice, parfois hors sillage. Les diamètres courants vont de 2 à 10 m.

Elles démarrent difficilement par vent faible et avec un couple faible. Des dispositifs spéciaux peuvent pallier à cet inconvénient: pales à pas variables munies d'une régulation. L'angle de calage est maximum au départ et diminue au fur et à mesure que la vitesse de la machine augmente (Aérowatt, par exemple).

D'après les tests effectués, la puissance maximale de ce type d'éoliennes peut être obtenue par l'expression:

$$P = 0.2 D^2 V^3$$

P en Watt

D en m

V en m/s

ce qui correspond à 70 % de la limite de Betz.

Ces éoliennes fonctionnent en général pour des vitesses maximales qui peuvent atteindre 12 m.

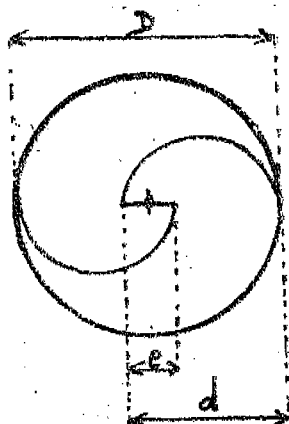
1.2.3. Eoliennes à axe vertical

Elles présentent l'avantage d'éviter tout dispositif d'orientation et d'être adaptées aux vents à direction rapidement variable. Deux types sont particulièrement utilisés et largement expérimentés:

I.2.3.1. Rotor Savonius

Inventé en 1924 par le finlandais Savonius.

Il est constitué de deux demi-cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre.



Les meilleurs résultats sont obtenus pour un rapport $e/d = 1/6$. La puissance maximale susceptible d'être fournie est alors:

$$P = 0.18 S v^3 \quad (S = h D)$$

h : hauteur du cylindre

Ce rotor de conception simple est d'un très bon rendement pour des vitesses de vent faibles (2 à 6 m/s), et supporte des rafales par autorégulation.

I.2.3.2. Rotor de Darrieus

Inventé en 1931 par le français Darrieus.

Composé de 2 à 4 pales rectilignes ou incurvées verticales formant un rotor cylindrique, parabolique ou tronconique.

C'est un rotor de rendement important, mais de couple de démarrage très faible, et nécessitant parfois d'être lancé. Des expérimentations de rotor de type Darrieus en France (J.B Morel), aux USA (NASA) et au Canada (Conseil National de la Recherche) ont permis de mettre au point des éoliennes de 1 à 7 kW.

I.3. Caractéristiques de quelques éoliennes commercialisées .

I.3.1. Calcul de débit : formule générale

Pour élever un volume d'eau VOL d'une hauteur HM en un temps t, la puissance consommée est:

$$P = \frac{\mu g \text{ VOL} \times \text{HM}}{\Delta t} \quad \mu : \text{masse volumique de l'eau}$$

avec $\frac{\text{VOL}}{\Delta t} = Q = \text{débit}$; g est l'accélération de la pesanteur

soit $P = \mu \times g \times Q \times \text{HM}$ Q en m³/s
HM en m

La puissance développée par l'ensemble éolienne-pompe vaut : $P_e = P_p P_{\text{max}}$

P_{max} : limite de BETZ

P_e : rendement de l'éolienne

P_p : rendement de la pompe

En identifiant puissances fournies et consommées, on obtient :

$$Q = \frac{P_e P_p P_{\text{max}}}{\mu g \text{ HM}}$$

(m³/s)

$\mu = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

soit

$$Q = \frac{P_e P_p P_{\text{max}}}{10 \text{ HM}} \quad (\text{formule (1)})$$

(l/s)

en prenant la limite de Betz $P_{\text{max}} = 0.37 S V^3$, cela donne pour une surface balayée S :

$$Q = \frac{0.37 S V^3}{10 \text{ HM}} P_e P_p$$

(l/s)

et pour un rotor de type hélice :

$$Q = \frac{0.29 D^2 V^3}{10 \text{ HM}} P_e P_p$$

(l/s)

Ce mode de calcul du débit sera noté (1) dans les tableaux de caractéristiques d'éoliennes qui suivent.

On calculera également les rendements par cette formule, lorsque les débits sont donnés par le constructeur.

$$\rho_e \rho_p = \frac{Q(1/s) \times 10 \times HM_{max}}{0.29 \times D^3 \times V_n^3}$$

(Vn : Vitesse nominale ; voir I.3.2.2)

I.3.2. Les éoliennes de pompage

Les éoliennes de pompage classiques sont constituées d'une roue multipale à axe horizontal (lente), une pompe à piston, aspirante (max. théorique: 10m), et refoulante. La cadence d'une pompe à piston ne dépasse pas 60 coups par minute en général.

I.3.2.1. Calcul de débit théorique maximum

On peut calculer le débit théorique maximum d'une pompe par la formule (2) :

$$Q (1/s) = \frac{n \cdot \phi^2 \cdot L}{100} \times \frac{\pi}{4} \quad (\text{formule (2)})$$

n : cadence de la pompe (coups/s)

ϕ : diamètre du piston (cm)

L : Longueur de la course (cm)

I.3.2.2. Calcul de vitesse nominale

En théorie, le rendement maximum d'une éolienne multipale correspond à un rapport d'avance $\beta = 1$.

$$\beta = \frac{\text{vitesse linéaire à l'extrémité des pales}}{\text{vitesse du vent}}$$

On peut donc calculer la vitesse de vent nominale pour des éoliennes dont la vitesse nominale de rotation du rotor est donnée par le constructeur. (4N)

$$V_n = n_r (tr/s) \times D (m) \times \pi \quad (\text{formule (3)})$$

Remarque: Ces calculs effectués pour les éoliennes de pompage Humblet donnent des résultats aberrants: $V_n = 19.8$ m/s alors que la vitesse de mise en drapau est de 10 m/s.

On calcule dans ce cas particulier la vitesse nominale par la formule (1) transformée:

$$V = \frac{\sqrt[3]{Q(1/s) \times 10 \times HM_{max}}}{0.29 \times D^{\frac{2}{3}} \times \rho_e \rho_p}$$

HM_{max} = hauteur manométrique maximum annoncée

$Q(1/s)$ = débit théorique maximum calculé par la formule (2)

Le rendement de l'ensemble éolienne+pompe, s'il n'est pas donné, est alors estimé.

1.3.2.3. Caractéristiques techniques de quelques éoliennes de pompage commercialisées.

Notations du tableau I.1

Vitesses : démarrage
nominale
maximum
de rotation

Rendements : ρ_e = de l'éolienne
 ρ_p = de la pompe

HM : hauteur manométrique

(1), (2), et (3) : références aux formules de calcul utilisées

constructeur et modèle	description			vitesses				rendement	débit (l/h)	HMTmax (m)	pompe (mm)	prix (FF HT) (approx.)	
	D (m)	nb pales	hauteur (m)	démar. (m/s)	nomin. (m/s)	max. (m/s)	rot. (tr/s)						
BOTECH inf 20 variantes sup	2	8	4	3	6.3 (3)	10	1	0.25 (1)	500 (2)	50	80	10000	
	3.2	16	12	3	10 (3)	10	1	0.37 (1)	4000 (2)	100	150	20000	
HUMBLOT 8 modèles													
	cadetéol (4,6 ou 8 pales)	1.75	4;6;8	5	2.5	4.5 (1)	10	1.66	0.33 (B)	660 (2)	15	80	6000
	junioréol	2.50	12	9.60	2.5	9 (1)	10	1.52	0.33 (B)	3454 (2)	45	80	20000
grandéol	6.50	12	13.50	2.5	10 (1)	10	0.97	0.40 (B)	61860 (2) 1360	100 100	300 ?	90000	
CENIA l'idéale	2.50	16 à 20	9.50	?	8	?	?	?	500	35	?	?	
L.V.I.A.	5-6	18	12-16	1	3-4	freiné à partir de 8	?	0.37	9000	?	180	?	
									0<H<5				
									6000	?	150	?	
									11<H<15				
								800	?	80	?		
								80<H<100					
CWD 5000	5	8	12.5	4	7	8-12	?	0.32 estimé	3600 (1) H=10 et pour V=3.7m/s	100	67 à 265	matériaux seuls: 1200 \$us en 85	
I.T.D.G BHBL Kijito	3.75 à 7	24	?	?	?	?	?	0.16(noté)	?	180	?	?	
LUBING	1.5	6	3-6	3	8	33	?	?	440 à 600	9			

Tableau I.1 : Caractéristiques de quelques éoliennes de pompage (mai 1987)

Remarque: Ces calculs effectués pour les éoliennes de pompage Humblet donnent des résultats aberrants: $V_n = 19.8$ m/s alors que la vitesse de mise en drapeau est de 10 m/s.

On calcule dans ce cas particulier la vitesse nominale par la formule (1) transformée:

$$V = \frac{\sqrt[3]{Q(l/s) \times 10 \times HM_{max}}}{0.29 \times D^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{\rho_e / \rho_p}}$$

HM_{max} = hauteur manométrique maximum annoncée

$Q(l/s)$ = débit théorique maximum calculé par la formule (2)

Le rendement de l'ensemble éolienne+pompe, s'il n'est pas donné, est alors estimé.

I.1.2.3. Caractéristiques techniques de quelques éoliennes de pompage commercialisées.

Notations du tableau I.1

Vitesses : démarrage
nominale
maximum
de rotation

Rendements : ρ_e = de l'éolienne
 ρ_p = de la pompe

HM : hauteur manométrique

(1), (2), et (3) : références aux formules de calcul utilisées

constructeur et modèle	description			vitesses				rendement	débit (l/h)	HMTmax (m)	pompe (mm)	prix (FF HT) (approx.)	
	D (m)	nb pales	hauteur (m)	démar. (m/s)	nomin. (m/s)	max. (m/s)	rot. (tr/s)						
EOTEC inf 20 variantes sup	2	8	4	3	6.3 (3)	10	1	0.25 (1)	500 (2)	50	80	10000	
	3.2	16	12	3	10 (3)	10	1	0.37 (1)	4000 (2)	100	150	20000	
HUMBLOT 8 modèles	1.75	4;6;8	5	2.5	4.5 (1)	10	1.66	0.33 (E)	660 (2)	15	80	6000	
													cadetéol (4,6 ou 8 pales)
													junioréol
grandéol	2.50	12	9.60	2.5	9 (1)	10	1.52	0.33 (E)	3454 (2)	45	80	20000	
	6.50	12	13.50	2.5	10 (1)	10	0.97	0.40 (E)	61860 (2) 1360	100 100	300 ?	90000	
CRMA l'idéale	2.50	16 à 20	9.50	?	8	?	?	?	500	35	?	?	
L.V.I.A.	5-6	18	12-16	1	3-4	freiné à partir de 8	?	0.37	9000	?	180	?	
									0<H<5	?	150	?	
									6000 11<H<15	?	80	?	
	800 80<H<100	?	80	?									
CWD 5000	5	8	12.5	4	7	8-12	?	0.32 estimé	3600 (1) H=10 et pour V=3.7m/s	100	67 à 265	matériaux seuls: 1200 \$us en 85	
I.T.D.G BHBL Kijito	3.75 à 7	24	?	?	?	?	?	0.16(noté)	?	180	?	?	
LUBING	1.5	6	3-6	3	8	33	?	?	440 à 600	9			

Tableau L.1 : Caractéristiques de quelques éoliennes de pompage (mai 1987)

I.3.3. Aérogénérateurs

I.3.3.1. Présentation générale

Les aérogénérateurs sont en général constitués d'un aéromoteur bi ou tri pales type hélice ou Darrieus et d'un générateur électrique: dynamo fournissant du courant continu (faibles puissances) ou alternateur.

Un stockage de l'énergie est nécessaire par:

- Batteries d'accumulateurs (12, 24, ou 48 Volts)
- ou Réservoir d'eau

Le rendement de l'éolienne dans les tableaux suivants (I.2 et I.3) a été calculé à partir de la formule de Betz:

$$P_e = \frac{P_e}{P_{max}} = \frac{P_e}{0.37 S V^3} = \frac{P_e}{0.29 D^3 V^3}$$

P_e : Puissance électrique donnée par le constructeur

Equipements de pompage:

- pompe en surface : moteur à courant continu
- pompe submersible : moteur à courant alternatif
- pompe centrifuge verticale à arbre long (forage étroit)

(débit nominal d'une pompe centrifuge :
de diamètre 6 pouces: 12.5 l/s
de diamètre 4 pouces: 2.8 l/s)

Le débit est calculé par la formule suivante (voir I.3.1)

$$Q (l/s) = \frac{P_e}{10 * EM} * \rho_p$$

$\rho_p = 0.5$ s'il n'est pas connu (rendement moyen des pompes à moteur asynchrone)

I.3.3.2. Caractéristiques techniques de quelques aérogénérateurs commercialisés.

Voir Tableaux I.2 et I.3

Marque Type	Description	Vitesses (r/s)			Puissance électrique (W)	Rendement de l'année	Débits (l/s)		Prix (FF HT) (approx)
		charge	nom.	destr.			pour V = 10 m		
C.E.A. (Centre d'études nucléaires de Grenoble)	Hélices tripale S = 17 m ² Diamètre = 6 m Hauteur = 8 m	4	12 (N=150 tr/mn)		4200	0.39	21	(= 0.5)	
			15 (N=150)		9000	0.42	45	(= 0.5)	
Aéroturbine	Hélice tripale sous le vent						débits observés (= 0.5)		
CP-4	ρ = 6 m	3	7				pour V=7 m/s 2 pompes 1.33 // 150 m 2.15 // 100 m 3.9 // 50 m		110000
CP-6	ρ = 7 m	3	7		4000	0.44	20	RM max = 150 m	160000
			8		8000	0.77	40	" "	
CA-10	ρ = 10 m	3	9		15000	0.7	75	RM max = 250 m	195000
			12		35000	0.9	175	" "	
Aéroman	Hélice bipale au vent ρ = 12.5 m hauteur: 10 à 15 m	2.7	11.8	50	33000	0.44	165	(= 0.5)	
ERAT	Hélice bipale ρ = 1.65 m ρ = 2.05 m ρ = 2.65 m	4	10		200	0.27	1	(= 0.5) soit 3.6 m ³ /h	
		4	10		500	0.43	2.5	" 9 "	
		4	10		1000	0.48	5	" 18 "	
	Hélice tripale ρ = 5.00 m ρ = 6.00 m	4-5	15		4000	0.16	20	soit 72 m ³ /h	
		4-5	15		9000	0.25	45	" 162 "	
	EDMILLOT		drapeau						
Ideolec 3000	tripale ρ=3m nat:fa	5	10	12	600	0.23	3	soit 10.8 m ³ /h	40000
Ideolec 8000	12 pales ρ=3m nat:16m	2.5	10	10/12	7000	0.38	35	" 126 "	80000
SCHNOCKER Turboélectrique	Savonius ρ = 1 m hauteur : 1.5 m	4	9	55	30	0.07	0.15	(= 0.5) soit 0.54 m ³ /h	

Tableau I.2 : Caractéristiques de quelques aérogénérateurs (mai 1987)

Marque Type	Description	Vitesses (m/s)			Puissance électrique (W)	Rendement de l'éolienne	Débits pour H _h = 10 m p = 0.5		Prix FF HT (approx)
		démar.	nom.	dentr.			l/s	m ³ /s	
ARROWATT Série G 30 à 5000 W avec V _{nom} = 5.7 ou 10 m/s	Éolice bipale au vent								
	modèle	φ (m)							
	242PF7G	1.2	2	7	50	0.20	0.15	0.54	
	100PF5G	3.2	2	5	60	0.27	0.5	1.8	
	150PF7G	2	2	7	80	0.27	0.75	2.7	
	1100PF5G	9.2	2	5	60	0.31	4.8	17.3	
	1100PF7G	5	2	7	60	0.38	4.0	17.3	
1200PF10G	3.2	2	10	80	0.36	5.4	19.5		
4100PF7G	9.2	2	7	60	0.47	20.0	72.0		
Nouvelles Versions									
242G PF7G	60-7	1.34	3.5	7	90	0.34	0.5	1.88	37 000
150 PF7G	150-7	2	3.5	7	80	0.38	0.75	2.7	50 000
300 PF7G	400-7	3.2	3.5	7	80	0.38	2	7.2	66 000
Éoliennes de pompage	UN-70/2500	7	3.7	7	80	0.51	débits observés l/s		129 000
							0.55//150m	p=3	(mat 24m)
							3.6//21m	p=3	
	UN-70/5000	7	3.5	8.5	80	0.57	2.5//80m	p=4	141 000
							11.1//22m	p=4.9	(mat 24m)

Tableau I.3: Suite du tableau I.2 (Aérogénérateurs)

(mai 1987)

I.3.4. Ordres de grandeur des volumes journaliers pompés en fonction du rendement .

Four 100 Wh d'énergie de Betz disponible par jour et par m² de surface balayée, le tableau suivant (I.4) fournit les volumes pompés pour différents rendements d'éoliennes et de pompes et une hauteur manométrique de 10 m.

$$V \text{ (m}^3\text{)} = \frac{E \text{ (Wh)} \times \rho}{10 \times \text{HM (m)}} \times 3.6$$

$\rho = \rho_e * \rho_p$	V pompé (m ³) /m ² surf. balayée	Vol. pompé (m ³ /j) pour ϕ		
		$\phi = 3\text{m}$ S = 7m ²	$\phi = 5\text{m}$ S = 20m ²	$\phi = 7\text{m}$ S = 39m ²
0.15	0.54	3.8	10.8	21.0
0.20	0.72	5.0	14.4	28.0
0.25	0.90	6.3	18.0	35.1
0.30	1.08	7.6	21.6	42.1
0.35	1.26	8.8	25.2	49.1
0.40	1.44	10.1	28.8	56.2
0.49	1.76	12.3	35.3	68.8

ϕ = diamètre de l'éolienne

Valeurs courantes de ρ_e : 0.3 à 0.7
 ρ_p : 0.5 à 0.7

Tableau I.4 : Ordre de grandeur des volumes pompés en un jour, sur la base de 100 Wh d'énergie de Betz par m².

100 Wh d'énergie de Betz journalière correspond à

- un vent de 2.24 m/s toute la journée
($v^3 = E / (0.37 * 24) = 11.26$)
- ou 4h 25mn d'un vent de 4 m/s
- ou 10h d'un vent de 3 m/s

I.4. Eléments nécessaires à l'implantation et au choix des éoliennes pour l'exhaure de l'eau

I.4.1. Données sur le vent

Les critères d'évaluation du potentiel éolien retenus sont les suivants:

- a- Vitesse moyenne et quantiles observés par mois
- b- Vitesse maximum par mois
- c- Graphes mensuels des fréquences cumulées de vent par classe de vitesse (1 m/s)
- d- Graphe annuel des fréquences de vent par classe de vitesse, et énergie de Betz récupérable pour chacune de ces classes
- e- Graphes mensuels et annuels du pourcentage cumulé de fréquence des périodes de calme et des périodes de vent séparant 2 périodes de calme
- f- Graphes mensuels des fréquences de vent par direction
- g- Hauteur des mesures effectuées (girouette-anémomètre)

I.4.2. Données sur le terrain

On s'intéressera :

- au type de terrain (classification en terme de rugosité)
- à la situation et au type d'obstacles (vertical, horizontal) par rapport à l'emplacement présumé d'une éolienne .

I.4.3. Données sur les besoins et les ressources en eau

- quantification par mois des besoins en eau journaliers
 - > domestiques (alimentation en eau potable essentiellement)
 - > autres (abreuvement du bétail, maraîchage, etc)
- fluctuation saisonnière de la nappe
- recharge de la nappe d'une année à l'autre.

Choix de la pompe :

Le dimensionnement de la pompe se fait en fonction des besoins en eau, de la vitesse nominale du vent, de la taille de l'éolienne, de la hauteur manométrique totale.

L'éolienne peut être choisie de telle sorte que la vitesse nominale corresponde à un fonctionnement de la pompe 50 % du temps.

*
* * *
* * * * *

II. REPRESENTATIVITE
DES DONNEES DE VENT DISPONIBLES
POUR L'ETUDE DU GISEMENT EOLIEN
A DES FINS ENERGETIQUES.

* * * * *
* * *
*

II.1. Origine des données .

Les données de vent proviennent principalement de deux types de stations météorologiques:

- les stations synoptiques
- les postes agrométéorologiques

Ces deux types de stations n'ont pas la même vocation, et, de ce fait, leurs équipements sont différents.

a) Les stations synoptiques

Ce sont les stations les plus complètes du point de vue météorologique. C'est là que sont mesurés le plus grand nombre de paramètres de différentes natures.

En ce qui concerne le vent, c'est également sur ces stations qu'on peut trouver le plus grand nombre de renseignements, consignés sur des Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM). Certaines stations seulement sont équipées d'anémographes à enregistrement continu.

Les stations synoptiques sont malheureusement relativement peu nombreuses (il n'y en a par exemple que 9 au Burkina Faso). Un grand nombre de ces stations sont exploitées par l'ASECNA, qui centralise les données sur le vent à Dakar.

Voici plus en détail la nature des données sur le vent disponibles sur les stations synoptiques:

- à partir des TCM : relevés trihoraires des vitesses et de leur direction associée.
Hauteur de mesure : 10 m en général.

Les vitesses, relevées toutes les 3 heures, sont définies comme étant la moyenne de la vitesse du vent pendant les 10 dernières minutes précédant l'heure de relevé indiquée.

sont mentionnées sur les TCM:

- * vitesses et directions toutes les 3 h
- * vitesse maximum journalière et direction associée
- * vitesses moyennes journalières
- * vitesse moyenne mensuelle
- * effectifs des observations par direction (20°) et par classe de vitesse (1 m/s)

- à partir des enregistrements continus :

- * lecture de la vitesse instantanée toutes les heures (en raison de l'épaisseur du trait, pouvant atteindre 2 à 3m/s)

d'amplitude à cause des oscillations instantanées du vent, la valeur a été prise au centre du trait).

* lecture de la vitesse instantanée maximum journalière.

* lecture de la direction toutes les heures, et estimation du nombre de changements de direction.

Ces enregistrements continus donnent des informations plus précises sur le spectre du vent pendant une journée. Ils ne sont cependant pas disponibles sur toutes les stations synoptiques.

Il est donc intéressant de tester la représentativité des données sur TCM comparées à celles issues des enregistrements continus, afin de pouvoir déterminer dans quelle mesure on peut se baser sur les TCM pour étudier le gisement éolien. Les TCM des stations synoptiques étant, rappelons-le, la principale source de données de vent disponibles.

Nous avons ainsi étudié le cas de quelques stations synoptiques où TCM et enregistrements continus étaient disponibles à la fois.

b) Les postes agrométéorologiques

La vocation de ces stations est complètement différente. Les mesures qui y sont effectuées sont utilisées à des fins essentiellement agronomiques. En particulier, la mesure du vent sert à calculer l'évapotranspiration potentielle des cultures. Ainsi, la vitesse du vent est relevée à une hauteur de 2 m au dessus du sol (10 m sur les stations synoptiques).

La vitesse du vent variant de façon très sensible avec l'altitude, surtout si près du sol, cette différence de hauteur de mesure constitue un problème majeur pour l'exploitation des données de vent des postes agrométéorologiques. De plus, l'erreur initiale sur la vitesse du vent est amplifiée quand on calcule l'énergie éolienne, qui, comme on l'a vu précédemment, est proportionnelle au cube de la vitesse.

De plus, la fréquence des données consignées sur les Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM) de ces stations est plus faible que sur les stations synoptiques : 3 relevés par jour (8h, 12h, et 17h).

Un enregistrement continu sur un mois donne la distance parcourue par le vent. Le dépouillement de cet enregistrement est fait toutes les 3 h, la vitesse étant calculée d'après le chemin parcouru par le vent pendant l'heure précédant le relevé (vitesse moyenne).

II.2. Objectifs de l'étude de représentativité des données de vent

II.2.1. Stations synoptiques .

A partir de stations synoptiques sélectionnées (Ouagadougou, Bobo Dioulasso, Dakar, Saint Louis, Tambacounda), il s'agit d'analyser la représentativité des TCM par rapport aux enregistrements continus, afin d'exploiter les TCM pour l'étude du gisement éolien sur les stations dépourvues d'enregistrement continu du vent.

Sur les stations choisies, la comparaison porte sur:

- * la vitesse du vent: - vitesse moyenne journalière
- vitesse maximum instantanée
- répartition en classes de vitesse
- * l'énergie de Betz, en introduisant un paramétrage en vitesse-seuil de démarrage et d'arrêt des éoliennes plus significatif du fonctionnement réel de ces machines .
- * les directions du vent.

II.2.2. Postes agrométéorologiques

Les postes agrométéorologiques sélectionnés sont proches d'une station synoptique étudiée en II.2.1. Il s'agit de :

- Kamboinsé près de Ouagadougou
- Farako Ba près de Bobo Dioulasso
- Dakar CDH près de Dakar ASECNA

Sur ces postes agrométéorologiques, nous étudions:

- la représentativité des TCM à 3 relevés par jour (moyenne d'après TCM comparée à la moyenne d'après les graphes)
- Extrapolation à 10 m des vitesses mesurées à 2 m du sol, et comparaison aux vitesses mesurées à 10 m du sol sur la station synoptique voisine.

Méthode d'extrapolation: $(V1/V2)=(H1/H2)$

avec V1: vitesse à la hauteur H1
V2: " " " " H2
: coefficient de rugosité

NOTA :

Le principe de cette comparaison peut porter à discussion, par le fait que sur des stations éloignées de 10 à 15 km, les conditions de rugosité aérodynamique du couvert végétal peuvent être sensiblement différentes. Faute de détenir des

données de vent mesurées à 2 m et à 10 m sur le même site, nous avons cependant essayé de tester une formule d'extrapolation des vitesses de vent à partir des vitesses moyennes disponibles sur les 2 types de station (voir aux paragraphes II.5.1.2 et II.5.2.3).

II.3. Choix des sites et des périodes d'étude .

- Sites : stations synoptiques (syn) avec enregistrement continu, proches d'une autre station de type agrométéorologique (PAM).

- * au Burkina Faso : Ouagadougou (syn) - Kamboinsé (PAM)
Bobo Dioulasso (syn) - Farako Ba (PAM)
- * au Sénégal : Dakar (syn) - Dakar CDH (PAM)
Saint-Louis (syn)
Tambacounda (syn)

- Périodes : les périodes étudiées sont variables d'une station à l'autre. L'étude sur un mois de chacune des 3 saisons (humide, sèche froide, sèche chaude) a été faite sur l'année où on a observé les vitesses de vent les plus proches de la moyenne de toutes les années prises en compte.

Tableau II.1 : Objectifs de l'étude de représentativité

Origine des données	Stations Synoptiques	Postes Agrométéorologiques
Nature des données	mesures à 10m -TCM:8 relevés/jour -Graphe:enregistrement continu des vitesses	mesures à 2m -TCM:3 relevés/jour -enreg.continu: total distance parcourue par vent
Sites testés	Ouagadougou Bobo Dioulasso Dakar Asecna Saint-Louis Tambacounda	Kamboinsé Farako Ba Dakar CDH
Objet de l'étude	Comparer TCM/Graphe pour: - vitesses moyennes - vitesse max. - répartition en classes de vit. - énergie dispo. - direction du vent	-Comparer TCM/Graphe pour vit. moyennes -Extrapoler à 10m et comparer avec vit. mesurées sur station synoptique voisine

II.4. STATIONS SYNOPTIQUES - RESULTATS

II.4.1. Vitesses moyennes journalières et mensuelles .

- fig 1: Bobo Dioulasso - juin 86
- fig 2: Ouagadougou - septembre 86
- fig 3: Ouagadougou - décembre 86
- fig 4: Dakar - janvier, avril et août 72
- fig 5: Saint-Louis - janvier, avril et août 70
- fig 6: Tambacounda - janvier, avril et août 77

VMT: Vitesse moyenne journalière relevée sur TCM
VMG: " " " " " Graphe

Commentaires:

* à Bobo Dioulasso : les deux méthodes (TCM ou graphe) sont équivalentes.

* à Ouagadougou : pour les deux mois étudiés, la différence est plus sensible: -30 % et -16 % sur la vitesse moyenne mensuelle pour le TCM comparé à l'enregistrement continu pris comme référence. A Ouagadougou, le TCM paraît sous-estimer les moyennes mensuelles.

La concordance médiocre entre TCM et enregistrements continus observée à Ouagadougou s'explique sans doute par la faible intensité des vents, qui amplifie l'écart relatif entre les deux méthodes (problème de sensibilité).

* à Dakar : On note une bonne concordance entre relevés TCM et enregistrements continus, qui se traduit par un écart final inférieur à 10 % sur la moyenne mensuelle.

* à Saint-Louis : La concordance entre TCM et enregistrement continu apparaît bonne en août, mais assez médiocre en janvier et avril. Le sens de cet écart est toujours le même en faveur du TCM. Les courbes de janvier et avril font apparaître un écart dont l'amplitude est assez homogène. Cela laisse à penser que l'origine de celui-ci est peut-être un simple problème d'étalonnage.

* à Tambacounda : Un écart important apparaît entre les deux méthodes, et ce sur l'ensemble des 3 mois étudiés. La nature systématique de cet écart et sa valeur pratiquement constante d'environ 20 % pourraient être interprétées comme l'indice d'un simple décalage d'étalonnage entre les deux appareils. L'observation des 3 courbes mensuelles permet toutefois de ne consolider qu'en partie cette hypothèse.

Vitesse Moyennes Journalières

○
UMT
*
UMG

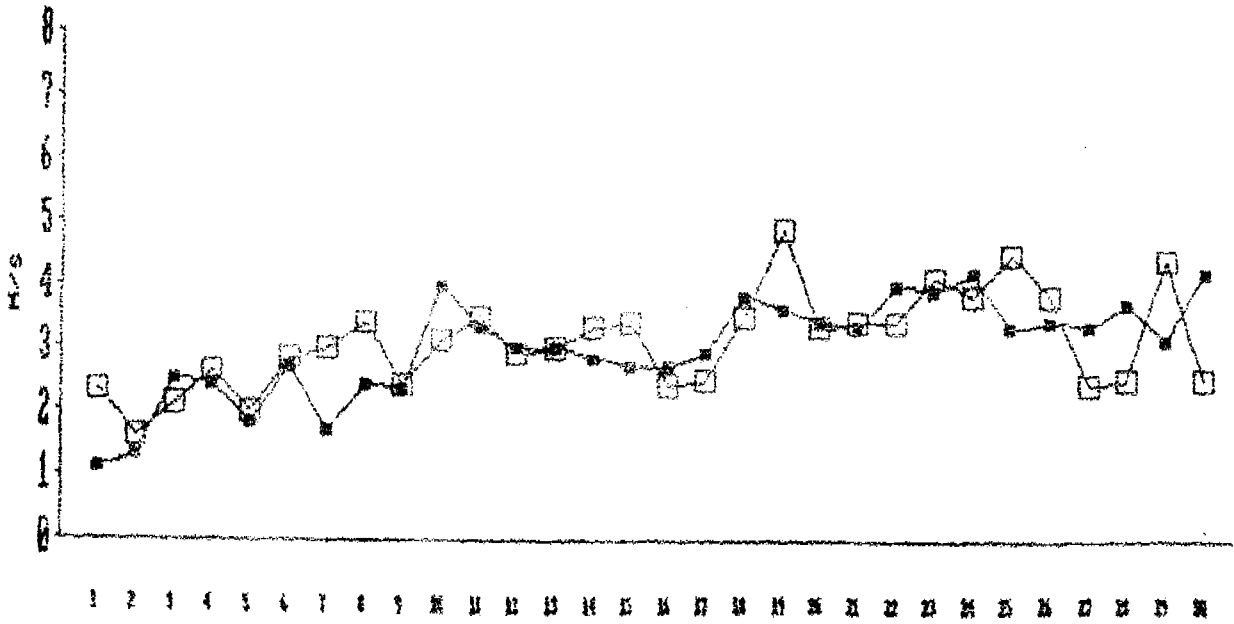


Fig 1 : Bobo Dioulassa Juin 86 : Moyennes Mensuelles TCM 3.1m/s
Graphe 3.0m/s

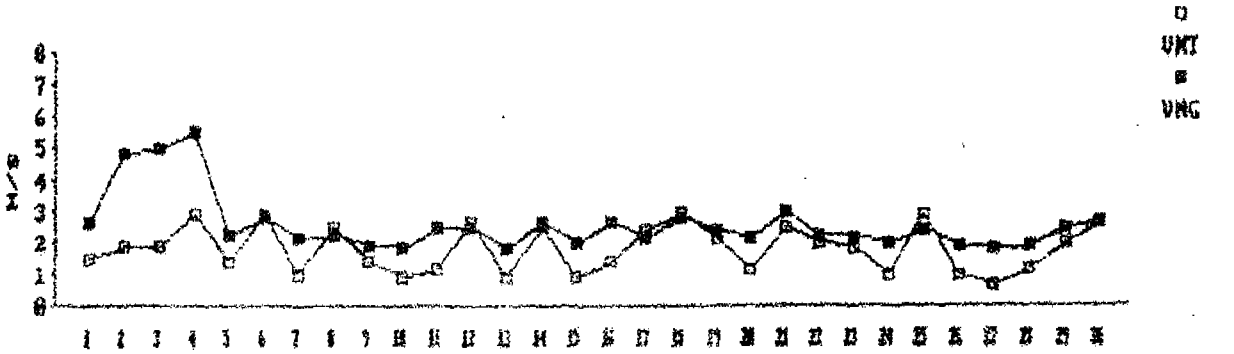


Fig 2 : Ouagadougou Sept 86 -Moyennes mensuelles : TCM 1.8m/s
Graphe 2.6m/s

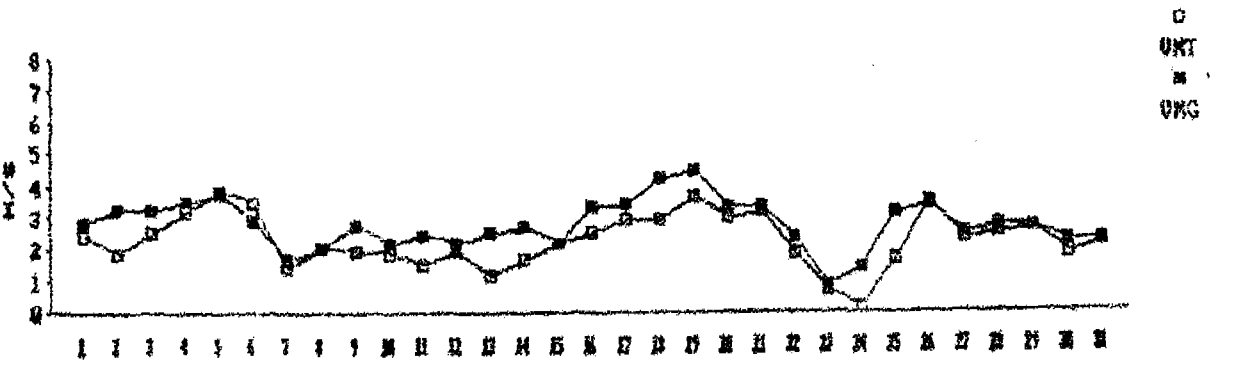
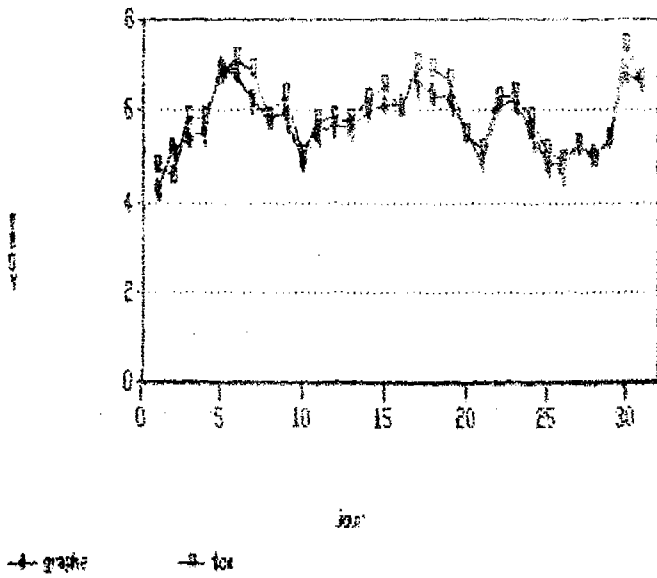
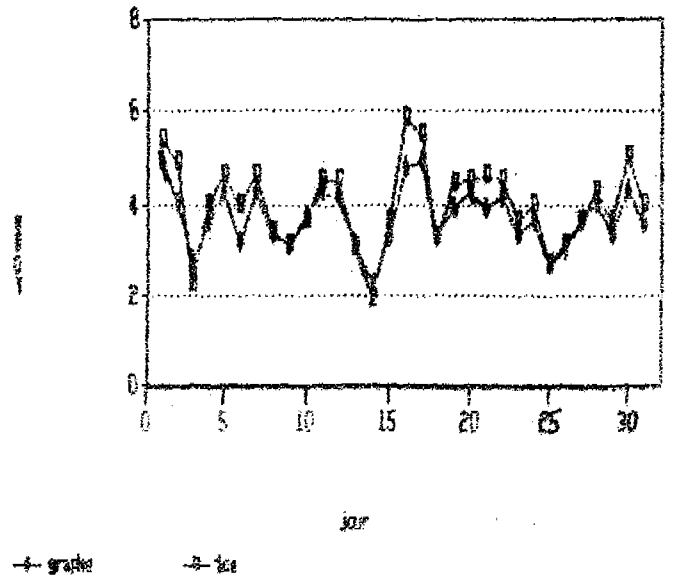


Fig 3 : Ouagadougou Dec 86 : Moyennes mensuelles : TCM 2.3m/s
Graphe 2.7m/s

Vent moyen en n/s - Jan 72 Dakar



Vent moyen en n/s - Août 72 Dakar



Vent moyen en n/s - Avril 72 Dakar

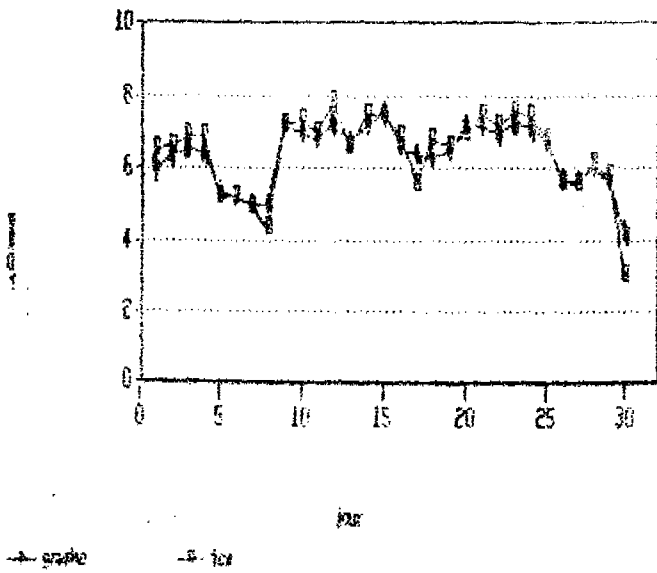
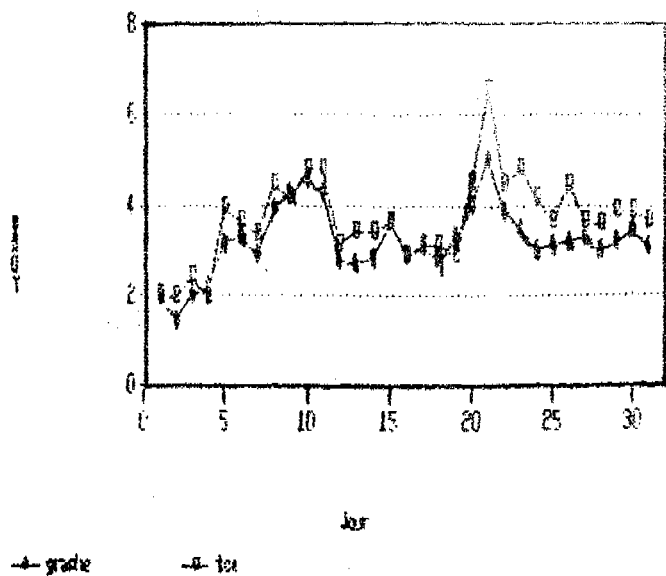


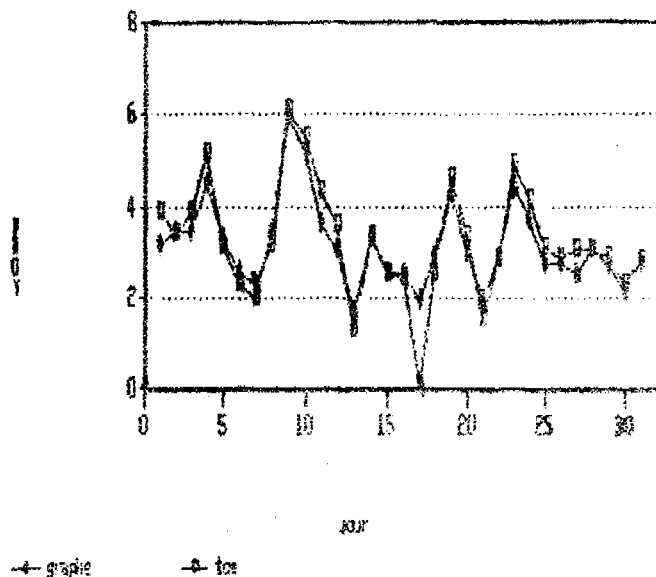
Fig 4 : Dakar - Janvier, Avril et Août 72

VITESSES MOYENNES JOURNALIÈRES

Vent moyen en n/s - JAN 70 St Louis



Vent moyen en n/s - AOÛT 70 St Louis



Vent moyen en n/s - AVR 70 St Louis

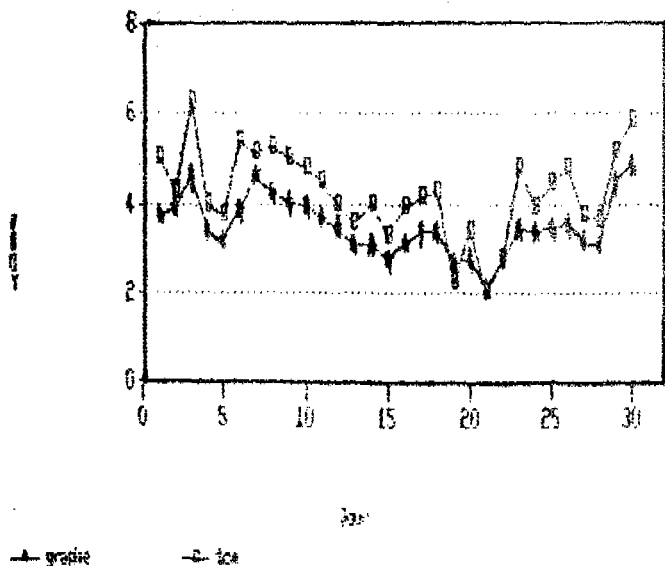
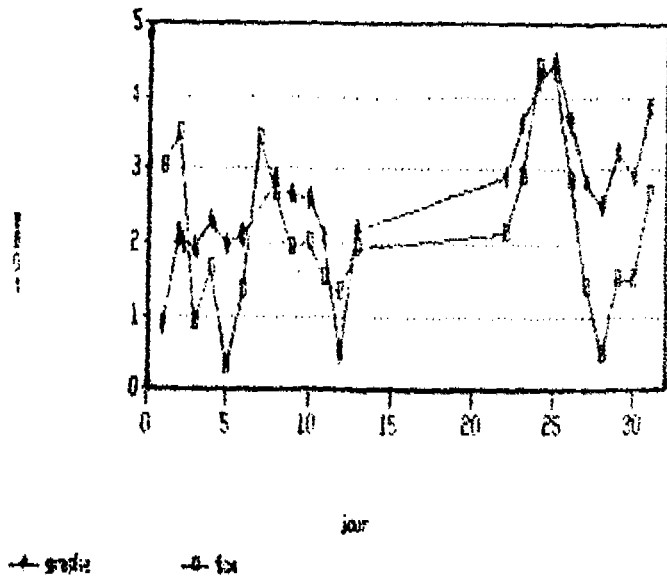
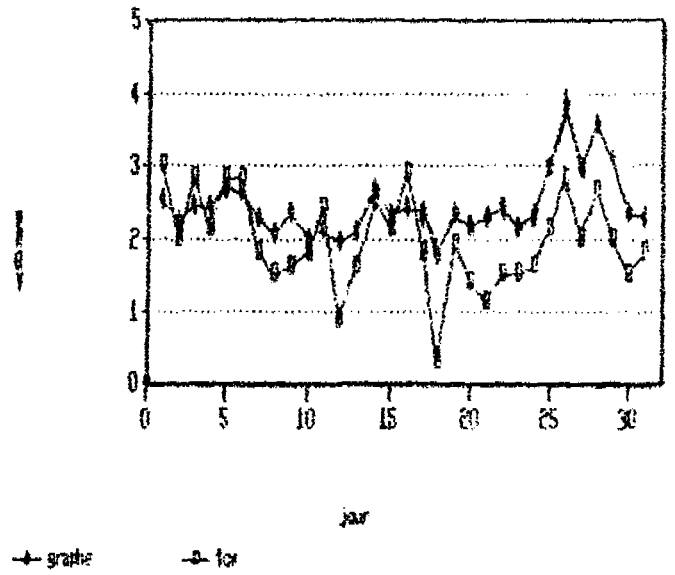


Fig 5 : Saint Louis . Janvier, Avril et Août 70

Vent moyen en n/s - Jan 77 Tanbacounda



Vent moyen en n/s - AOÛT 77 Tanbacounda



Vent moyen en n/s - AVR 77 Tanbacounda

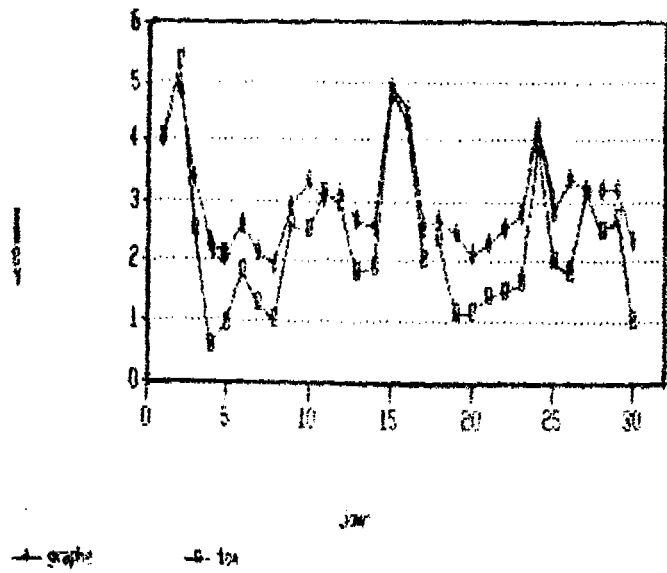


Fig 6 : Tanbacounda - Janvier, Avril et Août 77

Tableau II.2: Ecart relatif TCM/Grappe sur les moyennes mensuelles
 (Grappe pris comme référence)

formule utilisée: $(V_{tcm} - V_{grappe}) / V_{grappe} \quad (x100)$

Stations	mois	janvier	avril	août	sept.	déc.
Ouagadougou	(1986)				-30 %	-20 %
Bobo Dioulasso	(1986)	+3 %				
Dakar	(1972)	+5 %	+2 %	+8 %		
Saint-Louis	(1970)	+15 %	+20 %	+4 %		
Tambacounda	(1977)	-18 %	-23 %	-20 %		

Conclusion concernant les vitesses moyennes journalières

On note des écarts sensibles entre les deux méthodes de relevés. Le sens de cet écart est variable selon les cas étudiés (sites et périodes). On note cependant qu'au Burkina Faso, où les vitesses restent faibles, le graphe donne des moyennes supérieures à celles des TCM. Au Sénégal, où le vent est plus fort, c'est le contraire.

Cette étude des vitesses moyennes journalières, bien que n'ayant aucun caractère systématique, permet néanmoins de dégager les points suivants:

- il est indispensable de vérifier le bon étalonnage des instruments, afin de procéder à une correction éventuelle des données lorsqu'on peut déceler une erreur systématique;

- on ne peut attendre une grande précision des TCM lorsque les vitesses de vent restent faibles ;

- mis à part ces cas (mauvais étalonnage ou faibles vitesses), et pour des applications ne nécessitant pas une précision meilleure que 15 à 20 % environ, le recours aux relevés TCM comme échantillonnage de la vitesse du vent est envisageable;

- lorsqu'une application à des fins énergétiques est envisagée, telles que le dimensionnement d'éoliennes de tout type, on a généralement recours à la vitesse moyenne annuelle ou mensuelle sur le site pour reconstituer une loi de distribution des vitesses de vent dite de Weibull. (Rappelons que la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse et donc que l'erreur relative sur la puissance est le triple de celle commise sur la vitesse).

L'utilisation des relevés TCM peut donc être envisagée pour calculer une vitesse moyenne annuelle qui serait une valeur d'entrée pour le calcul d'une distribution de Weibull.

II.4.2. Vitesses maximales instantanées

a/ Au Burkina Faso

fig 7 : Bobo Dioulasso - Juin 86
fig 8 : Ouagadougou - Septembre 86
fig 9 : Ouagadougou - Décembre 86

VXT : vitesse maximum instantanée relevée sur TCM
VXG : " " " " " Graphe
TH : valeur maximale des relevés trihoraires

Commentaires:

* Bobo Dioulasso - Juin 86 :

Les vitesses maximales instantanées relevées sur TCM sont anormalement élevées. Une vérification des graphes et TCM n'a pas donné d'explication satisfaisante.

* Ouagadougou - Septembre 86 :

On peut noter 2 anomalies sur la figure 8 (jours 7 et 8, et jours 24 et 25), qui sont sans doute des inversions de jours sur les relevés TCM.

* Ouagadougou - Décembre 86 :

On note une très bonne concordance entre les maxima relevés sur TCM et sur graphe. Par contre, les valeurs maximales des relevés trihoraires semblent minimiser systématiquement les vitesses maximales instantanées.

b/ Au Sénégal (Dakar, Saint-Louis, Tambacounda)

Sur les 3 stations on note une concordance exacte entre TCM et enregistrement continu, sur l'ensemble des 3 mois étudiés. Une telle identité laisse à penser qu'en fait, la valeur maximale portée sur le TCM était probablement déduite d'une observation visuelle de l'enregistrement continu du jour.

c/ Conclusion concernant les vitesses maximales instantanées

On note dans l'ensemble une très bonne concordance entre TCM et Graphe; les valeurs indiquées sur TCM ou lues sur les enregistrements continus semblent pouvoir être utilisées indifféremment. Les valeurs maximales des relevés trihoraires sous-estiment nettement la valeur maximale instantanée du vent.

□
UXG
■
UXT
x
TH

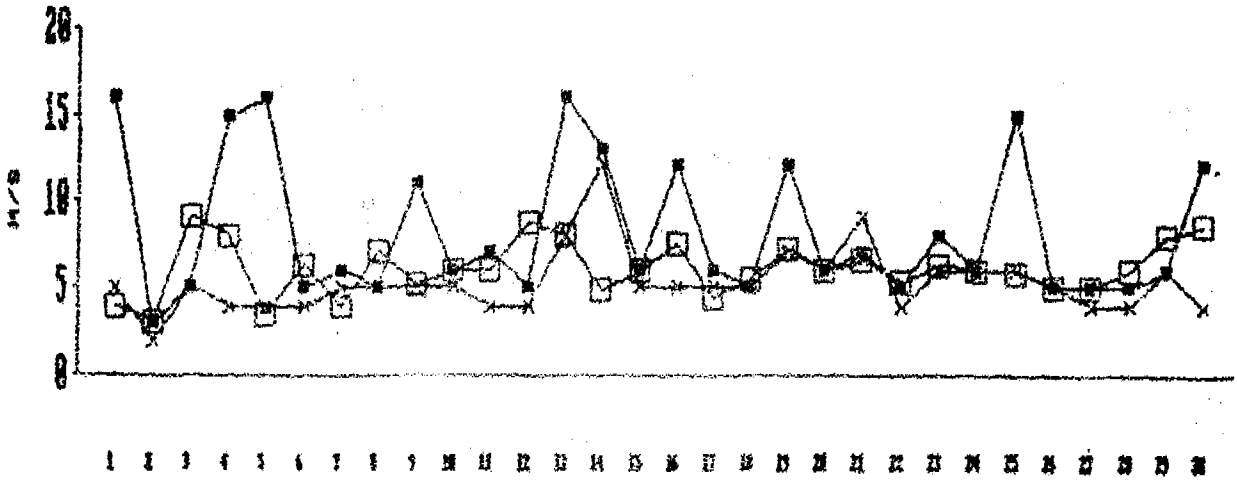


Fig 7 : Bobo Dioulasso - Juin 86

□
UXG
■
UXT
x
TH

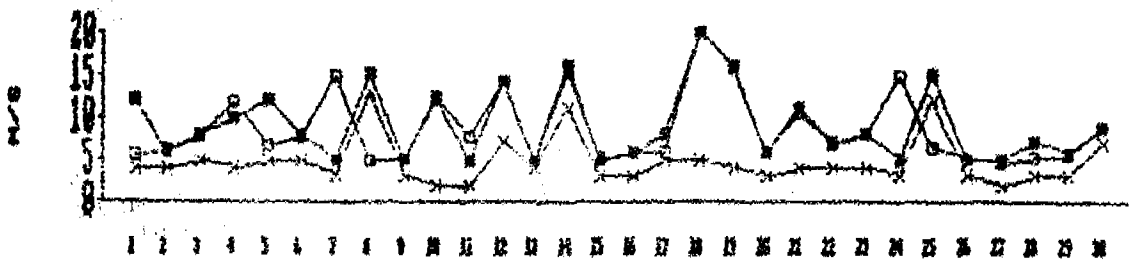


Fig 8 : Ouagadougou - Sept 86

□
UXG
■
UXT
x
TH

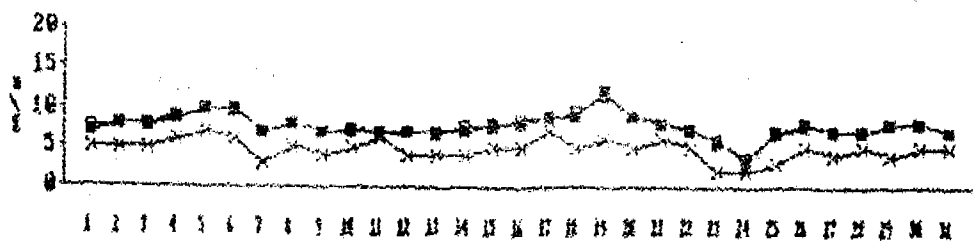


Fig 9 : Ouagadougou - Dec 86

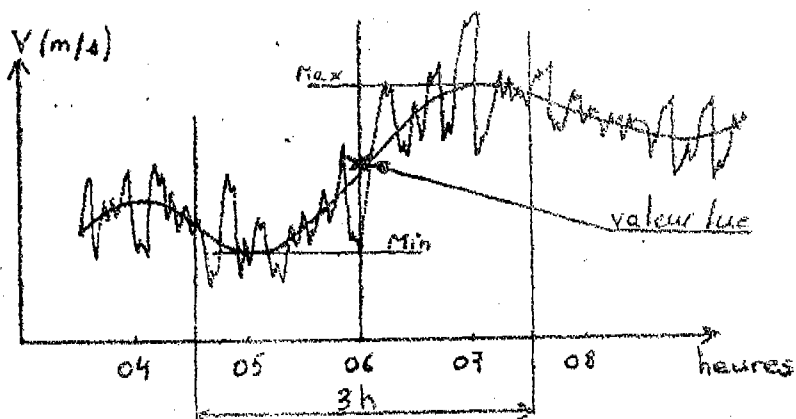
II.4.3. Répartition des vents en classes de vitesses (histogrammes des vitesses lues toutes les 3h)

a/ Au Burkina Faso

La comparaison, réalisée par le CIEH, porte sur les courbes de fréquence des différentes classes de vitesse, correspondant aux relevés TCM (PCT-T) et graphiques (PCT-G).

Les résultats obtenus par le dépouillement graphique présentant de grosses différences avec ceux des TCM, un 2ème dépouillement a été réalisé de la façon suivante: lecture de la vitesse moyenne sur 3 heures centrées sur l'observation trihoraire (0,3,6.....heures).

Exemple:



* : valeur lue = centre des points extrêmes de la courbe moyenne tracée sur l'enregistrement graphique.

Ces résultats sont présentés à la suite des premiers sous les noms VTCM et VGRF. Le nombre de classes de vitesse a été augmenté; elles sont notées par la valeur de leur borne supérieure.

Ex : 1 pour les vitesses de 0 à 1 m/s.

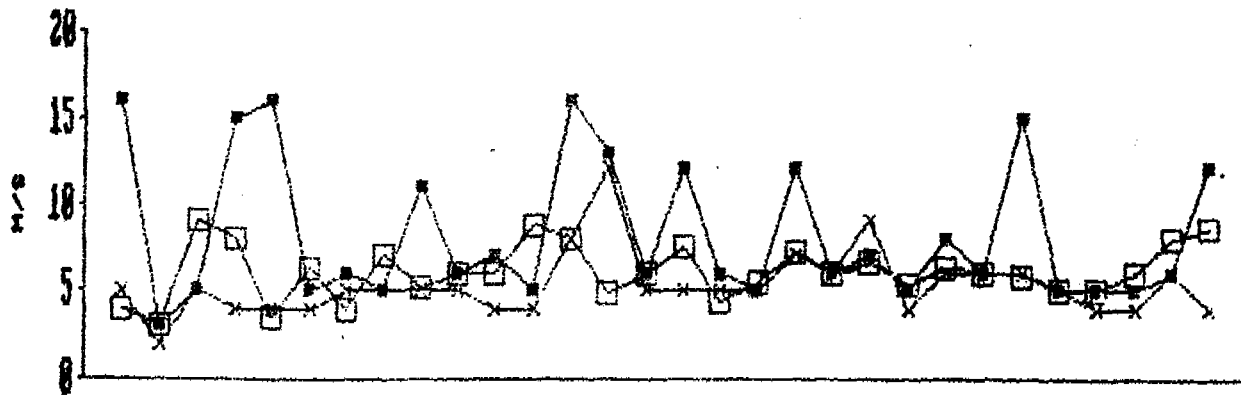
fig 10 : Bobo Dioulasso - Juin 86

fig 11 : Ouagadougou - Septembre 86

fig 12 : Ouagadougou - Décembre 86

VITRAGES MAXIMALES INSTANTANES

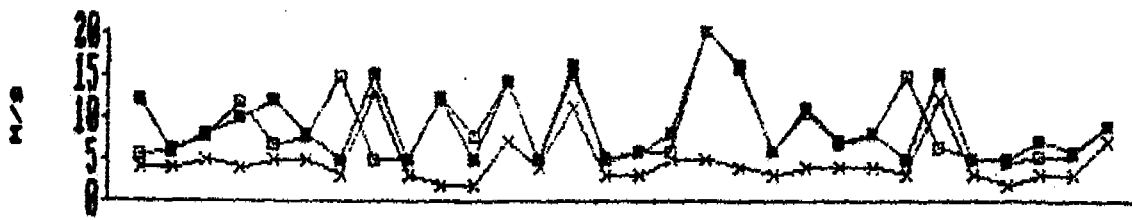
□
UXG
■
UXT
×
TH



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

Fig 7 : Bobo Dioulasso - Juin 86

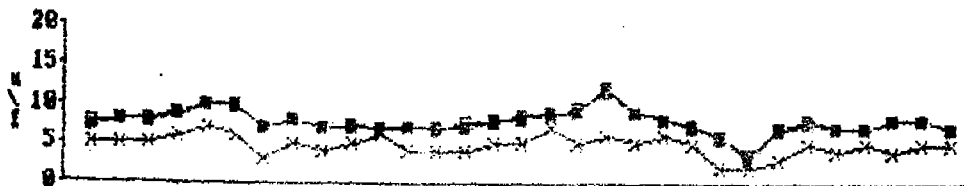
□
UXG
■
UXT
×
TH



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

Fig 8 : Ouagadougou - Sept 86

□
UXG
■
UXT
×
TH



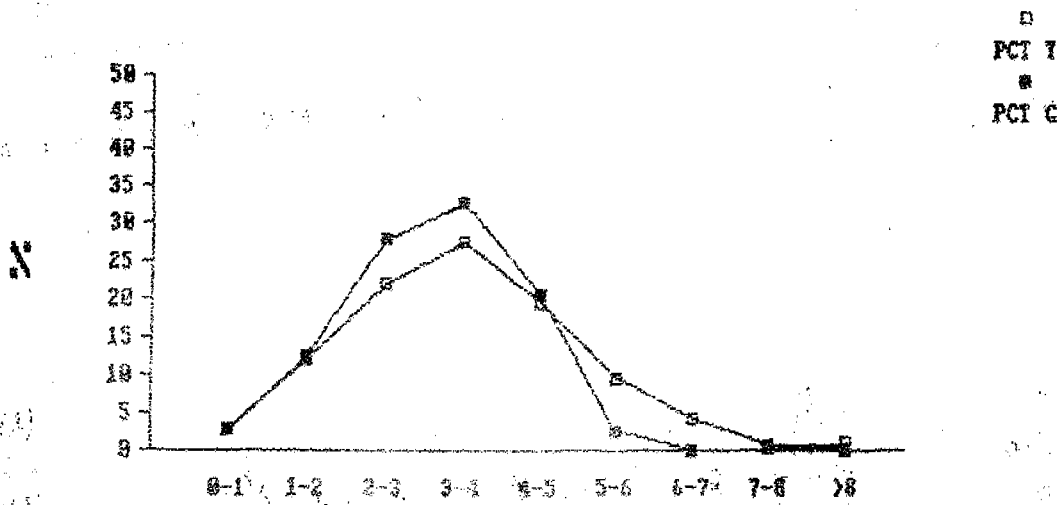
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

Fig 9 : Ouagadougou - Dec 86

HISTOGRAMMES DE VITESSE

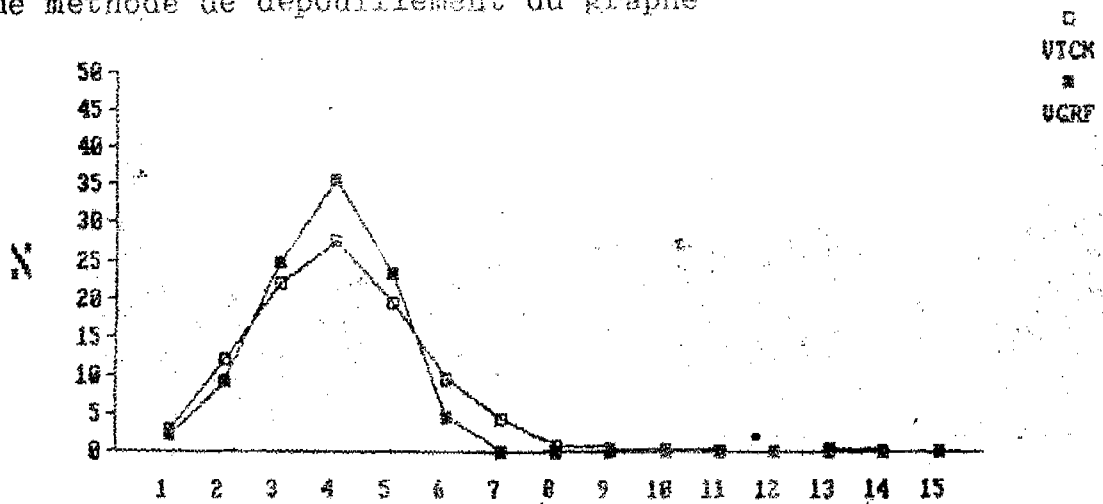
Fig 10 : Bobo Dioulasso - Juin 86

* 1ère méthode de dépouillement du graphe



Energie récupérable - ETCM = 14963 Wh/m²
 EGRF = 9668 Wh/m²

* 2ème méthode de dépouillement du graphe

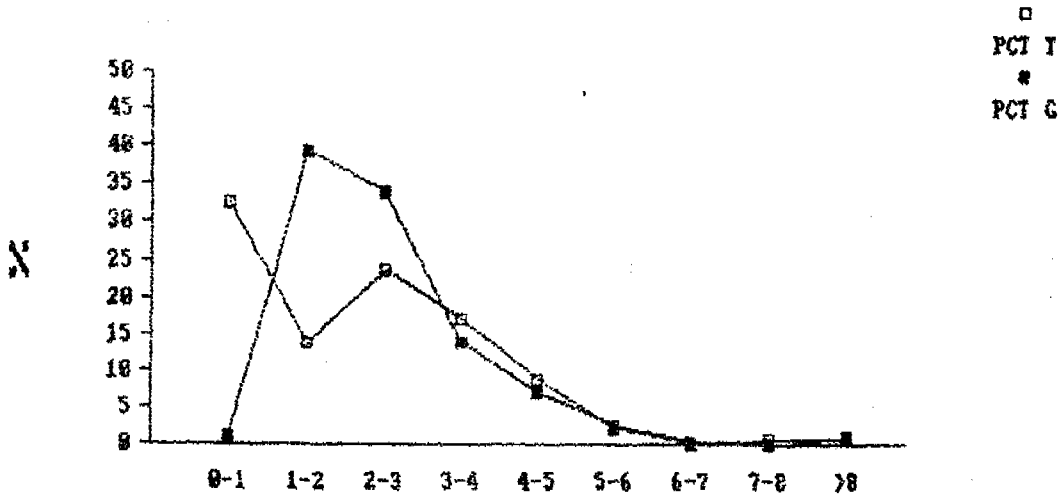


Energie récupérable : ETCM = 14963 Wh/m²
 EGRF = 9985 Wh/m²

HISTOGRAMMES DE VITESSE

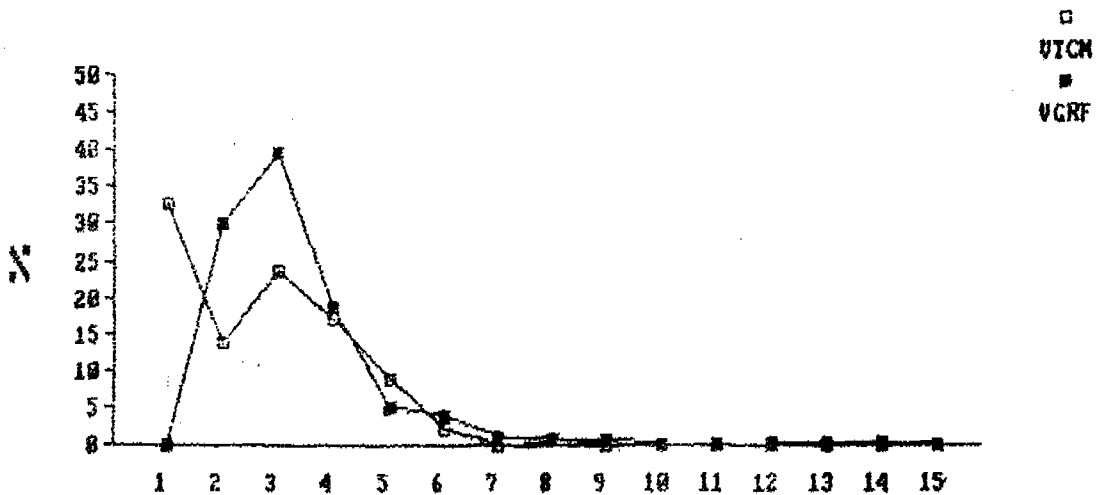
Fig 11 : Ouagadougou - Sept 86

* 1ère méthode de dépouillement du graphe



Energie récupérable : ETCM = 10010 Wh/m²
EGRF = 5880 Wh/m²

* 2ème méthode de dépouillement du graphe

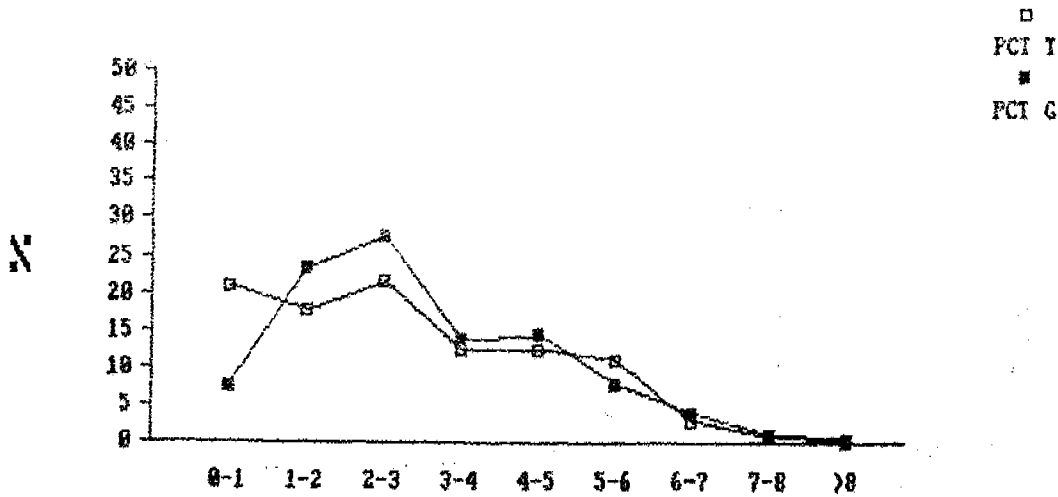


Energie récupérable : ETCM = 10010 Wh/m²
EGRF = 7530 Wh/m²

HISTOGRAMMES DE VITESSE

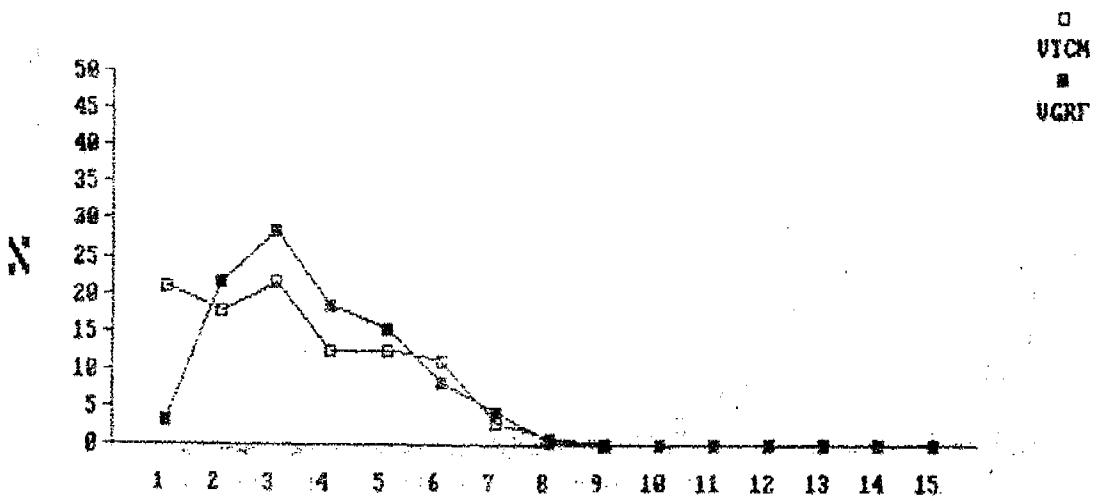
Fig. 12 : Ouagadougou - Dec 86

* 1ère méthode de dépouillement du graphe



Energie récupérable : ETCM = 9317 Wh/m²
 EGRF = 11175 Wh/m²

* 2ème méthode de dépouillement du graphe



Energie récupérable : ETCM 9317 Wh/m²
 EGRF 11568 Wh/m²

Commentaires:

Les différences d'effectifs sont très marquées pour les classes 1,2 3 et parfois 4. Cela peut s'expliquer par les méthodes de dépouillement des graphes : l'une et l'autre centrent les valeurs des effectifs de vitesse du vent sur les classes moyennes, ce qui entraîne pas ou peu de vent inférieur à 1 m/s, et plus de valeurs de vitesse comprises entre 1 et 4 m/s que dans les TCM.

Ceci est dû pour la 1ère méthode au grand nombre de relevés effectués (3 fois plus que dans les TCM), et pour la 2ème méthode de dépouillement à l'estimation d'une valeur moyenne sur la période de 3 h centrée sur le point de relevé.

b/ Au Sénégal

La même comparaison a été réalisée par le CERER sur les stations du Sénégal (graphe/TCM).

Le traitement des enregistrements continus a été effectué en réalisant une intégration graphique de la vitesse sur un pas de temps trihoraire centré sur l'heure de relevé TCM. On a ainsi obtenu 8 valeurs journalières de vitesses "graphiques" homologues des vitesses TCM.

fig 13 : Dakar
fig 14 : Saint-Louis
fig 15 : Tambacounda

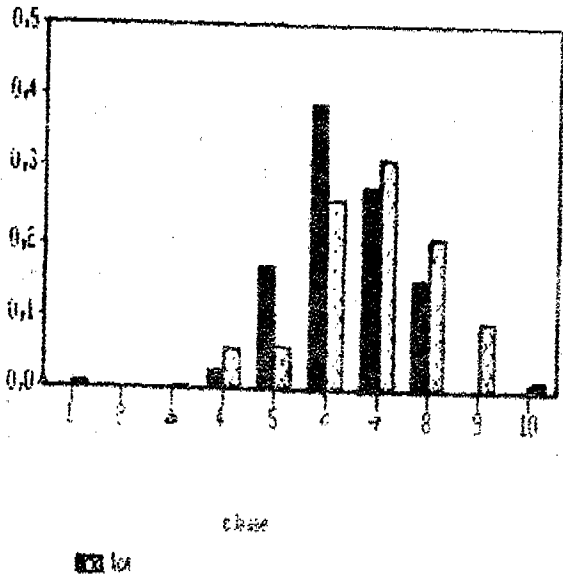
Commentaires:

* Dakar:

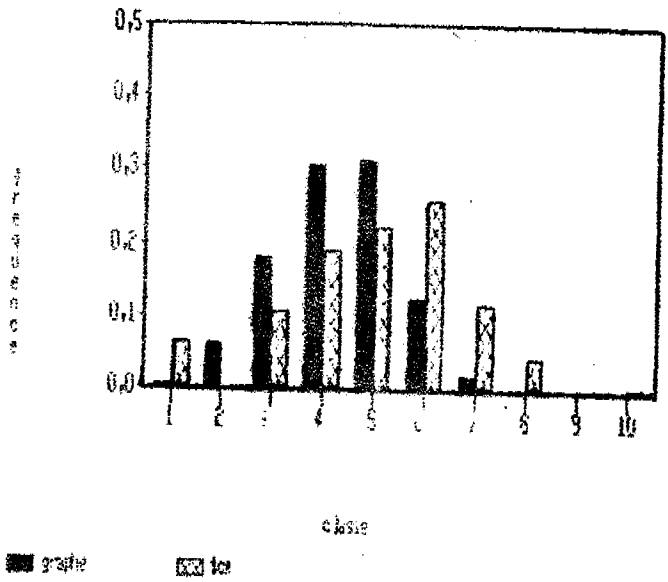
La comparaison des histogrammes de vitesse met en évidence une distorsion assez importante entre relevés TCM et graphiques. Il apparaît en particulier que la distribution de vitesses obtenue à partir des TCM favorise les classes de vitesses élevées au détriment des classes de vitesses faibles. En effet, pour les classes 7 à 10, la fréquence obtenue avec les TCM est presque toujours supérieure à celle obtenue avec le graphe. Le phénomène s'inverse pour les classes 1 à 6.

Ainsi, les histogrammes de vitesses tirés du TCM et des graphes font apparaître des fonctions de distribution de la vitesse du vent sensiblement différentes, alors qu'elles présentent des moyennes très voisines (cf II.4.1.).

Dakar / Janvier 72



Dakar / Aout 72



Dakar / Avril 72

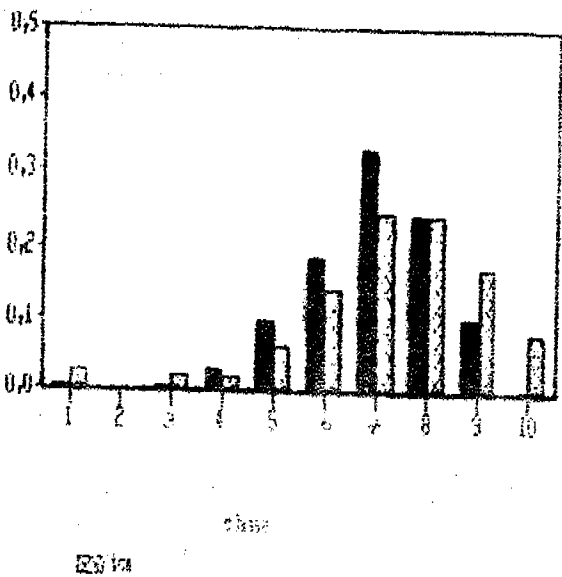
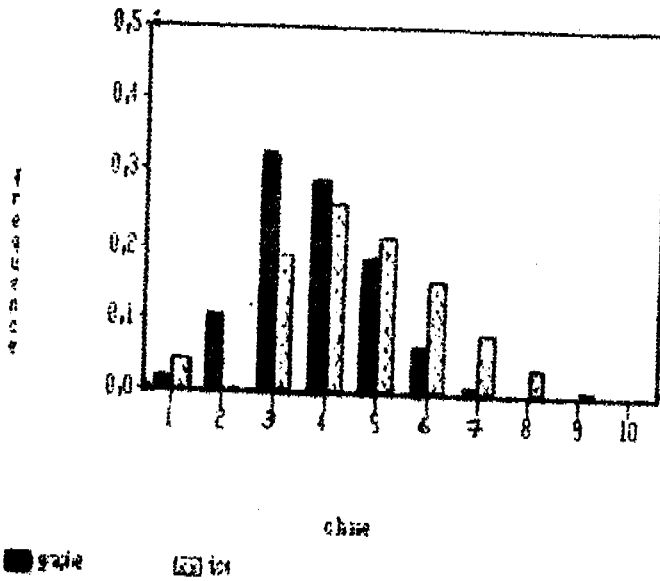


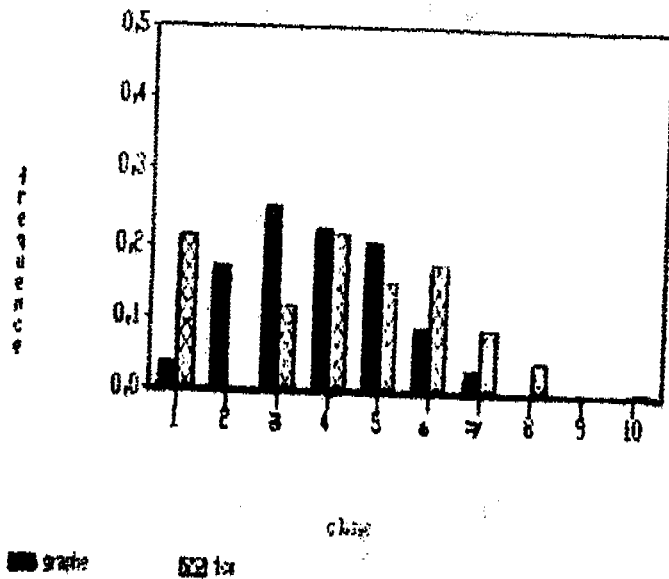
Fig 13 : Dakar - Janvier, Avril et Aout 72

HISTOGRAMMES DE VITESSE

Saint-Louis / Janvier 70



Saint-Louis / Août 70



Saint-Louis / Avril 70

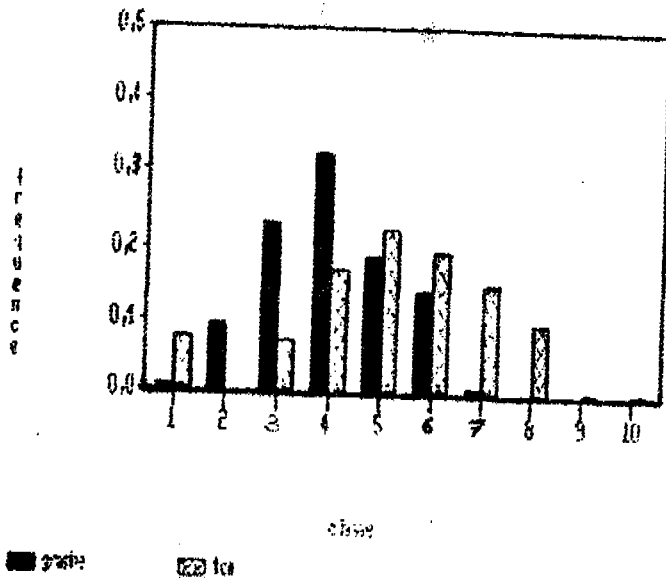
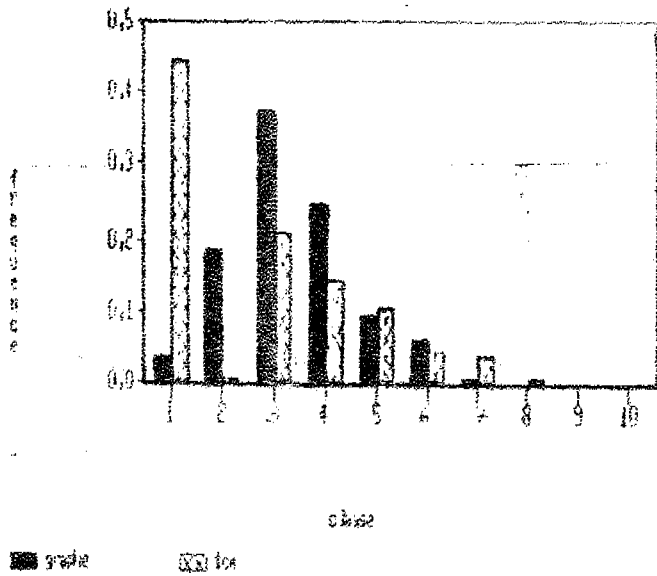
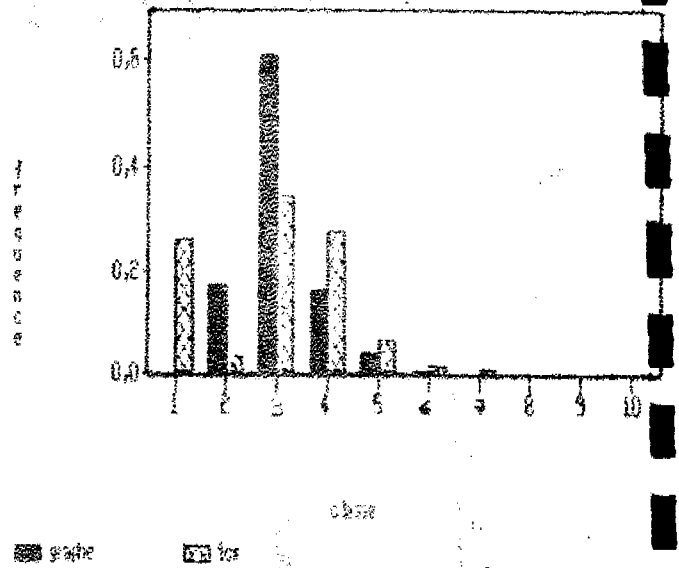


Fig 14 : Saint Louis - Janvier, Avril et Août 70

Tambacounda / Janvier 77



Tambacounda / Août 77



Tambacounda / Avril 77

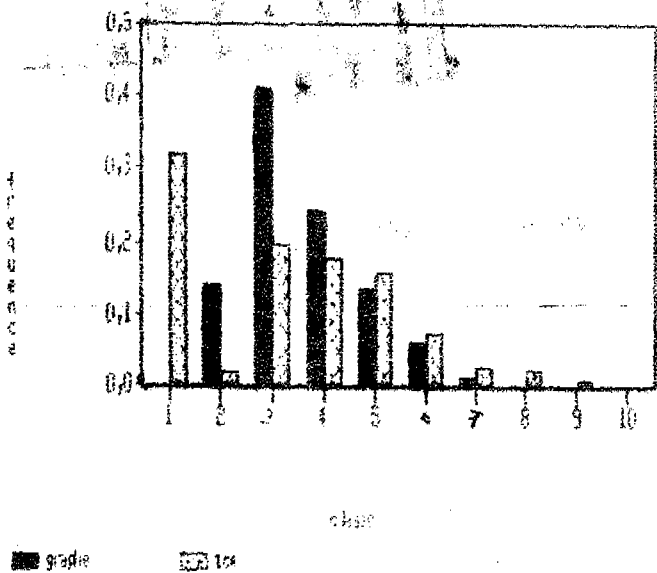


Fig 15 : Tambacounda - Janvier, Avril et Août 77

* Saint Louis:

On retrouve le même phénomène de distorsion. La différence apparaît toutefois plus marquée pour 3 raisons:

- le TCM surévalue les fréquences d'occurrence dès la classe 5 en janvier et avril, et la classe 6 pour le mois d'août;
- un écart assez important existe sur les valeurs moyennes de chaque distribution TCM ou graphe (cf II.4.1.);
- en août, on peut noter une distorsion particulière sur la classe 1 de vitesse. Toutefois, en termes énergétiques, cette distorsion a moins de conséquences que celles, bien que d'amplitude moindre, intervenant sur les classes de vitesses supérieures (classes > 5).

* Tambacounda

La comparaison des histogrammes fait apparaître, comme pour le cas de Dakar et Saint-Louis, une distorsion assez marquée entre TCM et enregistrements graphiques. Cette distorsion se révèle particulièrement pour la classe de vitesse 1, ce qui peut d'ailleurs expliquer l'écart constaté sur les vitesses moyennes.

c/ Conclusion concernant les histogrammes de vitesses:

Dans tous les cas étudiés, nous avons constaté une distorsion entre les deux méthodes de relevés. Nous retrouvons l'observation faite sur les vitesses moyennes, à savoir:

- le graphe favorise les faibles vitesses (< 3 ou 4 m/s);
- le TCM favorise les vitesses plus importantes (> 4 m/s).

Cette observation implique que, du point de vue énergétique, les TCM ont tendance à surestimer le potentiel éolien. C'est d'ailleurs ce que nous allons vérifier dans le paragraphe suivant.

II.4.4. Energie maximale récupérable.

a/ Ecart relatif entre graphe et TCM.

Nous comparons les énergies de Betz, en tenant compte des vitesses-seuil de démarrage des éoliennes: 2 m/s pour des éoliennes lentes, 6 m/s pour des éoliennes rapides.

Au Burkina, le cas des éoliennes rapides n'a pas été envisagé (vitesses de vent trop faibles). Les 2 méthodes de dépouillement des graphes y ont été prises en compte.

Egalement pour le Burkina, les deux méthodes de dépouillement ont été prises en compte.

L'écart relatif des énergies calculées à partir des TCM par rapport aux graphes pris comme référence est reporté dans les tableaux II.3 et II.4.

La formule utilisée est la suivante:

$$\Delta E / E = (E_{TCM} - E_{Graphe}) / E_{Graphe} \quad (x100)$$

(%)

Vseuil = 2 m/s	Ouagadougou septembre 86	Ouagadougou décembre 86	Bobo Dioulasso juin 86
1ère méthode de dépouillement du graphe	+ 70 %	- 17 %	+ 55 %
2ème méthode de dépouillement du graphe	+ 33 %	- 19 %	+ 50 %

Tableau II.3 : Ecart relatif entre les énergies de Betz calculées à partir du TCM et celles calculées à partir du graphe - Cas des stations du Burkina (étude CIEN)

(Le graphe est pris comme référence)

Vseuil	DAKAR 1972			SAINT LOUIS 1970			TAMBACOUNDA 1977		
	janv.	avril	août	janv.	avril	août	janv.	avril	août
2 m/s	+ 15%	+ 12%	+ 42%	+ 71%	+117%	+ 62%	+ 29%	+ 10%	+ 4 %
6 m/s	+ 60%	+ 21%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS : Non Significatif

Tableau II.4 : Ecart relatif entre les énergies de Betz calculées à partir du TCM et celles calculées à partir du graphe - Cas des stations du Sénégal (étude CERER)

(Le graphe est pris comme référence)

Voir également les figures 16, 17 et 18: comparaison des énergies mensuelles.

Commentaires:

Comme cela pouvait se prévoir au vu des histogrammes de vitesses, l'écart entre les énergies calculées à partir des 2 modes de relevés (TCM ou graphe) est très important. On observe des écarts pouvant aller jusque 100 %.

Sauf dans le cas de Ouagadougou - Décembre 86, cet écart va dans le sens d'une surévaluation du potentiel éolien par les TCM.

b/ Histogrammes énergétiques

fig 16 : Dakar
 fig 17 : Saint-Louis
 fig 18 : Tambacounda

On retrouve la même distorsion que sur les histogrammes de vitesse (les TCM favorisant les vitesses plus élevées).

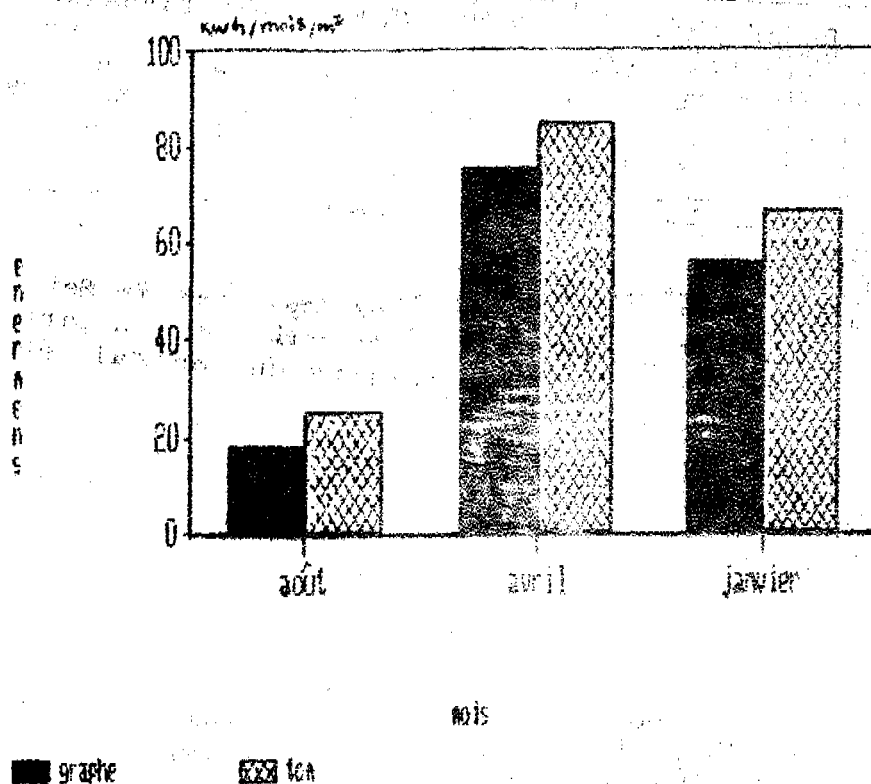
c/ Conclusion concernant les énergies récupérables.

L'utilisation des TCM comporte un risque de surévaluation du potentiel énergétique du vent. Il est préférable d'utiliser les enregistrements continus lorsque ceux-ci sont disponibles. Cependant, dans la majorité des cas, seuls les TCM existent, et faute de mieux, la seule estimation possible de l'énergie du vent sera basée sur ces relevés.

L'utilisateur des TCM doit donc être bien conscient de ce risque d'erreur, et utiliser ces chiffres avec précaution.

Fig 16 : Comparaison des énergies mensuelles à Dakar

Dakar : $V_{seuil} = 2 \text{ m/s}$



Dakar : $V_{seuil} = 6 \text{ m/s}$

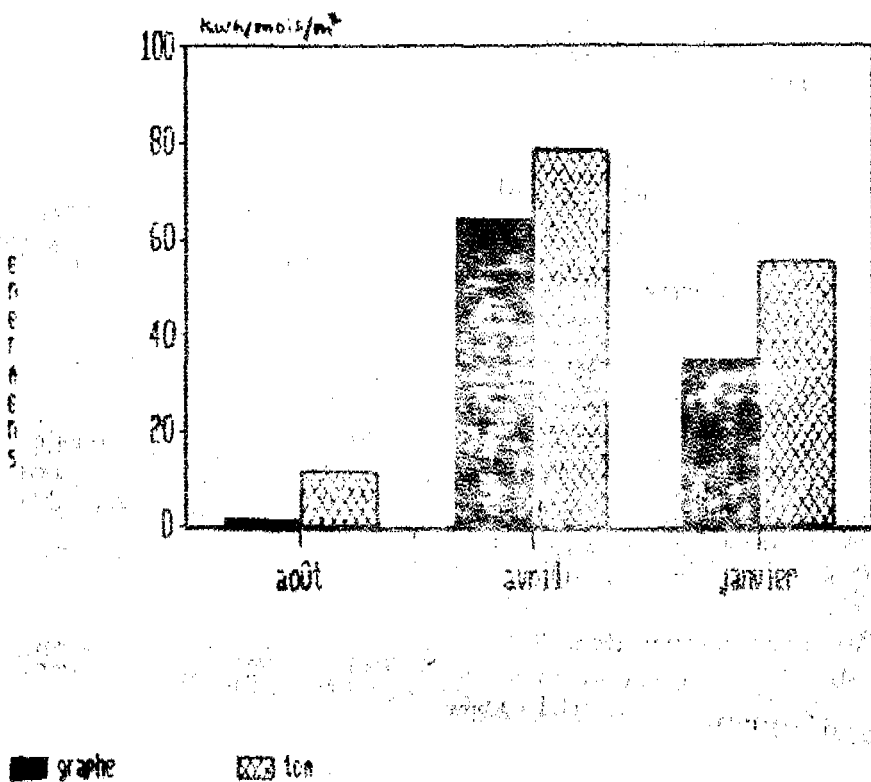
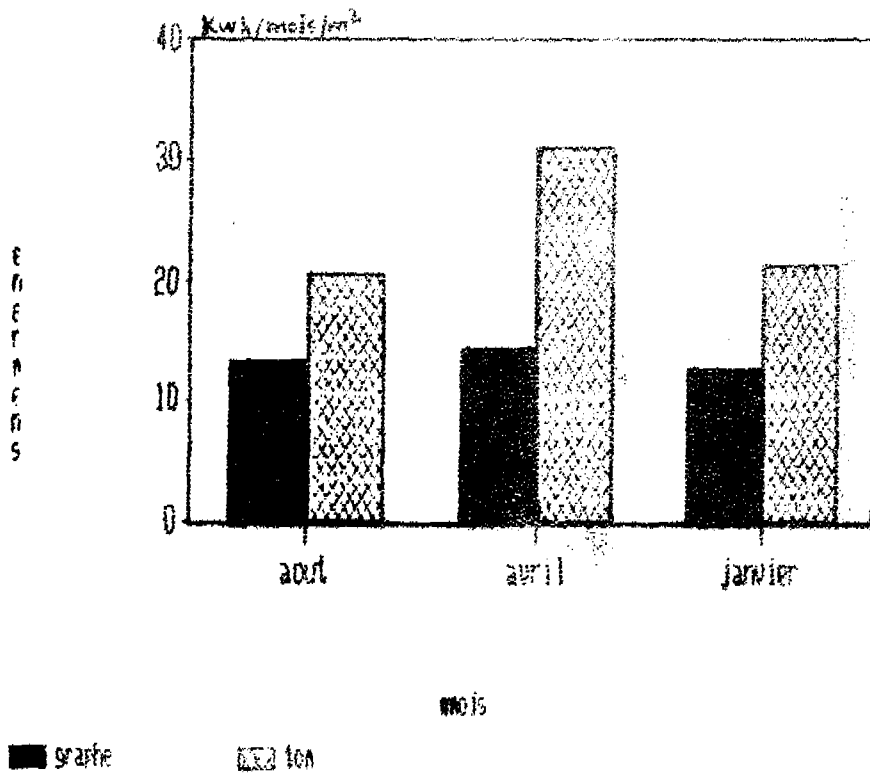


Fig 17 : Comparaison des énergies mensuelles à Saint-Louis

St-Louis : $V_{seuil} = 2 \text{ m/s}$



St-Louis : $V_{seuil} = 6 \text{ m/s}$

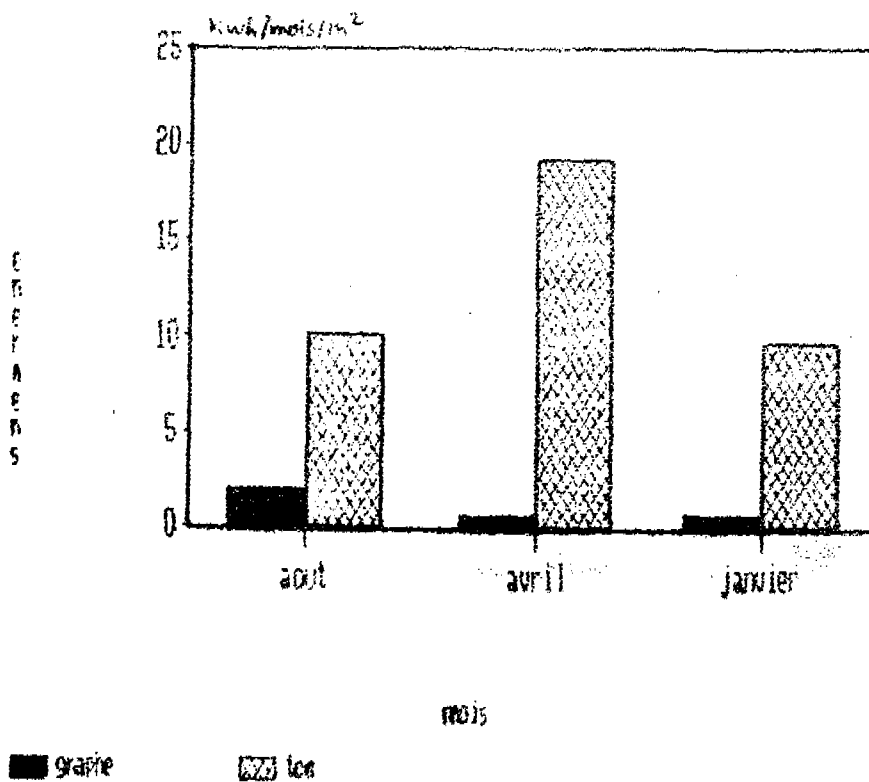
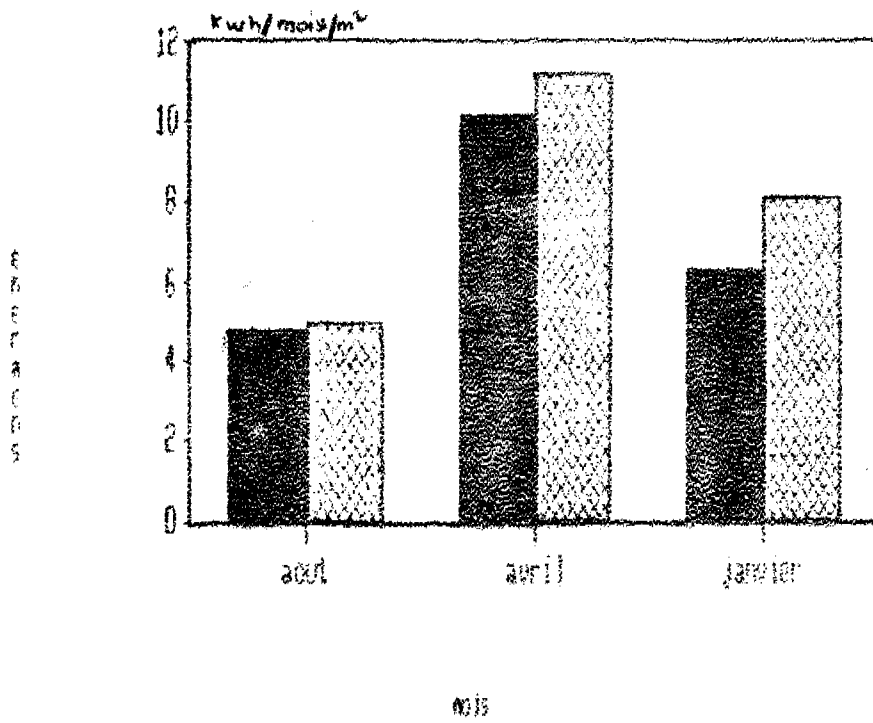


Fig. 18 : Comparaison des énergies mensuelles à Tambacounda

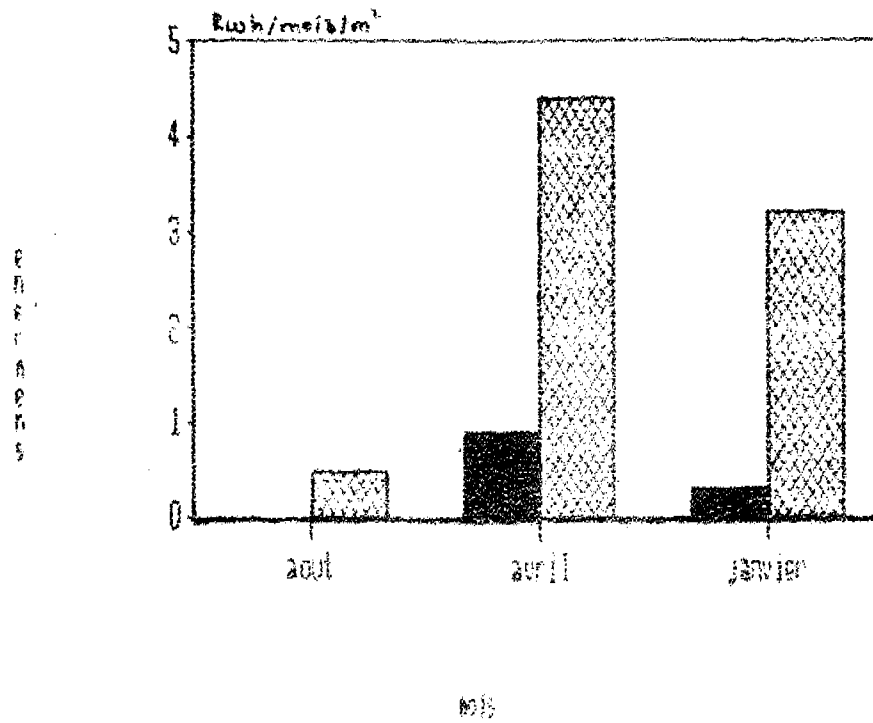
Tambacounda : $V_{\text{seuil}} = 2 \text{ m/s}$



■ graphe

▨ tes

Tambacounda : $V_{\text{seuil}} = 6 \text{ m/s}$

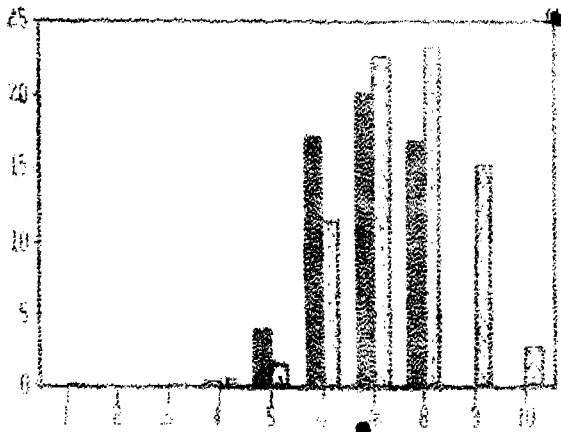


■ graphe

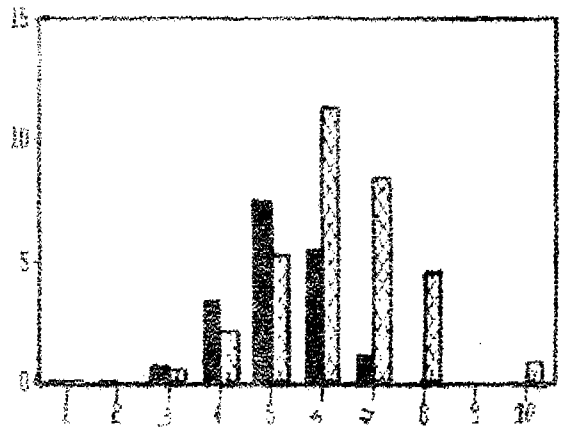
▨ tes

HISTOGRAMMES D'ENERGIE

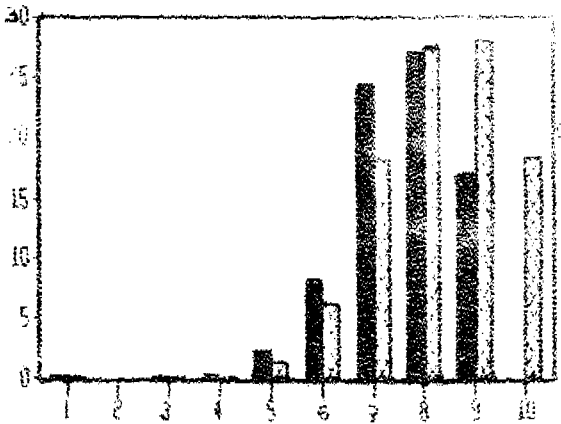
Dakar : Janvier



Dakar : Aout 72

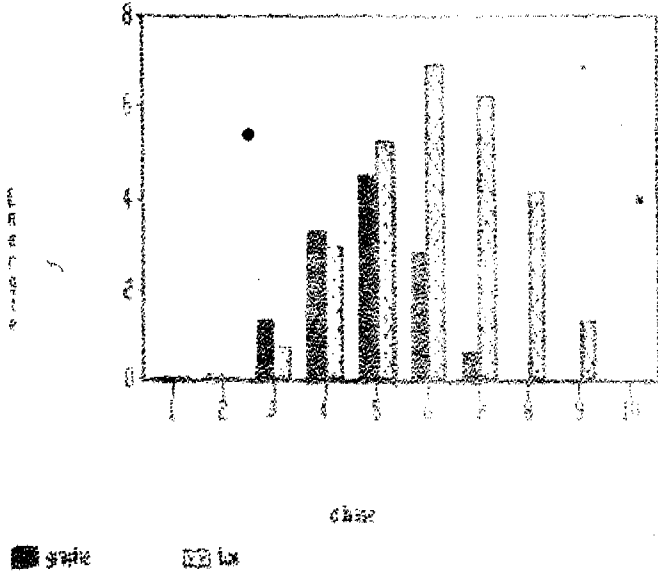


Dakar : Avril 72

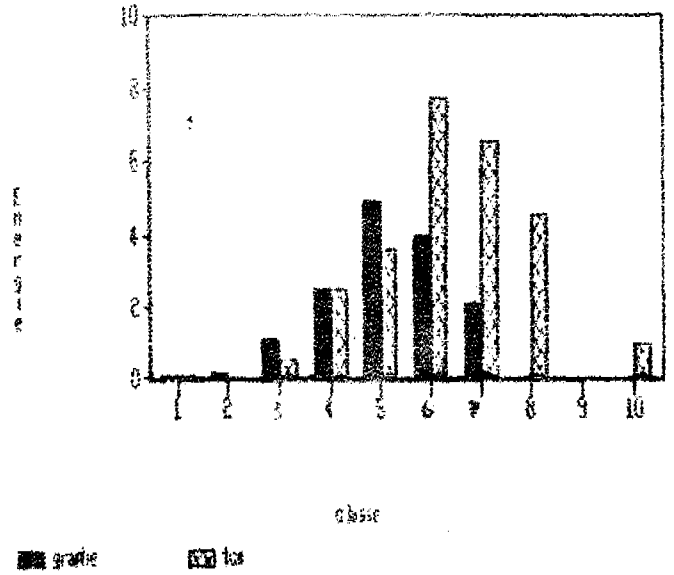


Mir 19 : Dakar - Janvier, Avril et Aout 72

Saint-Louis : Janvier 70



Saint-Louis : Aout 70



Saint-Louis : Avril 70

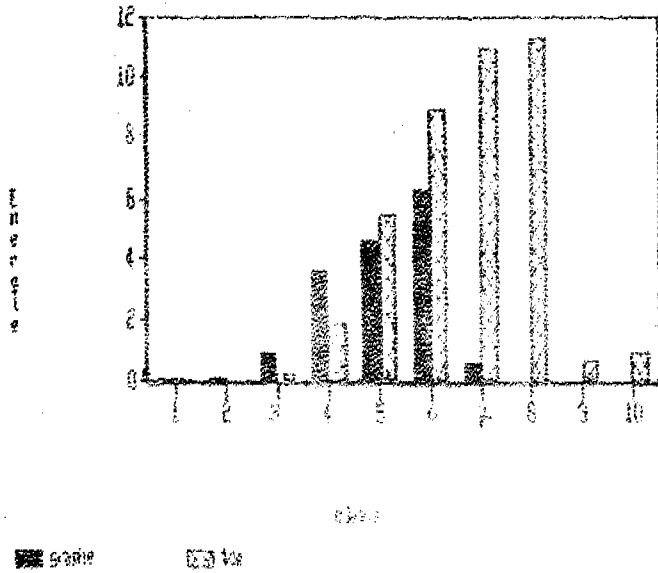
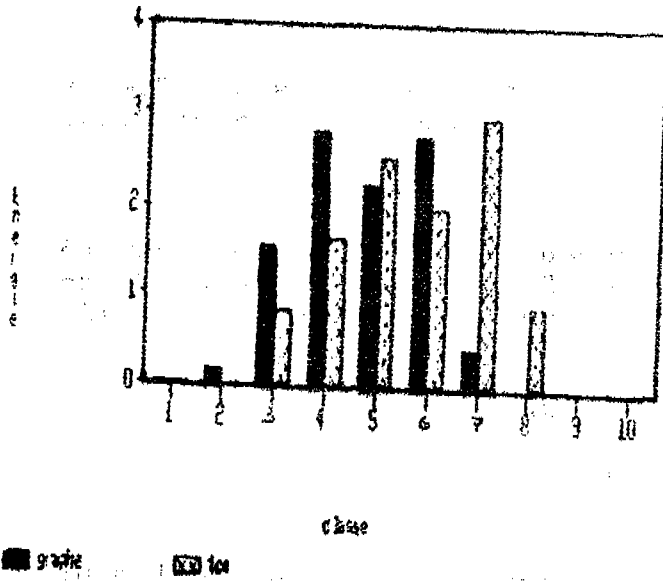
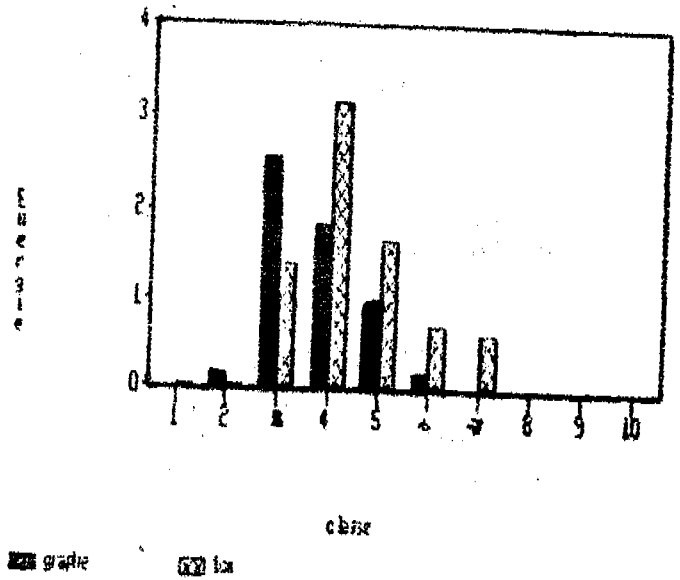


Fig 20 : Saint-Louis - Janvier, Avril et Aout 70

Tambacounda : Janvier 77



Tambacounda : Aout 77



Tambacounda : Avril 77

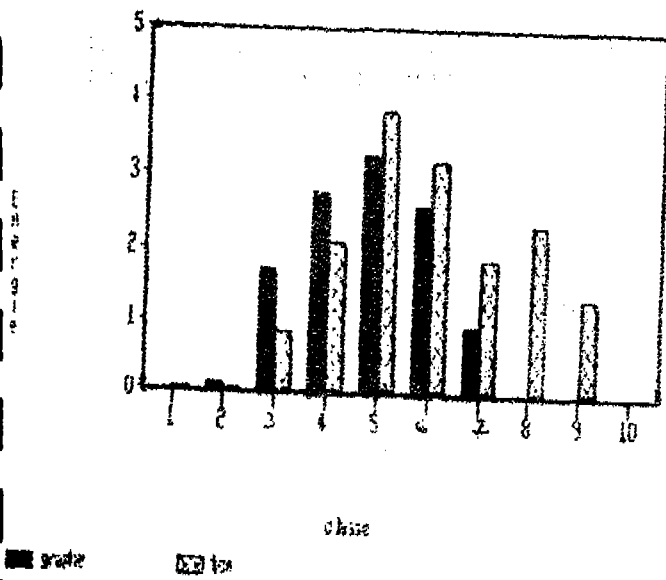


Fig 21 : Tambacounda - Janvier, Avril et Aout 77

II.4.5. Répartition en directions.

a/ Au Burkina Faso:

On compare les histogrammes de direction issus des TCM et des relevés graphiques, et le nombre de changements de direction.

DIR-T : TCM DIR-G : Graphe

- Changement de direction : Un changement de direction est compté pour une différence de 45° entre 2 relevés consécutifs de direction trihoraire. Sur le graphe, tous les changements de 45° en direction ont été comptés.

fig 19 : Bobo Dioulasso - Juin 86

fig 20 : Ouagadougou - Sept 86

fig 21 : Ouagadougou - Dec 86

Note : à Bobo, les graphes utilisés étant partiellement illisibles, la comparaison n'a pu être effectuée que pour quelques jours seulement.

Commentaires:

On note qu'en général, la répartition en direction est correcte, mais les changements de direction semblent inexploitable à partir des TCM.

b/ Au Sénégal:

Comparaison des histogrammes de direction:

fig 22 : Dakar

fig 23 : Saint-Louis

fig 24 : Tambacounda

Commentaires:

Dans l'ensemble, la cohérence entre TCM et enregistrements graphiques se révèle bonne en ce qui concerne la direction du vent. Ce résultat pouvait être attendu dans la mesure où les variations de direction sont des phénomènes assez lents et même assez peu fréquents dans la zone côtière où le régime d'alizés domine une bonne partie de l'année.

REPARTITION EN DIRECTIONS

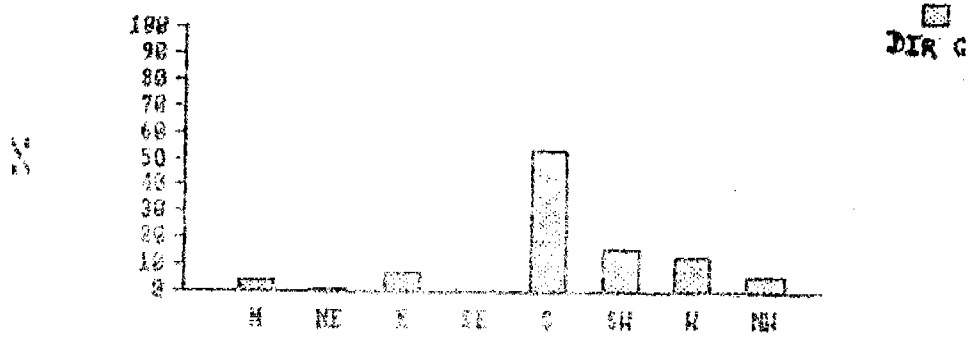
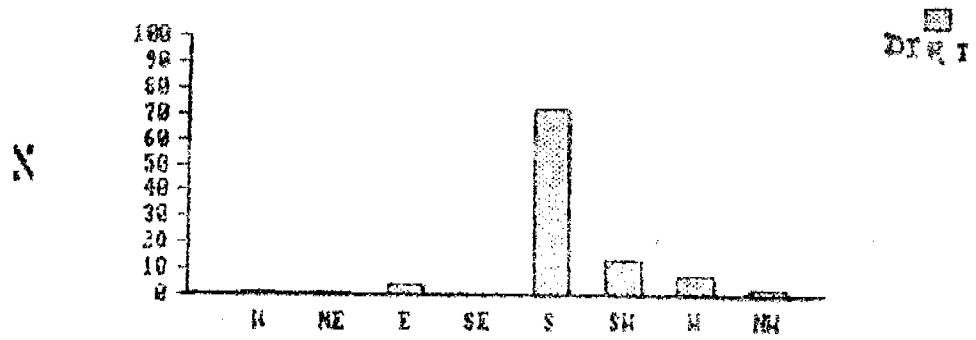


Fig 22 : Bobo Dioulasso - Juin 86

REPARTITION EN DIRECTION

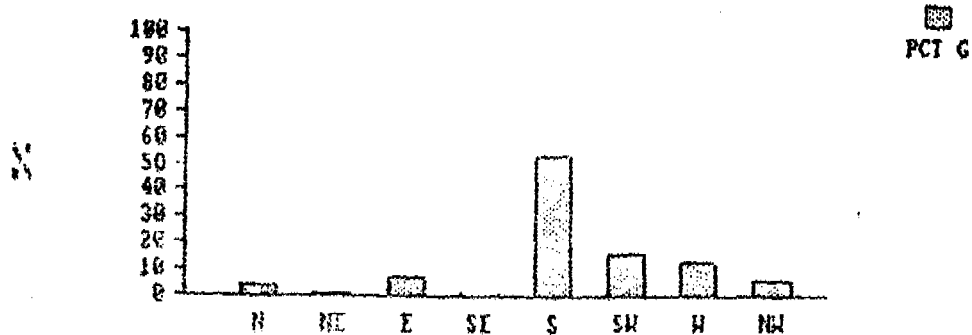
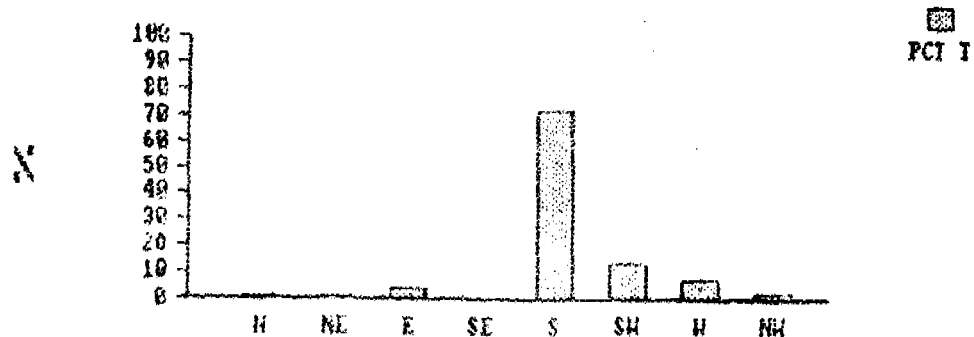


Fig 22 : Bobo Dioulasso - Juin 86

REPARTITION EN DIRECTIONS

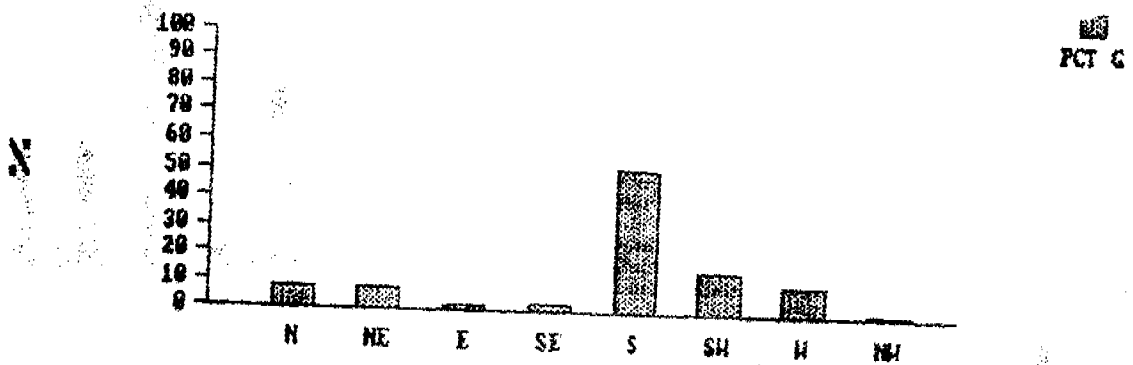
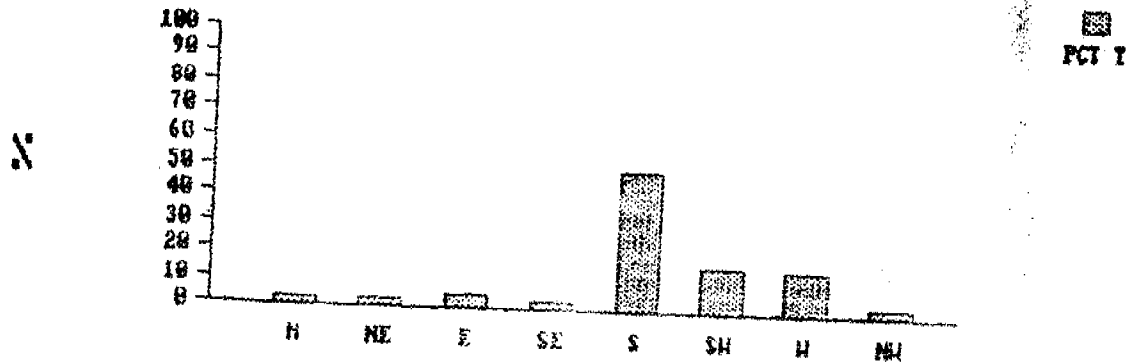


Fig 23 : Ouagadougou - Sept 86

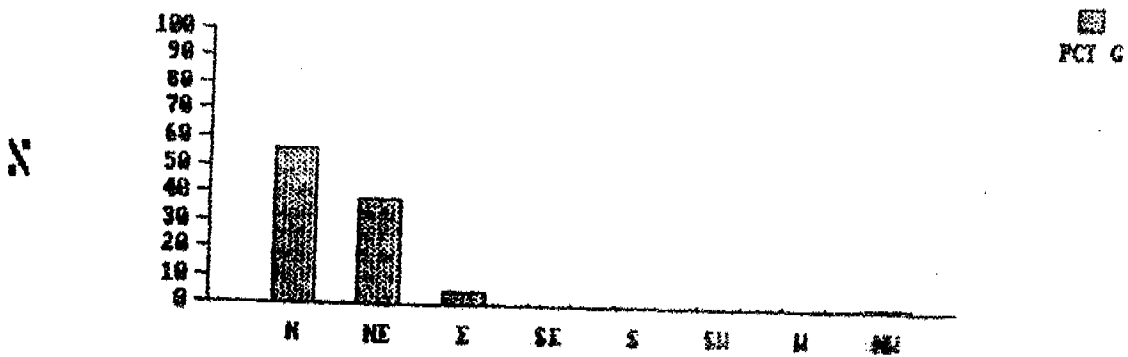
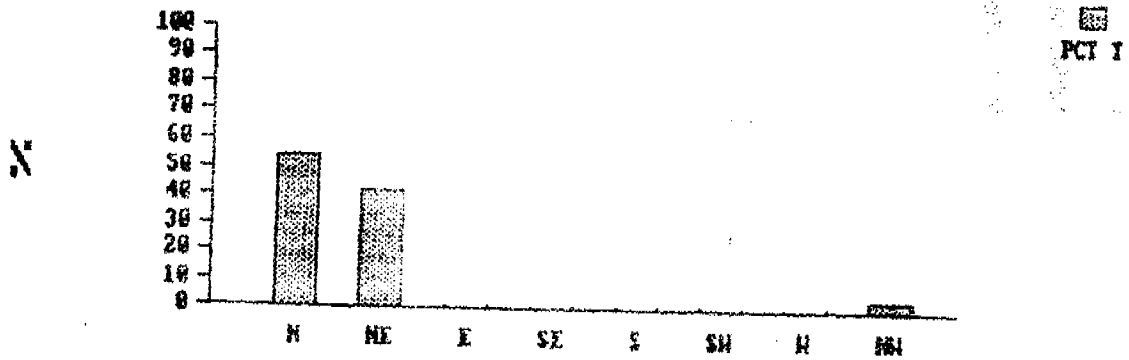
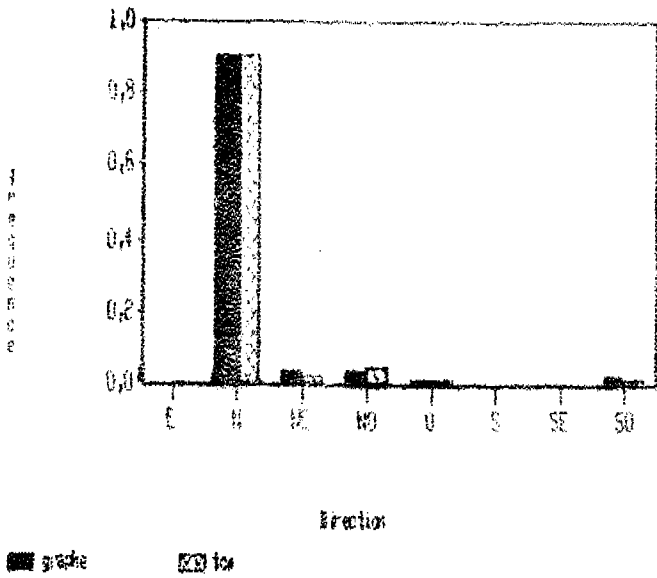


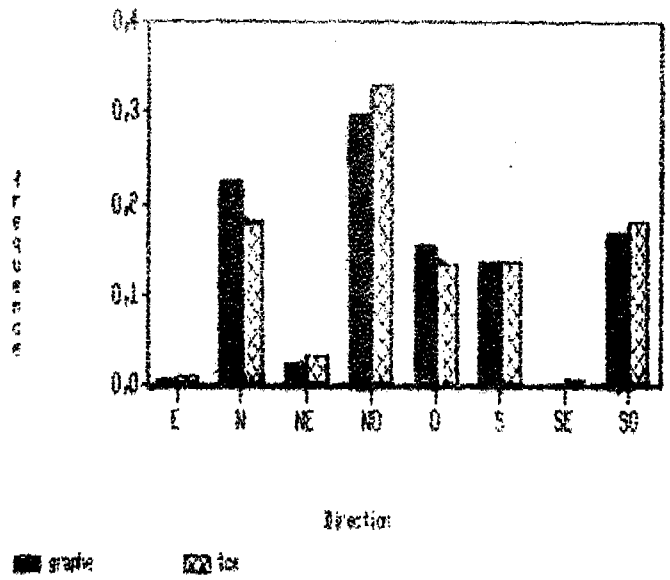
Fig 24 : Ouagadougou - Dec 86

REPARTITION EN DIRECTIONS

Dakar : Avril 72



Dakar : Aout 72



Dakar : Janvier 72

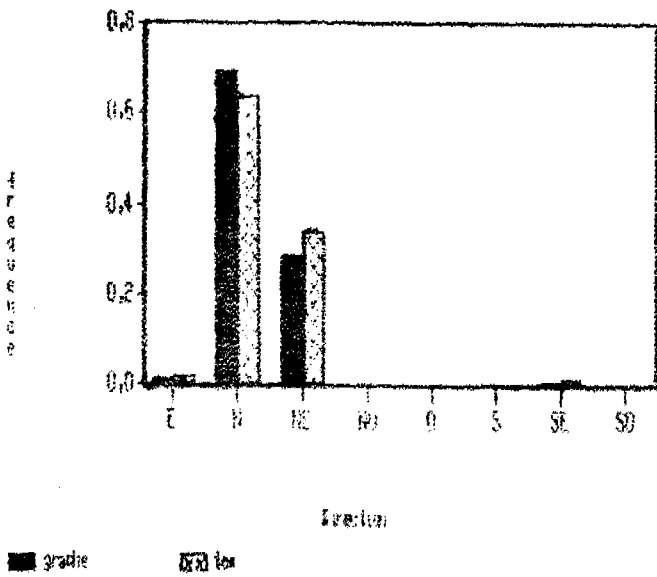
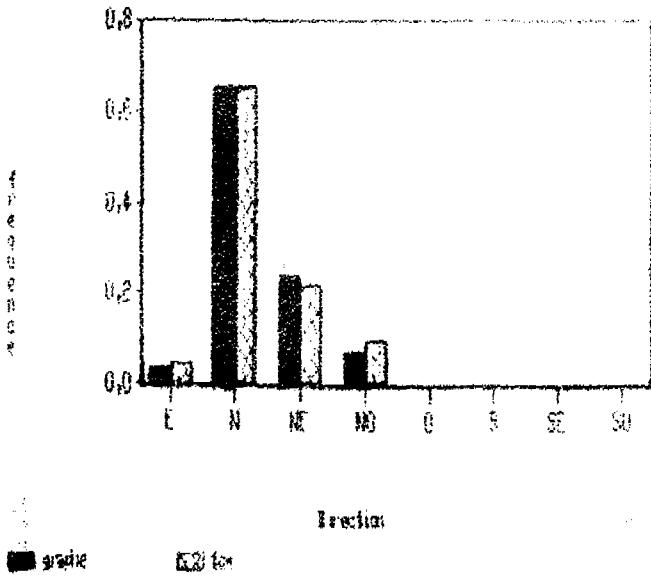


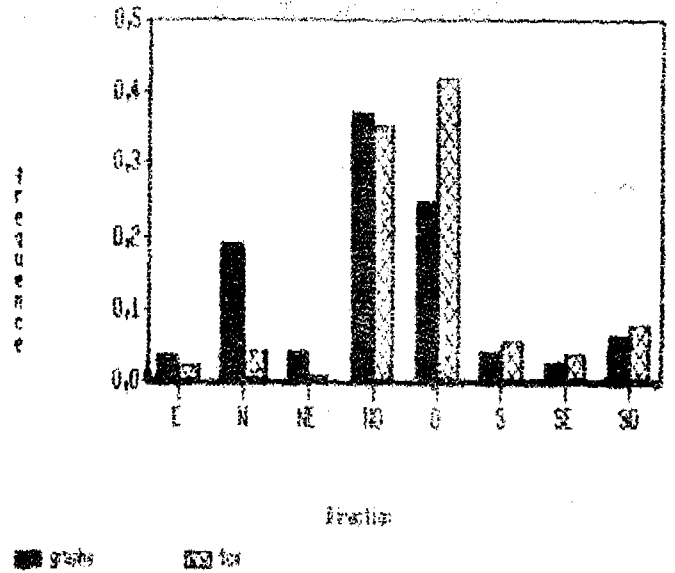
Fig 25 : Dakar - Janvier, Avril et Aout 72

REPARTITION EN DIRECTIONS

St-Louis : Janvier 70



St-Louis : Aout 70



St-Louis : Avril 70

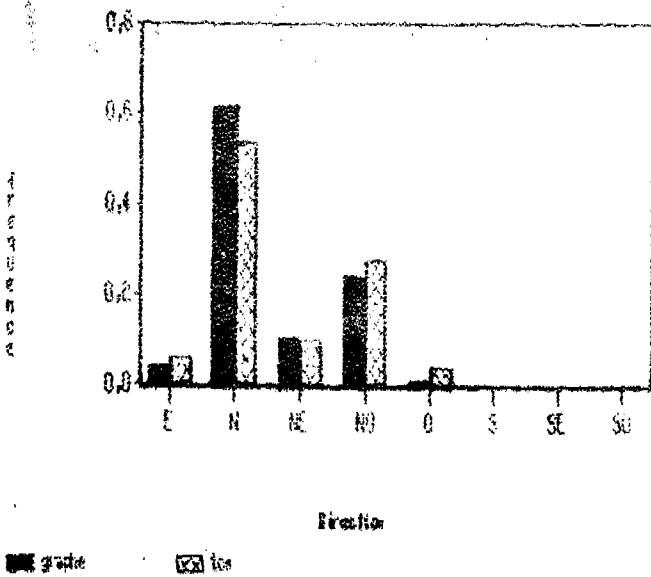
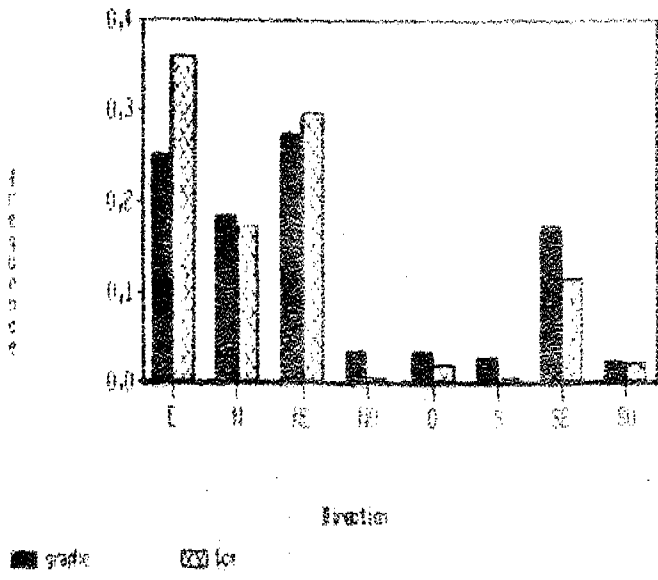
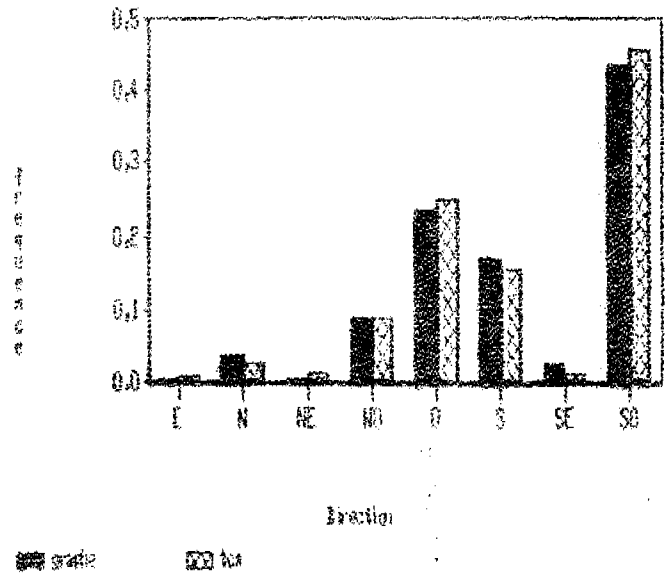


Fig 25 : Saint-Louis - Janvier, Avril et Aout 70

Tambacounda : Janvier 77



Tambacounda : Août 77



Tambacounda : Avril 77

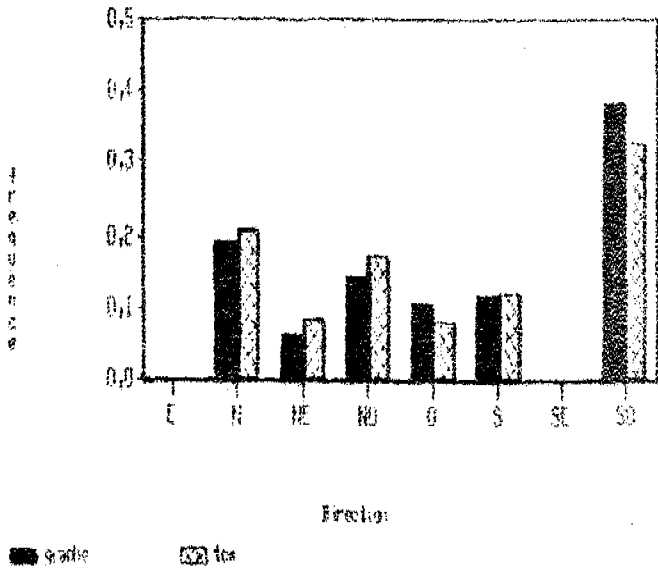


Fig 27 : Tambacounda - Janvier, Avril et Août 77

c/ Conclusion concernant les directions de vent

TCM et enregistrements graphiques donnent des résultats concordants en ce qui concerne les directions.

Les TCM sont difficilement exploitables pour évaluer le nombre de changements de direction, mais la connaissance du régime climatique dominant peut aider à combler cette lacune (exemple du régime d'alizés au Sénégal).

La direction du vent étant localement dépendante de la topographie et de la présence ou non d'obstacles naturels sur le terrain, il n'apparaît pas nécessaire d'approfondir plus l'analyse des directions du vent.

II.4.6. Conclusion concernant les stations synoptiques

TCM et enregistrements continus donnent des résultats présentant des différences sensibles.

Les TCM, bien que moins fiables, sont néanmoins la source d'informations la plus répandue. Ils permettent d'obtenir les vitesses moyennes du vent avec une précision de l'ordre de 15 à 20 % au pire (sauf cas particuliers des erreurs de lecture ou de mauvais étalonnage des appareils de mesure), ceci quand on travaille au pas de temps journalier ou mensuel.

Cette erreur semble plus faible sur la moyenne annuelle; les TCM peuvent ainsi être utilisés pour calculer cette vitesse moyenne annuelle, qui est une valeur d'entrée pour le calcul d'une distribution de Weibull.

En ce qui concerne les vitesses maximales et la durée des périodes de vent et de calme, TCM et graphe peuvent être utilisés indistinctement.

Pour ce qui est de la répartition en classes de vitesses, les TCM semblent favoriser les fortes vitesses ($>4\text{m/s}$), et le graphe les vitesses faibles. Les TCM ont donc tendance à surestimer le potentiel éolien.

Enfin, TCM et graphe sont cohérents en ce qui concerne la direction du vent.

Il apparaît donc qu'une certaine exploitation des résultats des TCM est possible, une fois prises en compte les réserves et observations formulées ci-dessus.

II.5. POSTES AGROMETEOROLOGIQUES (PAM) - RESULTATS

II.5.1. Etude du CIEH au Burkina Faso

II.5.1.1. Moyennes graphiques et TCM des PAM

A/ Notation et méthode:

V2M = Moyenne des vitesses trihoraires relevées sur graphe
VTCM = Moyenne des 3 relevés journaliers (8,12 et 17h) des TCM agroclimatologiques.

Pour chaque courbe, on donnera:

- la moyenne mensuelle ($\overline{V2M}$, \overline{VTCM})
- l'écart type (σ_{2M} , σ_{TCM})
- l'acceptation ou le rejet de l'hypothèse de symétrie des échantillons au seuil $\alpha = 0.05$ par le test des signes et le test de Wilcoxon.

Test des signes de la différence $\overline{V2M} - \overline{VTCM}$

$S = S^+ - S_-$ = nombre de différences positives excédentaires
 S^+ = nombre de différences positives
 S_- = nombre de différences négatives

Soit H_0 l'hypothèse de symétrie des différences ($S=0$)

$P_c = P(H_0) (S \geq S_0)$: Probabilité d'avoir trop de différences positives

On rejette H_0 si P_c est inférieure au seuil choisi α .

$P_c = P(H_0) (S^+ \geq S^+_0) = P(H_0) (S_- \leq S_-_0)$

Le tableau du test des signes donne la valeur maximale de k telle que $P(K \leq k) < \alpha$

Test de Wilcoxon:

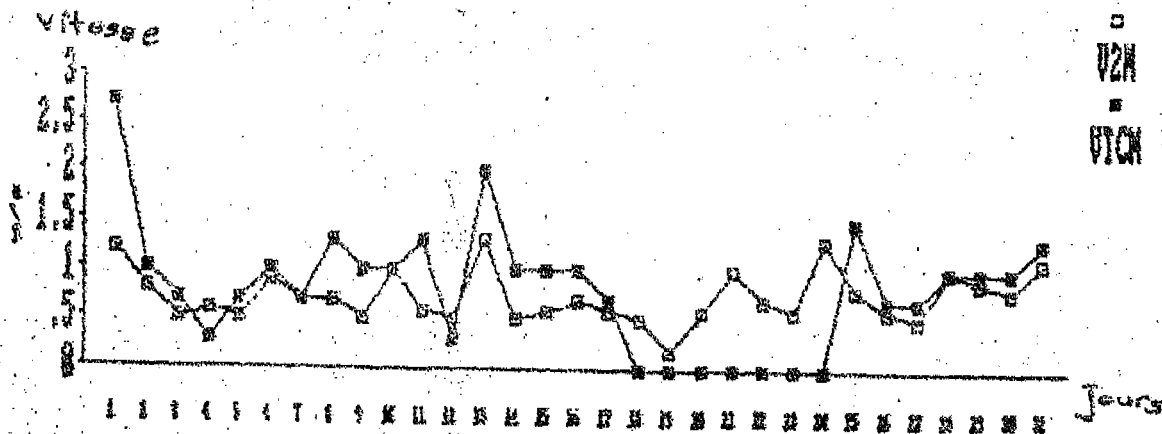
On note W^+ = Statistique de la somme des rangs des différences positives. Les rangs sont attribués aux différences par valeur absolue croissante.

Pour $n > 10$, on utilise l'approximation de Laplace-Gauss pour la variable aléatoire:

$$U = \frac{W^+ - \mu}{\sigma} \quad \text{avec : } \begin{cases} \mu = n(n+1)/4 \\ \sigma^2 = n(n+1)(2n+1)/24 \end{cases}$$

B/ Résultats

a/ Farako Ba - mars 85 (fig 28)



$$\overline{V2M} = 0.74 \text{ m/s}$$

$$\overline{VTCM} = 1.04 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{2M} = 0.26 \quad (x=31)$$

$$\sigma_{TCM} = 0.50 \quad (x=24)$$

$$\text{seuil } \alpha = 0.05$$

* Test des signes:

$$n = 21 \quad S_- = 2 \quad S_+ = 19 \quad S = 17$$

$$P_0 = P_{H_0} (S_- \leq 2) < P (K \leq 6) < \alpha$$

rejet de l'hypothèse de symétrie

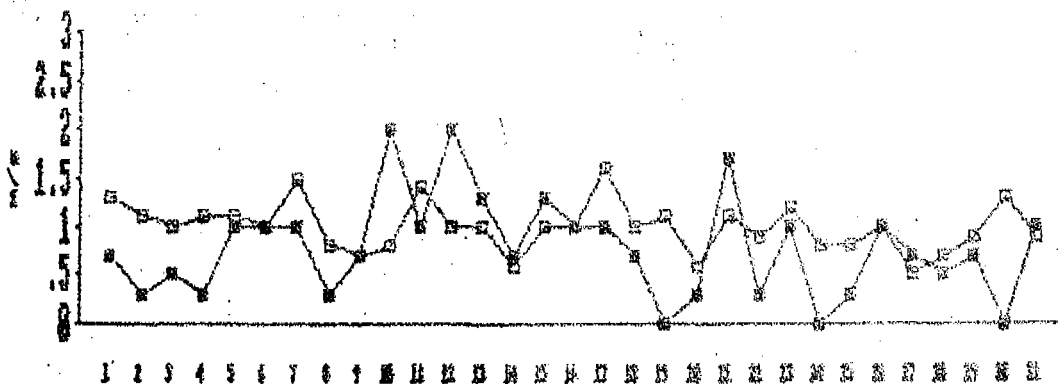
* Test de Wilcoxon:

$$n = 21 \quad W_+ = 210 \quad U = 3.28$$

$$P_{H_0} (W_+ \geq 210) = 1 - P (U \leq 3.28) = 0.001 < \alpha$$

même conclusion que pour le test des signes.

b/ Kamboinsé - août 85 (fig 29)



$\overline{V2M} = 0.99 \text{ m/s}$
 $\overline{VTCH} = 0.87 \text{ m/s}$
 seuil $\alpha = 0.05$

$\Delta 2M = 0.25$ (x = 31)
 $\Delta 2M = 0.47$ (x = 28)

* Test des signes:

$n = 24$ $S_- = 7$ $S_+ = 17$ $S = 13$
 $P_0 = P_{H_0}(S_- \leq 7) < P(K \leq 8) < \alpha$

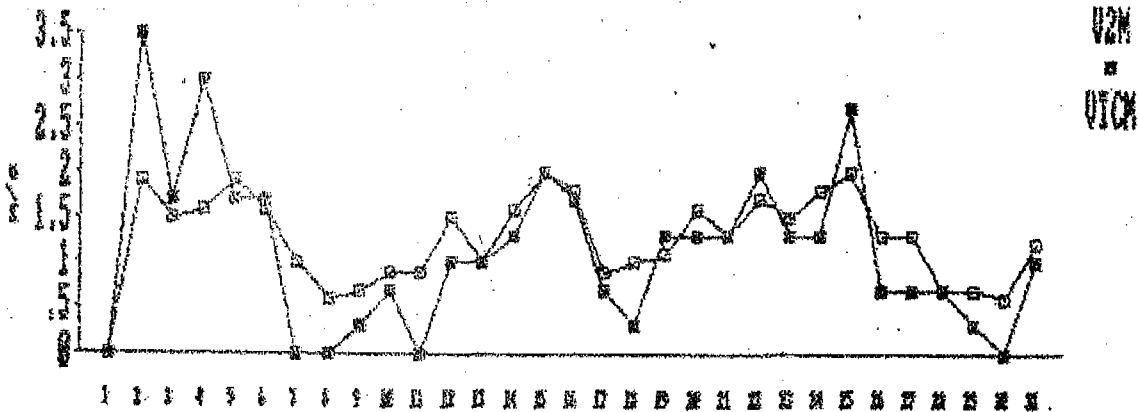
donc rejet de H_0

* Test de Wilcoxon:

$n = 24$ $W_+ = 222$ $U = 2.674$
 $P_{H_0}(W_+ \geq 222) = 1 - P(U \leq 2.674) = 0.006 < \alpha$

Rejet de H_0

c/ Kamboinsé Décembre 85 (fig 30)



$\overline{V2M} = 1.31$ $\sigma_{V2M} = 0.44$ ($n=30$)
 $\overline{VTCM} = 1.35$ $\sigma_{VTCM} = 0.79$ ($n=26$)
 seuil $\alpha = 0.05$

* Test des signes:

$n = 22$ $S_- = 7$ $S_+ = 15$ $S = 8$
 $P_c = P_{H_0}(S_- \leq 7) > \alpha$
 ($k=6$ est la plus grande valeur telle que $P(K < 6) < \alpha$)

Hypothèse de symétrie non rejetée

* Test de Wilcoxon:

$n = 22$ $W_+ = 166$ $U = 1.28$
 $P_{H_0}(W_+ \geq 166) = 1 - P(U \leq 1.28) = 0.1 > \alpha$

Hypothèse H_0 non rejetée .

d/ Conclusion

L'hypothèse de symétrie des échantillons n'est acceptée par les tests que pour Kamboinsé en décembre 85.

Les valeurs relevées sur les TCM des postes agroclimatologiques ne sont donc pas très fiables. Ceci peut s'expliquer par la méthode de relevé "à l'appréciation de l'observateur", et leur faible fréquence: 3 relevés par jour.

II.5.1.2. Comparaison des Poste Agro-Météorologiques
et des Stations Synoptiques voisines

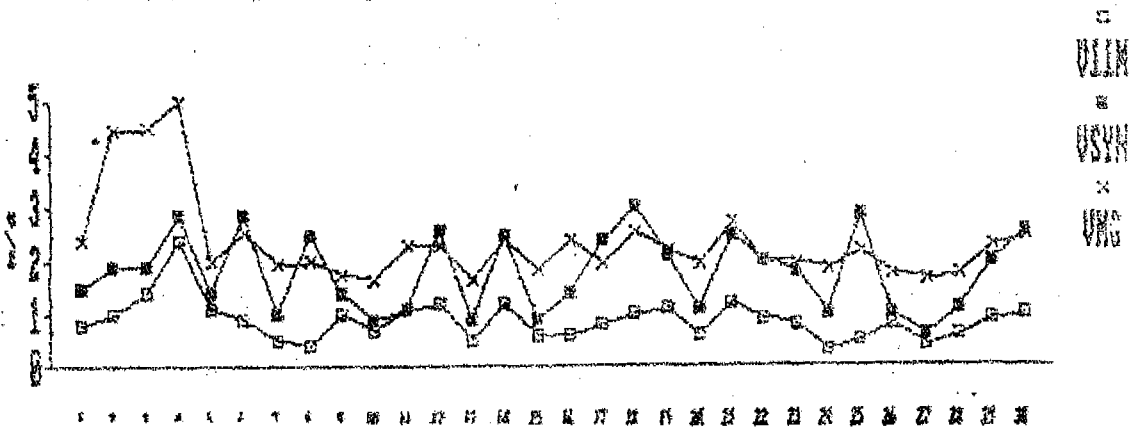
Rappel de la méthode d'extrapolation utilisée

$$V1/V2 = (H1/H2)^{\alpha}$$

avec α : coefficient de rugosité
 V1: Vitesse à la hauteur H1
 V2: " " " " H2

Nous avons pris pour la valeur moyenne $\alpha = 0.2$
correspondant à des obstacles de 2 à 5 m de hauteur. On trouve
fréquemment dans la littérature la valeur arbitraire $\alpha = 0.143$.

a/ Quagadougou-Kamboinsé - Sept.86 (fig 31)



Vitesses moyennes mensuelles : V11M = 1.1 m/s
 VSYN = 1.8 m/s
 VMG = 2.6 m/s

V11M : vitesses moyennes journalières du PAM extrapolées à 11m.
 VSYN : vitesses moyennes journalières de la station synoptique.

x VMG : vitesses moyennes journalières calculées d'après
 les relevés graphiques de la station synoptique.

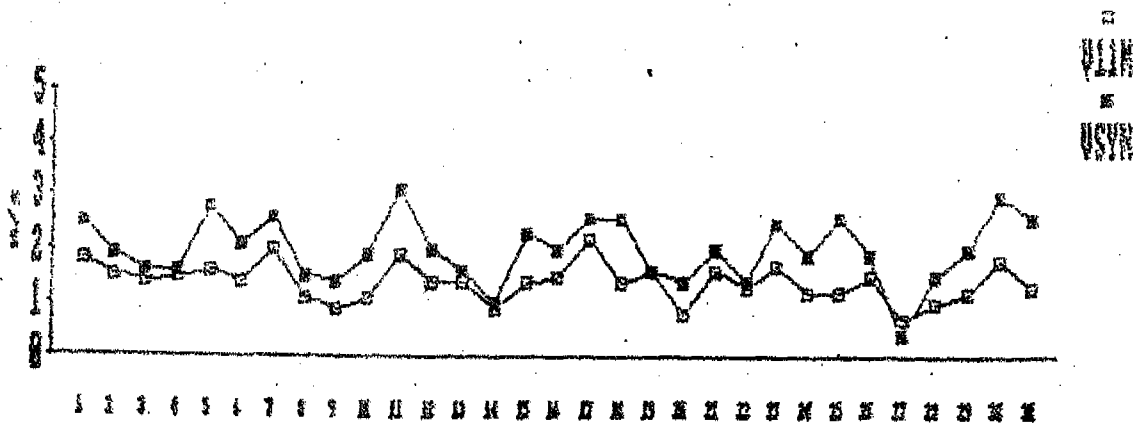
Méthode de calcul de l'extrapolation de 2m à 11m

$$V11/V2 = (11/2)^{\alpha}$$

α coefficient de rugosité

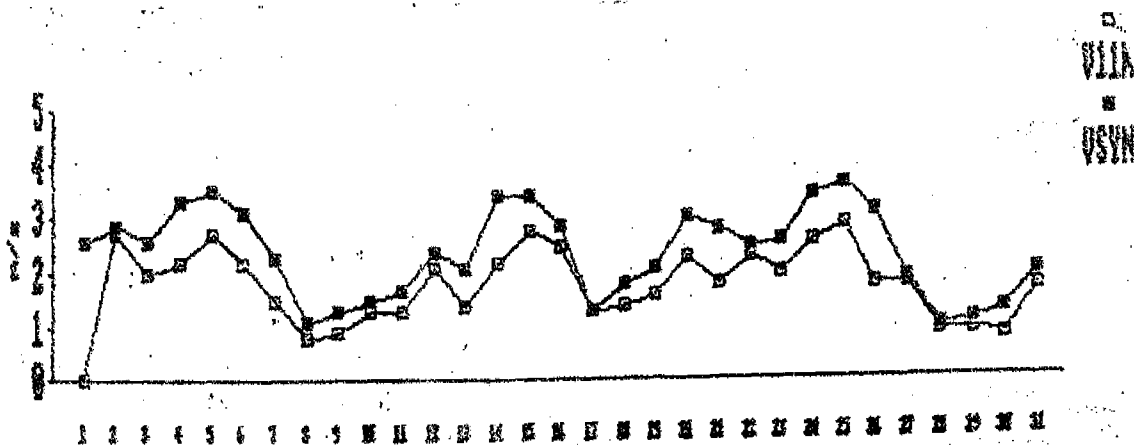
avec $\alpha = 0.2$, cela donne $V11 = V2 \times (11/2)^{0.2} = V2 \times 1.4$

b/ Quagadougou - Kamboinsé - Août 85 (fig 32)



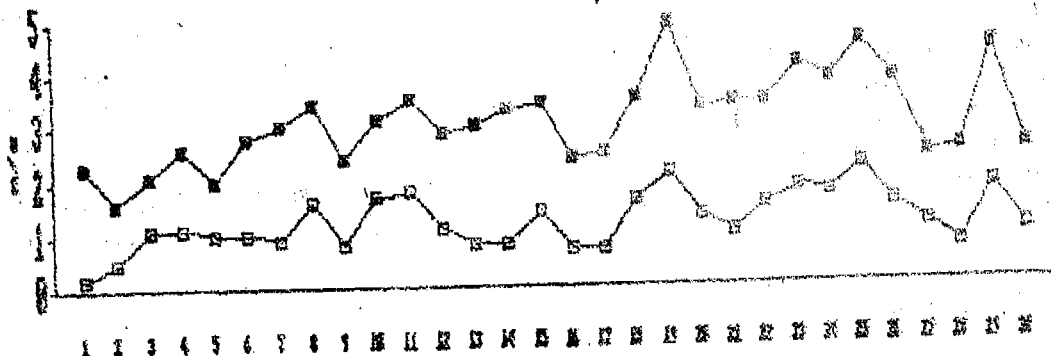
Vitesses moyennes mensuelles
 V11M = 1.4 m/s VSYN = 2.0 m/s

c/ Quagadougou - Kamboinsé - Décembre 85 (fig 33)



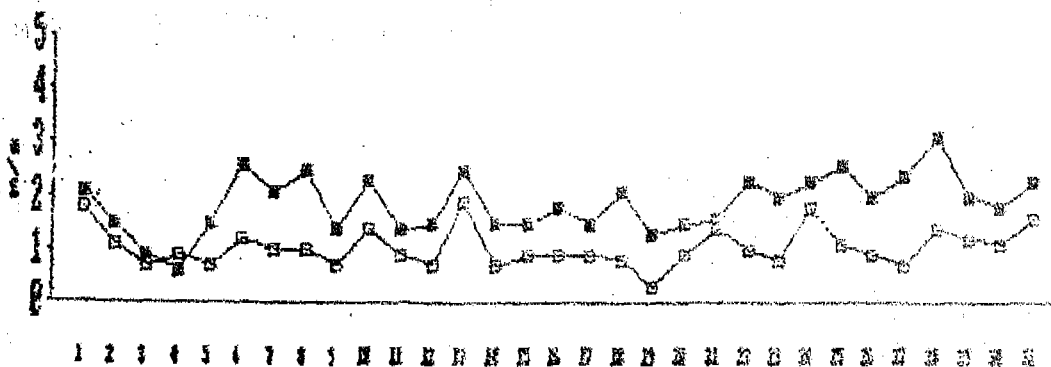
Vitesses moyennes mensuelles
 V11M = 1.8 m/s VSYN = 2.4 m/s

d/ Bobo Dioulasso - Farako Ba - Juin 86 (fig 34)



Vitesses moyennes journalières: $V_{11M} = 1.2 \text{ m/s}$ $V_{SYN} = 3.1 \text{ m/s}$

e/ Bobo Dioulasso - Farako Ba - Mars 85 (fig 35)



Vitesses moyennes mensuelles: $V_{11M} = 1 \text{ m/s}$ $V_{SYN} = 1.9 \text{ m/s}$

f/ Conclusion

Pour toutes les stations, les allures des courbes sont assez proches, mais les extrapolations à 11m des postes agrométéorologiques sous-estiment le vent par rapport aux vitesses des stations synoptiques.

Le coefficient de rugosité semble devoir être ajusté station par station. De plus on constate qu'il peut varier d'une saison à l'autre sur une même station. Par exemple, pour Farako Ba, il est sans doute différent entre mars et juin.

II.5.2. Etude du CERER au Sénégal : Dakar

Au Sénégal, il a été difficile de trouver des couples de stations SYN/PAM permettant de mener cette étude de représentativité. Nous n'avons retenu que les stations de Dakar ASECNA et Dakar CDH (distance 15 km). Le poste agrométéorologique le plus proche de Saint-Louis ASECNA est éloigné d'une centaine de km, et, pour cette raison, les résultats de la comparaison de ses relevés avec ceux de Saint-Louis n'ont pas été jugés suffisamment fiables. Quant à Tambacounda, il n'a pas été possible de trouver des sites comparables dans cette zone.

II.5.2.1. Présentation de l'étude

Il s'agit d'une comparaison annuelle des vitesses moyennes du vent par décades (les données disponibles ne permettaient de pousser plus loin l'analyse), et cela sur le seul site de Dakar.

Les données recueillies sur le PAM sont des sommes du vent passé sur une période décadaire. Il s'en déduit immédiatement une vitesse moyenne décadaire du vent. A partir des moyennes journalières des TCM, les moyennes décadaires TCM ont été reconstituées, et comparées aux précédentes.

Les comparaisons portent sur:

- le profil annuel des vitesses,
- la vitesse moyenne annuelle,
- l'histogramme de distribution des vitesses,
- l'énergie de Betz annuelle.

Un recalage entre les deux profils est tenté, en faisant intervenir une loi de gradient vertical de vitesse, compte tenu que la mesure ASECNA est effectuée à une hauteur au sol de 12 m alors que celle du poste agro-météo se situe à 2 m.

II.5.2.2. Résultats

a/ Profil annuel des vitesses moyennes décadaires (fig 36)

Un écart important apparaît entre les deux profils TCM (syn.) et PAM, qui se répercute dans la moyenne annuelle: 1.51 m/S pour le PAM, contre 4.01 m/s pour le TCM (syn.).

On note toutefois que les 2 courbes ont une allure voisine; en particulier, elles suivent approximativement les mêmes variations saisonnières de vitesse du vent.

VENT : TCM / Poste AGRO METEO : Dakar 87

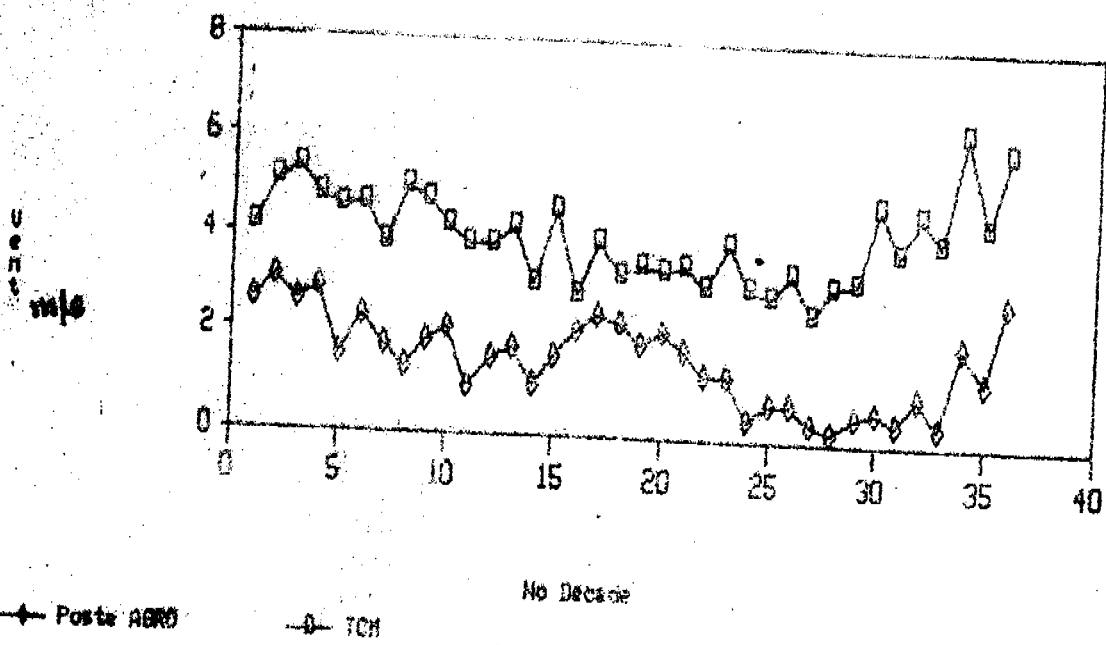


FIG 36

VentFREQ : TCM / Poste AGR-MET : Dakar 87

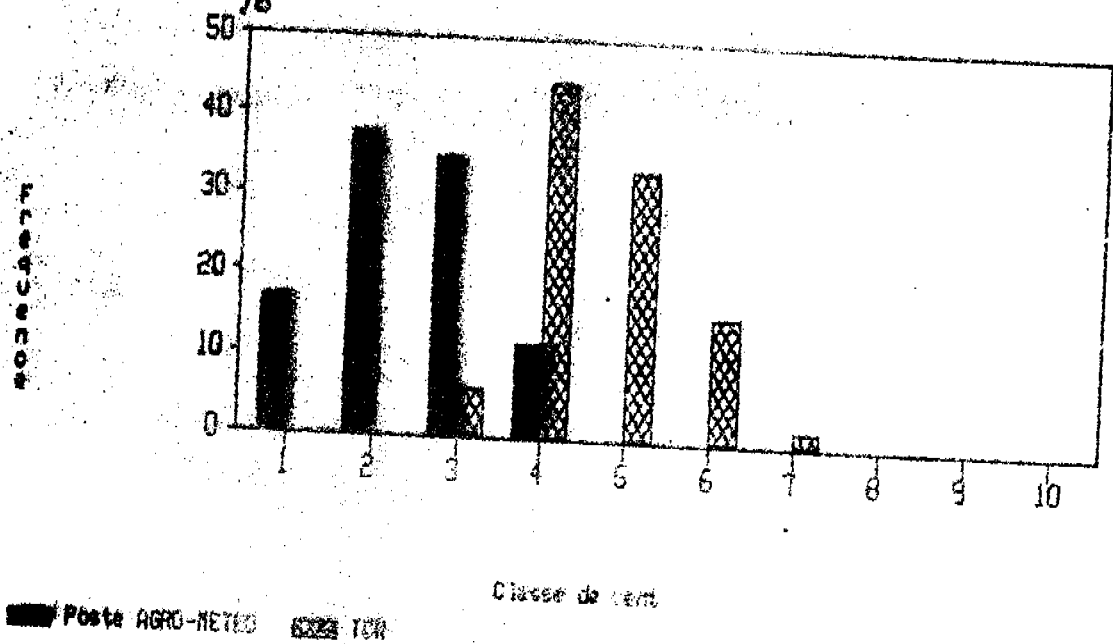


FIG 37

b/ Distribution des vitesses (fig 37): La répartition des vitesses moyennes décennales par classes de vent d'amplitude 1 m/s conduit à 2 courbes pratiquement disjointes.

c/ Energie de Betz: Les énergies de Betz annuelles sont de 969 KWh/m² pour le TCM et de 85 KWh/m² pour le PAM.

II.5.2.3 Recherche de corrélations

Méthodologie: Bien que les 2 approches par TCM ou relevés de PAM aient donné des résultats très différents, elles peuvent s'autovalider si une corrélation physique peut être mise en évidence entre elles. La recherche de cette corrélation repose sur le fait que les hauteurs au sol des appareils de mesure sont différentes dans un poste ASECNA (12m) et dans un poste agro-météo (2m). Or la théorie et la pratique montrent qu'il existe en tout lieu un gradient vertical de vitesse de vent, à partir d'une certaine hauteur au-dessus du sol, de la forme suivante:

$$V(H) = A * V(H_0) \quad \text{avec} \quad A = (H/H_0)^\alpha$$

V(H) est la vitesse du vent à l'altitude H

H₀ est une altitude de référence

α est une constante dépendant du lieu

Dans le cas présent, H et H₀ correspondent aux 2 altitudes 12 et 2m de chaque point de mesure ASECNA ou poste agro-météo. La recherche de corrélation consiste donc à recalculer une valeur de α qui fasse coïncider les 2 profils de vitesses.

Toutefois, l'allure comparée des profils obtenus suggère une autre corrélation de type translation écrite sous la forme:

$$V(TCM) = V(PAM) + V_0$$

V(TCM) : vitesse moyenne décennale sur TCM (syn.)

V(PAM) : vitesse moyenne sur poste agro-météo,
pour la même décade

V₀ : vitesse facteur de correction

Pour les deux formes de corrélation, les mêmes critères ont été adoptés, à savoir que la meilleure corrélation a été définie comme celle qui conduisait à la même énergie de Betz annuelle pour les profils TCM et PAM. Ensuite, les vitesses moyennes annuelles ont été recalculées afin de vérifier leur conformité.

Tableau II.5: Résultats de l'étude de corrélation.

DAKAR

	Vitesse PAM corrigée		Vitesse TCM
	GRADIENT	TRANSLATION	de REFERENCE
Facteur de correction	A = 2.26	Vc=2.57 m/s	
Energie de BETZ	986 KWh/an	988 KWh/an	989 KWh/an
Vitesse moyenne annuelle	3.4 m/s	4.05 m/s	4.01 m/s

Analyse:

Sur le plan strictement mathématique, la corrélation par translation donne de meilleurs résultats, puisque la vitesse moyenne annuelle est recoupée à moins de 1% à Dakar. La corrélation par gradient donne des résultats moins probants: l'erreur résultante sur la vitesse moyenne annuelle est de 15% sur cette station.

Sur le plan physique, seule la corrélation par gradient serait interprétable; quelques données existant dans la littérature sur la valeur du coefficient α permettent d'évaluer la vraisemblance des résultats obtenus.

Pour une zone d'alizés comme Dakar, le constructeur AEROWATT indique par exemple une valeur de 0.143. En reportant cette valeur dans l'expression de la variable de corrélation, on trouve :

$$H/H_0 = 299 \text{ pour Dakar}$$

Si les appareils étaient situés côte à côte, on aurait $H/H_0 = 12/2 = 6$. On constate donc que la corrélation trouvée ne correspond pas à une explication physique solide. Ceci n'est pas très surprenant au regard des nombreuses sources d'erreurs possibles:

- les deux types de relevés correspondent à deux sites éloignés d'une quinzaine de kms, où le régime des vents peut être sensiblement différent, à cause en particulier de la différence de couvert végétal dans chacune des zones;
- l'altitude des points de mesures est différente;
- la précision et la qualité de l'étalonnage des instruments de mesure n'est pas connue.

VENTCORR : TCM / Poste AGRO : DAKAR 87

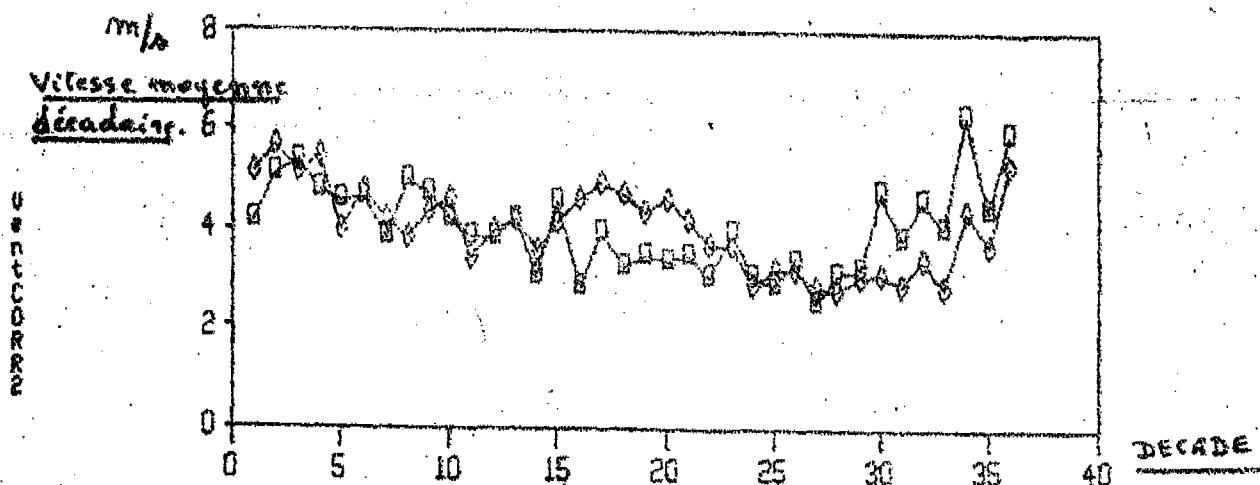


fig 38: Résultat de la corrélation par translation sur la vitesse moyenne décadaire.

II.5.2.4. Conclusion du CERER concernant les PAM

La comparaison sur une période d'un an des relevés de vitesses moyennes décadaires issus de postes ASECNA et agro-météo. voisins a permis, sur le site de Dakar, de trouver une corrélation mathématique permettant d'ajuster avec une précision acceptables les 2 sources de données (corrélation par translation).

Toutefois, il n'a pas été possible de trouver une explication physique de cette corrélation, ce qui interdit toute forme d'extrapolation de ces résultats à d'autres sites.

En conclusion, cette étude confirme que les relevés TCM ou agrométéo doivent être considérés avec beaucoup de prudence s'il s'agit de les utiliser à des fins énergétiques pour le dimensionnement de machines éoliennes.

NOTE : cette étude a également été menée sur les postes de Saint-Louis (ASECNA) et un poste agro-météo éloigné d'une centaine de km. Compte tenu de cette grande distance, le principe de la comparaison de ces 2 postes est très discutable. C'est pourquoi nous n'avons pas fait figurer les résultats de cette comparaison.

Toutefois, les résultats de cette comparaison confirment ceux trouvés sur le site de Dakar, avec une concordance entre les deux sources de données encore meilleure!

II.5.3. Conclusion concernant les postes agro-météorologiques.

Tant au Burkina Faso qu'au Sénégal, l'étude des données de vent issues des postes agrométéorologiques n'a pas donné de résultats satisfaisants. La comparaison des enregistrements graphiques et des TCM à 3 relevés par jour a montré que ceux-ci étaient trop peu fiables pour l'étude énergétique du vent, et a mis en évidence la trop faible fréquence de ces relevés (3 par jour). La comparaison avec les résultats d'une station synoptique voisine n'a pas permis de valider la relation d'extrapolation en fonction de la hauteur $V1/V2 = (H1/H2)$. Dans cette relation, le problème de la détermination du coefficient de rugosité a resté entier.

II.6. SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS CONCERNANT LA REPRESENTATIVITÉ DES DONNÉES DE VENT.

Pour l'étude énergétique du vent, nous ne pourrions prendre en compte les données des postes agrométéorologiques qui ne nous paraissent pas fiables. Les seules données qui pourront être exploitées sont celles des stations synoptiques, en gardant toutefois à l'esprit que la précision des résultats concernant les énergies ne sera pas très bonne (l'erreur relative sur la vitesse est triplée quand on passe à l'énergie).

Sur les stations synoptiques, le support de données le plus courant et le plus facile à collecter est le Tableau Climatologique Mensuel (TCM). Les données qu'il fournit sont moins fiables que celles des enregistrements graphiques, mais néanmoins exploitables pour l'étude des critères qui nous intéressent.

Pourtant, l'utilisation directe des TCM pour le calcul de l'énergie journalière peut engendrer des erreurs relatives très importantes, pouvant dépasser 30 à 40 %, en général par excès.

Cependant, le TCM peut également être utilisé pour calculer les coefficients de la loi de distribution de Weibull. Cette méthode moins directe semble moins risquée, et permet en outre de retrouver l'allure du profil journalier des vents sur un site où on ne connaît que la vitesse moyenne annuelle ou mensuelle selon la période d'étude qui nous intéresse, en supposant que le coefficient de Weibull (coefficient K: cf paragraphe I.1.6) est le même que celui de la station synoptique la plus proche, calculé à partir du TCM de celle-ci.

Sur les sites où toutes les données sont disponibles, on pourra utiliser les deux méthodes de calcul (directe et utilisation de la loi de Weibull), ce qui permettra de tester la validité locale de cette loi.

II.7. Logiciel développé au CIEH pour l'étude de représentativité des données de vent.

Ce paragraphe décrit les programmes et les fichiers utilisés pour l'étude de représentativité des données de vent, dont les résultats ont été présentés précédemment dans ce chapitre.

II.7.1. Description des programmes.

Les données saisies sous DBASE III sont traitées par des fichiers programmes DBASE III.

Les courbes sont ensuite tracées à partir de ces fichiers grâce au logiciel FRAMEWORK.

PROGRAMME FWRES.PRG:

Ce programme permet la création d'un fichier résultat pour chaque mois contenant:

- les vitesses moyennes et maximales journalières (TCM et graphe),
- les vitesses maximales journalières des relevés trihoraires des TCM.

A partir de ce fichier, on tracera les courbes des paragraphes II.4.1 et II.4.2. Les vitesses mensuelles sont obtenues par la commande AVERAGE de DBASE sur le fichier résultat actif.

* fichiers sources:

1/ Un fichier de nom "TCM" + 4 lères lettres de la station, contenant des enregistrements journaliers du mois étudié: directions et vitesses trihoraires, vitesse moyenne journalière, direction et vitesses maximales journalières.

Le fichier structure associé se nomme STTCM.

2/ Un fichier de nom quelconque contenant les vitesses mesurées sur les graphes. Un enregistrement correspond à une vitesse horaire pour chaque jour du mois. Le 25ème enregistrement contient les vitesses maximales journalières.

Le fichier structure associé se nomme STGRF.

Fichiers structures

STTCM:

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	DATE	D	8	0
2	DOO.	N	2	0
3	VOO.	N	4	1
4	DOO.	N	2	0
5	VOO.	N	4	1
6	DOO.	N	2	0
7	VOO.	N	4	1
8	DOO.	N	2	0
9	VOO.	N	4	1
10	D12	N	2	0
11	V12	N	4	1
12	D15	N	2	0
13	V15	N	4	1
14	D18	N	2	0
15	V18	N	4	1
16	D21	N	2	0
17	V21	N	4	1
18	VPROY	N	4	1
19	DMAX	N	2	0
20	VMAX	N	4	1

STGRF:

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	J1	N	4	1
2	J2	N	4	1
3	J3	N	4	1
4	J4	N	4	1
5	J5	N	4	1
6	J6	N	4	1
7	J7	N	4	1
8	J8	N	4	1
9	J9	N	4	1
10	J10	N	4	1
11	J11	N	4	1
12	J12	N	4	1
13	J13	N	4	1
14	J14	N	4	1
15	J15	N	4	1
16	J16	N	4	1
17	J17	N	4	1
18	J18	N	4	1
19	J19	N	4	1
20	J20	N	4	1
21	J21	N	4	1
22	J22	N	4	1
23	J23	N	4	1
24	J24	N	4	1
25	J25	N	4	1
26	J26	N	4	1
27	J27	N	4	1
28	J28	N	4	1
29	J29	N	4	1
30	J30	N	4	1
31	J31	N	4	1

* fichier résultat:

Le fichier structure associé se nomme STGRS.

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	MUK	N	2	0
2	VXG	N	4	1
3	VHT	N	4	1
4	VXQ	N	4	1
5	VX1	N	4	1
6	TR	N	4	1

PROGRAMME FWRES2.PRG:

Ce programme permet la répartition en classes de vitesses relevées sur les TCM (vitesses trihoraires) et sur les graphes (vitesses horaires obtenues par la première méthode de dépouillement).

* fichiers sources: ce sont ceux définis pour le programme FWRES.PRG .

* Fichier résultat : le fichier résultat, de nom quelconque, contient pour les TCM et les graphes les effectifs, pourcentages et effectifs cumulés de chaque classe.

Le fichier structure associé se nomme STRES2.

Entreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	NUK	C	3	0
2	EFF_T	N	3	0
3	PCT_T	N	5	1
4	EFC_T	N	3	0
5	EFF_G	N	3	0
6	PCT_G	N	5	1
7	EFC_G	N	3	0

A partir de ce fichier, on trace les courbes du paragraphe II.4.3.

PROGRAMME FWRES2C.PRG:

Ce programme permet le calcul de l'énergie journalière de Betz pour les fichiers TCM et graphe (1er dépouillement). (Le calcul est effectué pour les vitesses supérieures à 2 m/s). Les résultats sont affichés à l'écran.

PROGRAMME FWRES2B.PRG:

Ce programme permet:

1/ la répartition en classes des vitesses relevées sur TCM (vitesses trihoraires obtenues par la seconde méthode de dépouillement).

* fichier sources:

- 1) fichier TCM : celui utilisé pour le programme FWRES.PRG
- 2) fichier graphe (2ème dépouillement):

C'est un fichier de nom quelconque contenant des enregistrements journaliers des 8 vitesses trihoraires, pour le mois étudié.

Le fichier structure associé se nomme STTCMV.

NUMERO	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	DISE	D	8	0
2	V00	N	4	1
3	V05	N	4	1
4	V10	N	4	1
5	V15	N	4	1
6	V20	N	4	1
7	V25	N	4	1
8	V30	N	4	1
9	V35	N	4	1

* fichier résultat: Il contient les fréquences cumulées pour chaque classe de vitesses mesurées sur TCM et sur graphe.

2/ Le calcul de l'énergie journalière de Betz pour les 2 fichiers (V>2m/s). Les résultats sont affichés à l'écran.

PROGRAMME FWRES3.PRG:

Ce programme permet la répartition en classes des directions relevées sur TCM.

Fichier source: fichier TCM de structure STTCM

Fichier résultat: fichier de structure STRES2

Pour les graphes, on doit saisir manuellement les résultats dans le fichier précédemment créé. On peut alors tracer les courbes du paragraphe II.4.5.

PROGRAMME FWAGRO:

Ce programme est utilisé pour la comparaison des postes agrométéorologiques et des stations synoptiques.

* fichier source:

Un enregistrement journalier contient les vitesses trihoraires relevées sur graphe, les 3 vitesses journalières relevées sur TCM, la vitesse moyenne de la station synoptique voisine.

Le fichier structure associé se nomme STTCMAGR.

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	V00	N	4	1
2	V03	N	4	1
3	V06	N	4	1
4	V09	N	4	1
5	V12	N	4	1
6	V15	N	4	1
7	V18	N	4	1
8	V21	N	4	1
9	T1	N	4	1
10	T2	N	4	1
11	T3	N	4	1
12	VSYN	N	4	1

* fichier résultat:

Le fichier résultat contient des enregistrements journaliers constitués de la vitesse moyenne journalière:

- mesurée à 2m,
- extrapolée à 11m,
- calculée sur TCM du poste agrométéorologique,
- relevée sur TCM de la station synoptique voisine.

Le fichier structure associé se nomme STAGRO.

USE & STAGRO
 . list
 Enreg. N°

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	NUB	N	2	0
2	V2H	N	4	1
3	V1H	N	4	1
4	VTCH	N	4	1
5	VSYN	N	4	1
6	Q_11NSYN	N	6	3

II.7.2. Détail des programmes.

Voir les listings en annexe No 3.

Le tableau II.5 ci après résume l'ensemble de la procédure informatique utilisée.

Tableau II.6 : Récapitulatif des différents programmes et de leurs fichiers associés.
(entre < > : nom de fichier structure associé)

Programmes	Résultats	Fichiers
		TCM ↓ résultat ↑ Graphe
FWERS.PRG	-----> Vaux et Vmax par jour -----> Vaux des relevés trikor.	TCM+4lettres <STTCM> GR+4lettres <STGRM> ↓ non au choix <STTRM>
FWERS2.PRG	-----> Répartition en classes de vitesses (1ère méth. dépeuillement du graphe)	TCM+4lettres <STTCM> GR+4lettres <STGRM> ↓ non au choix <STTRM>
FWERS3C.PRG	-----> Energie journ. de Betz (1ère méth. de dépeuil. du graphe)	mêmes fichiers sources ↓ résultats sur écran
FWERS2B.PRG	-----> Répartition en classes de vitesses (2ème méth. dépeuillement du graphe) -----> Energie journ. de Betz (2ème méth. de dépeuil. du graphe)	TCM+4lettres <STTCM> non quelconque <STTCMBV> ↓ non quelconque ↓ résultats sur écran
FWERS3.PRG	-----> Classes de directions (TCM)	TCM+4lettres <STTCM> ↓ non quelconque <STTRM3>
FWERSO.PRG	-----> Comparaison FAN/STC	non quelconque <STTCMAGB> ↓ non quelconque <STAGRO>

*
* * *
* * * * *

III. ANALYSE STATISTIQUE

* * * * *
* * *
*

III.1. Possibilités d'exploitation des données ASECNA.

Malgré les réserves émises dans le chapitre II, les TCM des stations synoptiques contiennent néanmoins suffisamment de renseignements pour faire une étude correcte de la plupart des critères définis précédemment.

On se basera donc sur les critères suivants:

1) Vitesses moyennes et quantiles:

- * vitesse moyenne mensuelle,
- * quantiles décennaux et médiane des vitesses trihoraires.

2) Vitesses maximales:

- * vitesses maximales instantanées journalières,
- * vitesses maximales instantanées mensuelles.

3) Fréquences cumulées des classes de vitesse et des énergies de Betz correspondantes.

4) Fréquences annuelles des vents et des énergies de Betz:

- * répartition en classes des vitesses trihoraires
- * énergies de Betz moyennes annuelles pour ces mêmes classes.

5) Quantiles d'énergie Q0.1, Q0.5, Q0.9:

- * profil des journées types dont l'énergie est proche de Q_x ,
- * profil de la journée moyenne des journées types.

6) Fréquence des périodes de calme et des périodes de vent:

- * fréquences cumulées des périodes de vent et de calme de différentes durées, au pas de temps mensuel ou annuel.

7) Direction des vents:

- * fréquence des vents par direction,
- * direction dominante.

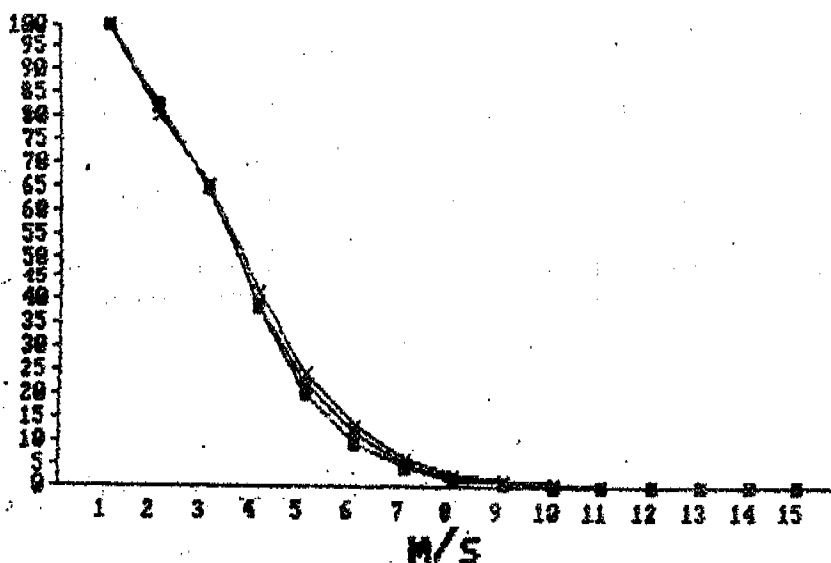
III.2. Détermination du nombre d'années à prendre en compte pour une étude du potentiel éolien.

Pour certaines stations, les données de vent peuvent ne pas avoir été saisies sur ordinateur. Il est donc intéressant de savoir si on peut limiter la saisie à un nombre réduit d'années.

Pour cela, on peut se baser sur l'analyse des données d'une station proche se trouvant dans des conditions climatiques similaires, et on étudie la variation interannuelle des fréquences cumulées des classes de vitesse sur cette station.

Une population de référence comptant un grand nombre d'années est comparée à plusieurs échantillons de durées différentes.

Ex: Ouagadougou - population de référence: 12 ans (fig 39)



□	VITR	
*	VIT1	67 à 70; 74 à 78; 82 à 84 (3 ans)
x	VIT2	82 à 84 (3 ans)
+	VIT3	67 à 70 (4 ans)
		74 à 78 (5 ans)

Pour la région de Ouagadougou, un échantillon de 3 ans de relevés semble représentatif de la population de référence de 12 années (non consécutives, mais comprises entre 1967 et 1984).

L'étude doit être faite pour d'autres pays.

III.3. Méthodologie d'exploitation des résultats.

Les courbes représentatives d'une station synoptique sont dessinées par le logiciel FRAMEWORK, à partir de fichiers de données synthétiques DBASE III.

Ces fichiers sont créés par un ensemble de programmes DBASE III à partir du fichier DBASE III des relevés trihoraires de vitesses, directions du vent et vitesses maximales instantanées, relevés sur TCM, concernant toute la période de référence.

Sont décrits ci-après les méthodes de calcul et les fichiers résultats DBASE III, pour chacune des courbes.

Notations:

n_a = nombre d'années de la période de référence
 m = indice des mois $m = 1$ à 12
 n_m = nombre de jours du mois m
 h = indice des valeurs trihoraires $h = 1$ à 8

III.3.1. Vitesses moyennes et quantiles.

On calcule:

* les vitesses moyennes interannuelles des mois m :

$$\bar{V}_{moym} = \frac{\sum_{a=1}^{n_a} \sum_{i=1}^{n_m} \sum_{h=1}^8 V_{ih}}{n_a \times n_m \times 8}$$

* les vitesses du vent pour différents quantiles observés interannuels : 0.9, 0.5, 0.1

$V_{0.9}$ telle que 90% des observations trihoraires des mois i lui sont supérieures

$V_{0.5}$ telle que 50% des observations trihoraires des mois i lui sont supérieures

$V_{0.1}$ telle que 10% des observations trihoraires des mois i lui sont supérieures

Le fichier structure STVI associé au fichier résultat VI est le suivant:

enreg. Nx	FIELD_NAME	FIELD	TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	MOIS		N	4	1
1	VMOY		N	4	1
1	V90P		N	4	1
1	V50P		N	4	1
1	V10P		N	4	1
1	VMAX		N	4	1
1	MVMAX		N	4	1
1	KW		N	8	5

Le fichier résultat contient 12 enregistrements mensuels de la vitesse moyenne du mois VMOY, du quantile faible V90P, de la médiane V50P, du quantile fort V10P, de la vitesse maximale instantanée VMAX, de la moyenne des vitesses maximales instantanées MVMAX, du coefficient de Weibull KW.

III.3.2. Vitesses maximums.

On calcule:

* V_{max} = maximum des vitesses instantanées maximums journalières des mois m de la période de référence.

* V_{max} = moyenne sur la période de référence des vitesses instantanées maximums mensuelles, des mois m .

Les résultats sont consignés dans les champs VMAX et MVMAX du fichier de structure STVI décrit au paragraphe précédent.

III.3.3. Fréquences cumulées d'occurrence des vents répartis en classes de vitesse.

Sur l'ensemble de la période d'étude, on répartit pour chaque mois les vitesses trihoraires en 16 classes d'amplitude 1 m/s, et on calcule les fréquences cumulées de chaque classe ainsi que les fréquences cumulées théoriques obtenues à partir de la loi de Weibull.

III.3.5. Profil des journées d'énergie Q_{0,1}, Q_{0,5}, Q_{0,9} :

Compte tenu des spécificité techniques propres à chaque type d'éoliennes, et en particulier les vitesses de démarrage et de mise en drapeau, il est intéressant d'avoir le profil des journées types correspondant à différents niveaux d'énergie, et qui puisse servir de référence quel que soit le modèle d'éolienne étudié.

Sur la période d'étude, on fait le calcul pour chaque journée à partir des vitesses trihoraires, et on en déduit les quantiles observés. On peut alors représenter graphiquement les profils des journées dont l'énergie moyenne journalière se rapproche (à 5 ou 10 % près) des différents quantiles étudiés.

On peut également comparer chaque quantile réel et la moyenne d'énergie des journées type choisies pour représenter ce quantile. On crée alors un fichier resultat V5 pour chaque mois, dont le nom est du type "V5" + 4 premières lettres de la station + "i" (i = indice du mois).

Le fichier structure associé au fichier résultat se nomme : STV5

Fichier STV5

enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DBC	
1	NOM	N	2	0	8 enregistrements: 0,3,6,9,12,15,18 et 21 h
2	V10	N	4	1	Echelle des horaires.
3	V11	N	4	1	
4	V12	N	4	1	
5	V13	N	4	1	
6	V14	N	4	1	
7	V15	N	4	1	9 journées type d'énergie atteinte ou dépassée
8	V16	N	4	1	90 % du temps
9	V17	N	4	1	
10	V18	N	4	1	Journée moyenne de ces journées types
11	V19	N	4	1	
12	V20	N	4	1	
13	V21	N	4	1	
14	V22	N	4	1	
15	V23	N	4	1	
16	V24	N	4	1	même chose pour le quantile 0,5
17	V25	N	4	1	
18	V26	N	4	1	
19	V27	N	4	1	
20	V28	N	4	1	
21	V29	N	4	1	
22	V30	N	4	1	
23	V31	N	4	1	
24	V32	N	4	1	même chose pour le quantile 0,1
25	V33	N	4	1	
26	V34	N	4	1	
27	V35	N	4	1	
28	V36	N	4	1	
29	V37	N	4	1	
30	V38	N	4	1	
31	V39	N	4	1	Energie aux quantiles 0,9 ; 0,5 et 0,1 dans le
32	Q09	N	6	0	1er enregistrement
33	Q05	N	6	0	
34	Q01	N	6	0	

Champs V10 à V39 : Un enregistrement par heure de relevé

Nom : heure de relevé

V10 à V18 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0,9

V20 à V28 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0,5

V30 à V38 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0,1

V19, V29, V39 : Vitesses de la journée moyenne des journées type d'énergie Q0,9 , Q0,5, Q0,1

Champs Q09, Q05, Q01 :

1er enregistrement : Energie des quantiles observés

2e enregistrement : Energie de la journée moyenne des journées types présentées

3e enregistrement : Ecart relatif entre des 2 enregistrements précédents

$$\frac{E1 - E2}{E1} \times 100$$

.. .. E1

III.3.6. Fréquences cumulées des périodes de calme et des périodes de

- Fréquences cumulées des périodes de calme de différentes durées

Population de N relevés trihoraires de vitesses.

Durées des calmes : x relevés $1 \leq x \leq 64$

$$\text{Fréquence des calmes de durées } \geq x : \frac{n_x}{N-x+1}$$

n_x = nombre de suites de x relevés < 2 m/s observées dans l'échantillon

Calcul : P_x = effectif des calmes de durée x

$$n_x = \sum_{i=x}^{64} P_i * (i - x + 1)$$

On calcule:

- le pourcentage cumulé de fréquence des périodes de calme dont la durée est supérieure à la durée donnée;

- la fréquence cumulée en % de l'occurrence des périodes de vent comprises entre 2 périodes de calme, de durées supérieures à une durée donnée;

L'étude se fait sur l'échantillon non fractionné en mois calendaires. Si une période de calme a une emprise sur deux mois consécutif, elle est imputée en totalité au premier des 2 mois, dont la durée sera augmentée d'autant pour les calculs de probabilité.

Le fichier structure du fichier résultat est STV4.

Périodes de calme et de vent:

64 enregistrements: durée de 3h à 8 jours.

Enreg. N°	FIELD NAME	FIELD TYPE	FIELD LEN	FIELD DEC	
1	RDJ	N	3	1	} échelle de durée (unité 3h) } % cumulé des périodes de calme de \neq durées } sur l'année (ensemble de la période) } même chose par mois
2	CALM	N	5	1	
3	CALM1	N	5	1	
4	CALM2	N	5	1	
5	CALM3	N	5	1	
6	CALM4	N	5	1	
7	CALM5	N	5	1	
8	CALM6	N	5	1	
9	CALM7	N	5	1	
10	CALM8	N	5	1	
11	CALM9	N	5	1	
12	CALM10	N	5	1	
13	CALM11	N	5	1	
14	CALM12	N	5	1	
15	VENT	N	5	1	} % cumulé des effectifs des périodes de vent } de \neq durées sur l'année } par mois
16	VENT1	N	5	1	
17	VENT2	N	5	1	
18	VENT3	N	5	1	
19	VENT4	N	5	1	
20	VENT5	N	5	1	
21	VENT6	N	5	1	
22	VENT7	N	5	1	
23	VENT8	N	5	1	
24	VENT9	N	5	1	
25	VENT10	N	5	1	
26	VENT11	N	5	1	
27	VENT12	N	5	1	

- CALM = Fréquence cumulée des périodes de calme de différentes durées sur l'ensemble de la période d'étude;
- VENT = Fréquence cumulée des périodes de vent de différentes durées sur l'ensemble de la période d'étude;
- CALM1 à CALM12 = Fréquence cumulée des périodes de calme sur chaque mois;
- VENT1 à VENT12 = Fréquence cumulée des périodes de vent sur chaque mois;

III.3.7. Direction du vent.

Les observations trihoraires de direction, mesurées en dizaines de degrés, sont réparties en 8 classes de direction: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW.

On calcule le pourcentage de fréquence d'occurrence des relevés trihoraires dans les classes de direction: 1 diagramme par mois.

La structure du fichier résultat est la suivante (STV3) :

Directions classées

8 enregistrements: 1 par classe de direction.

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC	
1	NOM	C	2	0	
2	EDIR1	N	5	1	Nom des classes de direction
3	EDIR2	N	5	1	
4	EDIR3	N	5	1	
5	EDIR4	N	5	1	
6	EDIR5	N	5	1	
7	EDIR6	N	5	1	% des effectifs pour chaque mois
8	EDIR7	N	5	1	
9	EDIR8	N	5	1	
10	EDIR9	N	5	1	
11	EDIR10	N	5	1	
12	EDIR11	N	5	1	
13	EDIR12	N	5	1	

NOM = Nom des classes de direction

EDIR1 à EDIR12 = fréquence des classes de direction pour chaque mois.

III.4. Exploitation des résultats.

III.4.1. Vitesses moyennes et quantiles.

Ce diagramme donne une représentation saisonnière de la force du vent: vitesse moyenne journalière et quantiles de vitesse: vitesse minimum, 90, 50, et 10 % du temps.

Il permet de faire une lère approche des vitesses de démarrage, nominale, et maximum de la machine à choisir. Cette étude doit se faire en relation avec un diagramme saisonnier des besoins en eau.

La vitesse de démarrage doit être strictement inférieure au quantile 0.5 et se rapprocher le plus possible du quantile 0.9. La vitesse nominale doit se situer entre les quantiles 0.5 et 0.1. La vitesse maximum doit être supérieure au quantile 0.1.

III.4.2. Vitesses maximums instantanées

Représentation saisonnière des vitesses maximums instantanées.

La première courbe donne par mois la valeur maximum atteinte, elle permettra de vérifier que cette valeur est largement en dessous de la vitesse de destruction de la machine.

La deuxième courbe donne la moyenne des vitesses maximums instantanées. Ces vitesses devraient être le plus souvent inférieures à la vitesse de mise en drapeau, pour des machines nécessitant une intervention de remise en route en particulier.

Des exemples de ces courbes sont donnés en annexe 4.

III.4.3. Fréquences cumulées des vitesses classées et loi de WEIBULL

Ces courbes mensuelles représentent la répartition des relevés trihoraires de vitesses en classes de 1 m/s d'amplitude (la classe x comprend les relevés supérieurs ou égaux à $x-1$ et inférieurs à x m/s).

Elles permettent de calculer l'énergie disponible pendant chaque mois en fonction des vitesses caractéristiques de la machine (vitesses de démarrage, nominale et maximum).

La comparaison de la courbe observée et de la courbe théorique (loi de Weibull) permet de vérifier l'opportunité d'utiliser cette dernière pour la région.

III.4.4. Fréquences annuelles des vents, loi de Weibull et répartition de l'énergie récupérable de Betz.

Diagrammes annuels des effectifs des classes de vitesses observées et théoriques, et de l'énergie que représente chacune de ces classes. L'étude de ces diagrammes permettra de faire une première évaluation du potentiel éolien dans la région.

III.4.5. Profil des journées d'énergie se rapprochant des quantiles 0.9; 0.5; et 0.1 des énergies journalières.

Ces diagrammes ont pour but une étude approfondie de l'énergie journalière utilisable par une éolienne; de caractéristiques données: vitesses de démarrage, nominale et maximum.

Pour chaque mois sont représentés, pour chaque quantile d'énergie journalière, les profils des journées dispensant cette énergie, et la moyenne de ces journées en histogramme.

Si les profils des journées types d'un quantile sont très différents (répartitions différentes dans le temps des moments de vent et de calme), la journée moyenne est inutilisable (écart relatif des énergies calculées supérieur à 25 %). Elle est remplacée par une journée moyenne calculée à partir des relevés trihoraires des journées types, classés par vitesses croissantes. Pour ces dernières représentations, la répartition des vents dans la journée est donc inconnue.

Calcul de l'énergie journalière utilisable par une éolienne de vitesses caractéristiques suivantes:

- VD = Vitesse de Démarrage
- VN = Vitesse Nominale
- VM = Vitesse Maximum

$$Q_u = 0.37 \times 3 \times (V_n^3 \times a + \sum V_i^3)$$

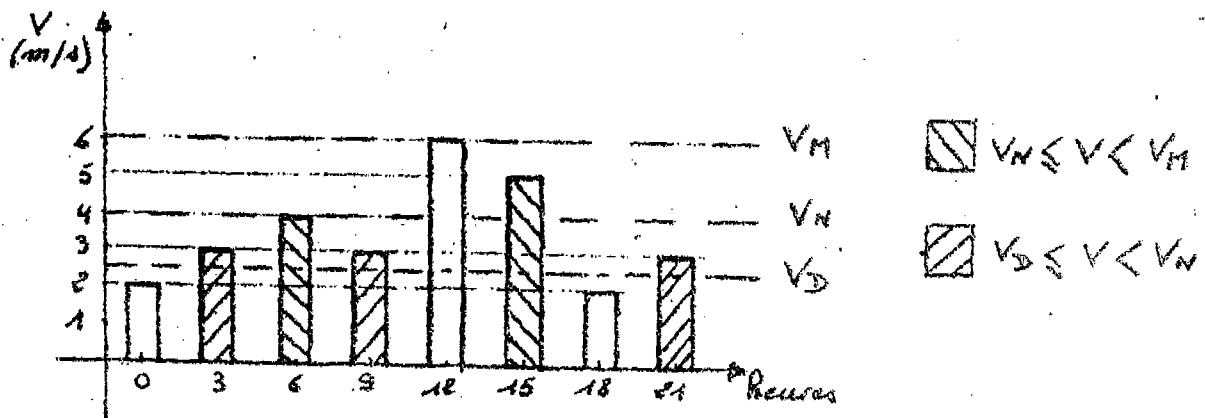
Q_u = énergie utilisable

a = nombre de relevés trihoraires de vitesse $> V_n$ et $< V_m$

V_i = relevés trihoraires tels que $V_D < V_i < V_N$

Exemple : diagramme du quantile 0.9

- VD = 2.5 m/s
- VN = 4 m/s
- VM = 6 m/s



$$Q_u = 0.37 \times 3 \times (2 \times 4^3 + 3 \times 3^3) = 232 \text{ Wh/m}^2$$

III.4.6. Fréquences cumulées des périodes de calme et des périodes de vent séparant 2 périodes de calme

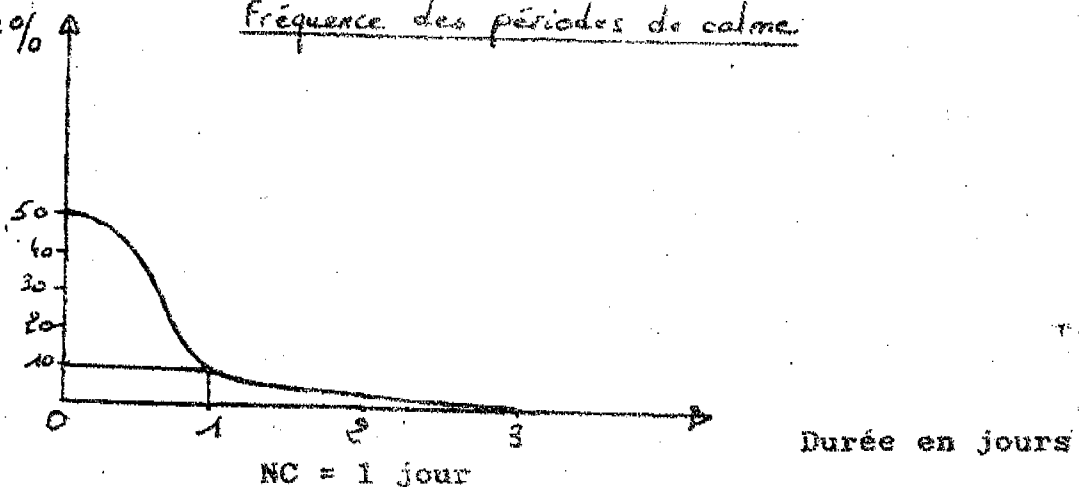
Ces diagrammes annuels et mensuels de représentation des périodes d'activité et d'inactivité du vent permettent de dimensionner un réservoir à adjoindre à l'éolienne de pompage.

Détermination de la capacité du réservoir :

NC = Capacité de la réserve en jours de consommation

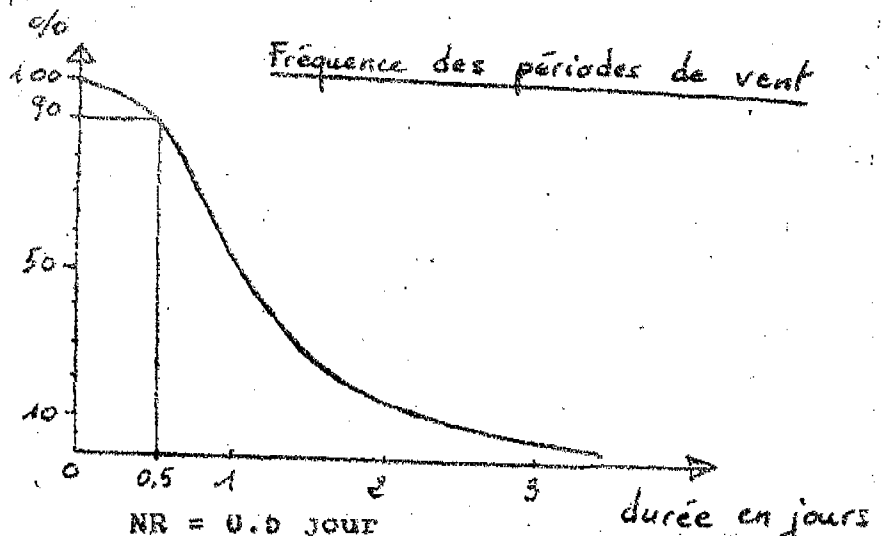
NC est lu sur la courbe tel que la fréquence des périodes de calme > NC soit inférieure à 10 % .

Exemple: % Fréquence des périodes de calme.



Durée de remplissage du réservoir: en fonction des durées des périodes de vent séparant deux périodes de calme, on peut lire sur la courbe le temps de remplissage du réservoir tel que celui-ci puisse se remplir entre deux calmes, ceci pour 90 % des occurrences de périodes de vent (90 % du temps).

NR = nombre de jours nécessaires au remplissage de la réserve
NR doit être tel que la fréquence de durée des vents > NR est au moins égale à 90 % .



Calcul du volume journalier à pomper:

Le volume journalier stocké multiplié par le nombre de jours de vent doit être au moins égal au nombre de jours de réserve multiplié par le volume journalier consommé.

VP = volume journalier pompé

VC = Volume consommé

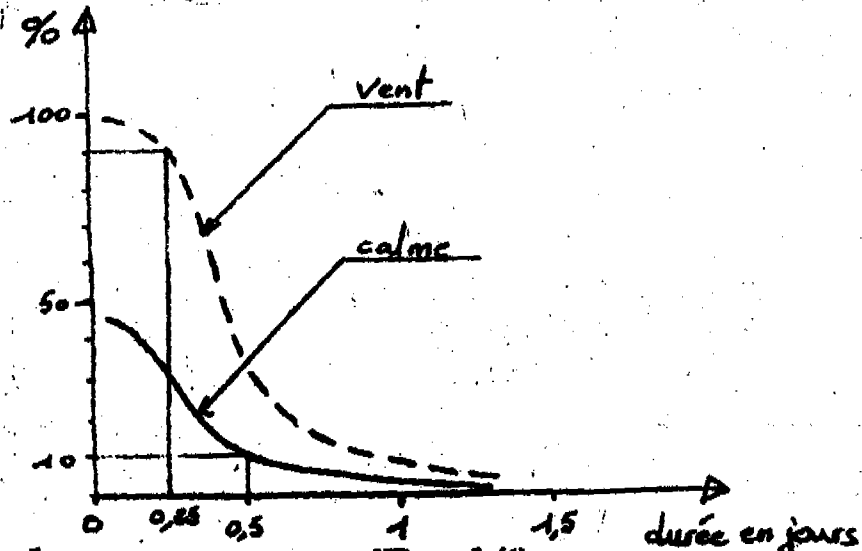
$$(VP-VC) * NR = NC * VC \quad \text{d'où la formule:} \quad VP = VC * (NC+NR)/NR$$

III.4.7. Répartition des directions

Les histogrammes mensuels de répartition des directions des vents en 8 directions, servent à l'étude de l'emplacement des éoliennes par rapport aux obstacles environnants.

III.4.8. Exemple de dimensionnement d'une éolienne pour Ouagadougou.

Etude des périodes de calme et de vent.



NC = 1/2 journée

NR = 1/8 journée

VC = 12 m³

$$VP = VC * (NC+NR)/NR = 12 * (5/8)/(1/8) = 60 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Eolienne : VD = 2.5 m/s

VN = 3.5 m/s

Energie utilisable par l'éolienne en avril: E = 63.4 Wh/m²/jour

$$S = \frac{V_p \times 10 \times H_m}{3.6 \times E \times \rho \times \eta} = \frac{60 \times 10 \times 10}{3.6 \times 63.4 \times 0.5 \times 0.7} = 75 \text{ m}^2$$

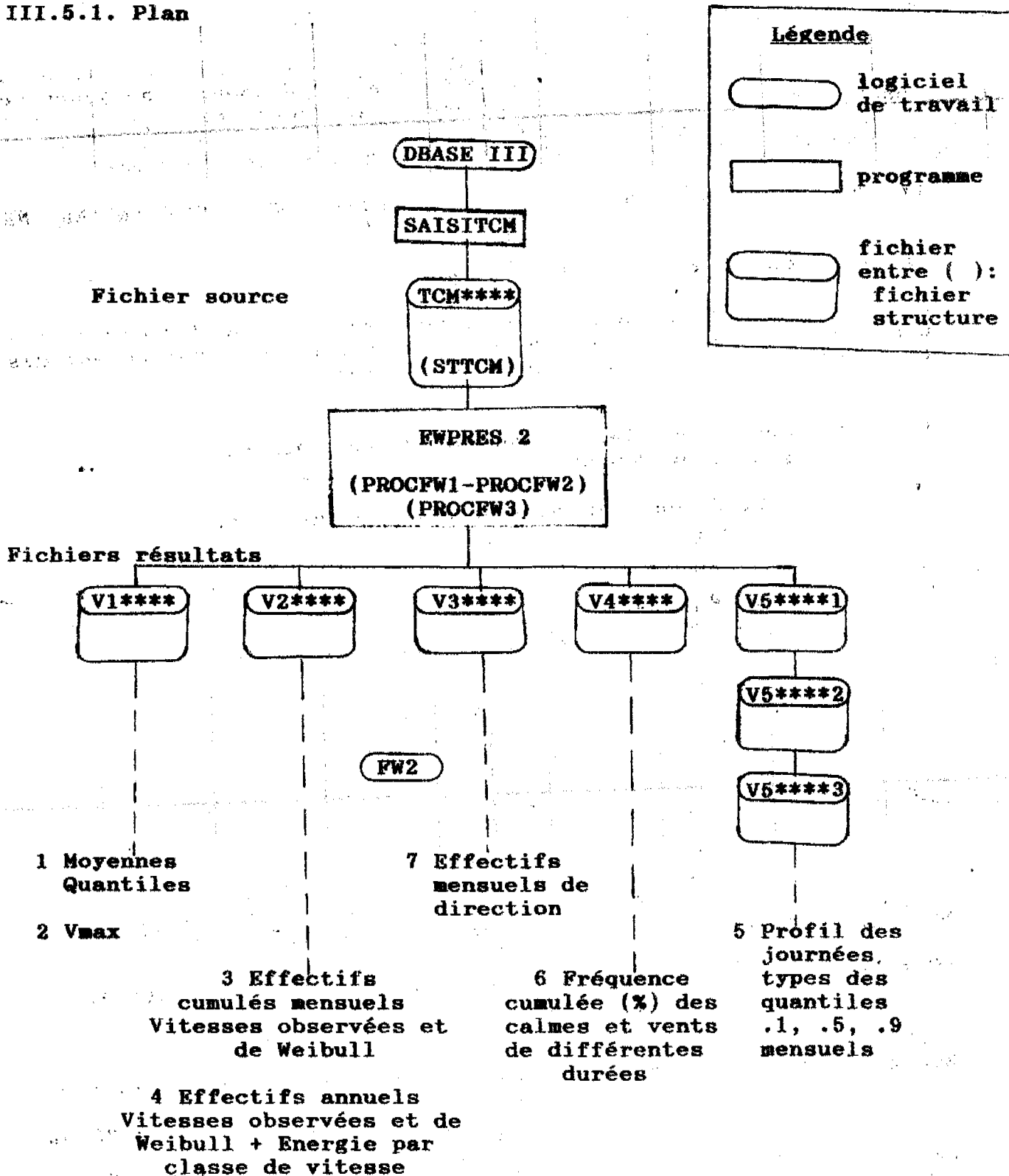
η_e et η_p : rendements de l'éolienne et de la pompe: 0.5 * 0.7

Hauteur manométrique: HM = 10 m.

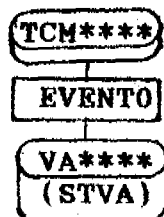
$$\text{d'où } \phi = \sqrt{\frac{75 \times 4}{3.14}} = 9 \text{ m } 50 \text{ environ !}$$

III.5. Logiciel développé pour l'exploitation statistique des données.

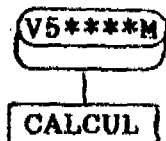
III.5.1. Plan



Autres Programmes:



Détermination du nombre d'années à prendre en compte pour une étude du potentiel éolien.



Calcul d'une journée moyenne à partir des journées triées par vitesse croissante.
(journée type indépendamment du temps)

III.5.2. Description des programmes

III.5.2.1. Programme FWPRES2.PRG

Ce programme permet de réaliser l'enchaînement suivant:

1/ Création de fichiers

- * Création et initialisation des fichiers résultats V1 à V4
- * Création de fichiers de transit pour le traitement des vitesses trihoraires, de l'énergie, des périodes de calme et de vent.

2/ Appel de la procédure CALMVENT (PROCFW3.PRG) (pour chaque mois)

Paramètres MOIS: ième mois de la période
AN : ième année

Ce sous-programme effectue:

- une recherche sur la période d'étude des calmes d'une durée de 3h à 8 jours;
- un stockage des effectifs de calme et de vent pour chaque mois dans le fichier TRANSCV. Le dernier enregistrement de ce fichier (No 65) contient la longueur des mois en nombre de relevés trihoraires. Cette longueur peut être différente de la durée réelle du mois, car une période de calme qui s'étend sur deux mois consécutifs est comptée entièrement dans le 1er mois;
- un calcul du nombre de jours du mois;
- un calcul des effectifs de calme et de vent sur chaque mois;
- un calcul des effectifs cumulés pour le mois et pour l'année.

L'ensemble des résultats est consigné dans le fichier V4.

3/ Indexation du fichier TCM sur les mois

4/ Appel de la procédure TRAITJOUR (PROCFW1.PRG)

- Paramètres: M = No du mois
NJ = nombres de jours du mois M
TTCAR = Cumul des carrés des vitesses de l'échantillon pour le calcul du coefficient de Weibull

Ce sous-programme réalise:

- le calcul des vitesses moyennes journalières et vitesses maximales instantanées que l'on retrouve dans le fichier résultat V1.
- le calcul des énergies journalières à partir des vitesses trihoraires. Les résultats sont stockés dans le fichier de transit TRANSNRJ.
- le calcul des coefficients de Weibull KW du fichier V1.
- le calcul des effectifs des classes des directions pour chaque mois, du fichier résultat V3.

5/ Création du fichier TRANSITO contenant toutes les vitesses trihoraires de chaque mois.

6/ Tri de ce fichier par valeurs croissantes dans le fichier TRANSIT3.

7/ Appel de la procédure VITESSES (PROCFW2.PRG)

- Paramètres: M = No du mois
NJ = nombre de jours du mois M
Evt1 à Evt15 : Cumul des effectifs des classes de vitesse

Ce sous programme calcule les quantiles des vitesses du fichier résultat V1 et les effectifs cumulés réels du fichier résultat V2.

8/ Tri du fichier TRANSNRJ par valeurs croissantes dans le fichier de transit TRANSNRT.

9/ Appel de la procédure ENERGIE (PROCFW2.PRG)

- Paramètres: M = No du mois
NJ = Nombre de jours du mois M

Ce sous-programme calcule les quantiles d'énergie (enregistrement 1 du fichier V5), à partir du fichier TRANSNRT, stocke dans le fichier V5 les profils de 1 à 9 journées types proches des quantiles étudiés, calcule l'énergie de la journée moyenne des journées types (2ème enregistrement du fichier V5).

- Passage au mois suivant.

10/ Calcul des effectifs théoriques mensuels.

Le programme calcule les coefficients de Weibull mensuels. On en déduit alors les pourcentages des effectifs cumulés théoriques de chaque classe et pour chaque mois de l'année (champs PW1 à PW12 du fichier résultat V2).

III.5.2.2. Programme EVENTO : Etude de la variabilité annuelle des effectifs des classes de vitesse.

Fichier source: fichier TCM

Fichier résultat: Fichier de pourcentage d'effectifs cumulés pour plusieurs périodes (STVA)

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	ROH	N	2	0
2	VITR	N	5	1
3	VITO	N	5	1
4	VIT1	N	5	1
5	VIT2	N	5	1
6	VIT3	N	5	1
7	VIT4	N	5	1
8	VIT5	N	5	1
9	VIT6	N	5	1
10	VIT7	N	5	1
11	VIT8	N	5	1
12	VIT9	N	5	1

Nom = nom de la classe

VITR = % effectifs cumulés pour la période de référence

VITO à VIT9 = % effectifs cumulés pour différentes périodes choisies par l'utilisateur

Le fichier est créé lors du calcul de la population de référence. L'utilisateur indique R en réponse à la question "nom de l'échantillon?".

Le programme est relancé pour chaque échantillon avec un numéro différent et le fichier créé pour la population de référence est complété.

III.5.2.3. Programme CALCUL : Calcul d'une journée moyenne triée par valeurs croissantes de vitesses.

Fichier source: V5****M

Pour les 3 quantiles, si l'écart relatif entre le quantile d'énergie et la journée moyenne est supérieur à 26%, les valeurs trihoraires de chaque journée type de ce quantile sont triées et moyennées, et le champ Vx9 est remplacé par cette moyenne.

L'énergie de cette nouvelle journée moyenne est calculée dans l'enregistrement 4 de QOX, et l'écart relatif dans l'enregistrement numéro 5.

III.5.3. Structure des fichiers

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC	
1	DATE	D	8	0	- Date
2	D00	N	2	0	- Direction à 0h en dizaines de degrés
3	V00	N	4	1	- Vitesse à 0h
4	D03	N	2	0	- Direction à 3h
5	V03	N	4	1	- Vitesse à 3h
6	D06	N	2	0	- Direction à 6h
7	V06	N	4	1	- Vitesse à 6h
8	D09	N	2	0	- Direction à 9h
9	V09	N	4	1	- Vitesse à 9h
10	D12	N	2	0	- Direction à 12h
11	V12	N	4	1	- Vitesse à 12h
12	D15	N	2	0	- Direction à 15h
13	V15	N	4	1	- Vitesse à 15h
14	D18	N	2	0	- Direction à 18h
15	V18	N	4	1	- Vitesse à 18h
16	D21	N	2	0	- Direction à 21h
17	V21	N	4	1	- Vitesse à 21h
18	VMOY	N	4	1	- Vitesse moyenne journalière
19	DMAX	N	2	0	- Direction du vent maximum instantané
20	VMAX	N	4	1	- Vitesse maximum instantanée

Fichiers de structure pour les fichiers de travail.

STNRJ

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	NRJ	N	6	0
2	DATE	D	8	0

STRIH

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	TH	N	4	1

STCALM

Enreg. N°	FIELD_NAME	FIELD_TYPE	FIELD_LEN	FIELD_DEC
1	MC1	N	4	0
2	MC2	N	4	0
3	MC3	N	4	0
4	MC4	N	4	0
5	MC5	N	4	0
6	MC6	N	4	0
7	MC7	N	4	0
8	MC8	N	4	0
9	MC9	N	4	0
10	MC10	N	4	0
11	MC11	N	4	0
12	MC12	N	4	0
13	MC13	N	5	0
14	MV1	N	4	0
15	MV2	N	4	0
16	MV3	N	4	0
17	MV4	N	4	0
18	MV5	N	4	0
19	MV6	N	4	0
20	MV7	N	4	0
21	MV8	N	4	0
22	MV9	N	4	0
23	MV10	N	4	0
24	MV11	N	4	0
25	MV12	N	4	0
26	MV13	N	4	0

III.5.4. MANUEL D'UTILISATION.

Utilisation du logiciel de calculs statistiques pour l'évaluation d'une station synoptique sur un nombre d'années quelconque.

III.5.4.1. Création de la base de données.

Sous DBASE III, on crée un fichier ayant pour nom la racine TCM suivie des 4 premières lettres de la station, ou 4 lettres quelconques représentant la station par la suite.

Pour cette création, on utilise le fichier structure STTCM (CREATE TCM**** FROM STTCM).

Création, Saisie et corrections peuvent aussi se faire par l'intermédiaire du programme SAISITCM. Un contrôle sur la vitesse moyenne est alors effectué. Le fichier aura l'extension ".DBF" .

On saisit alors les données de la station (la structure du fichier suit l'ordre des données d'un tableau climatologique mensuel de station synoptique). Les vitesses sont prévues en m/s et les directions en dizaines de degrés. Une donnée manquante est notée -1, un calme 0 en direction comme en vitesse. Une vitesse maximum instantanée inconnue peut être notée 0 ou -1.

Si les données sont stockées sur bandes magnétiques au format AGRHYMET, les fichiers récupérés par le programme DEPOT peuvent être convertis en fichiers DBASE III par le programme DBase CVTAPE (voir notice sur ce programme pour plus d'explications).

III.5.4.2. Lancement des calculs

Pour lancer le programme de calcul, taper DO FWPRES2.

Donner comme nom de station les 4 lettres suivant "TCM" dans le nom du fichier base de données. Le temps d'exécution est d'environ 2H15 pour 3 ans de relevés. Les résultats sont consignés dans les fichiers de racine V1, V2, V3, V4 et V5.

Des fichiers de travail sont utilisés par le programme. Ils ont pour racine TRANS. Attention aux éventuels fichiers du même nom déjà existants.

Le programme CALCUL permet de recalculer les journées moyennes des fichiers V5. Dans ces fichiers mensuels sont calculées les journées moyennes des journées d'énergie égale aux quantiles 0.9, 0.5, et 0.1 de l'énergie journalière observée. Lorsque l'énergie de la journée moyenne s'éloigne trop de l'énergie de référence (écart relatif supérieur à 26 %), le programme "CALCUL" trie les journées types par vitesse croissante, et calcule la journée moyenne à partir de ces journées triées. On aura ainsi un profil de journée par valeur croissante de vitesse trihoraire et non suivant les heures de la journée.

III.5.4.3. Exploitation graphique des résultats par "FRAMEWORK"

- Appel des fichiers: Vi sous FRAMEWORK: Commande "Importer Fichiers" du menu disque, ou se positionner sur le fichier dans le cadre répertoire, et taper Return.

- Remplissage du fichier: Fonction F5

Tracé des courbes:

Se positionner sur le champ à représenter,
Ouvrir le menu Graphiques,
Choisir le type de courbe voulue (histogramme, ligne),
Choisir les options,
Lancer le tracé sur un cadre quelconque.

Cumul de courbes:

La fonction F6 permet de tracer simultanément plusieurs champs voisins. Si les champs ne sont pas contigus, utiliser la commande "Cumul de Courbes". Si un histogramme est à cumuler avec des courbes, tracer l'histogramme d'abord.

Courbes	Dimensions	Echelle	Légendes
1. Vitesses moyennes et quantiles	60/20	0, 6, 1	mois; m/s
2. Vitesses maximales	60/20	0, 35, 5	mois; m/s
3. Fréquences de vitesses mensuelles	55/20	0, 100, 5	m/s ; %
4. Fréquences de vitesses annuelles - Energie de Betz	60/20	0, 50, 5 0, 40, 5	m/s ; % KWh/m2/an ; m/s
5. Journées types d'énergie	60/20	0, 10, 1	jours; %
6. Calmes - Vents	62/22	0, 100, 10	heures; m/s
7. Directions	Dim.origine	0, 100, 10	; %

Tableau III. : Aide mémoire pour le tracé des courbes par Framework.

A titre d'exemples, les résultats obtenus par ce logiciel sur 3 stations (Ouagadougou, Agadez et Dakar) sont donnés en Annexe 4.

L'examen de ces résultats montre la remarquable concordance entre les distributions de Weibull (théoriques) et les distributions réelles observées. Ceci permet d'envisager l'étude du potentiel éolien sur des sites où les données étaient a priori insuffisantes voire inexistantes. En effet, la cartographie par krigeage (*) des vitesses moyennes de vent et du coefficient de Weibull pourra permettre de retrouver les distributions de vent moyennes et décennales, tout en quantifiant l'erreur commise par méthode. Ce sera l'objet de la seconde phase de cette étude.

(*) NOTE: Le krigeage est une méthode de cartographie basée sur le calcul statistique de la variabilité spatiale du phénomène étudié à partir d'un grand nombre de points de mesure autour du point géographique étudié. Le CIEH dispose de deux logiciels de krigeage, l'un développé au CIEH, l'autre acquis (SURFER de chez Golden Software).

*
* * *

C O N C L U S I O N

* * *
*

Il est apparu qu'en l'état actuel du réseau météorologique, seules les données de vent issues des Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM) des stations synoptiques pouvaient être utilisées pour l'étude énergétique du vent à l'échelle régionale qui nous intéresse. Et ce, moyennant néanmoins une critique rigoureuse des données.

Les résultats des campagnes expérimentales menées actuellement à l'initiative de l'Université de Waterloo (Canada) dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, et notamment au Niger en collaboration avec l'INRAN, permettront peut-être de mieux connaître la loi de variation de la vitesse du vent avec la hauteur par rapport au sol, et ainsi de rendre possible l'exploitation des données des postes agrométéorologiques.

En l'état actuel des choses, le CIEH conseille aux utilisateurs de n'exploiter que les TCM des stations synoptiques, bien que le réseau reste peu dense, et en tenant compte bien entendu des limites d'utilisation formulées dans ce rapport. L'ensemble des diagrammes obtenus sur une station de ce type permet toutefois une étude poussée du vent à cet endroit.

Les courbes de vitesses moyennes et quantiles de vitesse selon les mois de l'année donnent une appréciation immédiate de la quantité de vent et de ses périodes d'activité (saisons).

La détermination de la vitesse nominale de l'éolienne pourra se faire à l'aide des courbes mensuelles de fréquences cumulées des classes de vitesses, et du profil de la journée type fournissant une énergie égale aux quantiles d'énergie journalière, pour le même mois.

Le dimensionnement du réservoir associé à l'éolienne sera calculé en fonction de l'énergie disponible, des périodes de calme et de vent, et des besoins en eau pour les mois les plus critiques (vents faibles et besoins maximaux).

En ce qui concerne la valeur de l'énergie disponible sur le site, nous avons vu que l'exploitation directe des TCM pouvait conduire à des erreurs importantes. C'est pourquoi le recours à

la loi de distribution de Weibull appliquées aux vitesses du vent est particulièrement intéressant, car cette loi utilise des valeurs d'entrée qui sont le résultat d'un calcul statistique.

Dans le second tome de cette étude, qui s'intitulera: "Utilisation du Potentiel Eolien pour l'Exhaure de l'Eau; 2.Résultats obtenus." , nous pourrons utiliser la méthodologie exposée dans ce volume, et rappelée ci-dessous, afin de contourner les difficultés mises en évidence dans ce premier tome (essentiellement, l'insuffisance du réseau météorologique et l'erreur commise dans le calcul de l'énergie à partir des TCM).

1/ Sur les stations synoptiques:

- sélection de mois types à partir des vitesses moyennes et décennales, et présentation de ces mois types uniquement, en indiquant la saison qu'ils représentent (ceci afin de limiter le nombre de graphiques par station);

- détermination de l'énergie disponible à partir de la distribution de vitesse de Weibull d'une part, et de celle du mois choisi d'autre part, ce qui permettra de tester la validité de cette loi de distribution, par comparaison des deux résultats.

2/ Sur les autres sites:

- interpolation des distributions de vitesse en tout point, à partir de la cartographie par krigeage des vitesses moyennes et du coefficient de Weibull, puis utilisation de la loi de Weibull;

- calcul de l'énergie à partir de la distribution de Weibull, dont les valeurs d'entrée sont issues du krigeage.

Ainsi, si la connaissance du potentiel éolien n'est pas possible rigoureusement en tout lieu compte tenu des insuffisances du réseau météorologique, son évaluation sera néanmoins possible par cette méthode, et par conséquent la détermination des zones les plus favorables pour l'implantation d'éoliennes.

*
* * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *

A N N E X E S

* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *

Annexe 1

ADRESSES DE QUELQUES CONSTRUCTEURS D'EOLIENNES

- Société AEROWATT: 37, rue Chanzy; 75011 PARIS
- ENAG: Route de Pont l'Abbé; 29000 QUIMPER
- HUMBLOTT: 8, rue d'Alger; 88630 COUSSEY
- C.E.M.A. : Z.I. des Rochons BP 8; MONTMERLE / Saône;
01140 THOISSEY
- S.A. Guilleminot: 10270 LUSIGNY / Barse
- Poncelet & Cie: BP 1, Place de la Victoire;
10380 Plancy l'Abbaye
- Hermeneau: 32 rue Marcelin Berthelot; Z.I des Touches
53000 LAVAL
- Ateliers et Chantiers Navals de Châlon-sur-Saône; BP 103
71103 Châlon-sur-Saône
- Aéroturbine: 38 Bd de la Duchesse Anne; 35000 RENNES
- Eotéc: RN 117 Lavelanet de Comminges 31220 Cazère
- Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble-
Laboratoire d'Applications spéciales de la Physique-
85X ; 38041 GRENOBLE CEDEX
- I.T.D.G. : 9, King Street, LONDRES, WC2 8HW, U.I
- M.A.N. : Dept EA, Postfach 50 06 20 D.80000 MUNCHEN 50
- Lubing Mashinen Fabrik, 2847 BARMSTORF, POSTFACH 171
- C.W.D. : P.O. Box 85 38000 AB AMERSFOORT THE NETHERLANDS

BIBLIOGRAPHIE ENERGIE EOLIENNE

DISPONIBLE AU CIEH

- 10308 France- Ministère de la Coopération et du Développement
Energies renouvelables et développement.
Paris, 1981, 32p. ill.
- 10288 Opando, M.N.
Water pumping by wind energy in kenya
Dans "Proceeding of a workshop on training",
held in Zumba, Malawi, 5 -12 August 1980,
edited by IDRC, p.38-49; ill.
- 10095 Yves Lambert
Pompes hydrauliques. Possibilités d'utilisation des
énergies renouvelables dans les pays sahéliens. 17p.
- 10208 GRET
Energies renouvelables et réseaux de communication
Paris, GRET, 1980, 223 p. ill.
(dossier technologies et développement).
- 10160 PARISELLE
Quelques aspects de l'énergie éolienne. Dans Compte-Rendu
de la manifestation INOVA-MEDITERRANEE sur les énergies
nouvelles 1978. Annexe 11. 5p.
- 10163 SID/COMES
L'énergie solaire: réalisations et perspectives françaises.
Paris SID/COMES. 1979, 60 p. ill.
(actualités, documents).
- 10831 Le Gouvrières, Désiré
Energie éolienne: théorie, conception et calcul pratique
des installations - 2ème édition. Paris, Eyrolles, 1982.
279p. graph. bibl.
- 7677 Archibald, Frédérick
Wind Power, Wind Mill electronics. Dans "The journal of the
new alchemists", No 2, 1976, p.38 - 32 fig.
- 5737 Bouel
Low cost windmill for developing nations.
Mt. Rainer, Maryland, Volunteers in technical assistance,
1976. 40 p. fig

- 6957 Club des Amis du Sahel. Equipe technologie adaptée - Rapport intérimaire de l'équipe technologie adaptée pour la réunion du Club des Amis du Sahel à Ottawa, Canada, mai-juin 1977 (s.l.) CILSS/OCDE, 1977.
- 7332 Collins, Jane.
Wind power. Washington. Référence section, Science and Technology Division. Library of Congress, 1973, 7 p.
- 7331 Collins, Jane.
Selected references on wind power. Washington, 1975. 4 p.
- 6560 Conseil of Scientific and Industrial Research. New Delhi. Bibliographies. Extrait de current litterature on Science of Science, vol. 5, No 9, sept. 76, p. 361 - 383.
- 7075 Dekker, A.H.
Performance characteristics of some sail and steel bladed windrotors - Amerfoort, steering comittee for windenergy in developping countries - 1977. 60 p. ill. photos.
- 7580 Etats Unis. National Academy of Sciences.
- 7691 Energy for rural development. Alternative technologies for developping countries. Washington, 1976, 306 p. ill. bibl.
- 7839 Etats Unis. National Academy of Sciences.
L'énergie et le développement rural.
Ressources renouvelables et options techniques pour les pays en développement.
Washington DC, 1977 333 p. ill. bibl.
- 6495 Etude d'une éolienne de type "Savonius" pour les pays à faible développement technologique de la zone tropicale et intertropicale, par Bremont et J. Marie. Extrait de "machinisme agricole tropical" No 57 p. 49-60, ill.
- 9382 Geemack D.E. and W.E. Heronemus.
Wind power for space heating. Dans volume No 1 du proceedings of the biennal conference and workshop on wind energy conservation systems, Washington, spt. 19-21, 1978, p.185-201, fig. bibl.
- 9383 Hugher, Win. L.
Some practical technical and economical aspecets of small wind power systems (sumary).
Dans vol. No 1 du proceedings of the biennal conference and workshop on wind energy conservation systems, Washington, spt. 19-21, 1978, p.202-206.

- 6415 Jansen, W.A. and Smulders P.T.
Rotors design for horizontal axis windmills
Amersfoort, The Netherlands, Steering Committee for
windenergy in developping countries, 1977, 53 p. ill. tab.
- 6657 Klawer E.C.
Static and dynamic loadings in a tower of a windmill
Amersfoort, The Netherlands, Steering Committee for
windenergy in developping countries, 1977, 39 p. ill. tab.
- 9381 Kornreich, Théodore R. and Daily M. Tomkins
An analysis of the economics of current small wind energy
systems - Dans vol.1 du proceedings of the biennal confe-
rence and workshop on wind energy conservation systems,
Washington, spt. 19-21, 1978, p.156-172, bibl. fig.
- 9390 Lissaman, Peter B.S.
Technical improvments in small system design
Dans vol. No 2 du proceedings...
- 9384 Mans, Ronald W. and John-Mainitz
Locating areas of high wind energy potential by remote
observations of eolian geomorphology and topography
Dans vol. No 1 du proceedings...
- 9388 Olivier, J.K.
Energy from humid air. Dans vol. No 2 du proceedings...
- 9385 Reed, Jack, W.
Meteorological studies for wind power: a progress report
Dans vol. No 1 du proceedings...
- 9386 Regers, Sharson. E.
Wind energy conservation - environmental effects assessment
Dans vol. No 1 du proceedings...
- 7676 Sherman, Marcus
A water pumping windmill that works. Dans the journal of
new Alchemists No 2, 1976, p. 21-27. fig phot.
- 7604 SEMA
- 7606 Energies nouvelles et développement. Montrouge, France,
SEMA, 1978, 63 p. ill. bibl.
- 9489 Stewart, J.
Technical improvement in large system design.
Dans vol. No 2 du proceedings...
- 5937 Stoner C.H.
Producing your own power. How to make nature's energy
sources work for you. Emans (Pennsylvannia) Rodale
Press...inc. Book division 1974. 322 p. ill. sahl. bibl.

- 7156 Vertical axis wind turbine technology workshop
Albuquerque, New Mexico.
- 9391 Wenddell, Larry.
Wind characteristics and siting considerations.
Dans vol. No 2 du proceedings...
- 10866 Wyatt, Alan and Baldurin, Sam
Wind energy activities in Africa.
Washington, volunteers in technical Assistance, 1982
- I. Cheret
Etude du régime des vents en Afrique Occidentale
Possibilités d'utilisation des éoliennes
pour l'exhaure de l'eau
- J. Dupuis et M. Hlavek
L'utilisation de l'énergie éolienne pour l'exhaure de l'eau
3. Bilan d'exploitation des éoliennes de la région de Gao
(Mali) - CIEH, Dec 1969
- 10953 EIER
Energies dans le développement rural.
Ouagadougou EIER (s.d) 113 p. graph. tabl.
- 11060 Institut des Nations Unies pour la Formation et la
Recherche: Rapport de la conférence sur les petites sources
d'énergie - New York - UNITAR (s.d) 20 p.
- 11067 Organisation météorologique mondiale. Programme climatique
mondial: Actes de la conférence technique sur le climat en
Afrique. GENEVE OMM - 1982, 535 p. graph. (WMO-OMM 596).
Anglais et Français.
- 11128 International Institute for Land Reclamation and
Improvement. Annual Report 1981
Wageningen (The Netherlands) ILRI 1982 - 100 p. Photos.
- 11146 Agence Française pour la maîtrise de l'énergie:
Energies renouvelables au Sahel. Evaluation sur le terrain-
bilan et recommandations - (Paris- Ministère des relations
extérieures, 1982) - 210 p. Graph. (Dossier Technologies et
développement).
- 11217 A. Wyatt et S. Baldwin.
Activités relatives à l'énergie éolienne en Afrique.
Virginia (Etats Unis). Volunteers in technical assistance,
1982, 58 p. Bibl.

- 11191 Centre de Recherche pour le Développement International.
Approvisionnement en eau dans les régions rurales des pays
en voie de développement. Compte rendu de colloque tenu à
Zumba (Malawi) du 5 au 12 août 1980 /Ottawa CRDI/ 137 p.
Photos.
- 11222 R. Bouchet
L'ETSHER et les éoliennes - Dans Bulletin de liaison du
CIEH No 53. Juin 1983 - p. 29 à 40 Graph.
- 11271 M. Meunier
Synthèse bibliographique sur les énergies renouvelables à
partir des travaux de l'Association Française pour l'Etude
des Eaux, le groupement pour l'exploitation rationnelle de
l'énergie solaire et le groupe de recherches et d'échanges
techniques (GRET) - Ouagadougou CIEH 1983 - 30 p.
- 11379 F. Kabore et J. Durand
L'hydraulique villageoise dans les pays membres du CILSS.
Les coûts récurrents / QUEBEC (Canada) OCDE / 1983 -
Tome 1 - Rapport général.
(utilisation de l'énergie éolienne en hydraulique
villageoise - Eolienne à voile - Eolienne lente multipale -
Eolienne Savonius - Eolienne Darrieus - Aérogénérateur).
- 11221 1982 - Observations climatologiques à la station de
Jafalanka et suivi de la mare d'Oursi
A. Benard - ORSTOM - p. 7-10
- 12293 Energies renouvelables au Sahel. Evaluation des projets.
67-77 / 117
- 10426 Evaluation des énergies renouvelables pour les pays en voie
de développement (1980) - Types d'éoliennes - Constructeurs
- Lettre d'information sur les petites ressources en énergie
- Février 87 No 6 -2-
- Wind energy technical memorandum - An APPLE II program for
computing windmill performance.
- Rapport du colloque sur l'utilisation de l'énergie éolienne
pour l'exhaure de l'eau - NIAMEY (Niger) - 23-26 avril 1988
- CILSS - Université de Waterloo (Canada).
- "Les vents au sol en Haute-Volta"
Ch. Baldy, R. Delecolle, JP. Guinot, H. Kontongomde
INRA, D.M(H.V.), DGRST, Septembre 1982

A n n e x e 3

* * *

LISTINGS DES PROGRAMMES

Nom des programmes:

FWRES
FWRES2
FWRES2C
FWRES2B
FWRES3
FWAGRO
SAISITCM
PROCSAIS
FWPRES2
PROCFW1
PROCFW2
PROCFW3
EVENTO
CALCUL

* FWRRES: FABRICATION DU FICHER VITESSES MOYENNES
* ,MAX., ET MAX DES TRI-HDR. SUR TCM ET GRAPHES

CLOSE DATA
SET TALK OFF

ACCEPT*NON DE LA STATION : * TO NOMST

NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)

FICS" =*TCM*+NOMST

ACCEPT*DATE (01/MOIS/AN) : * TO DT

ACCEPT*NOMBRE DE JOURS : * TO NBJ

NJ=VAL(NBJ)

ACCEPT*NON DU FICHER GRAPHIQUE : * TO NOMSRF

ACCEPT*NON DU FICHER DES RESULTATS : * TO NOMRES

CLOSE DATABASES

SELECT 3

CREATE ANDRES FROM STRES

SELECT 1

USE &FICST

LOCATE FOR DATE=CDOB(DT)

SELECT 2

USE &NOMSRF

TMX=0

VXY=0

VST=0

J=1

TMOY=0

TMOY=0

VMI=0

DO WHILE J <= NJ

JJ=*J*+STR(J,1)

IF JJ>9

JJ=*J*+STR(J,2)

ENDIF

GOTO RECORD 1

AVERAGE &JJ NEXT 24 TO MOY

TMOY=TMOY+MOY

SELECT 1

TMX=0

X=1

DO WHILE X<=8

IF X<5

V=*V0*+STR((X-1)*3,1)

ELSE

V=*V*+STR((X-1)*3,2)

ENDIF

IF &V>TMX

TMX=V

ENDIF

X=X+1

ENDDO

STORE VMOY TO VMOY

STORE VMAX TO VMAX

SKIP

SELECT 2

LOCATE RECORD 25

STORE &JJ TO V&J

SELECT 3

APPEND BLANK

REPLACE MUM WITH J

REPLACE VMS WITH MOY

REPLACE VMT WITH &MY

REPLACE VIG WITH V&J

REPLACE VXT WITH V&X

REPLACE TM WITH TMX

SELECT 2

J=J+1

ENDDO

SET TALK ON

CLOSE DATA

RETURN

```
*****
* FMRES2.PRG : ADMINISTRATION DU FICHIER CLASSES DE VITESSES
* EFFECTIFS, EFF. DURULES, POURCENTAGES POUR TCN ET GRAPHIQUES
* CALCUL DES ENERGIES DISPONIBLES
*****
```

```
CLOSE DATA
SET TALK OFF
```

①

```
ACCEPT *NOM DE LA STATION : * TO NOMST
```

```
NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)
```

```
FICST = "TCN" + NOMST
```

```
ACCEPT *DATE (DD/MM/AA) : * TO DT
```

```
ACCEPT *NOMBRE DE JOURS : * TO NBNJ
```

```
NJ=VAL(NBNJ)
```

```
NOMGRF=""
```

```
ACCEPT *NOM DU FICHIER GRAPHIQUE : * TO NOMGRF
```

```
ACCEPT *NOM DU FICHIER DES RESULTATS : * TO NOMRES
```

```
CLOSE DATABASES
```

109

```
SELECT 3
CREATE ANOMRES FROM STRES2
```

```
I=1
```

```
DO WHILE I<=9
```

```
APPEND BLANK
```

```
REPLACE ALL WITH STR(I-1,1)+ "*" + STR(I,1)
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
APPEND BLANK
```

```
REPLACE NUM WITH "00"
```

```
SELECT 1
```

```
USE AFICST
```

```
I=1
```

```
STORE 0 TO C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9
```

```
DO WHILE I<=8
```

```
C="C"+STR(I,1)
```

```
I=1
```

```
DO WHILE X<=8
```

```
LOCATE FOR DATE =-CTOD(DT)
```

```
IF X<5
```

```
J="V0"+STR((X-1)*3,1)
```

②

```
ELSE
```

```
J="V"+STR((X-1)*3,2)
```

```
ENDIF
```

```
COUNT NEXT NJ FOR NJ (< ( .AND. NJ )>= I-1 TO N
```

```
AC=AC+N
```

```
IF I=8
```

```
LOCATE FOR DATE = CTOD(DT)
```

```
COUNT NEXT NJ FOR NJ (>= I TO N
```

```
C9=C9+N
```

```
ENDIF
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
EFC=0
```

```
SUM=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9
```

```
SELECT 3
```

```
I=1
```

```
DO WHILE I<=9
```

```
C="C"+STR(I,1)
```

```
LOCATE RECORD I
```

```
REPLACE EFF_I WITH AC
```

```
REPLACE PCT_I WITH 100*(AC/SUM)
```

```
REPLACE EFC_I WITH (SUM-EFC)*100/SUM
```

```
EFC=EFC+AC
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
IF LEN(NOMGRF)=0
```

```
RETURN
```

```
ENDIF
```

```
SELECT 2
```

```
USE ANOMRES
```

```
I=1
```

```
STORE 0 TO C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9
```

```
DO WHILE I<=8
```

③

```
C="C"+STR(I,1)
```

```
I=1
```

```
DO WHILE X<=NJ
```

```
LOCATE RECORD I
```

```
IF X<10
```

```
J="V0"+STR(X,1)
```

```
ELSE
```

```
J="V"+STR(X,2)
```

```
ENDIF
```

```
COUNT NEXT 24 FOR NJ (< ( .AND. NJ )>= I-1 TO N
```

```
AC=AC+N
```

```
IF I=8
```

```
LOCATE RECORD I
```

```
COUNT NEXT 24 FOR NJ (>= I TO N
```

```
C9=C9+N
```

```
ENDIF
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
EFC=0
```

```
SUM=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9
```

```
SELECT 3
```

```
I=1
```

```
DO WHILE I<=9
```

```
C="C"+STR(I,1)
```

```
LOCATE RECORD I
```

```
REPLACE EFF_B WITH AC
```

```
REPLACE PCT_B WITH 100*(AC/SUM)
```

```
REPLACE EFC_B WITH (SUM-EFC)*100/SUM
```

```
EFC=EFC+AC
```

```
I=I+1
```

```
ENDDO
```

```
SET TALK ON
```

```
CLOSE DATA
```


PROGRAMME CALCUL L'ENERGIE DE BATE SUR LES DEPOUILLEMENTS GRAPHIQUES

*HORAIRES DES VITESSES STRUCTURE DU FICHIER : STGRF

SET TALK OFF

ACCEPT *NON DU FICHIER : * TO FICST

USE #FICST

TCUB=0

K=1

DO WHILE K<25

I=1

DO WHILE I<31

L=INT(I/10)+1-INT(I/20)-INT(I/30)

J='J'+STR(I,L)

IF J>2

TCUB=TCUB+LJ^3

ENDIF

I=I+1

ENDDO

SKIP

K=K+1

ENDDO

NRJ=.37*TCUB

?'GRF = ',NRJ

CLOSE BATA

SET TALK ON

RETURN

PROGRAM EFFECTIFS CUMULES DES CLASSES DE VITESSES SUR UNE PERIODE
COMPRESE ENTRE DATE DE DEBUT ET DE FIN

SET TALK OFF
CLOSE DATA
SET SAFETY OFF
ACCEPT *NOM DE LA STATION : * TO NOMST
NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)
FICST=*TCM*+NOMST
FICOR=*GRF*+NOMST
FVA=*VA*+NOMST

PUBLIC ETCM,EGRF

*NB CLASSES DE VITESSES
CLVSUP=15

ACCEPT *DATE DE DEBUT : * TO DT
DB=CTOD(DT)
ACCEPT *DATE DE FIN : * TO DF
DF=CTOD(DF)

*FICHER VA : EFFECTIFS DES CLASSES DE VITESSES

*NOM VICH VGRF
CREATE &FVA FROM STGRF2

I=1
DO WHILE I<=CLVSUP
APPEND BLANK
REPLACE NEW WITH I
I=I+1
ENDDO

*CREATION DES FICHIERS TRANSIT

CREATE TRANSITO FROM STRTH
V=0

VIT=*VTOM*

BRJ=*ETCM*

USE &FICST

DO WHILE V<=I

COPY TO TRANSIT1 FIELDS V00,V03,V06,V09,V12,V15,V18,V21 FOR DATE=>DB ;

.AND. DATE<=DF DELIMITED

RUN MSBASIC CONVST

USE TRANSIT1

ZAF

APPEND FROM TRANSIT2 DELIMITED

USE TRANSITO
SORT TO TRANSIT3 ON TH
USE TRANSIT3
GO TOP
Y=1
NTH=0
TCUS=0

STORE 0 TO CL0,CL1,CL2,CL3,CL4,CL5,CL6,CL7,CL8,CL9,CL10
STORE 0 TO CL11,CL12,CL13,CL14,CL15

DO WHILE .NOT.EOF()
IF X<10
CL=*CL*+STR(X,1)

ELSE
CL=*CL*+STR(X,2)

ENDIF
IF TH<1 .AND. TH>X-1
NCL=NCL+1
IF TH>2
TCUS=TCUS+TH*3

ENDIF
SKIP
NTH=NTH+1

ELSE
I=X-1

ENDIF
ENDDO

IF I>CLVSUP
CLSUP=*CL*+STR(CLVSUP,2)
I=CLVSUP
DO WHILE I<=X
CL=*CL*+STR(I,2)
ACLSUP=ACLSUP+CL
I=I+1

ENDDO
ENDIF

ANFJ=0,37ATTCUS

USE &FVA

X=1

DO WHILE X<=CLVSUP

LOCATE RECORD 1

IF X<10

CL=*CL*+STR(X,1)

ELSE

CL=*CL*+STR(X,2)

ENDIF

REPLACE AVIT WITH ACLEFID/NTH

I=I+1

ENDDO

? NRJ, * = *, ANRJ

NRJ=*GRF*

VIT=*VGRF*

USE &FICOR

Y=Y+1

ENDDO

CLOSE DATA

SET SAFETY ON

SET TALK ON

RETURN

```

*****
* [FIRESS.PRG]: FABRICATION DU FICHIER CLASSES DE DIRECTIONS
* EFFECTIFS, EFF. CUMULES, POURCENTAGES POUR TCM ET GRAPHIQUES
*****
CLOSE DATA
SET TALK OFF

```

```

ACCEPT *NOM DE LA STATION : * TO NOMST
NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)
FICST=*TCM*NOMST
ACCEPT *DATE (01/MOIS/AN) : * TO DT
ACCEPT *NOMBRE DE JOURS : * TO NBNJ
NJ=VAL(NBNJ)

```

```

ACCEPT *NOM DU FICHER DES RESULTATS : * TO NOMRES
CLOSE DATABASES

```

```

SELECT J
CREATE *NOMRES FROM STRES2

```

```

APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *N*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *NE*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *E*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *SE*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *S*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *SN*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *N*
APPEND BLANK
REPLACE NUM WITH *NN*

```

```

SELECT I
USE *FICST

I=1
STORE 0 TO C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8

```

```

DO WHILE I<=8

```

```

C=*C*STR(I,1)
I=1
DO WHILE I<=8
LOCATE FOR DATE = DTOR(DT)

```

```

IF I<5
J=*D0*+STR((I-1)*3,1)
ELSE
J=*D*+STR((I-1)*3,2)
ENDIF

```

```

DO CASE

```

```

CASE I=1
COUNT NEXT NJ FOR NJ=34 .OR. NJ=36 .OR. NJ=02 TO N
CASE I>1 .AND. I<5
COUNT NEXT NJ FOR NJ=(I-1)*4 .OR. NJ=(I-1)*4+2 TO N
CASE I=5
COUNT NEXT NJ FOR NJ=16 .AND. NJ<=20 TO N
CASE I>5
COUNT NEXT NJ FOR NJ=1+4-2 .OR. NJ=1+4 TO N

```

```

ENDCASE
LC=LC+N

```

```

I=I+1
ENDDO
I=I+1

```

```

ENDDO

```

②

```

SOM=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8
SELECT 3
C=1
DO WHILE I<=8
C=*C*STR(I,1)
LOCATE RECORDS I
REPLACE EFF_I WITH AC
REPLACE PCT_I WITH 100*(AC/SOM)
I=I+1
ENDDO
SET TALK ON
CLOSE DATA
RETURN

```

③

```

*****
* FMAGRO: FABRICATION DU FICHIER VEFESSES MOYENNES
* ET VIT. A 11M POUR DS POSTES AGRONETED
* + VIT TCM-AGRO ET VIT TCM-SYN
* ( Y00 .... Y2: dans fichiers tcm sont en ka/h )
*****

```

```

CLOSE DATA
SET TALK OFF

```

```

ACCEPT NOM DE LA STATION : * TO NOMST
NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)
FICST ="TCM"+NOMST

```

```

ACCEPT NOM DU FICHIER DES RESULTATS : * TO NOMRES
CLOSE DATABASES

```

```

SELECT 3
CREATE (NOMRES FROM STAGRO
* STAGRO : NOM V2M V11M VTCM VSYN Q_11MSYN

```

```

SELECT 1
USE IFICST ALIAS AA

```

```

J=1

```

```

DO WHILE .NOT. EOF()
  TMOY=0
  X=1
  NY=8
  DO WHILE X<=8
    IF X/5
      Y='Y0'+STR((X-1)*3,1)
    ELSE
      Y='Y'+STR((X-1)*3,2)
    ENDOF
    IF NY=-1
      NY=NY-1
    ELSE
      TMOY=TMOY+1/Y/3.6
    ENDOF
  X=X+1

```

①

```

X=X+1
ENDDO

```

```

X=1
NT=3
TM=0
DO WHILE X<=3
  T="T"+STR(X,1)
  IF NT=-1
    NT=NT-1
  ELSE
    TM=TM+T
  ENDOF
  X=X+1
ENDDO

```

```

IF NT=0
  NT=1
ENDIF
IF NY=0
  NY=1
ENDIF

```

```

TM=TM/NT

```

```

SELECT 3
APPEND BLANK
REPLACE NOM WITH J
REPLACE V2M WITH TMOY/WY
REPLACE V11M WITH TMOY*1.4/WY
REPLACE VSYN WITH AA->VSYN
REPLACE VTCM WITH TM
REPLACE Q_11MSYN WITH V11M/VSYN
SELECT 1
J=J+1
SKIP

```

②

```

ENDDO
SET TALK ON
CLOSE DATA
RETURN

```

③

113

C:\p00\CECILE>TYPE SAISTICH.PRS

* PROGRAMME DE SAISIE DES TCM D'UNE STATION SYNOPTIQUE

SET BELL OFF
SET TALK OFF
CLEAR

ACCEPT 'NOM DE LA STATION (4 PREMIERS CARACTERES) : ' TO NOMST
NOMST=SUBSTR(NOMST, 1, 4)

FICST='TCM'+NOMST+'.DSF'

?*TAPER D GI LE FICHER N'EXISTE PAS ENCORE*

WAIT 'TAPER RETURN SINON ' TO R1

IF R1='C'

CREATE AFICST FROM STICH

ELSE

PRG=FILE('AFICST')

IF .NOT. PRG

'ERREUR DE DISQUETTE OU DE NOM DE STATION'

?* RECOMMENCER LA SESSION*

SET TALK ON

RETURN

ELSE

USE AFICST

ENDIF

ENDIF

SET PROCEDURE TO PRINCIPAL.PRS

DO MENU

CLOSE PROCEDURE

SET TALK ON

SET BELL ON

RETURN

CONVST.BAS

C:\p00\cecile>

S REN V(8),V(8)

10 OPEN '1',#1,'TRANSIT1.TXT'

20 OPEN '0',#2,'TRANSIT0.TXT'

25 WHILE NOT EOF(1)

30 INPUT #1,V(1),V(1),V(2),V(3),V(4),V(5),V(6),V(7)

40 FOR I=0 TO 1

50 PRINT #2,STR(V(1))

60 NEXT I

65 MENU

70 CLOSE

75 PRINT 'FIN'

80 SYSTEM

C:\p88g\CECILE>TYPE PROCSAIS.PRG

①

* PROCEDURES DU PROGRAMME SAISITCH

PROCEDURE MENU

GO WHILE .T.

CLEAR

↳ 1,10 SAY "OPERATIONS SUR LE FICHIER : "+FICST

↳ 2,10 SAY "-----"

↳ 4,10 SAY "A - AFFICHAGE DES ENREGISTREMENTS DEJA SAISIS"

↳ 6,10 SAY "B - CORRECTION D'UN ENREGISTREMENT"

↳ 8,10 SAY "C - SAISIE D'ENREGISTREMENTS (SUITE)"

↳ 10,10 SAY "D - FIN DES OPERATIONS"

?

WAIT "TAPER LA LETTRE CORRESPONDANT A VOTRE CHOIX : " TO R2

DO CASE

CASE R2="A"

DO AFFICHE

CASE R2="B"

DO CORRIGE

CASE R2="C"

DO SAISIE

CASE R2="D"

DO TERMINE

ENDCASE

ENDDO

RETURN

PROCEDURE SAISIE

CLEAR

?

"REPRENDRE UNE SAISIE PAR RETURN SUR UN ENREGISTREMENT VIDE"

?

WAIT

GO BOTTOM

STORE RECNO(1) TO DR

APPEND

CLEAR

STORE RECNO(1) TO FLN

N=DR

DO WHILE N <= FIN

DO VERIF WITH N

N=N+1

ENDDO

RETURN

②

PROCEDURE AFFICHE

CLEAR

GO TOP

DISPLAY OFF ALL

WAIT

RETURN

PROCEDURE CORRIGE

DO WHILE .T.

CLEAR

"NOTE DE L'ENREGISTREMENT A CORRIGER : |||/aa/aa"

ACCEPT " (TAPER 0 POUR RETOUR AU MENU) " TO R4

IF R4="0"

EXIT

ENDIF

STORE CTOD(R4) TO DT

LOCATE FOR DATE=DT

CHANGE NEXT 1

LOCATE FOR DATE=DT

DO VERIF WITH RECNO(1)

ENDDO

RETURN

PROCEDURE VERIF

PARAMETERS MAY

GOTO MAY

MOYEN=(V01+V03+V06+V09+V12+V15+V18+V21)/8

IF ROUND(MOYEN,1) <> MOY

?

"ENREGISTREMENT DE DATE : "+DTOC(DATE)+" A VERIFIER"

?

WAIT

ENDIF

RETURN

③

PROCEDURE TERMINE

CLOSE DATABASES

?

"AU REVOIR"

?

RETURN TO MASTER

* FWPRES2 : EFFECTUE LES CALCULS NECESSAIRES SUR UN FICHIER
 * PCH, APRES DE CREER LES FICHIERS QUI SERONT UTILISES PAR FRANZ MOXE
 * POUR LES GRAPHES SUR LA PERIODE DE REFERENCE

SET TALK OFF
 CLOSE DATA
 SET SAFETY OFF
 PUBLIC MONST, RPRN
 PUBLIC TROU1, TROU2, TROU3, TROU4, FINTROU1, FINTROU2, FINTROU3
 STORE 0 TO TROU1, TROU2, TROU3, TROU4, FINTROU1, FINTROU2, FINTROU3
 ACCEPT 'NON DE LA STATION : ' TO MONST
 MONST=SUASTR(MONST,1,1)
 FICST='TCM'+MONST

*NB CLASSES DE VITESSES
 CLVSUP=15

*FICHIER V1 : MOIS M01 M02 M03 M04 M05 M06 M07 M08 M09 M10 M11 M12
 FV1='V1'+MONST
 SELECT 1
 CREATE APP1 FROM STV1
 I=1
 DO WHILE I<=12
 APPEND BLANK
 REPLACE MOIS WITH I
 I=I+1
 ENDDO

*FICHIER V2 : EFFECTIFS DES CLASSES DE VITESSES
 *NON V11 ... V112 V113 V114
 FV2='V2'+MONST
 CREATE APP2 FROM STV2
 I=1
 DO WHILE I<=CLVSUP
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH I
 I=I+1
 ENDDO

*FICHIER V3 : NON DE LA CLASSE DE DIRECTION - EFFECTIF EN %
 * UN ENREGISTREMENT PAR MOIS
 * NON D11 D12 D13 D14 ... D112
 FV3='V3'+MONST

CREATE APP3 FROM STV3
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'N'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'NR'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'R'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'SE'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'S'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'SW'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'W'
 APPEND BLANK
 REPLACE NON WITH 'NW'

*FICHIER V4 : PERIODES DE CALME ET DE VENTS DE 1 OUREE
 *NB CALM CALM1 ... CALM12 VENT VENT1 ... VENT12

FV4='V4'+MONST
 CREATE APP4 FROM STV4
 I=0.5
 DO WHILE I<=3
 APPEND BLANK
 APPEND BLANK
 APPEND BLANK
 APPEND BLANK
 REPLACE NB1 WITH I
 I=I+0.5
 ENDDO

③

```

*CREATION DES FICHIER TRANSIT
CREATE TRANSIT FROM STRIN
CREATE TRANSIT FROM STWRJ
SELECT 2
CREATE TRANSIT FROM STCALM
I=1
DO WHILE I<66
  APPEND BLANK
  I=I+1
ENDDO

SELECT 1
USE APLICST
*
GO BOTTOM
RECNO=RECNO()
NBAR=1+INT((RECNO/361))
GO TOP
AN=YEAR(DATE)
I=1
T=1
DO WHILE .NOT. EOF()
  I=I+366
  IF I>RECNO
    GO BOTTOM
    SKIP
    LOOP
  ENDIF
  LOCATE RECORD I
  IF YEAR(DATE)<>AN+1
    TRON="TRON"+STR(I,1)
    PINTRON="PINTRON"+STR(I,1)
    PTEOU=AN+1
    PINTROU=YEAR(DATE)
    AN=YEAR(DATE)
    T=T+1
  ELSE
    AN=AN+1
  ENDIF
ENDDO
GO TOP

```

④

```

PROU1,PINTROU1,TRON1,PINTROU1,TRON2,PINTROU2,TRON3,PINTROU3,TRON4
NOIS=MONTH(DATE)
AN=YEAR(DATE)
COPY TO TRANSIT1 FIELDS NO1,NO2,NO3,NO4,NO5,NO6,NO7,NO8,NO9,NO10,NO11,NO12,NO13,NO14,NO15,NO16,NO17,NO18,NO19,NO20 DELIMITED
RUN BASIC CONVST
USE TRANSIT1
APPEND FROM TRANSIT2 DELIMITED

SET PROCEDURE TO PROCPV1.PRG
DO CALCVMT WITH NOIS,AN
CLOSE DATA
ERASE TRANSITV.DBF
ERASE TRANSITV.TIT
ERASE TRANSITV.TTC

USE APLICST ALIAS TCM
INDEX ON MONTH(DATE) TO TRANSNOX
COPY TO TRANSIT4
FICST="TRANSIT4"
CLOSE DATA
ERASE TRANSNOX.NOI

STORE 0 TO BYT1,BYT2,BYT3,BYT4,BYT5,BYT6,BYT7
STORE 0 TO BYT8,BYT9,BYT10,BYT11,BYT12,BYT13,BYT14,BYT15
STORE 0 TO TNO,NJ,TTCAE
N=1

DO WHILE N<=12
  USE APLICST ALIAS TCM
  LOCATE FOR MONTH(DATE)=N
  APEX=RECNO()
  IF .NOT. EOF()
    ? TIME(), " NOIS",N
    SET PROCEDURE TO PROCPV1.PRG
    DO TRANSITOUR WITH N,NJ,TTCAE

  CLOSE PROCEDURE
  SET PROCEDURE TO PROCPV2.PRG

```

- 117 -

5

```
USE APICT ALIAS TCE
COPY TO TRANSIT FIELDS V08,V09,V0E,V07,V12,V15,V18,V21 FOR MONTH(DATE)=M:
DELIMITED
RUN NSBASIC CONVST
USE TRANSIT0
LAP
APPEND FROM TRANSIT0 DELIMITED
```

```
SORT TO TRANSIT0 ON TR
USE TRANSIT0
```

```
DO VITSSSES WITH M,NJ,EVT1,EVT2,EVT3,EVT4,EVT5,EVT6,EVT7,EVT8;
EVT9,EVT10,EVT11,EVT12,EVT13,EVT14,EVT15,CLVSSP
```

```
SELECT I
USE TRANSNBJ
SORT TO TRANSIT ON NJ
USE TRANSNBJ
```

```
DO ENVOIE WITH S.NJ
```

```
CLOSE PROCEDURE
ENDIF
M=M+1
TNJ=TNJ+M
NJ=0
```

```
ENDDO
```

```
*VALUES ANNUELLES
```

```
USE APV1
I=1
```

```
DO WHILE I<=CLVSSP
LOCATE RECORD I
L=INT(X/10)+1
EVT="EVT"+STR(X,L)
EVT="EVT"+STR(X,L)
REPLACE VITS WITH (AEVT+100)/(TNJ*8)
REPLACE NJI WITH 0.37*3*(1-0.5)^3*1EVT/1000/NSAN
I=I+1
```

*WEIBULL

M=1

DO WHILE M<=12

USE APV1

LOCATE RECORD M

I=XV

VA=VM07

IF VA<>0

USE APV2

L=INT(X/10)+1

PW="PW"+STR(X,L)

*GAMA(1+1/X)

G=.3525+.0(35*X*EXP(-(2+1*(X-1)))

P=0

I=1

DO WHILE I<=CLVSSP

LOCATE RECORD I

REPLACE APW WITH 100-P*100

P=P*X*((N/VA)^X)*((1-0.5)^(X-1))*EXP(-(G*(1-0.5/VA)^X)

I=I+1

ENDDO

ENDIF

M=M+1

ENDDO

*I ANFOEL

USE APV1

AVERAGE VMOY FOR VM07>0 TO VA

ECART=SQRT((TCAR/TNJ/8-VA^2)/VA

E=ECART*(-1.066)

G=.3525+.0135*X*EXP(-(2+1*(X-1)))

USE APV2

I=1

DO WHILE I<=CLVSSP

LOCATE RECORD I

P=X*((G/VA)^X)*((1-0.5)^(X-1))*EXP(-(G*(1-0.5/VA)^X)

REPLACE PW WITH P*100

I=I+1

ENDDO

? FIND()

CLOSE DATA

RUN BRASH TRANS*.*

SET TALK ON

SA

199001

6

118 -

C:\poboc\ile)TYPE (PROCFM1.PRG)
 PROCEDURE TRATTJOUR
 PARAMETERS N,NI,TTCAR

```

SELECT 2
USE TRANSMJ
ZAP
SELECT 1
DO RPRM
STORE 0 TO NI,VI,TVI,TMOY,NI,TCAR,VY
DO WHILE MONTH(DATE)=N
  IF VMOY)=0
    NI=NI+1
    TMOY=TMOY+VMOY
  ENDOF
  IF VI(VMAX)
    VI=VMAX
  ENDOF
  IF DAY(DATE)=1
    NI=NI+1
    TVI=TVI+VI
    VY=0
  ENDOF
  IF VY(VMAX)
    VY=VMAX
  ENDOF

  I=1
  TCAR=0
  Tp2=0
  DO WHILE I<=8
    IF I<5
      VT="V0"+STR((I-1)*3,1)
    ELSE
      VT="V"+STR((I-1)*3,2)
    ENDOF

    TCAR=TCAR+VT*3
    Tp2=Tp2+VT*2
    IF I*VT>25
      ? "VITESSE A VERIFIER : ",VT," ",DATE
    ENDOF
    I=I+1
  ENDDO

```

```

TCAR=TCAR+Tp2
SELECT 2
APPEND BLANK
REPLACE MJA WITH TCAR
REPLACE DATE WITH TOM->DATE

```

```

SELECT 1
SKIP
ENDDO
TTCAR=TTCAR+TCAR
TVM=TVM+VY
STORE 0 TO B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8
LOCATE FOR MONTH(DATE)=N+1
IS=RECORD()
GO RPRM
NIN=IS-RECORD()
I=1
DO WHILE I<=8
  B="0"+STR(I,1)
  I=1
  DO WHILE I<=8
    GO RPRM
    IF I<5
      BR="00"+STR((I-1)*3,1)
    ELSE
      BR="0"+STR((I-1)*3,2)
    ENDOF
    DO CASE
      CASE I=1
        COUNT NEXT NIN FOR (LDR)=34 .AND. LDR<=36 .OR. LDR=02 .OR. LDR=01 TO 1
      CASE I=2
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=3 .AND. LDR<=4 TO N
      CASE I=3
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=7 .AND. LDR<=11 TO N
      CASE I=4
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=12 .AND. LDR<=15 TO N
      CASE I=5
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=16 .AND. LDR<=20 TO N
      CASE I=6
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=21 .AND. LDR<=24 TO N
      CASE I=7
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=25 .AND. LDR<=29 TO N
      CASE I=8
        COUNT NEXT NIN FOR LDR)=30 .AND. LDR<=33 TO N
    ENDCASE
    I=I+1
  ENDDO

```

```

I=I+1
ENDDO
I=I+1
ENDDO

CLOSE DATA
SELECT 1
F="VI"+NOMST
USE AF
LOCATE RECORD N
REPLACE VMOY WITH TMOY/N3
REPLACE VMAX WITH VI
IF NIN0
  REPLACE MJA) WITH TVI/NI
ENDIF
SORT=SORT((TCAR/NI)*VMOY*211/VMOY
REPLACE C) WITH SORT*(1-1,095)

F="VI"+NOMST
USE AF
L=INT(L/10)+1
EDR="EDR"+STR(N,L)
I=1
SON=B1+B2+B3+B4+B5+B6+B7+B8
I=1
DO WHILE I<=8
  LOCATE RECORD I
  B="0"+STR(I,1)
  REPLATE AEDR WITH B*100/SON
  I=I+1
ENDDO

RETURN

```

C:\QDOS\CELL\TYPE\PROC\FW2.PRG
PROCEDURE VITESSES

①

PARAMETERS N, NJ, EVT1, EVT2, EVT3, EVT4, EVT5, EVT6, EVT7, EVT8, EVT9, EVT10;
, EVT11, EVT12, EVT13, EVT14, EVT15, CLVSUP

GO TOP
DO WHILE TH<0
DELETE RECORD RECNO(1)
SKIP
ENDDO
PACK

LOCATE RECORD INT(NJ+2/10)
V90=TH
LOCATE RECORD INT(NJ+9/2)
V50=TH
LOCATE RECORD INT(NJ+9/10)
V10=TH

STORE 0 TO CL1, CL2, CL3, CL4, CL5, CL6, CL7, CL8, CL9, CL10
STORE 0 TO CL11, CL12, CL13, CL14, CL15, CL16, CL17, CL18, CL19, CL20
STORE 0 TO CL21, CL22, CL23, CL24, CL25, CL26, CL27, CL28, CL29, CL30

DO TOP
X=1
Y=1

DO WHILE .NOT. EOF()
L=INT(X/10)+1
CL=*CL*+STR(X,L)
IF TH<.AND. TH>=Y-1
MCL=MCL+1
SKIP
ELSE
Y=Y+1
IF Y=CLVSUP
I=I+1
ENDIF

ENDIF
ENDDO

NTH=RECNO()-1

!CALCUL DE L'ENERGIE NOTY PAR CLASSES

W91E=CL1*2.5*3+CL2*3.5*3+CL3*4.5*3+CL4*5.5*3+CL5*6.5*3+CL6*7.5*3

W91E=CL1*2.5*3+CL2*3.5*3+CL3*4.5*3+CL4*5.5*3+CL5*6.5*3+CL6*7.5*3

②

F=*V2*+NONST
USE AF
L=INT(X/10)+1
VIT=*VIT*+STR(X,L)
CL0=0
I=1
DO WHILE X<=CLVSUP
LOCATE RECORD X
L=INT(X/10)+1
EVT=*EVT*+STR(X,L)
CL=*CL*+STR(X,L)
L=INT((X-1)/10)+1
CLP=*CL*+STR(L-1,L)
NEVT=4EVT+MCL
MCL=MCL+MCLP
REPLACE MVT WITH (NTH-MCLP)+100/NTH
X=X+1
ENDDO

F=*V3*+NONST
USE AF
LOCATE RECORD X
REPLACE V90P WITH V90
REPLACE V50P WITH V50
REPLACE V10P WITH V10
*REPLACE M91 WITH 616*0.37*1/NTH

RETURN

PROCEDURE ENERGIE

PARAMETERS N, N3

GO TOP
DO WHILE NRJ<0
DELETE RECORDS RECD(1)
SKIP
ENDDO
PACK

LOCATE RECORD INT(NJ/10)
B1=NRJ
LOCATE RECORD INT(NJ/2)
B2=NRJ
LOCATE RECORD INT(NJ*9/10)
B3=NRJ

MARGE=5
*INDICERS VS+FTCHS MEMEELS DE REPARTITION DU VENT SUR 05 JOURS
* 3'ENERGIE-AUX QUANTILES 0.1 0.5 0.9
L=INT(N/10)+1
PS='VS'+NONST+STR(M,L)

SELECT 3
CREATE BPS FROM STVS
I=1
DO WHILE I<9
APPEND BLANK
REPLACE BNM WITH (I-1)*3
I=I+1
ENDDO

LOCATE RECORD 1
REPLACE B09 WITH B1*3+.37
REPLACE B05 WITH B2*3+.37
REPLACE B01 WITH B3*3+.37

I=1
SELECT 2
USE TRANSIT4 ALIAS ICR

Q='Q'+STR(I,1)
NG=INT((Q+MARGE/100)
B1=Q-NG
B3=Q+NG
STORE Q TO J, JN1, JN2, JN3, JN4, JN5, JN6, JN7, JN8
SELECT 1

LOCATE FOR NRJ)=B1
DO WHILE NRJ<=B3 .AND. J<9
BT=DATE
SELECT 2
GO AFTM
LOCATE FOR BATE=BT NEXT NJ
SELECT 3
V='V'+STR(I,1)+STR(J,1)
I=1

DO WHILE I<=8
LOCATE RECORD 1
JN='JN'+STR(I,1)
IF I<5
VQ='VQ'+STR((I-1)*3,1)
ELSE
VQ='V'+STR((I-1)*3,2)
ENDIF
REPLACE BV WITH TEN->AVQ
LEN=LEN+TEN->AVQ
I=I+1
ENDDO
SELECT 1
SKIP
J=J+1

ENDDO
BNDY='BNDY'+STR(I,1)
BNDY=0
V='V'+STR(I,1)+*5*
SELECT 3
I=1
DO WHILE I<=8
LOCATE RECORD 1
JN='JN'+STR(I,1)
REPLACE BV WITH BNM/J
BNDY=BNDY+(BNM/J)*3
I=I+1
ENDDO

ENDDO
SELECT 1
I=I+1
ENDDO

SELECT 3
LOCATE RECORD 2
REPLACE B09 WITH BNDY1*3+.37
REPLACE B05 WITH BNDY2*3+.37
REPLACE B01 WITH BNDY3*3+.37
LOCATE RECORD 3
REPLACE B01 WITH (B1-BNDY1)/B1*100
REPLACE B05 WITH (B2-BNDY2)/B2*100
REPLACE B01 WITH (B3-BNDY3)/B3*(100

CLOSE DATA
RETURN

101

PROCFW3.PRG

*PROCFW3 : TRAITEMENT DES PERIODES DE CALME ET DE VENT

PROCEDURE CALMVENT
PARAMETERS MOIS,AK

MO:COMPTEUR DE LONGUEUR DE CALME
MV:COMPTEUR DE LONGUEUR DE VENT
MEC:COMPTEUR DE L'ECHANTILLON MENSUEL
NTH:NUMBRE D'ENREGISTREMENTS EN FIN DE MOIS (SOMME DES NB3JOUR*3)

AN1=AN
T=1
NTH=0
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
L=INT(MOIS/10)+1
MO="M0"+STR(MOIS,L)
MV="MV"+STR(MOIS,L)

DO CASE
1 CASE MOIS=4 .OR. MOIS=6 .OR. MOIS=9 .OR. MOIS=11
NB3JOUR=30
2 CASE MOIS=2
IF INT(AN/4)=AN/4
NB3JOUR=29
ELSE
NB3JOUR=28
ENDIF
OTHERWISE
NB3JOUR=31
ENDCASE
NTH=NTH+NB3JOUR*3

CC=0
EC=0
CV=0
DO WHILE RECNO()<NTH .AND. .NOT. EOF()
DO WHILE TH=2 .AND. TH=0 .AND. .NOT. EOF()
CC=CC+1
SEIP
GO EC+1
ENDDO

①

IF CC=0
IF CC=64
CC=64
ENDIF
SELECT 2
LOCATE RECORD 60
REPLACE &MO WITH &MO+1
REPLACE MOIS WITH MOIS+1
IF CV=0
IF CV=64
CV=64
ENDIF
LOCATE RECORD CV
REPLACE &MV WITH &MV+1
REPLACE MV13 WITH MV13+1
ENDIF
CC=0
CV=0
SELECT 1
ENDIF

IF .NOT. EOF()
CV=CV+1
SEIP
EC=EC+1
ENDIF
ENDDO

FIN D'UN MOIS
SELECT 2
LOCATE RECORD 65
REPLACE &MO WITH &MO+EC
REPLACE MOIS WITH MOIS+EC
SELECT 1
EC=0

②

IF MOIS=12
AN=AN+1
TR00="TR00"+STR(T,1)
FINTR00="FINTR00"+STR(T,1)
IF AN=ATROU
AN=ATINTR00
T=T+1
ENDIF
MOIS=1
ELSE
MOIS=MOIS+1
ENDIF

ENDDO
A=AN-AN1+1
*FABRICATION DU FICHIER VA

SELECT 1
FV4="VA"+AN*3
USE FV4

SELECT 2
M=1
C=0
V=0
DO WHILE M<14
L=INT(M/10)+1
MO="M0"+STR(M,L)
MV="MV"+STR(M,L)
LOCATE RECORD 65
M=&MO
IF M=0
M=M+1
LOOP
ENDIF
IF M=13
L=0
ENDIF
CLM="CALM"+STR(M,L)
CLV="VEN"+STR(M,L)

③

I=0
C=0
V=0
SUM &MV TO TV
DO WHILE I=0
J=1
DO WHILE J=15
LOCATE RECORD J
C=C+MOI*(J-1+1)
J=J+1
ENDDO
C=C/(N-1+1)
LOCATE RECORD I
V=V+&MV
SELECT 1
LOCATE RECORD J
REPLACE &CM WITH C*100
REPLACE &VNT WITH V*100/D
SELECT 2
I=I-1
C=0
ENDDO
M=M+1
ENDDO
RETURN

④

EVENTO:EFFECTIONS COMULES DES CLASSES DE VITESSES SUR UNE PERIODE

EVENTO.PRG

*COMPRISE ENTRE DATE DE DEBUT ET DE FIN
*LE CHAMP EST CELUI DU SERONT PASSES LES RESULTATS DANS LE FICH.

SET TALK OFF
CLOSE DATA
SET SAFETY OFF
ACCEPT 'NOM DE LA STATION : ' TO NOMST
NOMST=SUBSTR(NOMST,1,4)
FIRST='TCM'+NOMST
FVA='VA'+NOMST

*NB CLASSES DE VITESSES
CLVSUP=15

ACCEPT 'DATE DE DEBUT : ' TO DT

DD=CTOD(DT)

ACCEPT 'DATE DE FIN : ' TO DF

DD=CTOD(DF)

ACCEPT 'NOM DU CHAMP IN : REFERENCE,0-9 : ECHANTILLONS A TESTER : ' TO N

DO CASE

CASE N='R'

*FICHIER VA : EFFECTIFS DES CLASSES DE VITESSES

*NOM VITR VIT0 VIT9

CREATE AFVA FROM STVA

I=1

DO WHILE I<=CLVSUP

APPEND BLANK

REPLACE NOM WITH I

I=I+1

ENDDO

VIT='VITR'

CASE N='0'

VIT='VIT0'

CASE N='1'

VIT='VIT1'

CASE N='2'

VIT='VIT2'

CASE N='3'

VIT='VIT3'

CASE N='4'

VIT='VIT4'

CASE N='5'

VIT='VIT5'

CASE N='6'

VIT='VIT6'

CASE N='7'

VIT='VIT7'

CASE N='8'

VIT='VIT8'

CASE N='9'

VIT='VIT9'

OTHERWISE

? 'NOM DU CHAMP R DU 0-9, RECOMMENCER'

SET TALK ON

SET SAFETY ON

RETURN

ENDCASE

STORE 0 TO CL1,CL2,CL3,CL4,CL5,CL6,CL7,CL8,CL9,CL10,CL11,CL12

STORE 0 TO CL13,CL14,CL15

*CREATION DES FICHIERS TRANSIT

CREATE TRANSIT0 FROM STRM

USE AFIRST

COPY TO TRANSIT1 FIELDS V00,V03,V06,V09,V12,V15,V18,V21 FOR DATE=DD

.AND. DATE<=DF DELIMITED

RUN MSGAGC CONVST

USE TRANSIT0

ZAP

APPEND FROM TRANSIT2 DELIMITED

USE TRANSIT0

SOAT TO TRANSIT3 ON TR

USE TRANSIT3

GO TOP

X=1

Y=1

KTH=0

DO WHILE TH<0

SKIP

ENDDO

DO WHILE .NOT. EOF()

L=INT(X/10)+1

CL='CL'+STR(X,L)

IF THX .AND. TH=Y-1

DEL=DEL+1

SKIP

KTH=KTH+1

ELSE

IF X<CLVSUP

X=X+1

ENDIF

? 'Y',Y

Y=Y+1

ENDIF

ENDDO

USE AFVA

CL=0

X=1

DO WHILE X<=CLVSUP

LOCATE RECORD X

L=INT(X/10)+1

CL='CL'+STR(X,L)

L=INT((X-1)/10)+1

CLP='CL'+STR(X-1,L)

DEL=DEL+CLP

REPLACE AVIT WITH (KTH-DEL)*1000/KTH

X=X+1

ENDDO

CLOSE DATA

SET SAFETY ON

SET TALK ON

RETURN

1
 D:gdhccetile)TYPE CALCUL.PKG
 * MOBILE DE CALCUL 8'UNE JOURNEE MOY. DANS LE RESORDRE
 ACCEPT*NDM DU FICHER * TO NOMFIC
 SET SAFETY OFF
 STORE 0 TO QDES1,QDES2,QDES3
 SELECT 3

USE NOMFIC

LOCATE RECORD 1

Q1=Q09
 Q2=Q05
 Q3=Q01

LOCATE RECORD 2

QMOY1=Q09
 QMOY2=Q05
 QMOY3=Q01

LOCATE RECORD 3

REPLACE Q09 WITH (Q1-QMOY1)/Q1*100
 REPLACE Q05 WITH (Q2-QMOY2)/Q2*100
 REPLACE Q01 WITH (Q3-QMOY3)/Q3*100

X=1

DO WHILE X<4

DO CASE

CASE X=1

QB='Q09'

CASE X=2

QB='Q05'

CASE X=3

QB='Q01'

ENDCASE

LOCATE RECORD 3

IF QB=Q23

I=I+1

LOOP

ENDIF

STORE 0 TO THN1,THN2,THN3,THN4,THN5,THN6,THN7,THN8,NV

VM='V'+STR(I,1)+'8'

QDES='QDES'+STR(I,1)

I=0

2
 DO WHILE I<9

V='V'+STR(I,1)+STR(I,1)

SELECT 3

SORT ON NV TO TRANSIT

SELECT 2

USE TRANSIT

LOCATE RECORD 8

IF NV=0

NV=1

I=10

ENDIF

J=1

DO WHILE J<9

THN='THN'+STR(J,1)

LOCATE RECORD J

&THN=&THN+&V

J=J+1

ENDDO

I=I+1

USE

ENDDO

IF NV=0

NV=9

ENDIF

SELECT 3

QDES=0

J=1

DO WHILE J<9

THN='THN'+STR(J,1)

LOCATE RECORD J

REPLACE NVK WITH &THN/NV

QDES=QDES+&VM*3

J=J+1

ENDDO

X=X+1

ENDDO

SELECT 3

LOCATE RECORD 4

REPLACE Q09 WITH QDES1*1.11

REPLACE Q05 WITH QDES2*1.11

REPLACE Q01 WITH QDES3*1.11

3
 LOCATE RECORD 5

REPLACE Q07 WITH (Q1-QDES1*1.11)/Q1*100

REPLACE Q05 WITH (Q2-QDES2*1.11)/Q2*100

REPLACE Q01 WITH (Q3-QDES3*1.11)/Q3*100

SET SAFETY ON

CLUSE DATA

RETURN

Annexe 4

- RESULTATS SUR 3 STATIONS -

Sont donnés ci-après, à titre d'exemples, les résultats pour trois stations synoptiques, que la méthodologie et le logiciel mis au point au CIEH permettent d'obtenir.

Le plan de cette présentation est le suivant:

1. Ouagadougou (Années d'étude: 67-70; 74-78; 82-84)
2. Agadez (Années d'étude: 67-70; 74-78)
3. Dakar (Années d'étude: 67-78)

CRITERES ETUDIÉS ET NOTATION

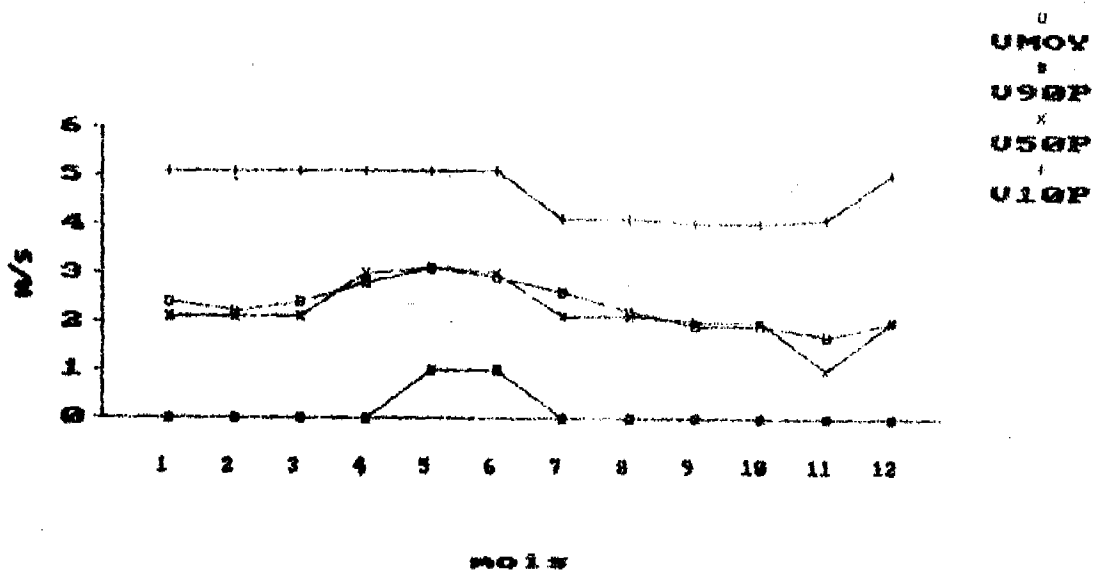
Pour chacune des trois stations, les critères étudiés sont :

1. Vitesses moyennes mensuelles et quantiles 0.9, 0.5, et 0.1
Notation: VMOY; V90P; V50P; et V10P respectivement.
2. Vitesse maximum mensuelle
Notation: VMAX : vitesse maximale instantanée sur le mois
MVMAX : moyenne des vitesses maximales instantanées du mois.
3. Fréquences cumulées des vitesses classées et loi de Weibull (mensuel)
Notation: VITi : % effectifs cumulés des vitesses de vent mensuelles observées (mois i)
PW_i : % effectifs cumulés des vitesses de vent d'après la loi de Weibull.
4. - Fréquences annuelles des vents et loi de Weibull
Notation: VITS : idem que VITi mais annuellement
PW : idem que PW_i mais annuellement.
- Energie récupérable de Betz: NRJ
5. Profil des journées d'énergie se rapprochant des quantiles observés 0.9, 0.5, et 0.1 des énergies journalières.
Notation: - V19, V29, V39: Vitesse de la journée moyenne des journées types d'énergie Q0.9, Q0.5, Q0.1
- V10 à V18 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0.9
- V20 à V28 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0.5
- V30 à V38 : Vitesses de 9 journées types représentatives du quantile d'énergie Q0.1
- Q_{moy} : énergie moyenne des journées types représentatives
$$Q/Q (\%) = (Q_{moy} - Q) / Q * 100$$

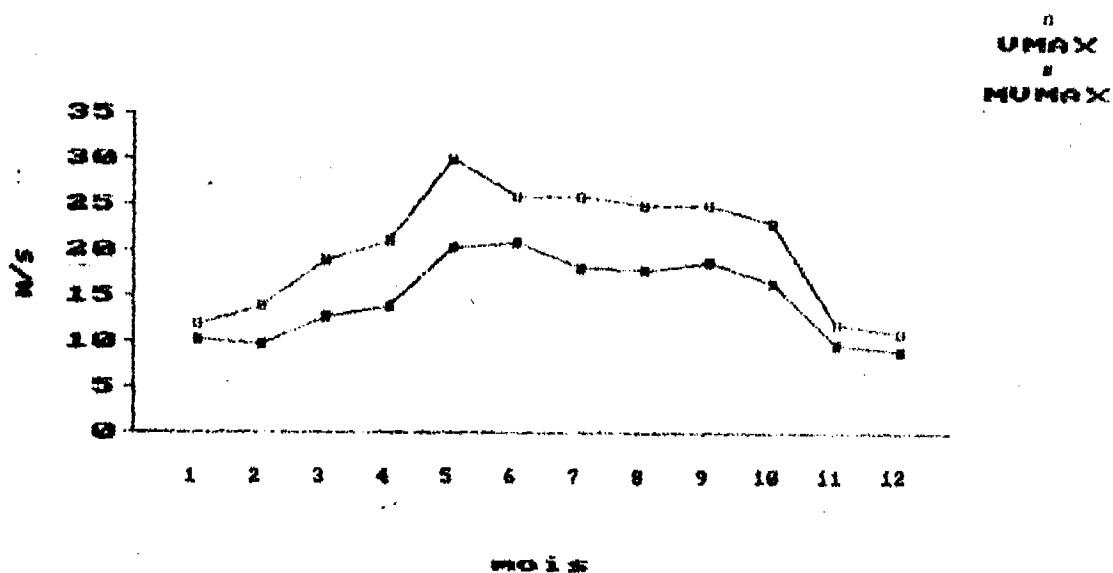
avec Q = Q0.9 ou Q0.5 ou Q0.1
6. Pourcentage cumulé des fréquences des périodes de calme et des périodes de vent séparant 2 périodes de calme (mensuellement)
7. Direction du vent.

1- Ouagadougou années 67 à 70 + 74 à 78 + 82 à 84

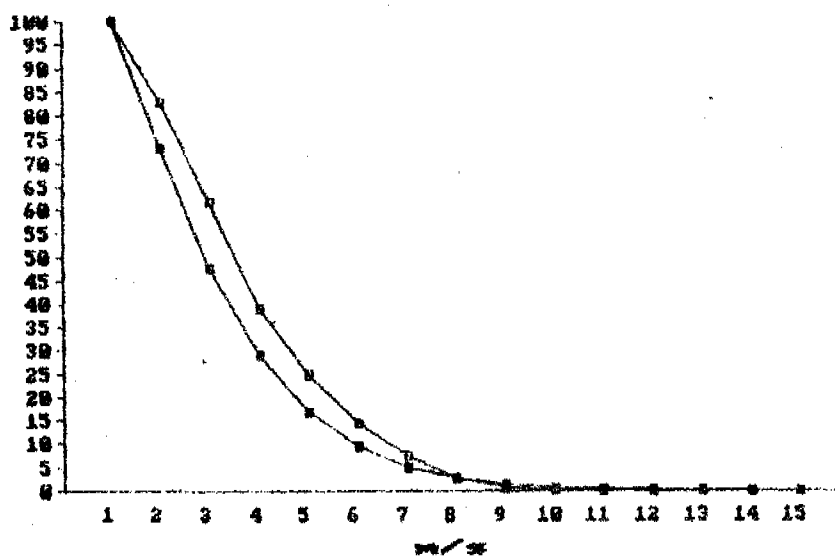
1.1 - Vitesses moyennes et quantiles 0,9, 0,5 et 0,1



1.2 - Vitesse maximum

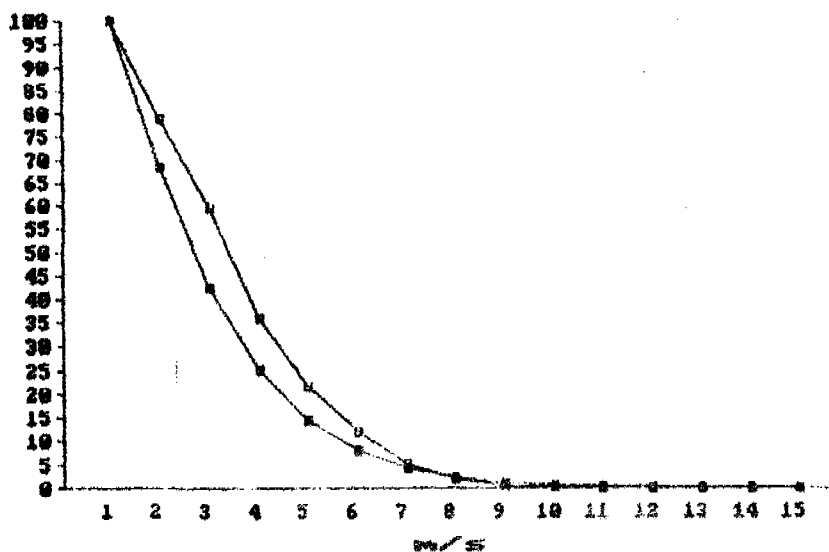


1.3 - Fréquences cumulées des vitesses classées et loi de weibull (mensuel)



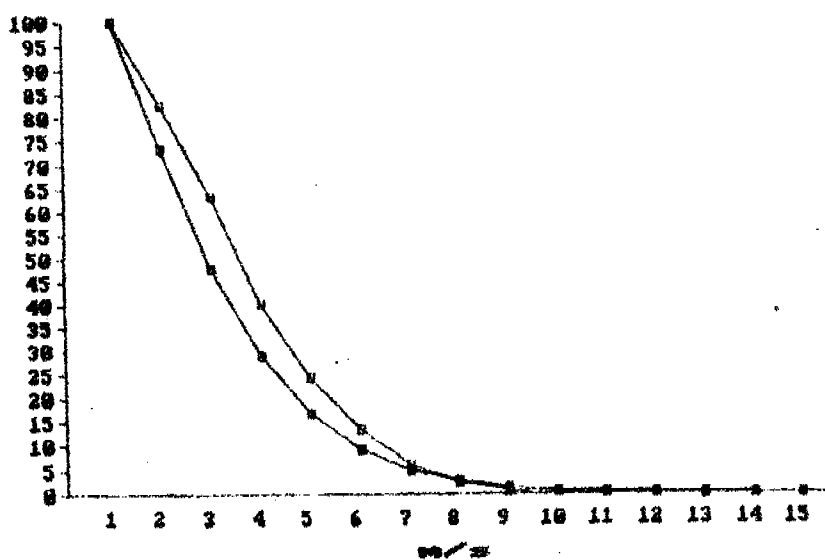
UIT1
PM1

Janvier



UIT2
PM2

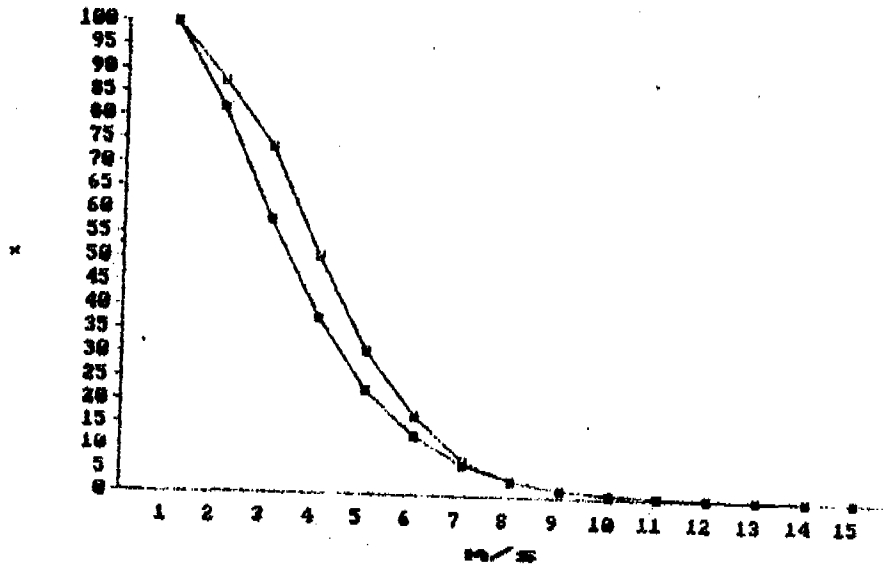
Février



UIT3
PM3

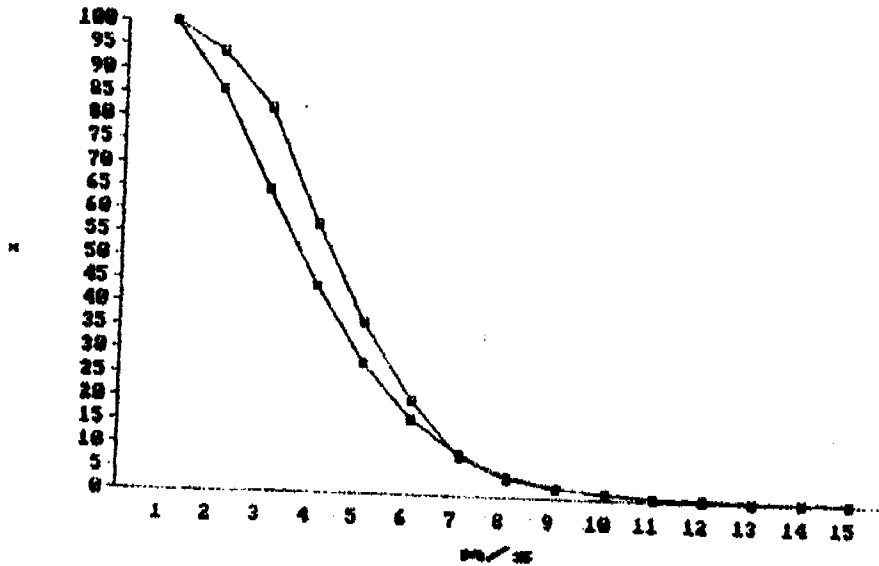
Mars

1.3 - (Suite)



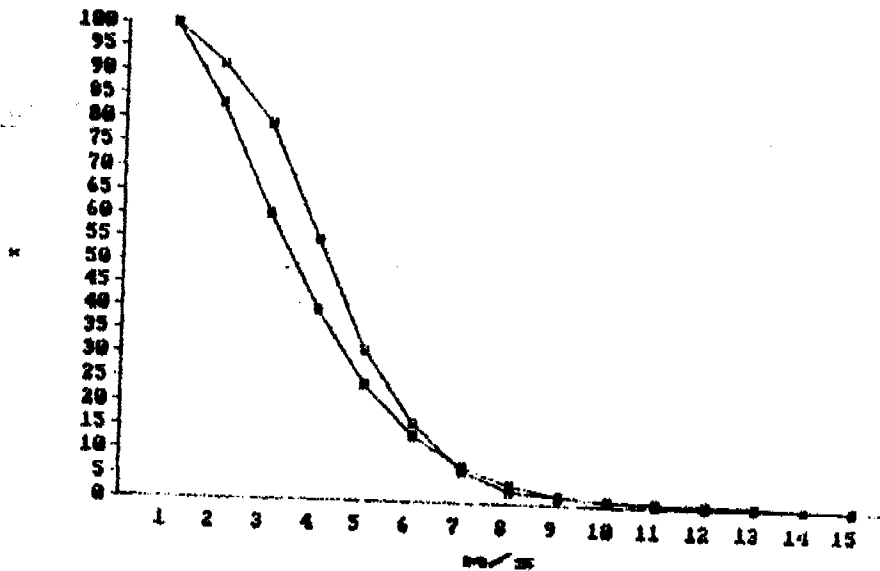
UIT4
PN4

Avril



UIT5
PN5

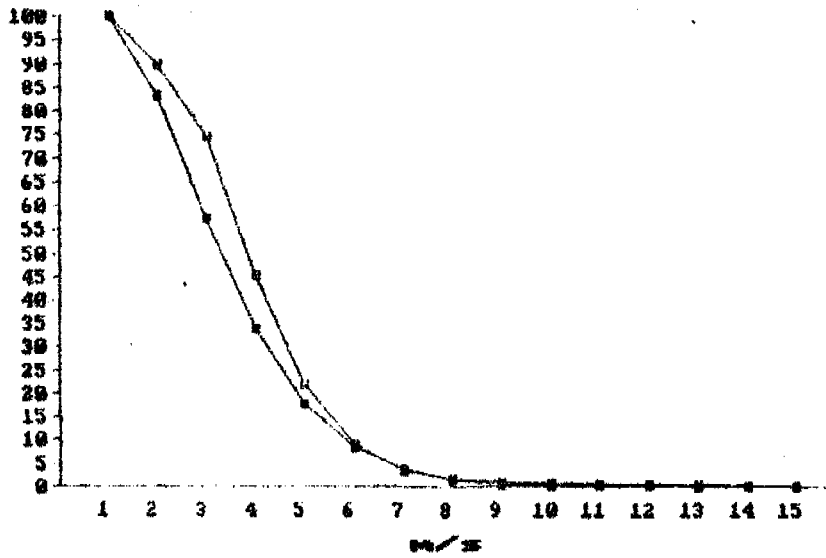
Mai



UIT6
PN6

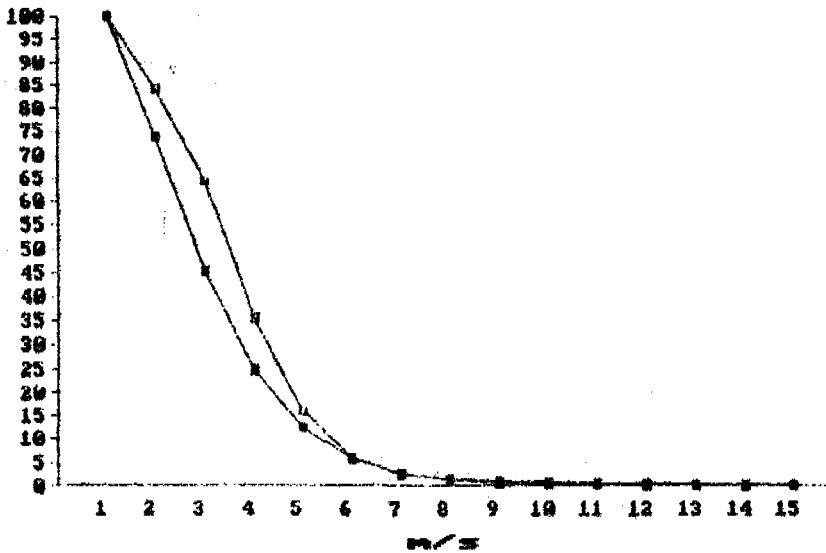
Juin

1.3. - (Suite)



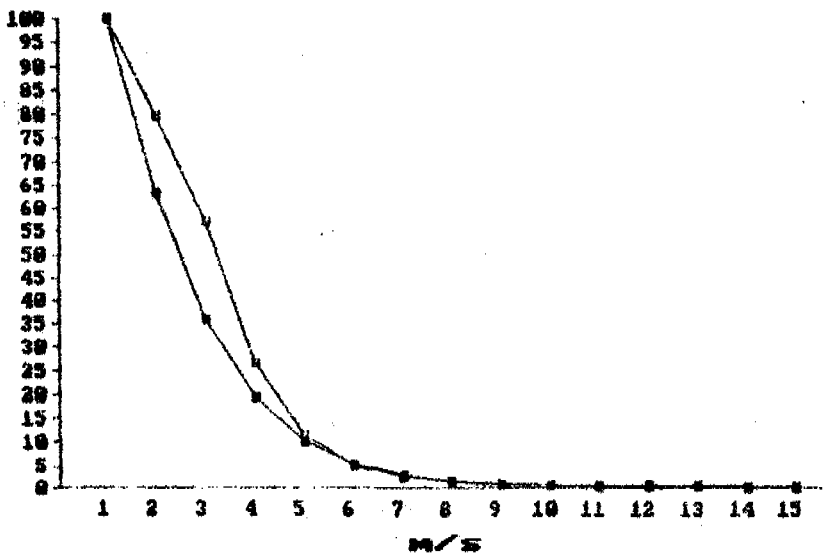
UIT7
PH7

Juillet



UIT8
PH8

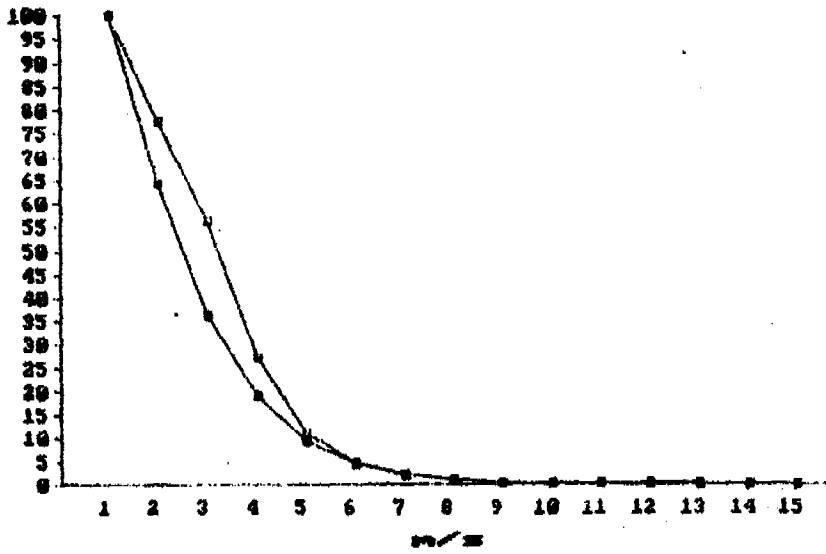
Août



UIT9
PH9

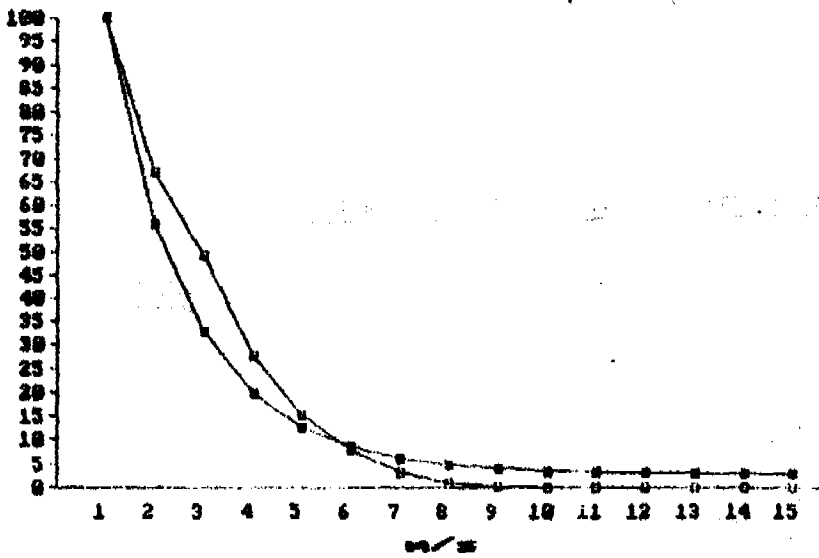
Septembre

1.3 - (Suite)



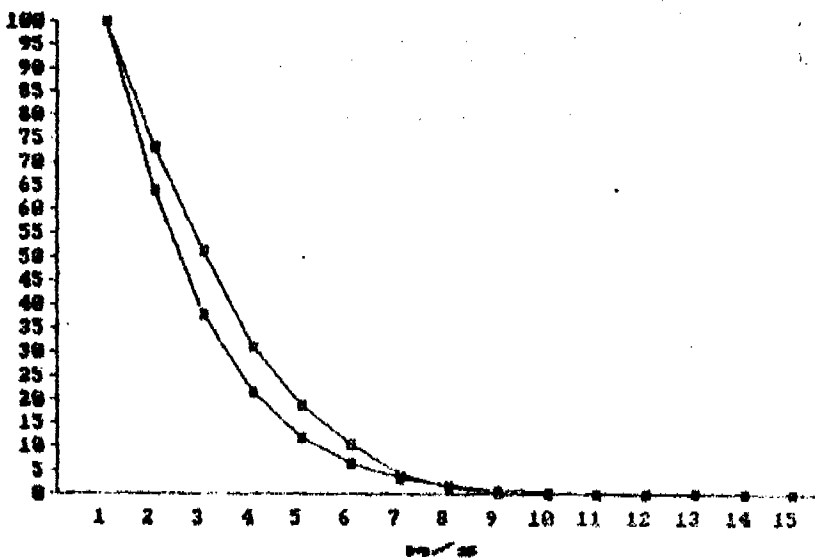
UIT10
PM10

Octobre



UIT11
PM11

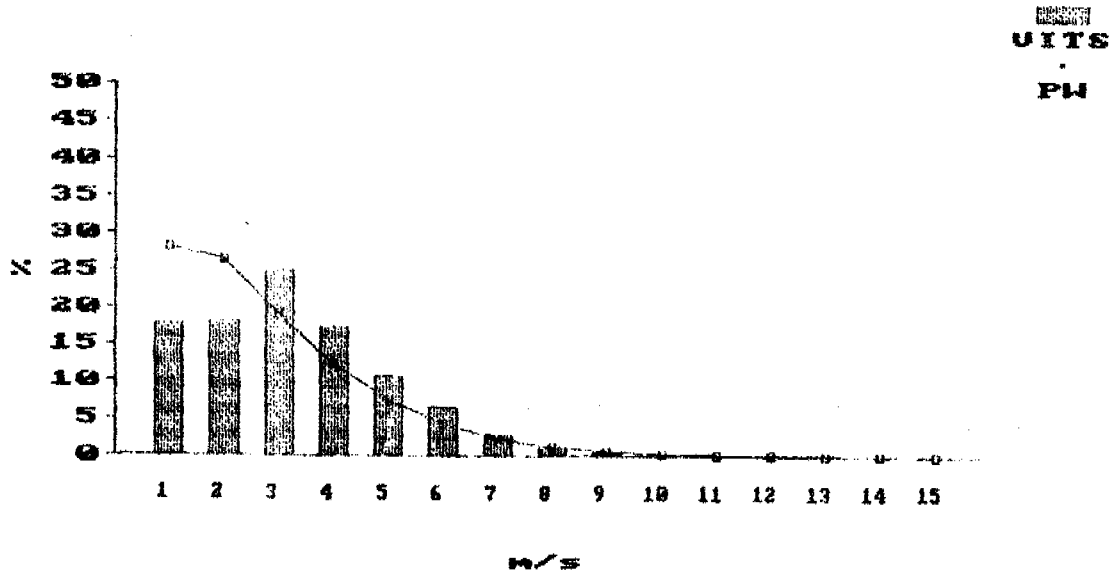
Novembre



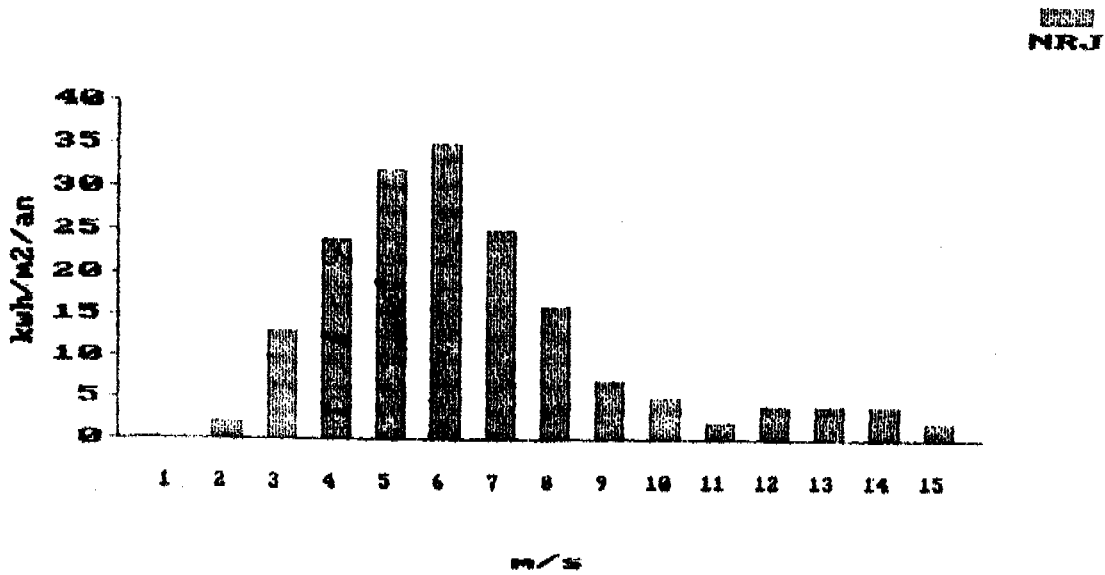
UIT12
PM12

Décembre

1.4 - Fréquences annuelles des vents et loi de weibull

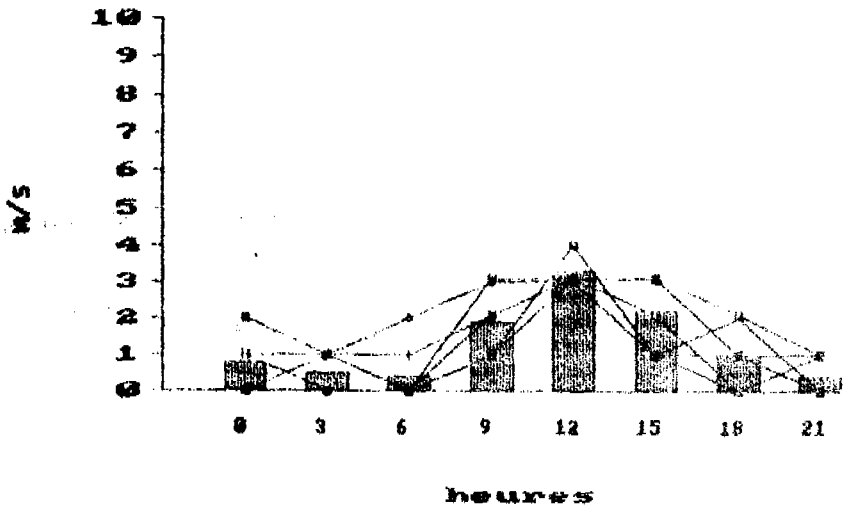


Répartition de l'Energie récupérable de Betz



1.5 - Profil des journées d'énergie se rapprochant des quantiles observés (0,9, 0,5 et 0,1) des énergies journalières

Janvier

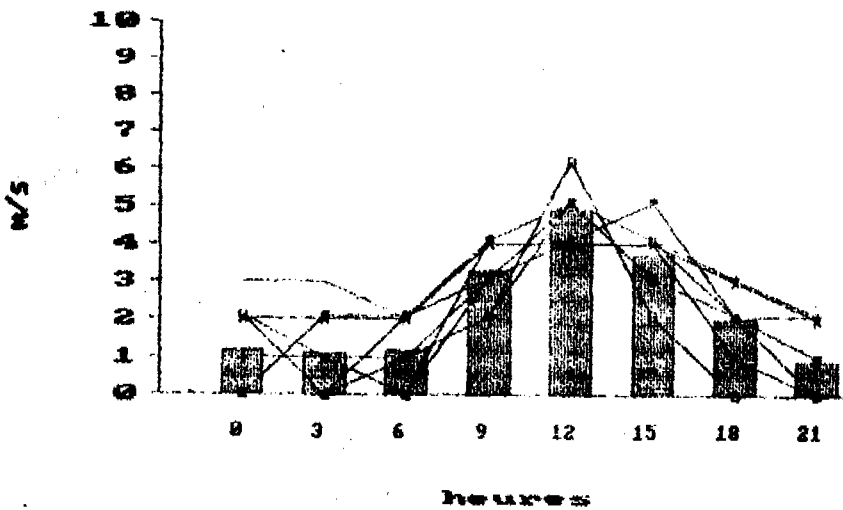


U19
" U10
" U11
x U12
+ U13
o U14
o U15
" U16
" U17

$$Q_{0,9} = 81 \text{ Wh/m}^2$$

$$Q_{\text{Moy}} = 62 \text{ Wh/m}^2$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 24 \%$$

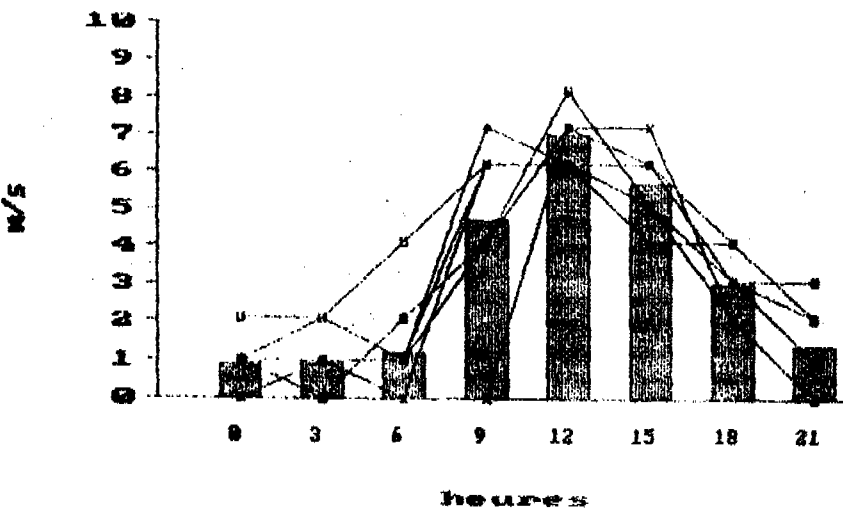


U39
" U20
" U21
x U22
+ U23
o U24
o U25
" U26
" U27
" U28

$$Q_{0,5} = 289 \text{ Wh/m}^2$$

$$Q_{\text{Moy}} = 241 \text{ Wh/m}^2$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 16 \%$$



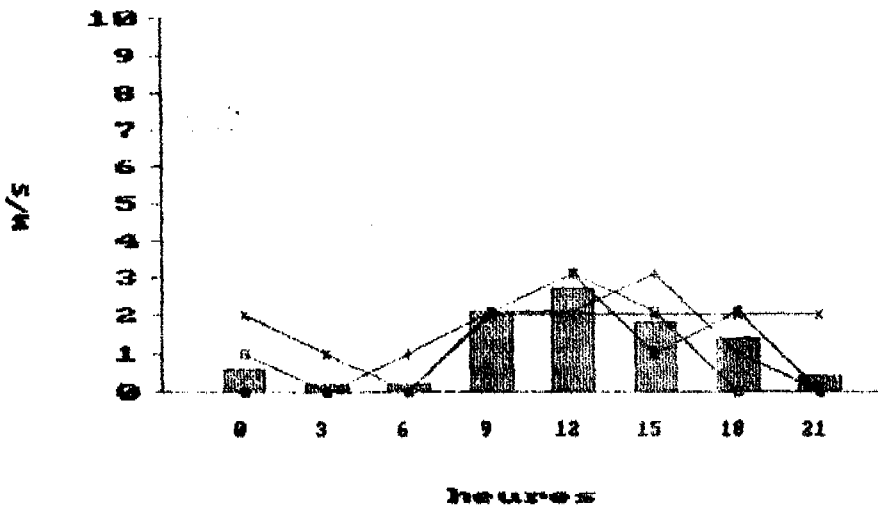
U39
" U30
" U31
x U32
+ U33
o U34
o U35
" U36
" U37
" U38

$$Q_{0,1} = 859 \text{ Wh/m}^2$$

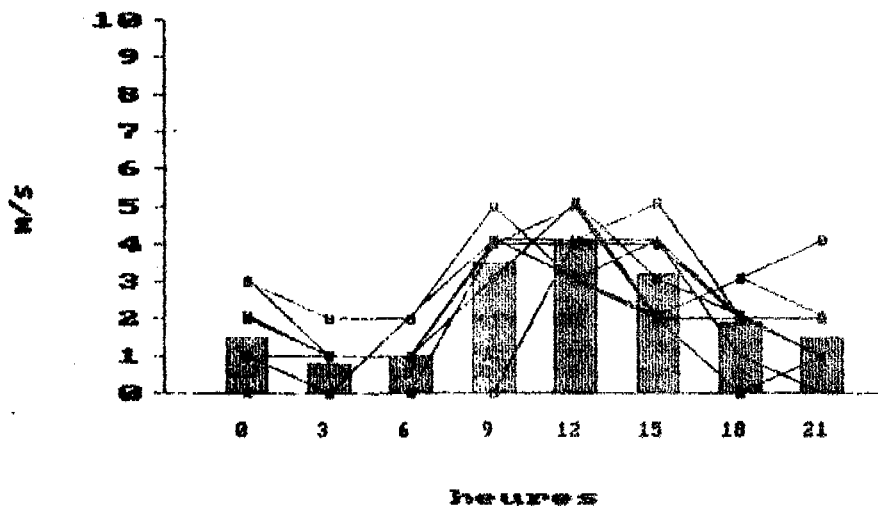
$$Q_{\text{Moy}} = 735 \text{ Wh/m}^2$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 14 \%$$

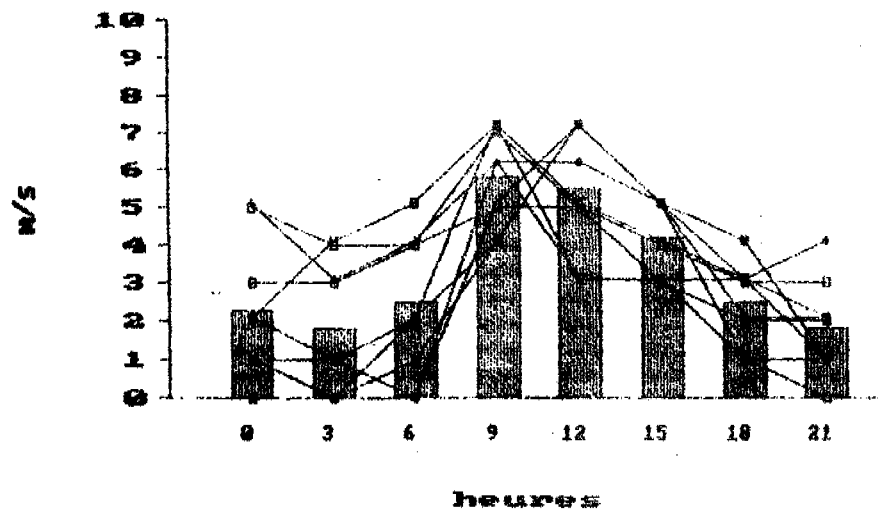
Février



U19
 " Q 0,9 = 53 Wh/m²
 U10
 +
 U11 Q Moy = 42 Wh/m²
 x
 U12
 +
 U13
 " $\frac{\Delta Q}{Q} = 21\%$
 U14



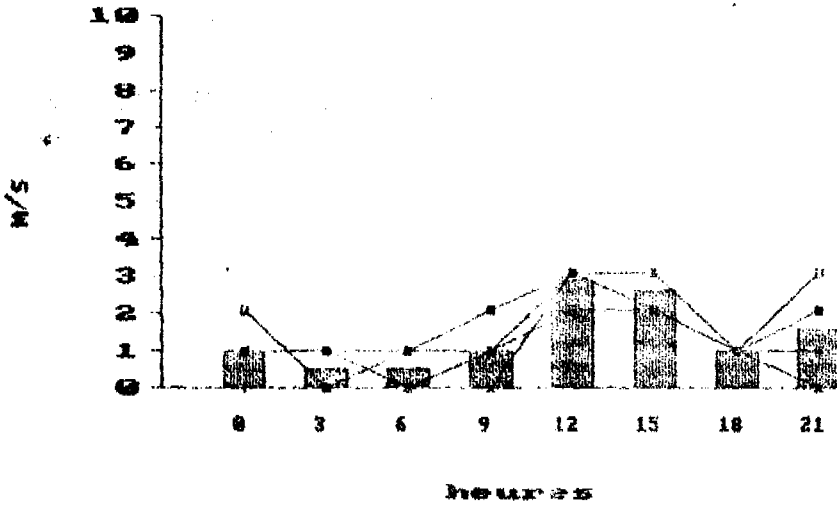
U29
 " Q 0,5 = 236 Wh/m²
 U20
 +
 U21 Q Moy = 175 Wh/m²
 x
 U22
 +
 U23
 " $\frac{\Delta Q}{Q} = 26\%$
 U24
 +
 U25
 U26
 " U27
 +
 U28



U39
 " Q 0,1 = 723 Wh/m²
 U30
 +
 U31 Q Moy = 537 Wh/m²
 x
 U32
 +
 U33
 " $\frac{\Delta Q}{Q} = 26\%$
 U34
 +
 U35
 U36
 " U37
 +
 U38

1.5 - (Suite)

Mars

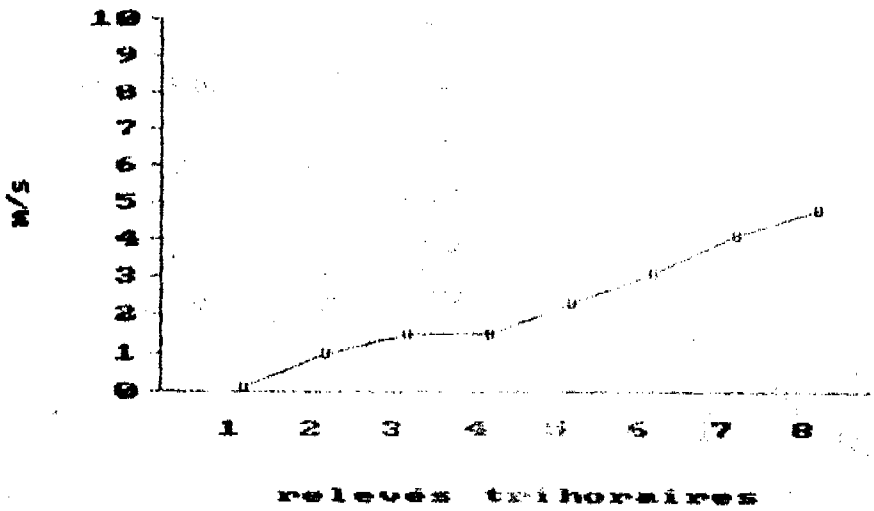


U19
U10
U11
U12
U13

$Q_{0,9} = 68 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{\text{Moy}} = 53 \text{ Wh/m}^2$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 22 \%$

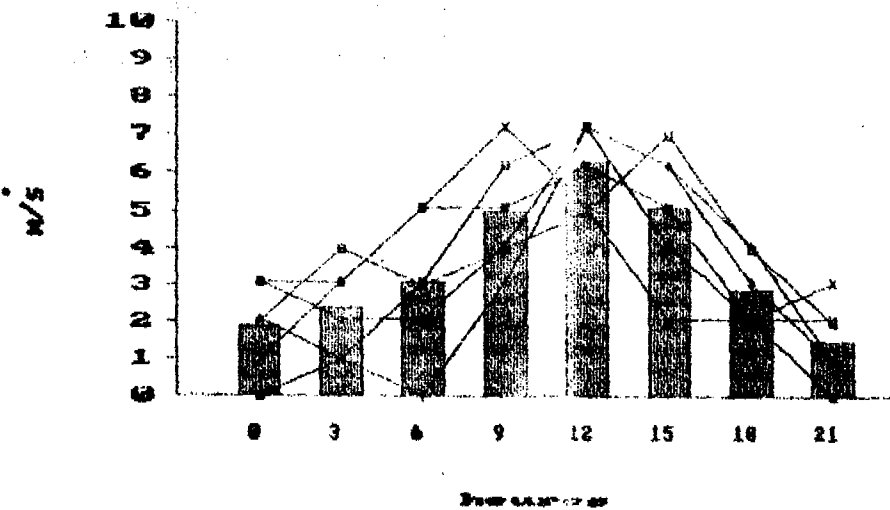


U29

$Q_{0,5} = 280 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{\text{Moy trié}} = 254 \text{ Wh/m}^2$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 9 \%$



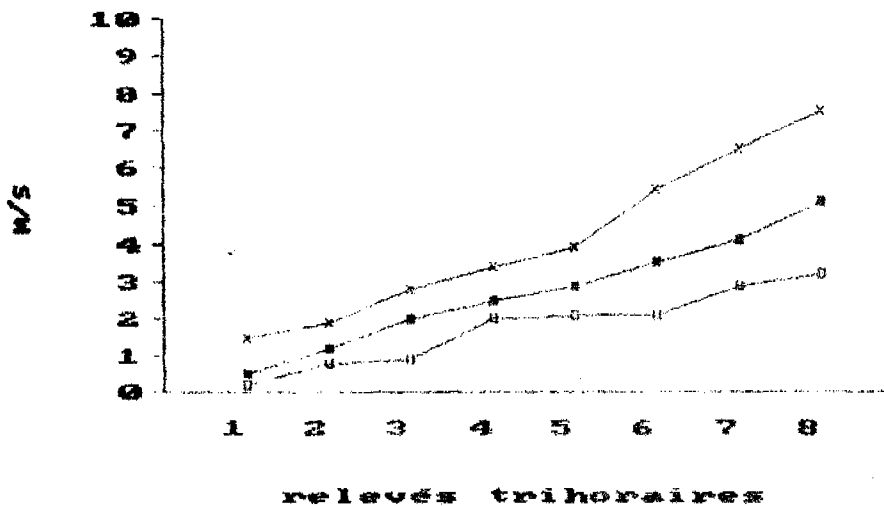
U39
U30
U31
U32
U33
U34
U35

$Q_{0,1} = 810$

$Q_{\text{Moy}} = 649$

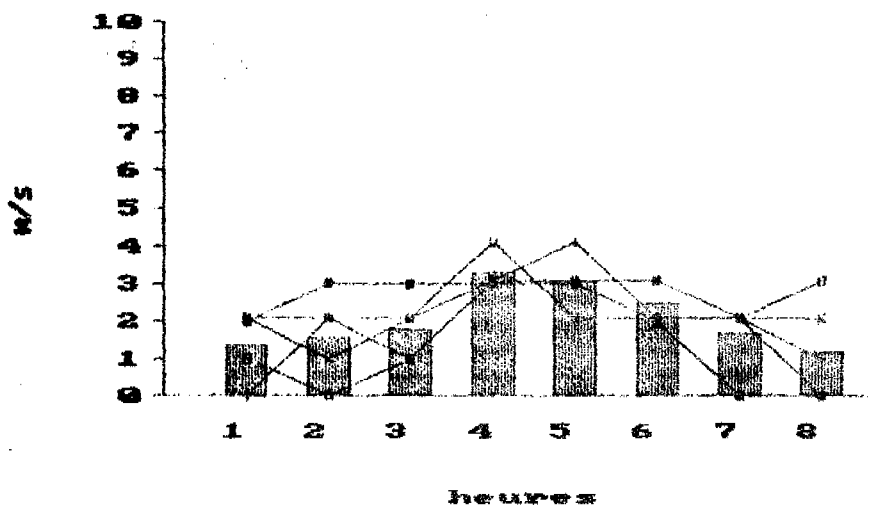
$\frac{\Delta Q}{Q} = 20 \%$

Avril

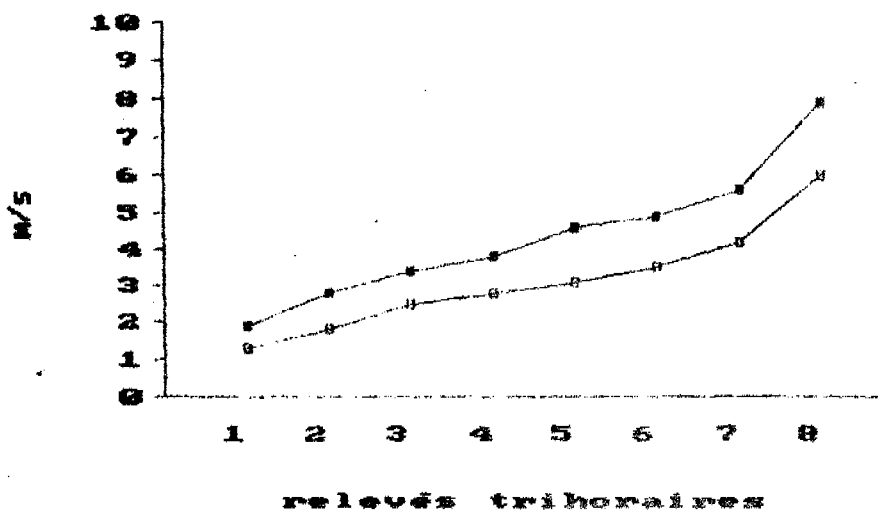


U19 $Q_{0,9} = 98$ $Q_{Moy} = 94$
 U29 $Q_{0,5} = 366$ $Q_{Moy} = 32$
 U39 $Q_{0,1} = 1138$ $Q_{Moy} = 10$

Mai



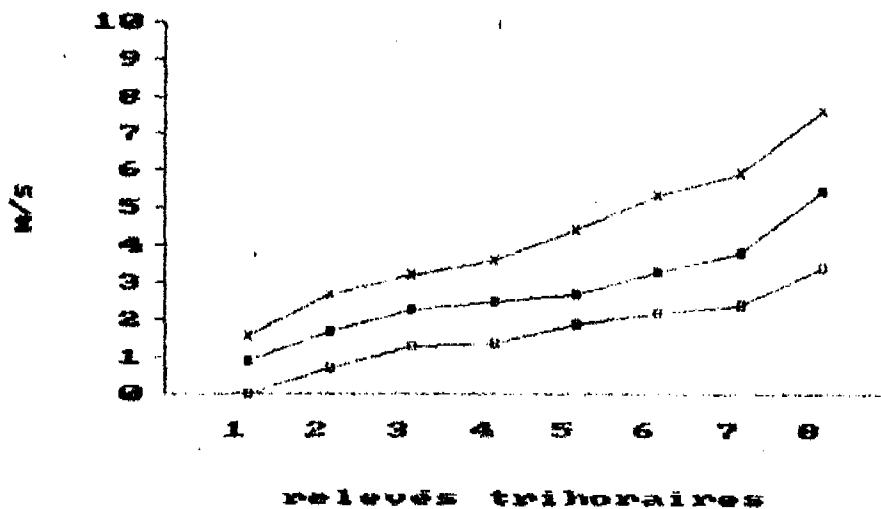
U19
 U10 $Q_{0,9} = 142$ Wh/m^2
 U11 $Q_{Moy} = 111$
 U12
 U13
 U14 $\frac{\Delta Q}{Q} = 22\%$



U29 $Q_{0,5} = 485$ $Q_{Moy} = 45$
 U39 $Q_{0,1} = 1258$ $Q_{Moy} = 44$

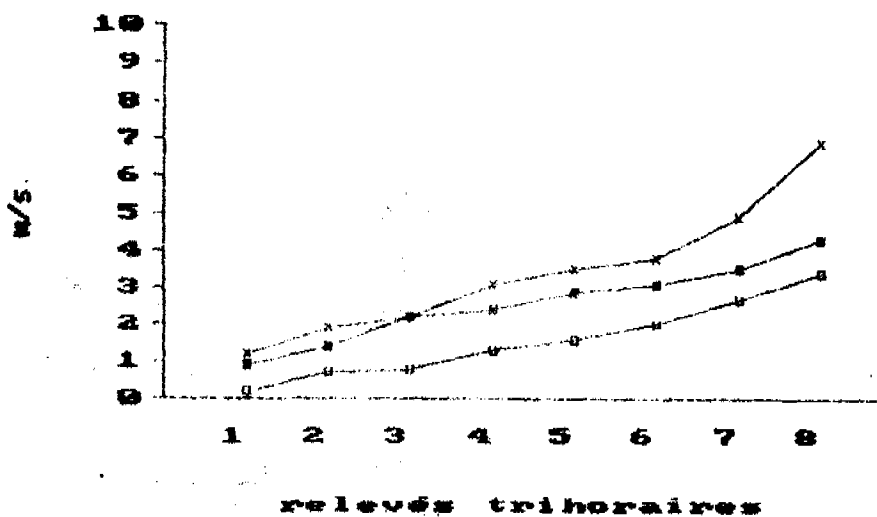
1.5 - (SUIITE)

Juin



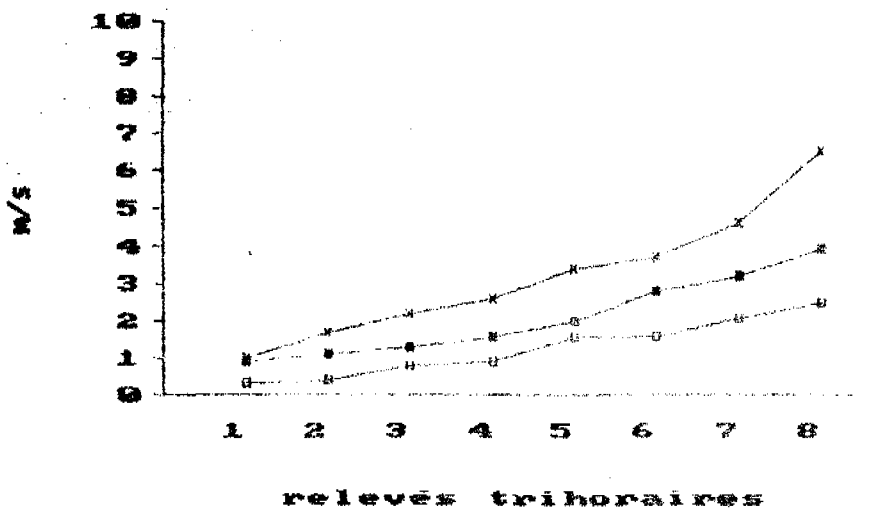
°
 U19 Q0,9=97 QMoy = 84
 •
 U29 Q0,5=372 QMoy=335
 x
 U39 Q0,1=1173 QMoy=1090

Juillet



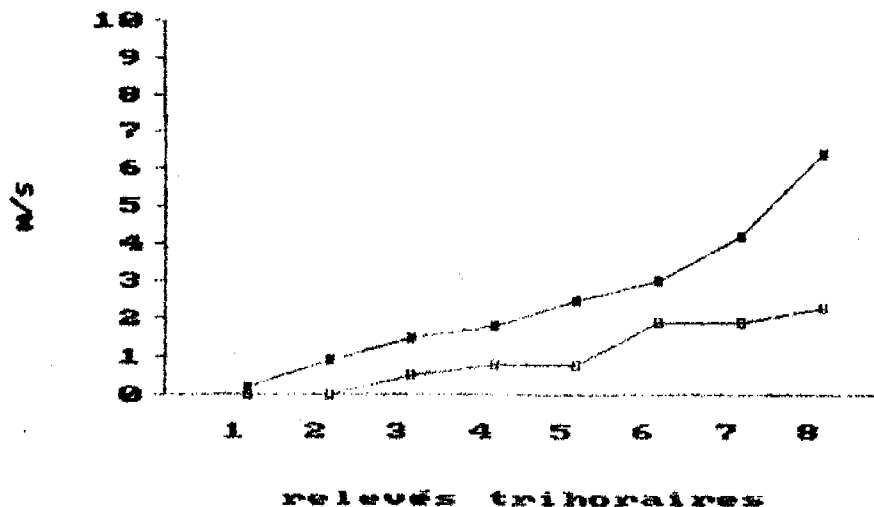
°
 U19 Q0,9=89 QM = 82
 •
 U29 Q0,5 =250 QM = 227
 x
 U39 Q0,1=733 QM = 658

Août

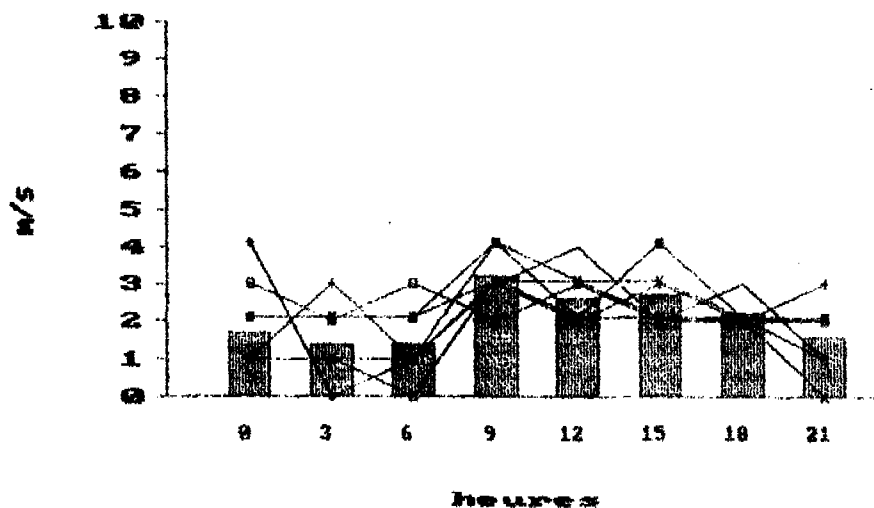


U19 Q 0,9 = 46 QM = 38
 U29 Q 0,5 = 173 QM = 145
 U39 Q 0,1 = 623 QM = 551

Septembre



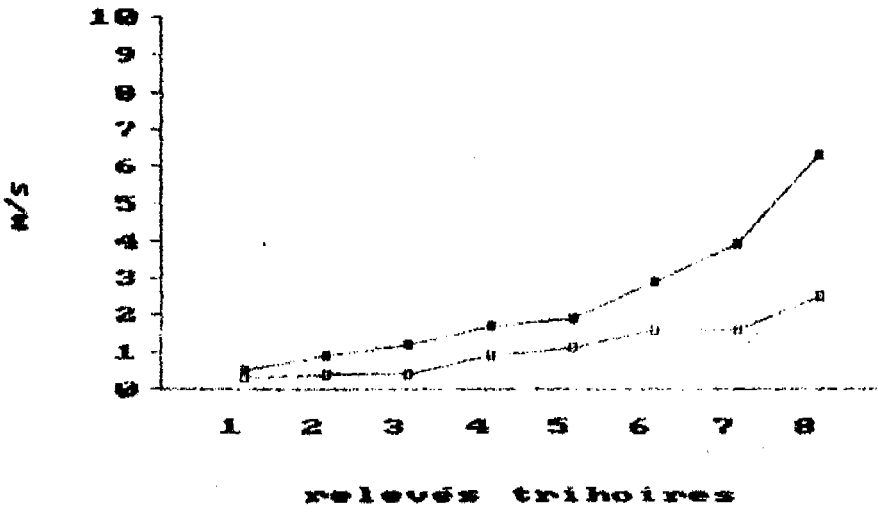
U19 Q 0,9 = 34 QM = 30
 U39 Q 0,1 = 478 QM = 432



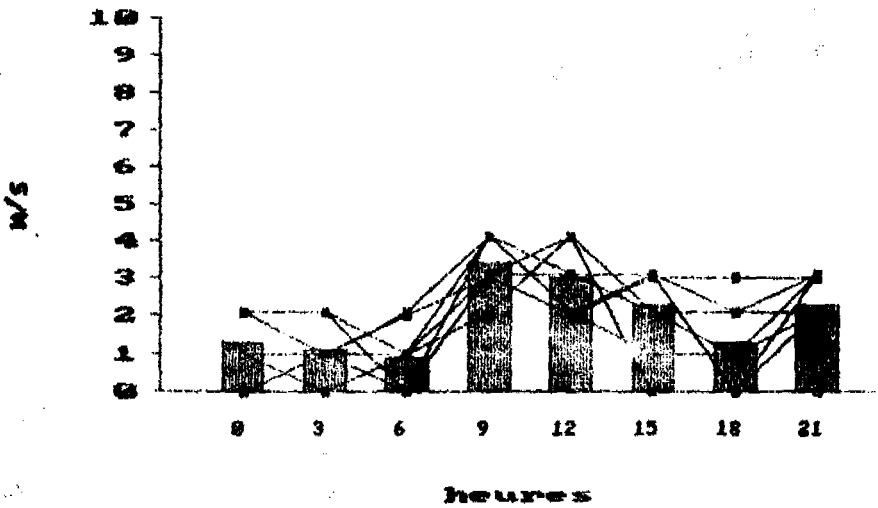
U29
 U20 Q 0,5 = 140 Wh/m²
 U21 Q Moy = 105 Wh/m²
 U22
 U23
 U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 25\%$
 U25
 U26
 U27
 U28

1.5 - (Suite)

Octobre

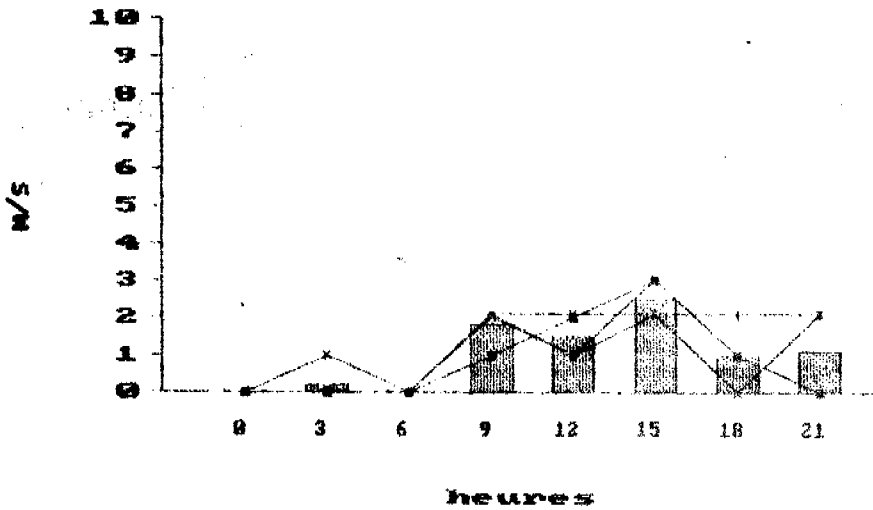


U19
Q 0,9=37 QM = 29
U39
Q 0,1=447 QM = 386



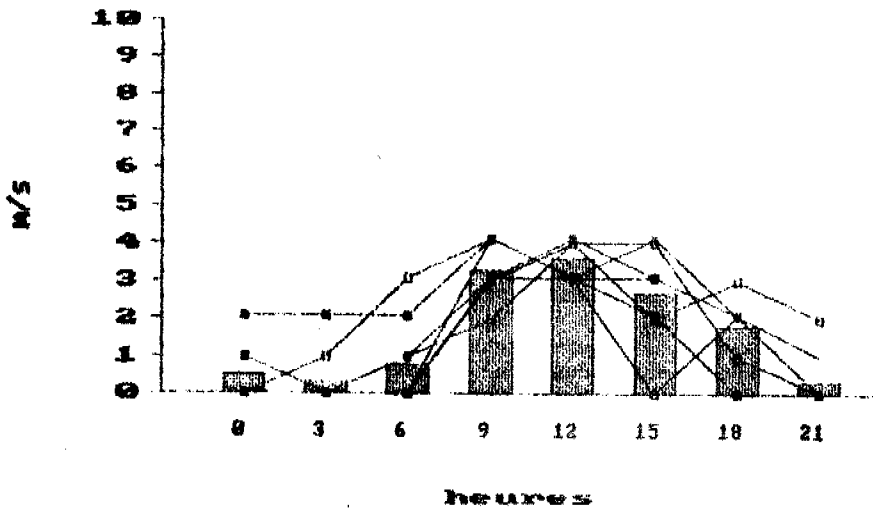
U29
U20
U21 Q 0,5 = 141 Wh/m²
U22
U23 QMoy = 108 Wh/m²
U24
U25 $\frac{\Delta Q}{Q} = 23\%$
U26
U27
U28

Novembre



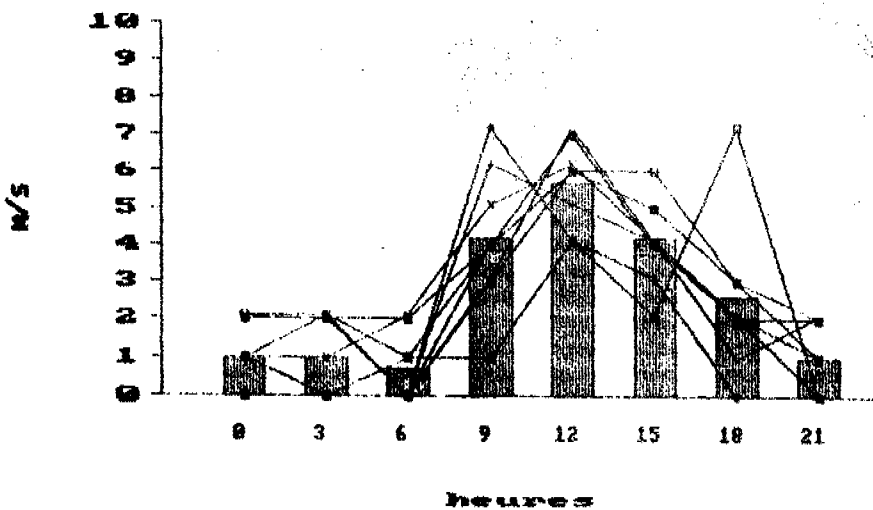
U19
U10
U11
U12
U13

$Q_{0,9} = 42 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 31 \text{ Wh/m}^2$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 26 \%$



U29
U20
U21
U22
U23
U24
U25
U26
U27
U28

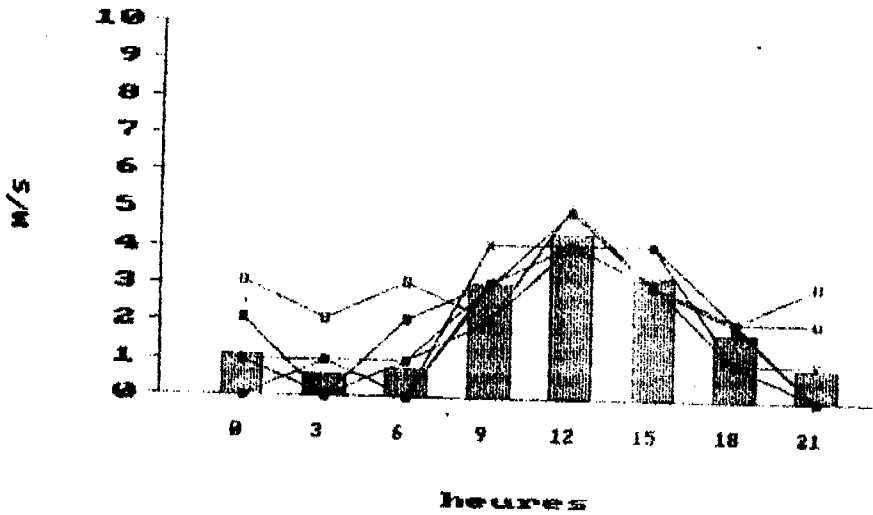
$Q_{0,5} = 155 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 124 \text{ Wh/m}^2$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 21 \%$



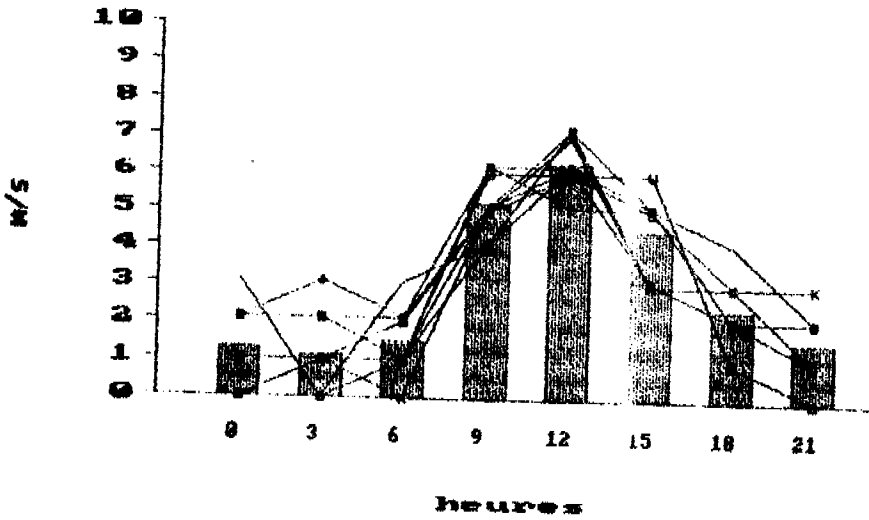
U39
U30
U31
U32
U33
U34
U35
U36
U37
U38

$Q_{0,1} = 524 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 395 \text{ Wh/m}^2$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 25 \%$

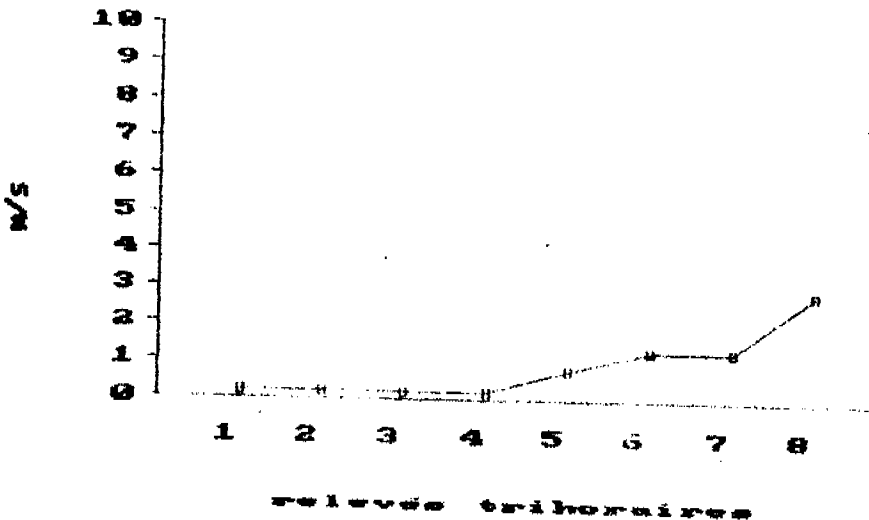
Décembre



U29
 U20
 U21 $Q_{0,5} = 206 \text{ Wh/m}^2$
 U22
 U23 $Q_{\text{Moy}} = 178 \text{ Wh/m}^2$
 U24
 U25 $\frac{\Delta Q}{Q} = 14 \%$
 U26
 U27
 U28

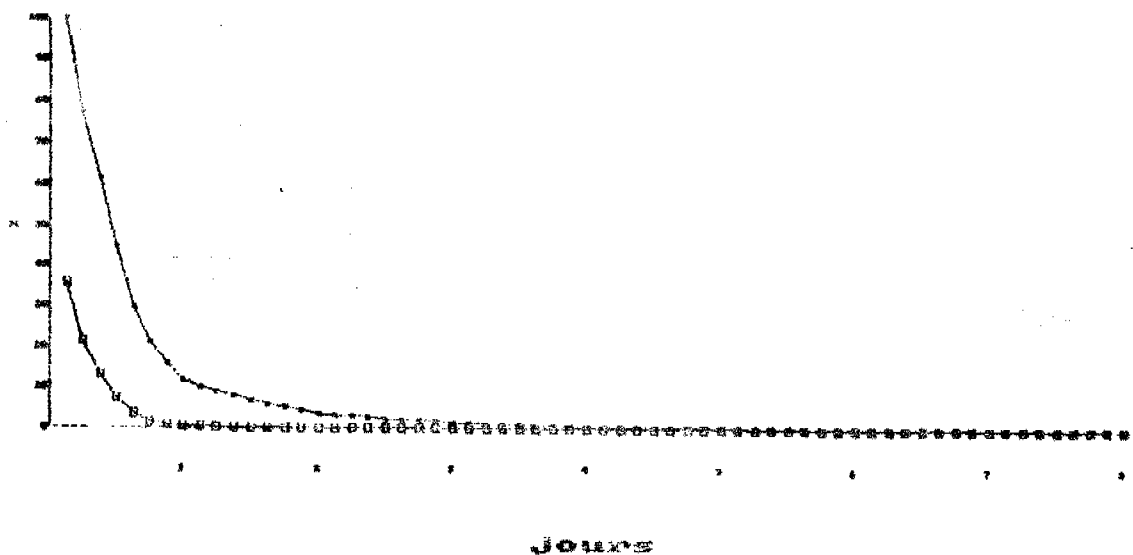


U39
 U30
 U31 $Q_{0,1} = 629 \text{ Wh/m}^2$
 U32
 U33 $Q_{\text{Moy}} = 569 \text{ Wh/m}^2$
 U34
 U35 $\frac{\Delta Q}{Q} = 10 \%$
 U36
 U37
 U38



U19 $Q_{0,9} = 37 \text{ QM} = 33$

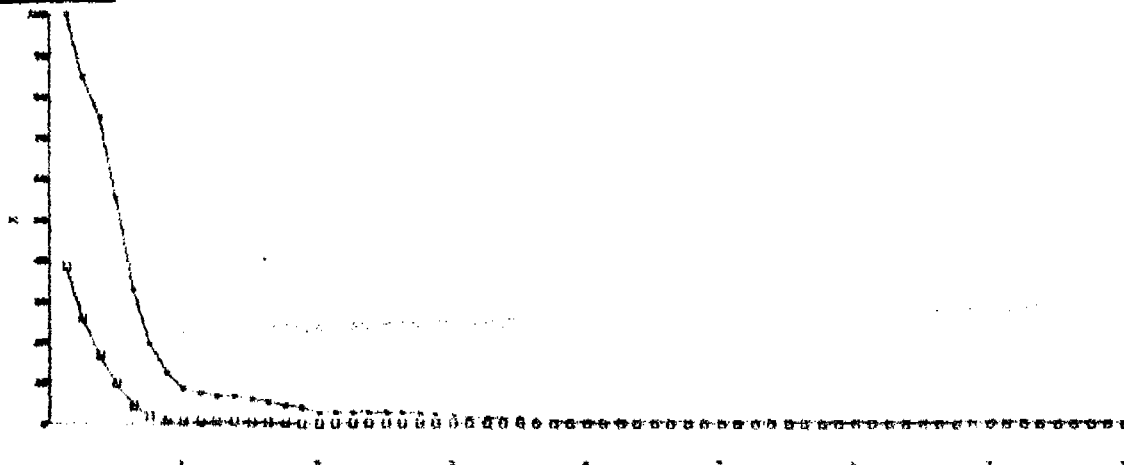
1.6 - Pourcentage cumulé de fréquence des périodes de calme et des
périodes de vent séparant 2 périodes de calme $\frac{\cdot}{\cdot}$ (annuel)



1.6 - (Suite) Périodes d'activité et d'inactivité mensuelles

1962
1963

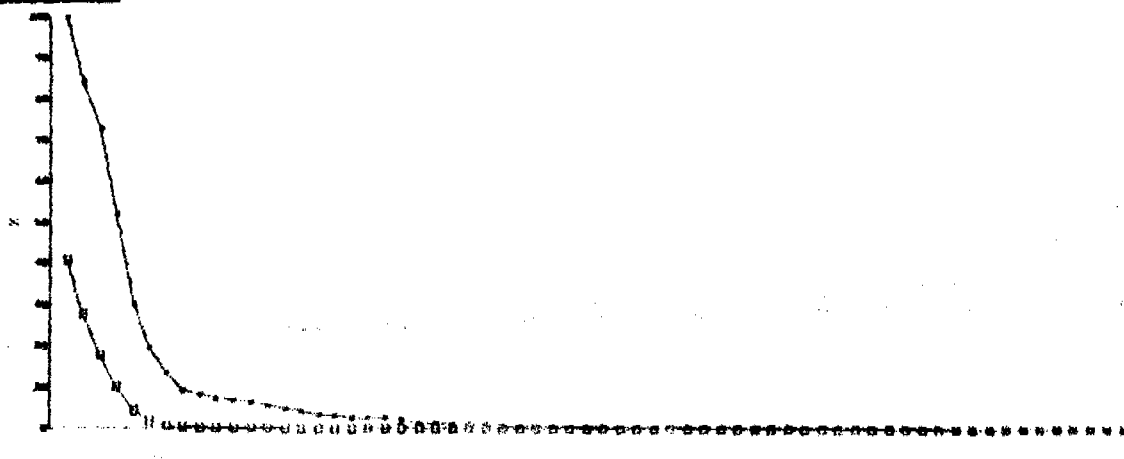
Janvier



Jours

1962
1963

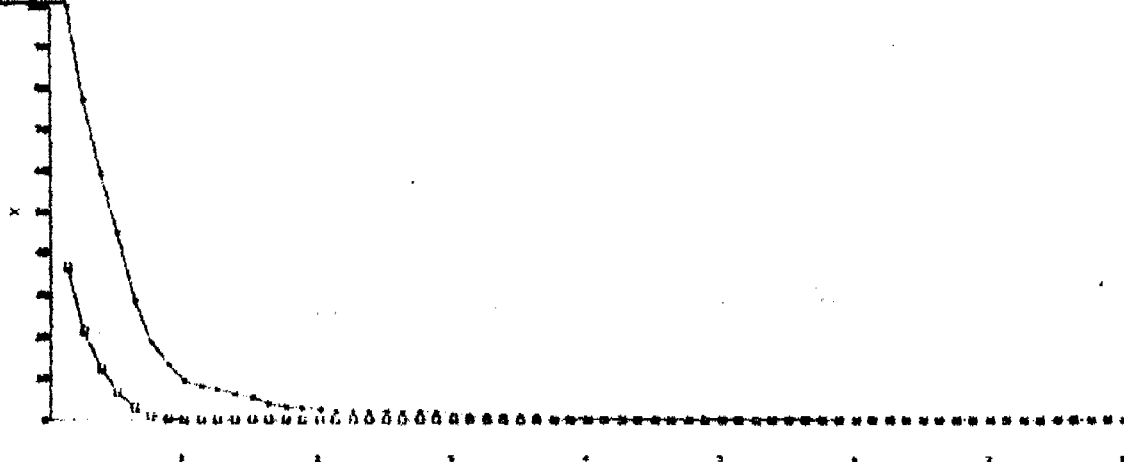
Février



Jours

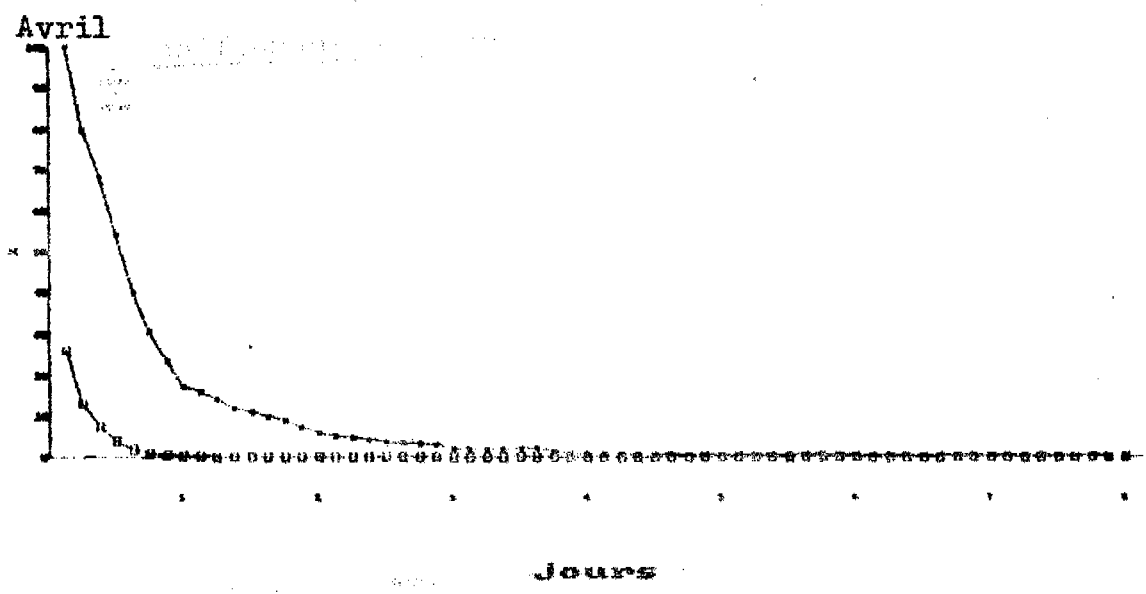
1962
1963

Mars

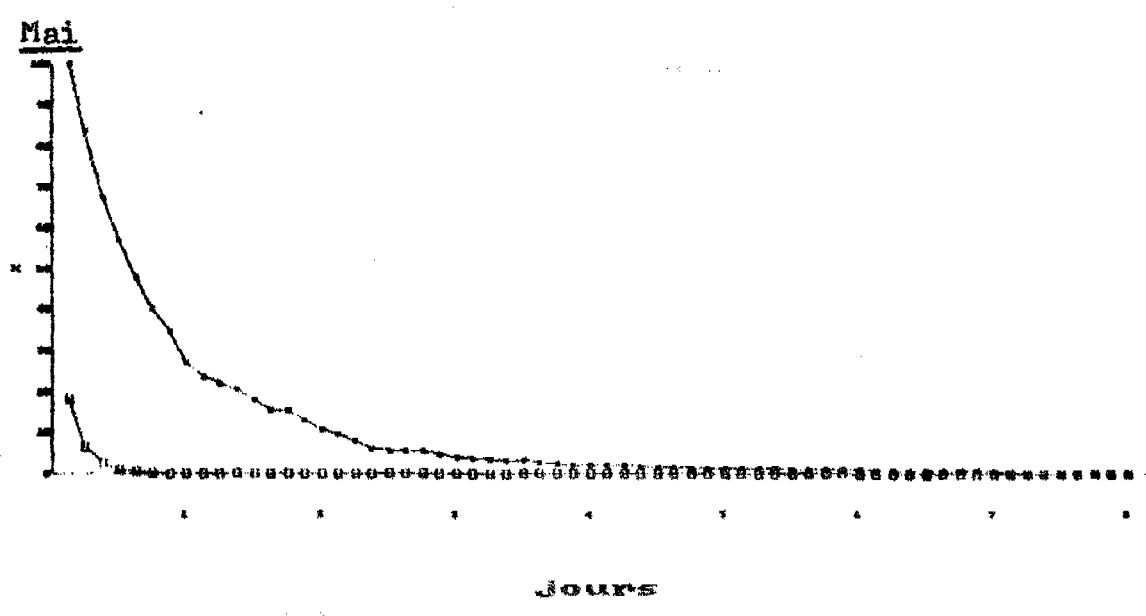


Jours

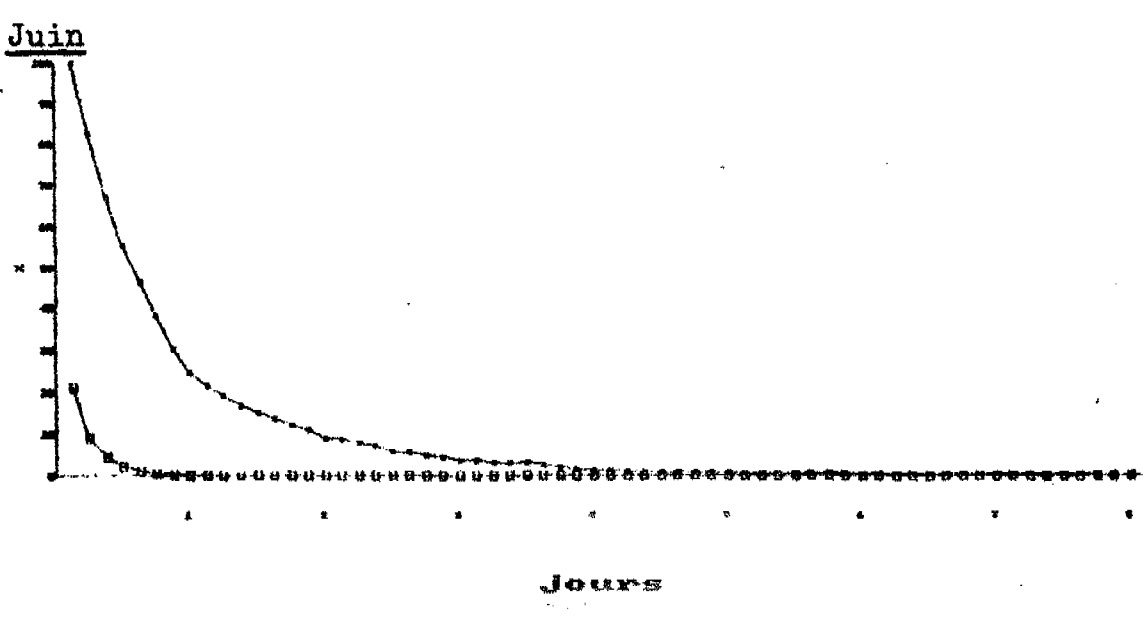
•
•
•



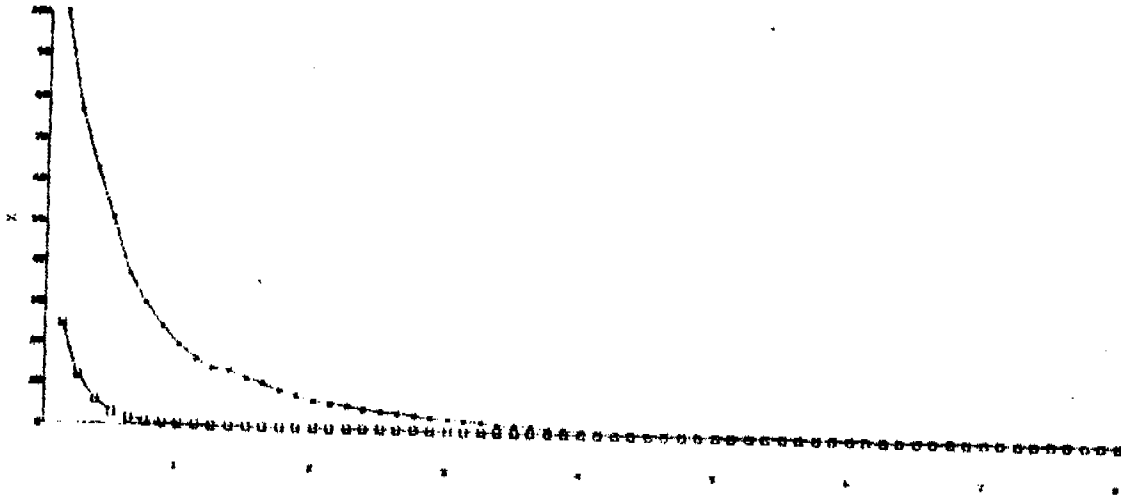
•
•
•



•
•
•

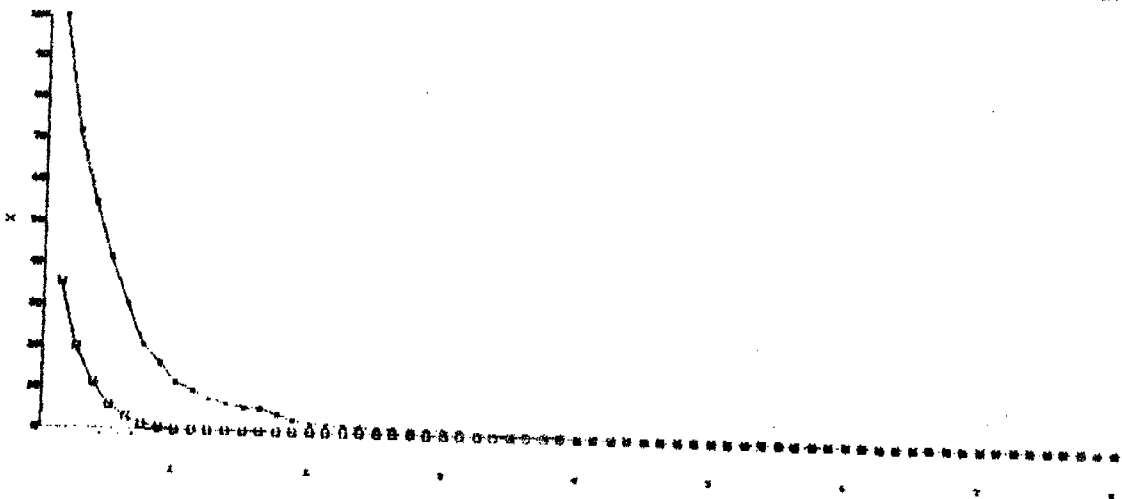


Juillet



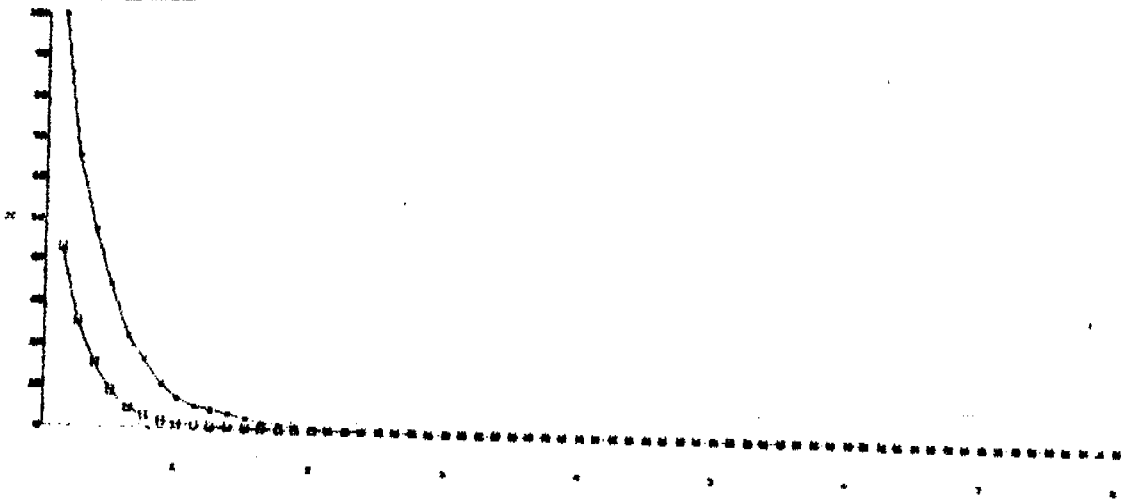
Jours

Août



Jours

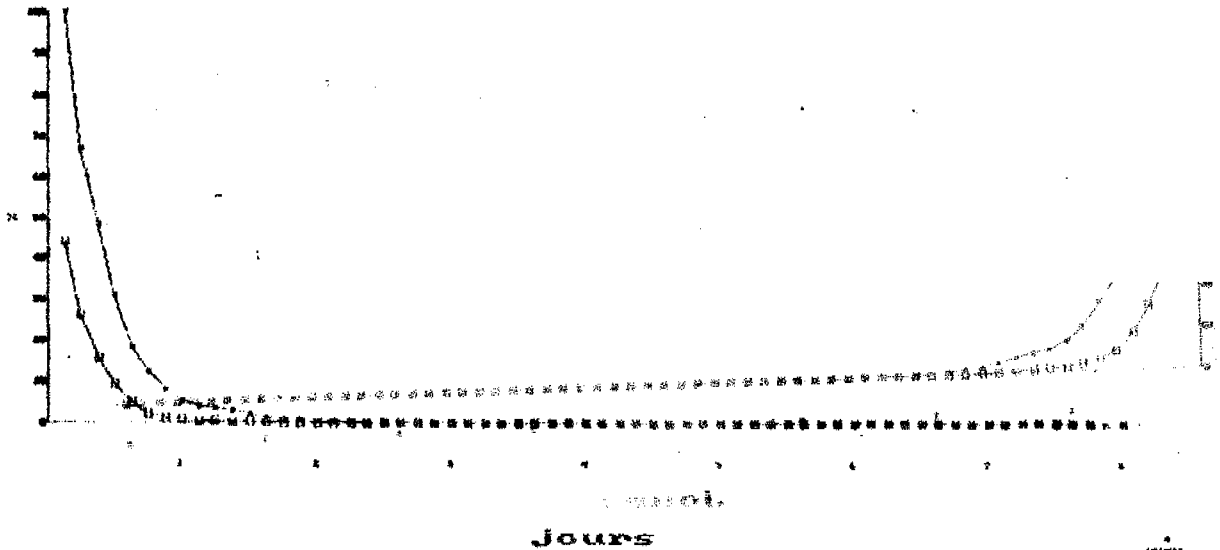
Septembre



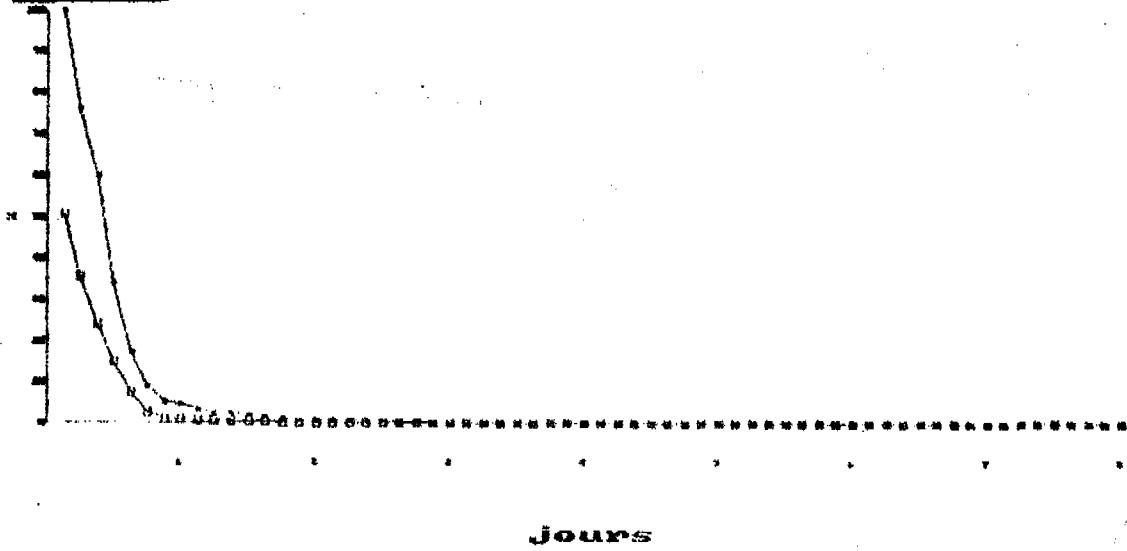
Jours

CH. 2028
01-11-88

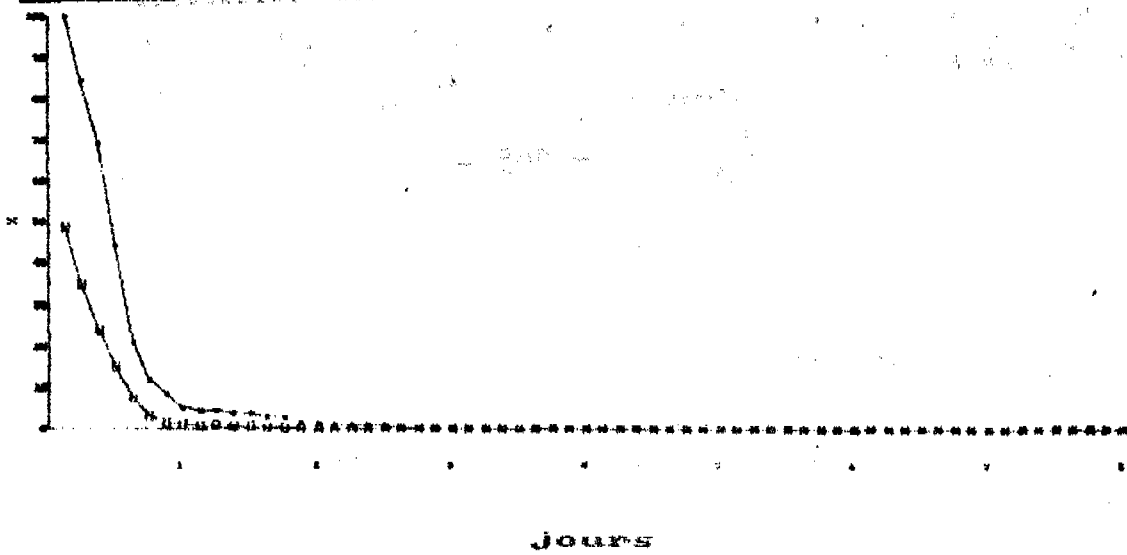
Octobre



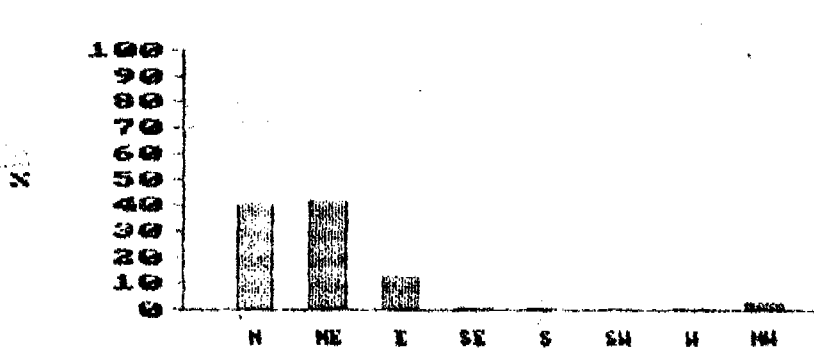
Novembre



Décembre

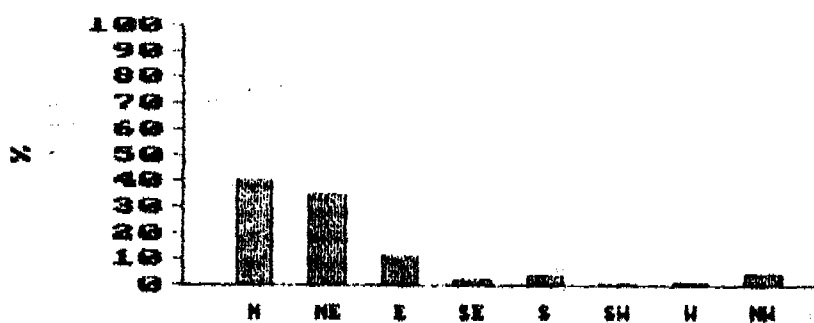


1.7 - Direction du vent



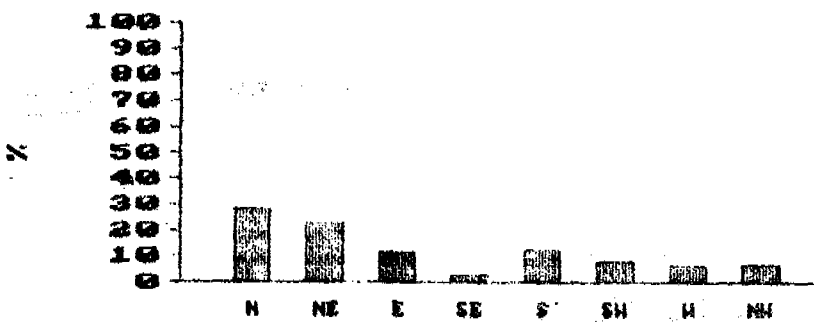
EDIR1

Janvier



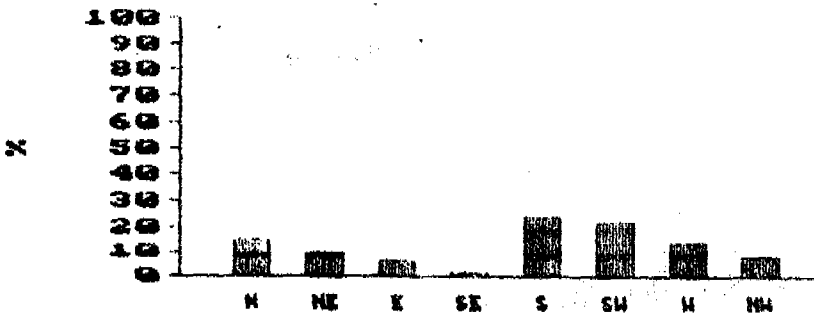
EDIR2

Février



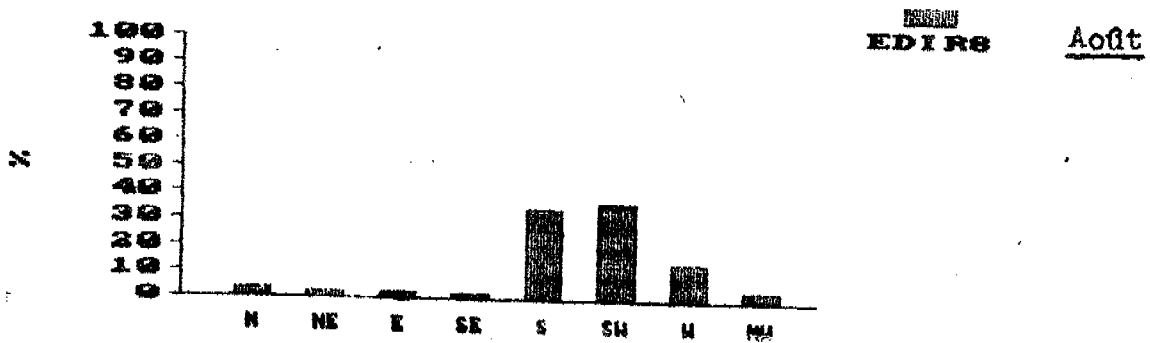
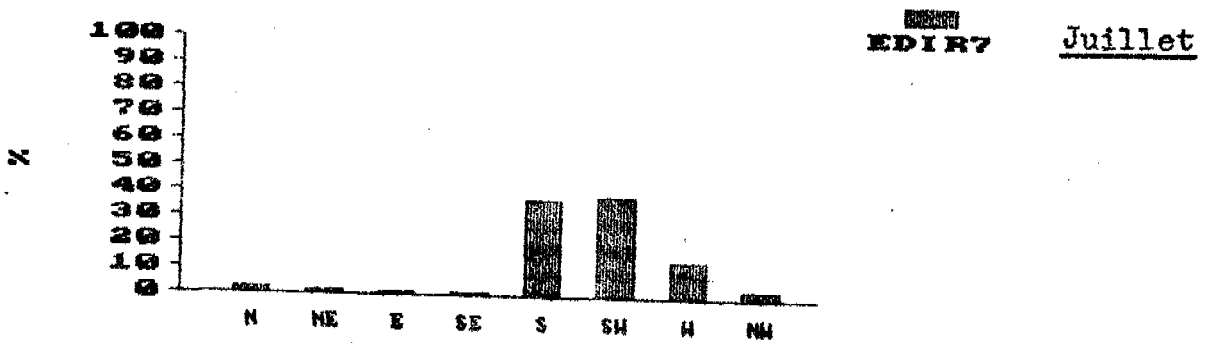
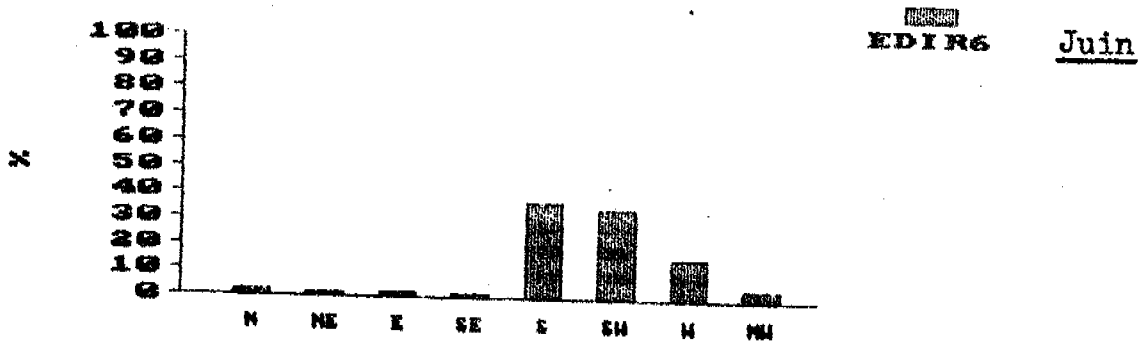
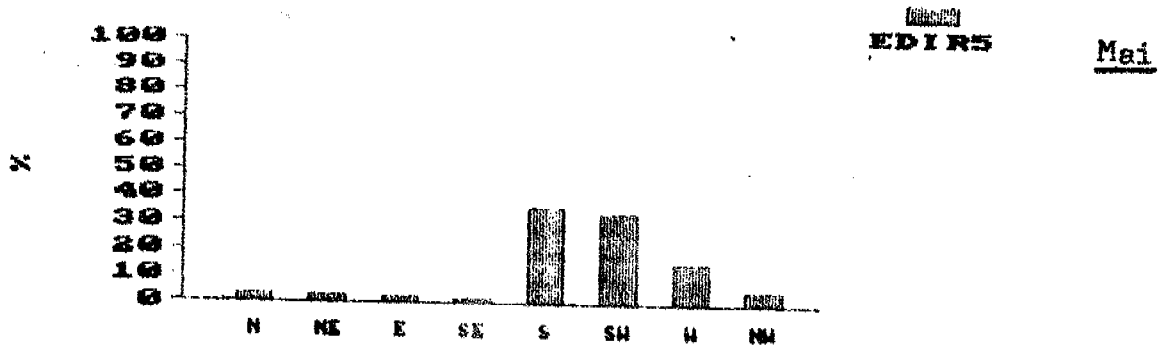
EDIR3

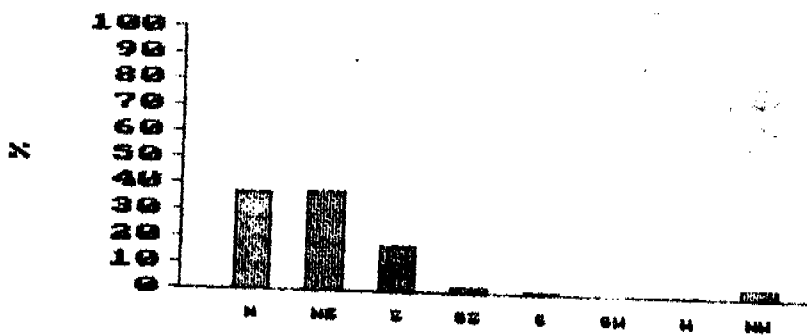
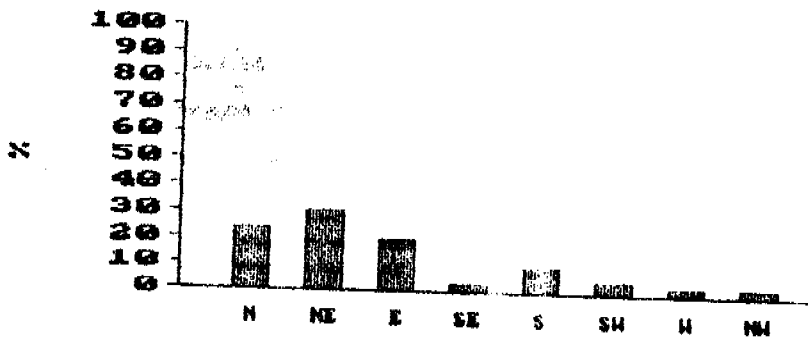
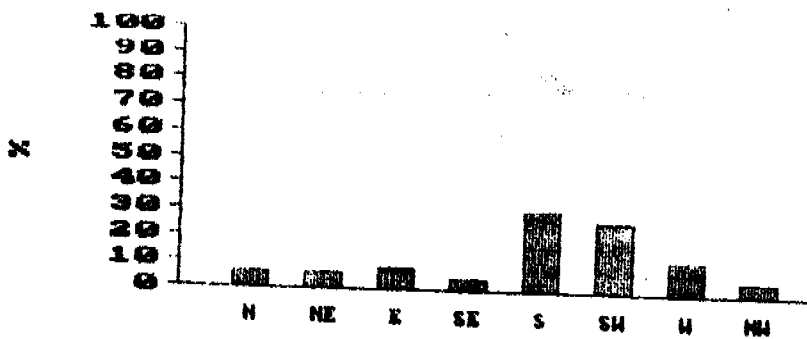
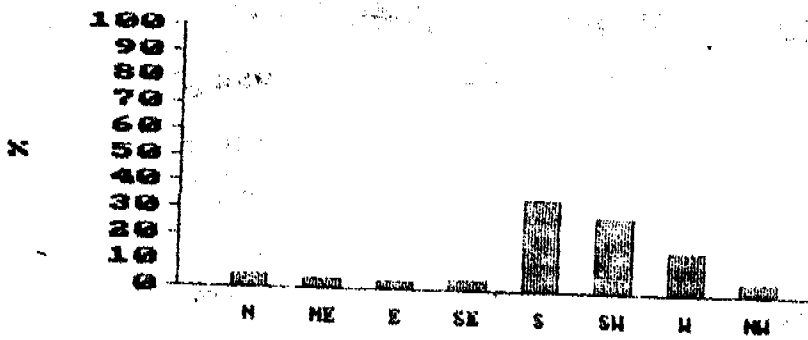
Mars



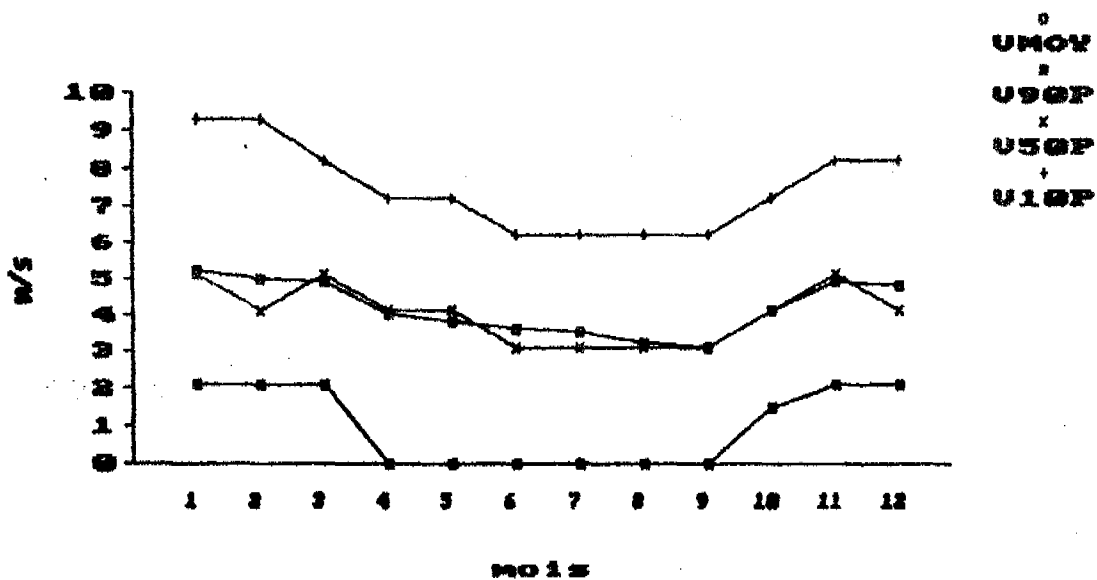
EDIR4

Avril

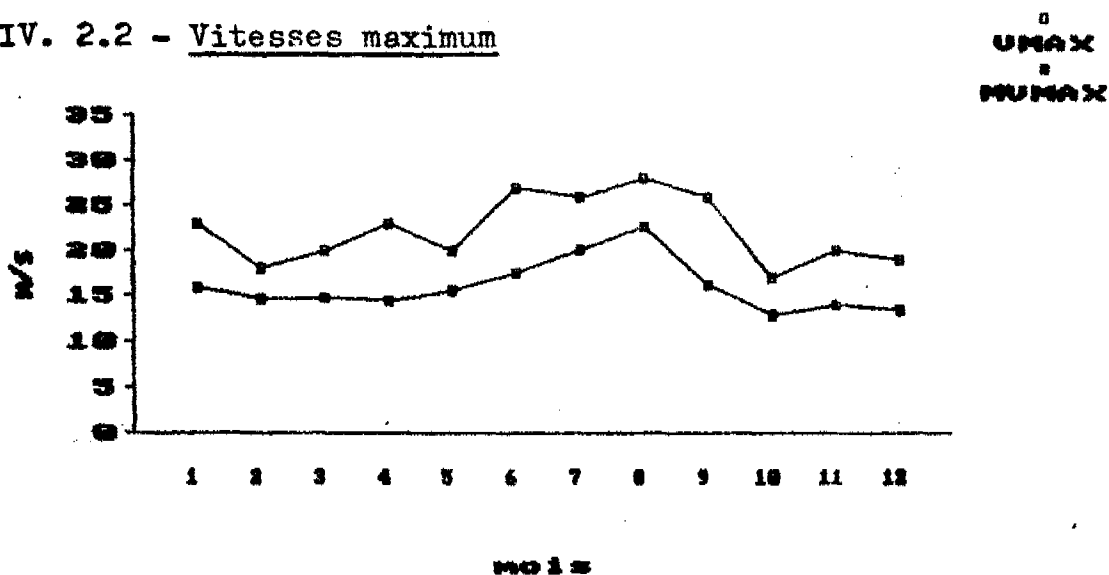




IV. 2.1 - Vitesses moyennes et quantiles 0,9 ; 0,5 et 0,1

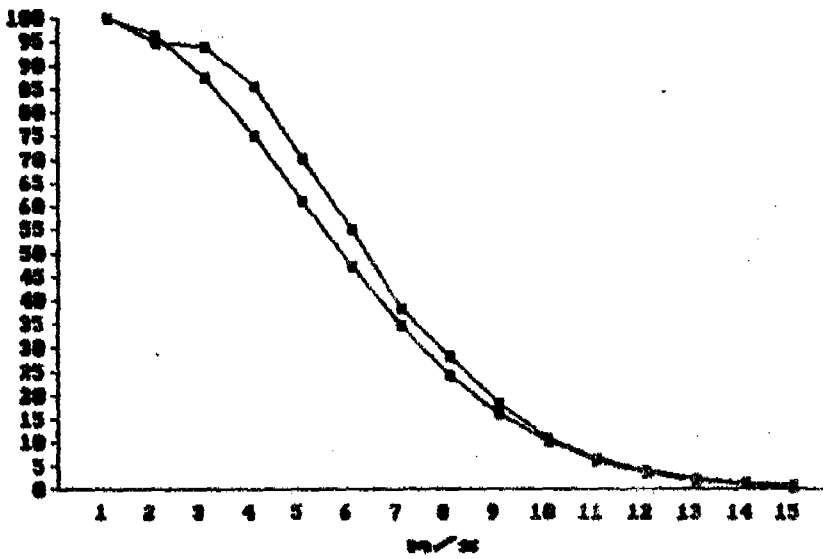


IV. 2.2 - Vitesses maximum



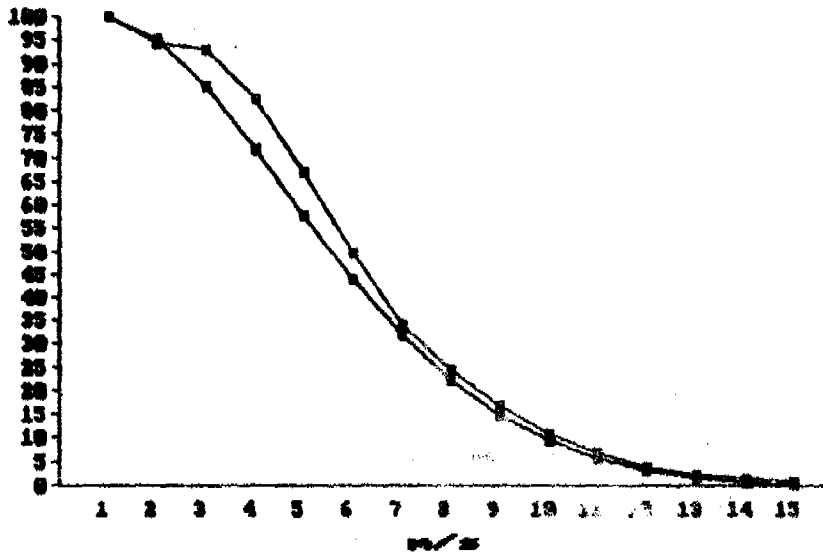
2.3 - Fréquences cumulées des vitesses classées et loi de weibull (mensuel)

Janvier



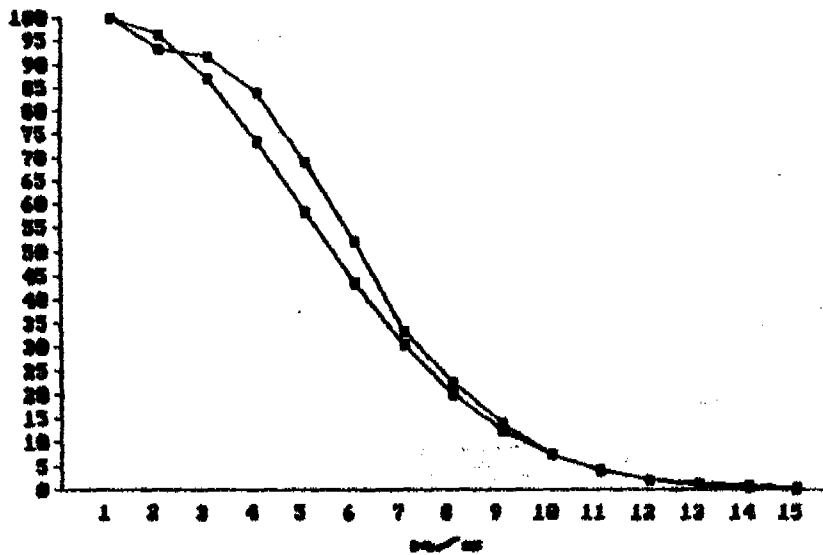
UIT1
PM1

Février



UIT2
PM2

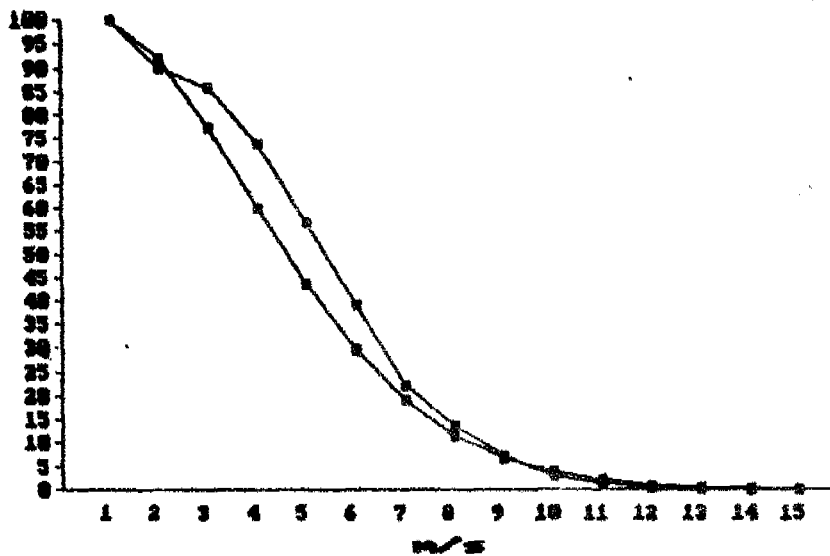
Mars



UIT3
PM3

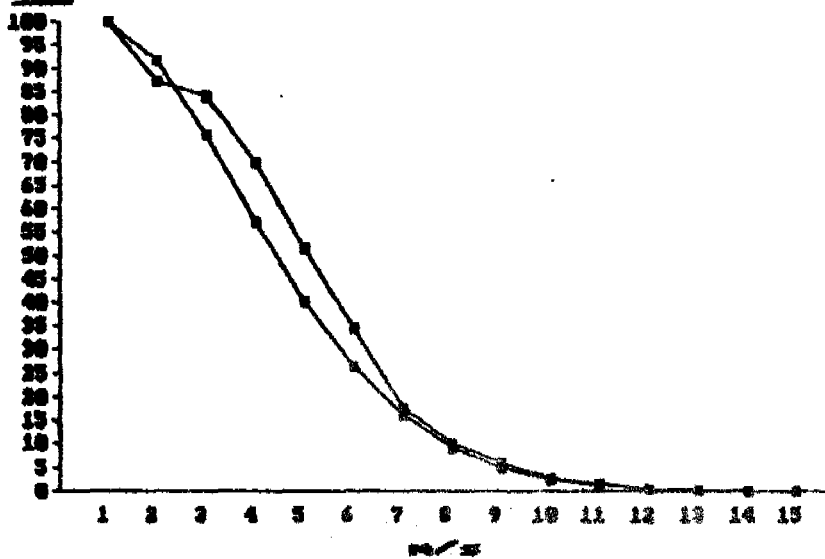
2.3 - (suite)

Avril



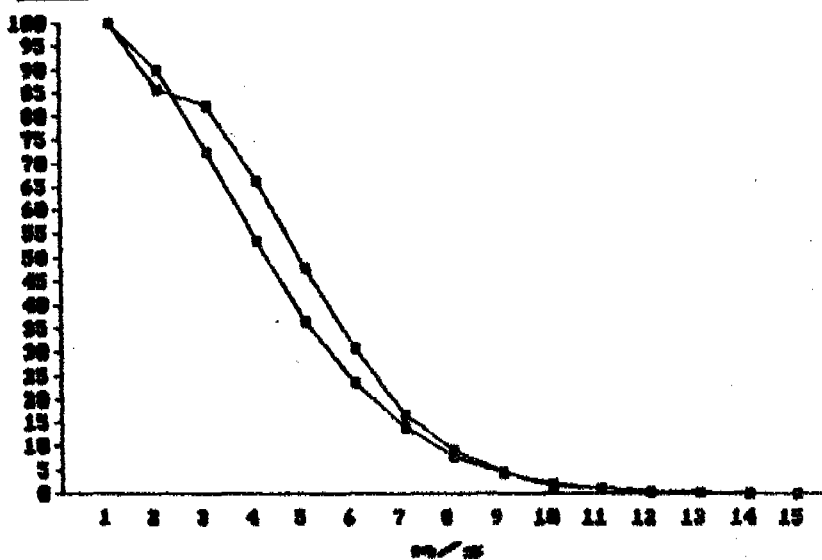
0
UIT4
-
P14

Mai



0
UIT5
-
P15

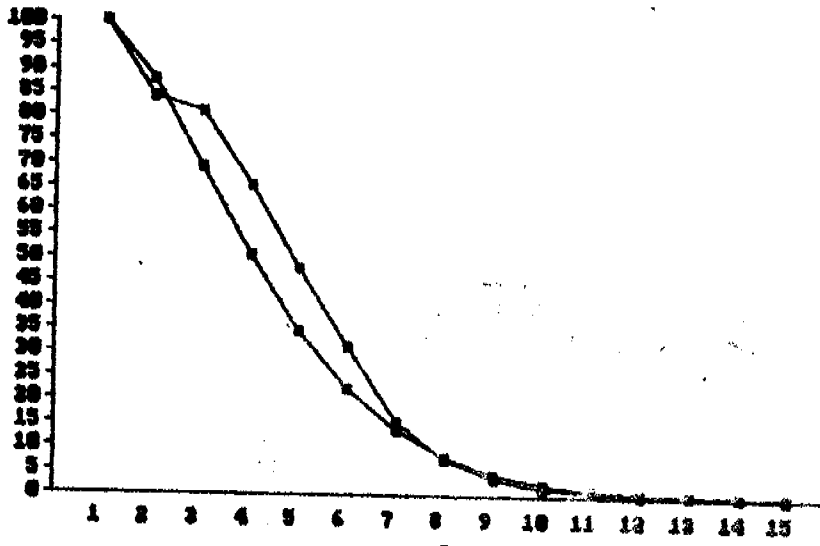
Juin



0
UIT6
-
P16

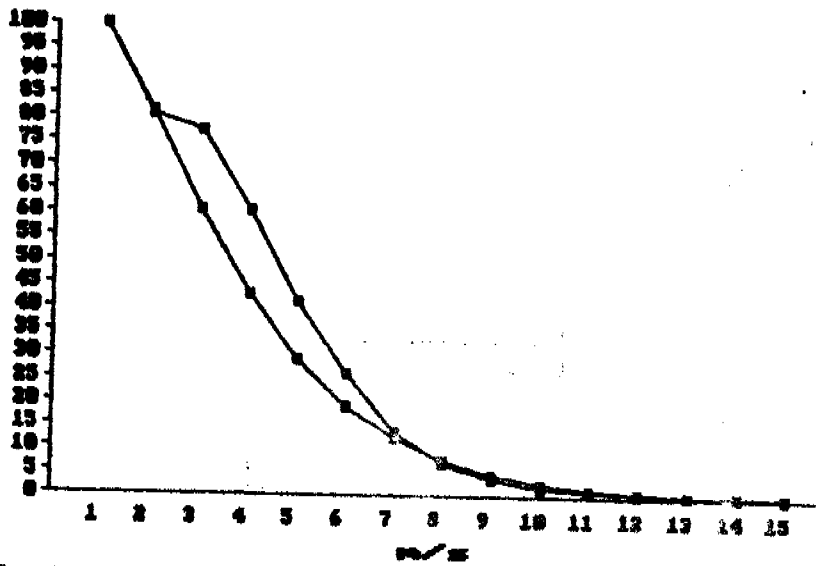
2.3 - (Suite)

Juillet



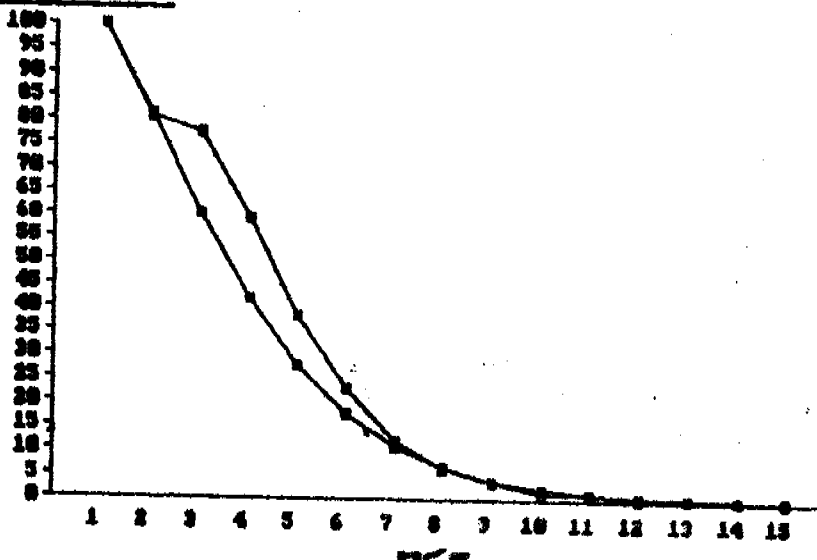
0
UIT7
·
PM7

Août



0
UIT8
·
PM8

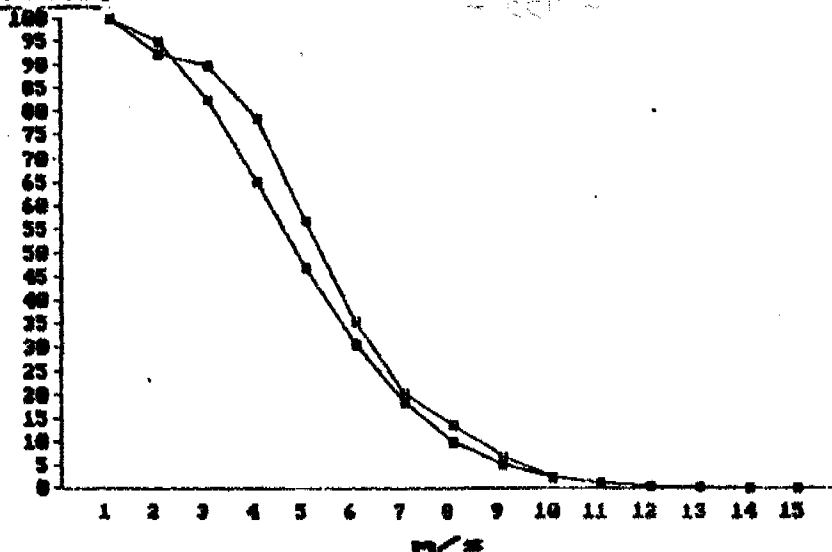
Septembre



0
UIT9
·
PM9

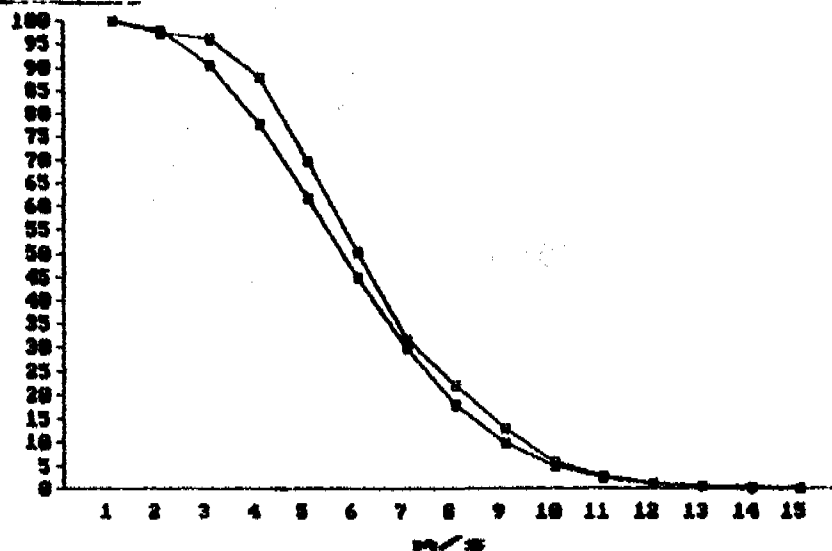
2.3 - (Suite)

Octobre



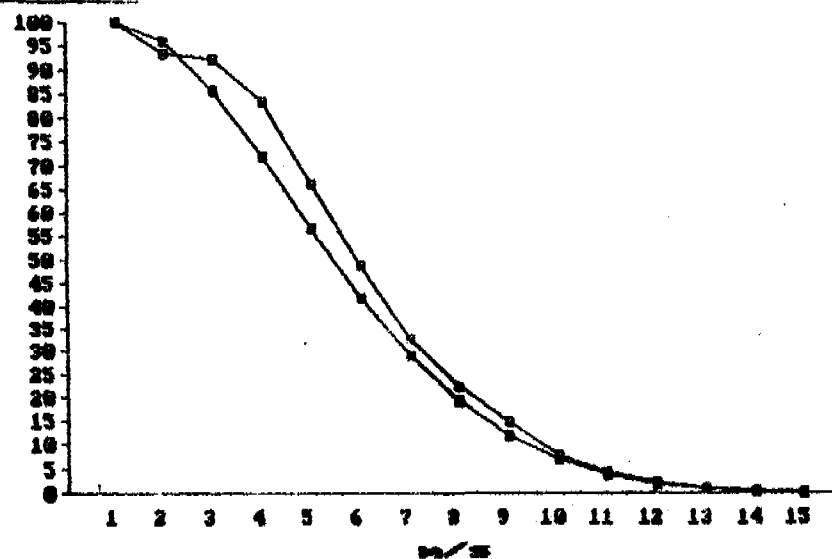
0
UIT10
-
PM10

Novembre



0
UIT11
-
PM11

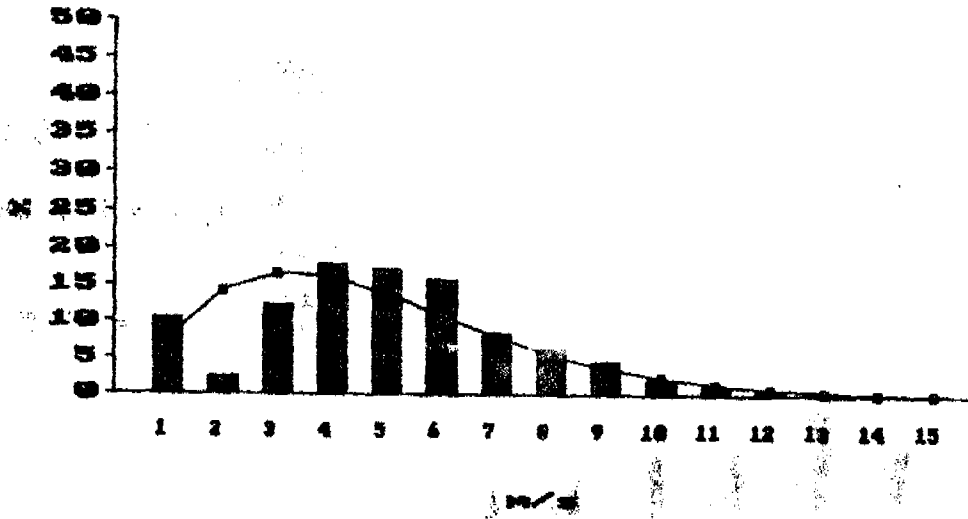
Décembre



0
UIT12
-
PM12

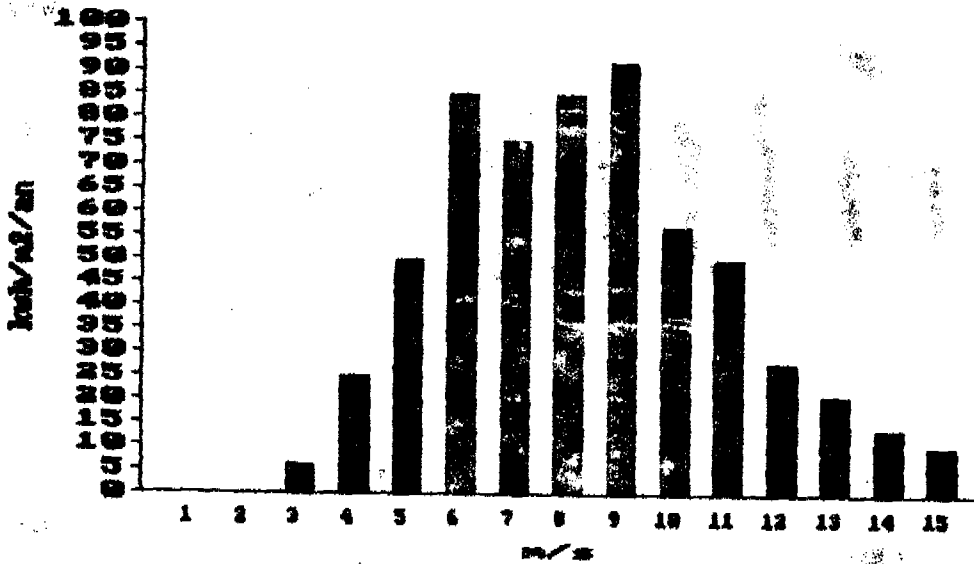
2.4 - Fréquences annuelles des vents et loi de weibull

UITS
PH



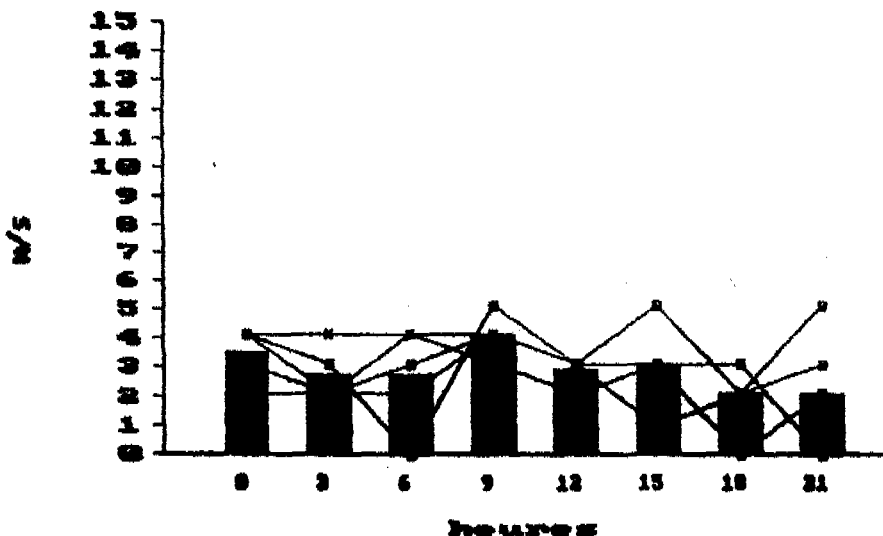
Energies récupérables de Betz

NRJ

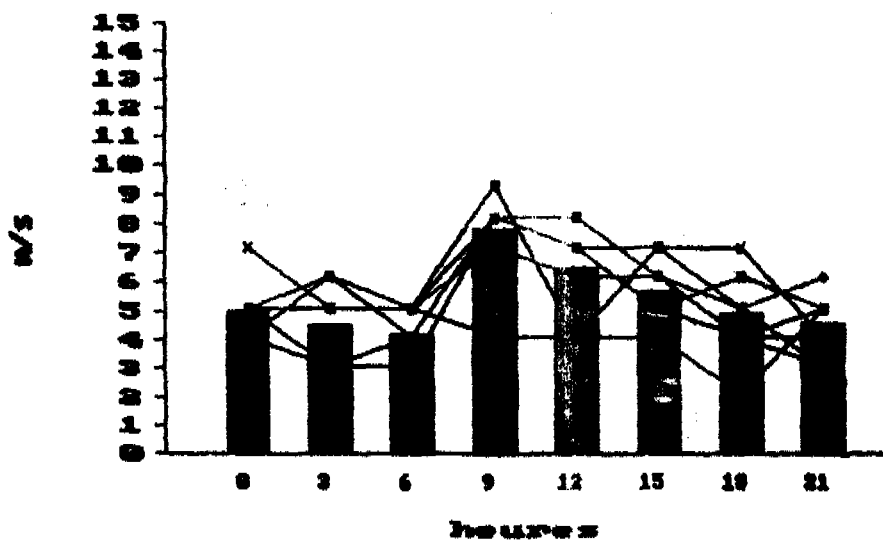


2.5 - Profil des journées d'énergie se rapprochant des quantiles observés
 0,9 ; 0,5 et 0,1 des énergies journalières

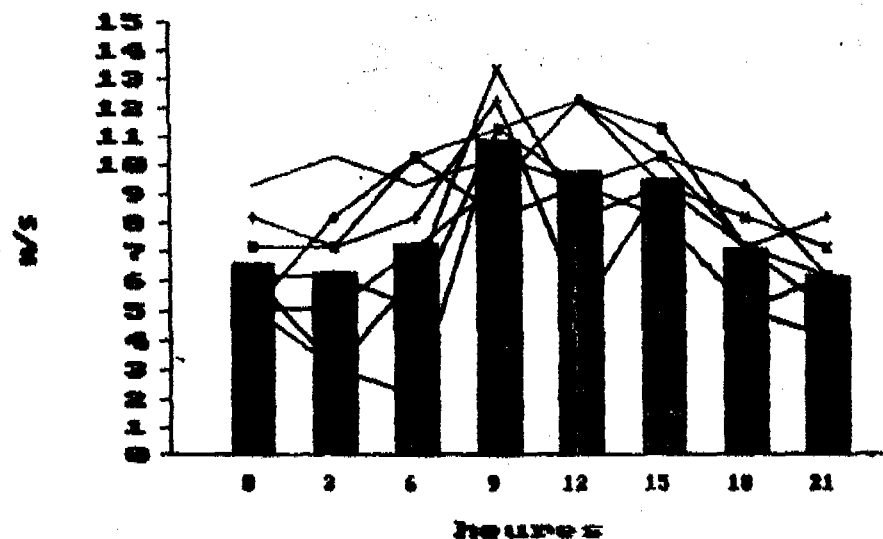
Janvier



U19
 Q 0,9 = 339 Wh/m²
 U10
 U11 QMoy = 247 Wh/m²
 U12
 U13 $\frac{\Delta Q}{Q} = 27\%$
 U14



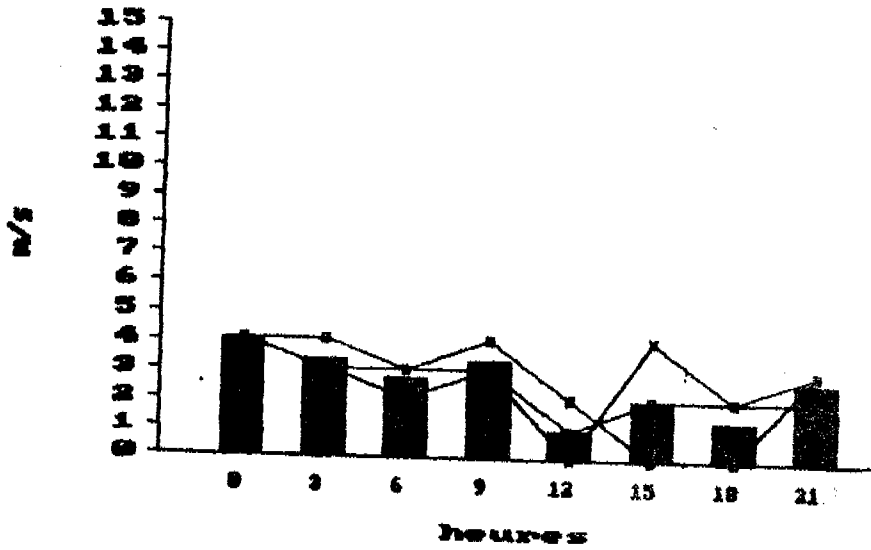
U29
 U20 Q 0,5 = 1798 Wh/m²
 U21
 U22 QMoy = 1586 Wh/m²
 U23
 U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$
 U25
 U26
 U27
 U28



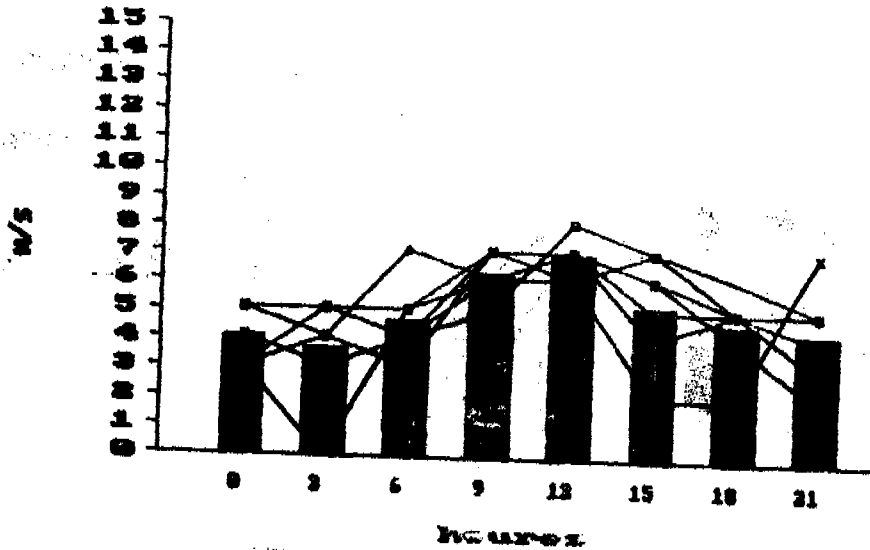
U39
 U30 Q 0,1 = 5847 Wh/m²
 U31
 U32 QMoy = 5120
 U33
 U34 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$
 U35
 U36
 U37

2.5 - (Suite)

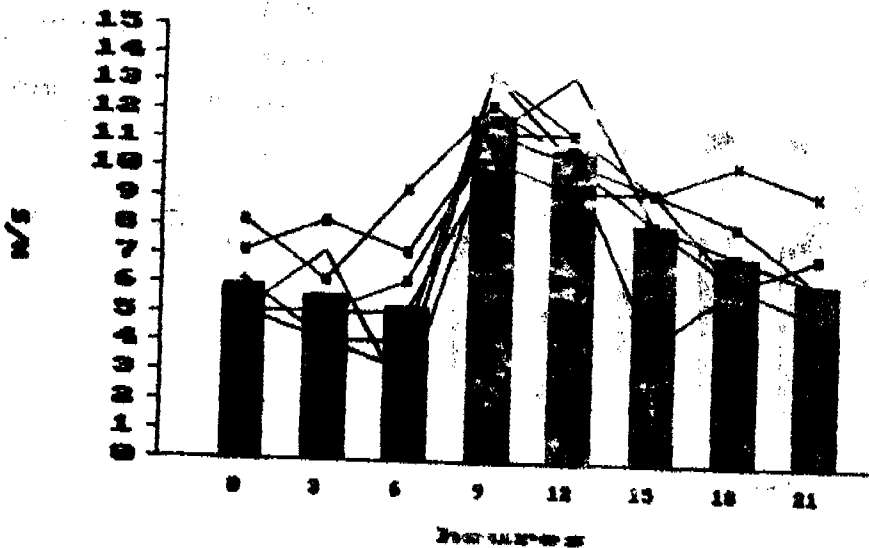
Février



U19
 U20 Q 0,9 = 262 Wh/m²
 U21 Q Moy = 227
 U22
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 13 \%$



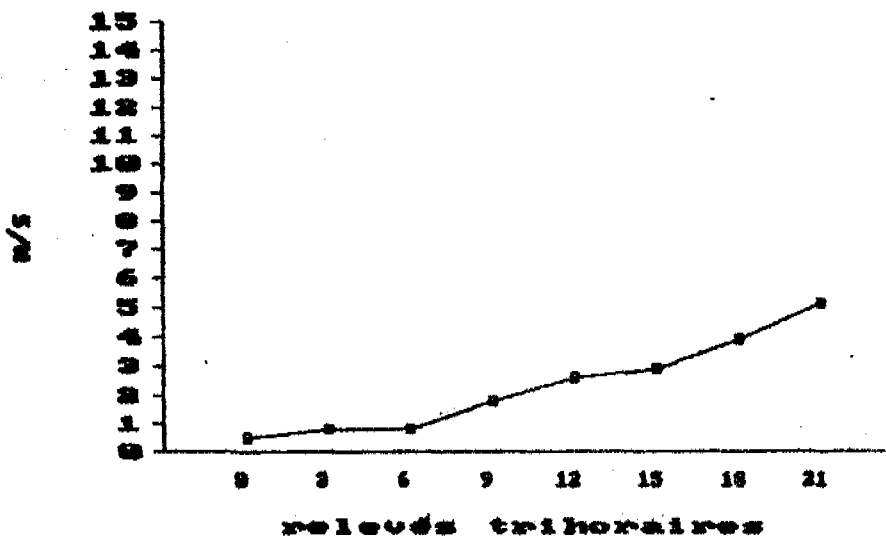
U23
 U24 Q 0,5 = 1492 Wh/m²
 U25 Q Moy = 1314
 U26
 U27
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12 \%$



U29
 U30 Q 0,1 = 5606 Wh/m²
 U31 Q Moy = 5232
 U32
 U33
 U34
 U35
 U36
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 7 \%$

2.5 - (Suite)

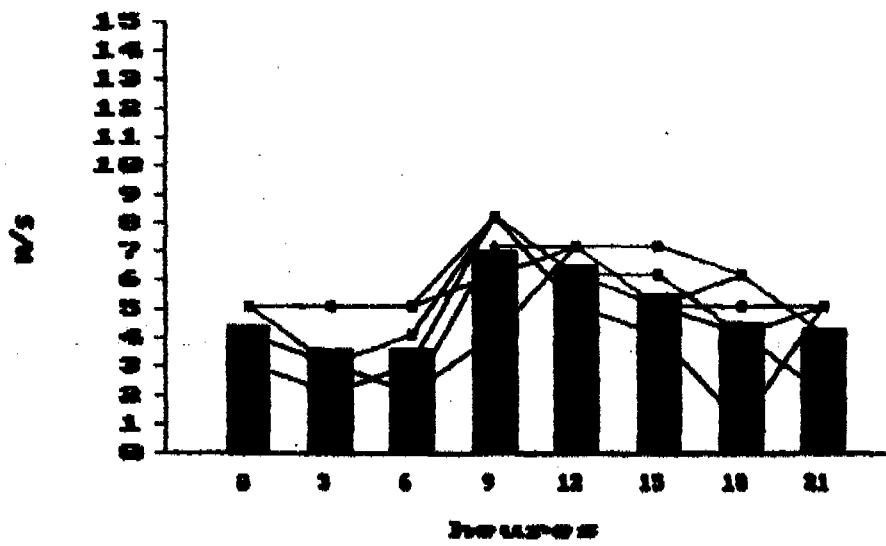
Mars



$Q_{0,9} = 285 \text{ Wh/m}^2$

$Q_M = 267$

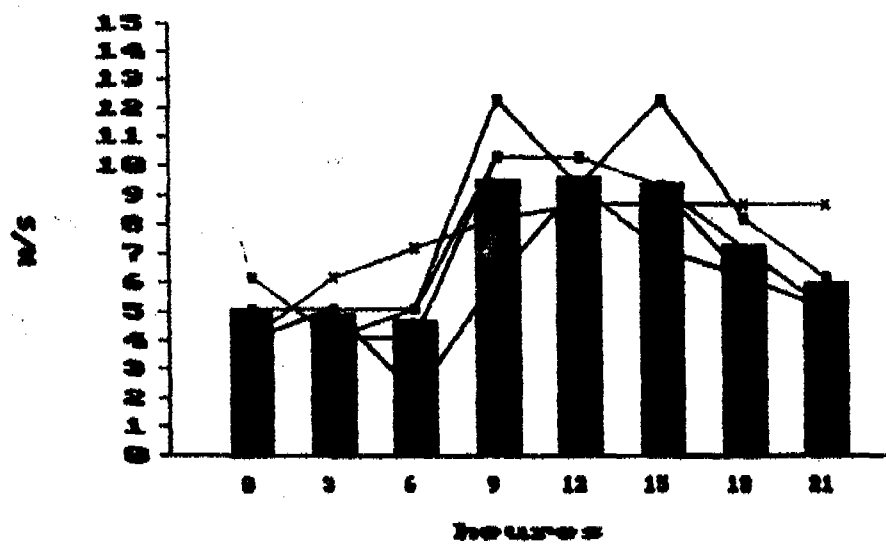
$\frac{\Delta Q}{Q} = 6 \%$



$Q_{0,5} = 1426 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{Moy} = 1256$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 12 \%$



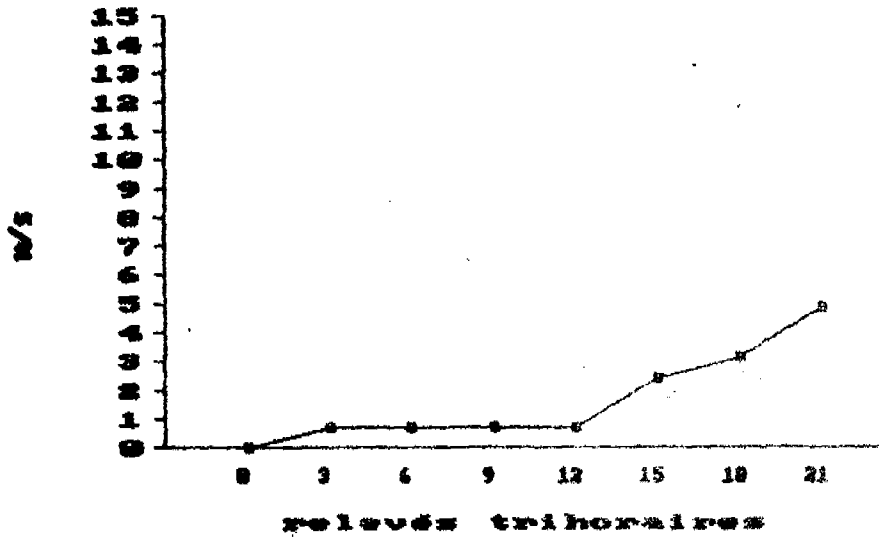
$Q_{0,1} = 4272 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{Moy} = 3902$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 9 \%$

2.5 - (Suite)

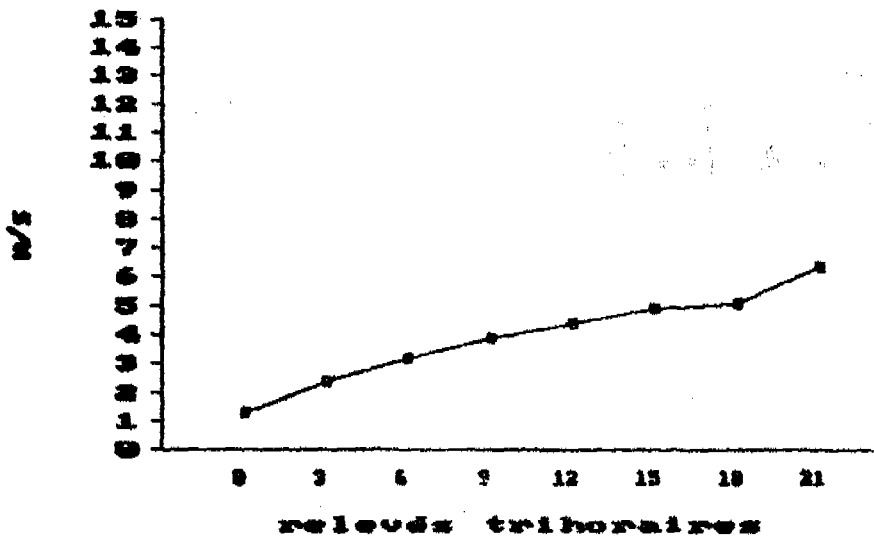
Avril



U19 $Q_{0,9} = 191 \text{ Wh/m}^2$

$Q_M = 173$

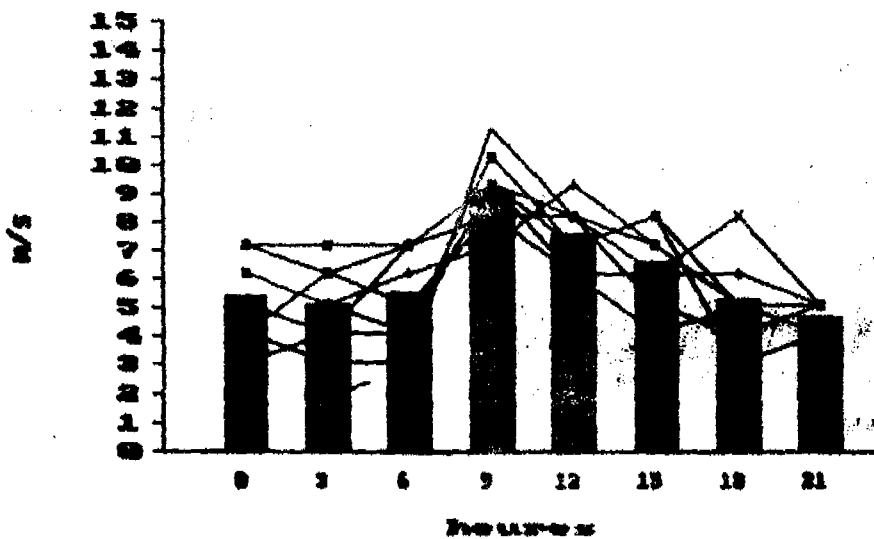
$\frac{\Delta Q}{Q} = 10 \%$



U29 $Q_{0,5} = 861 \text{ Wh/m}^2$

$Q_M = 783$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 9 \%$



U39

U30

U31

U32

U33

U34

U35

U36

U37

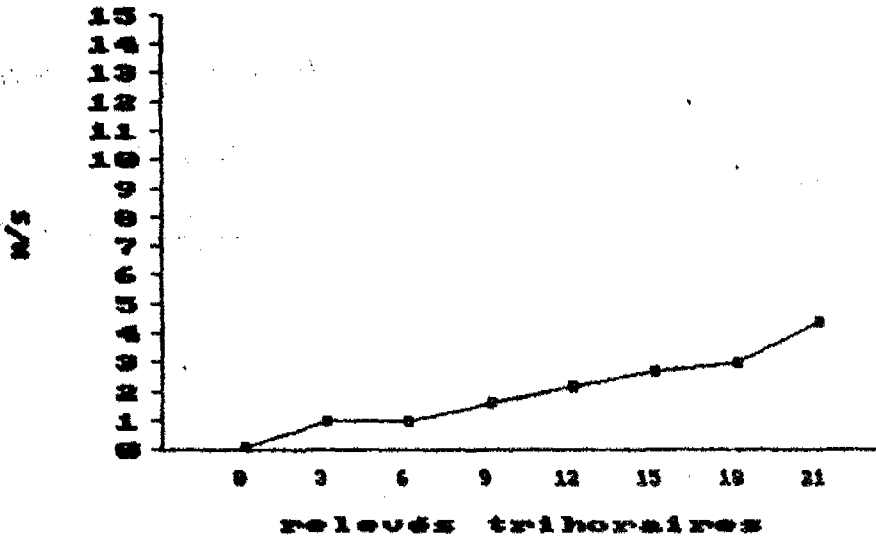
$Q_{0,1} = 2727 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{Moy} = 2434$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 11 \%$

(Suite)

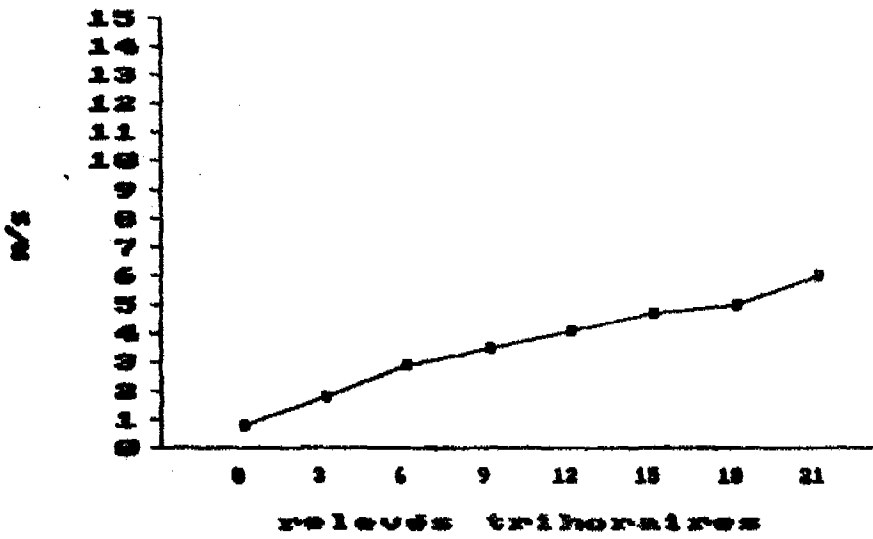
Mai



U19 $Q_{0,9} = 184 \text{ Wh/m}^2$

QM = 165

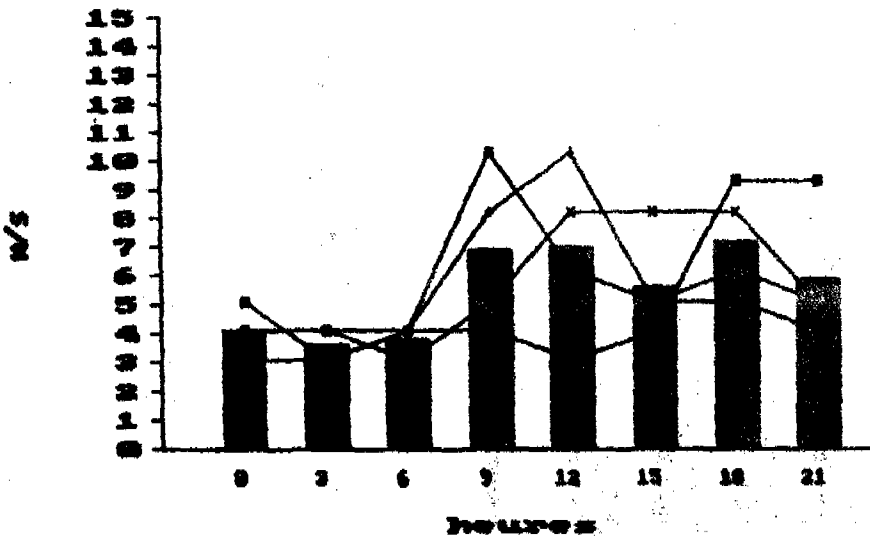
$\frac{\Delta Q}{Q} = 10 \%$



U29 $Q_{0,5} = 705 \text{ Wh/m}^2$

QM = 652

$\frac{\Delta Q}{Q} = 8 \%$



U39

U30 $Q_{0,1} = 2317 \text{ Wh/m}^2$

U31

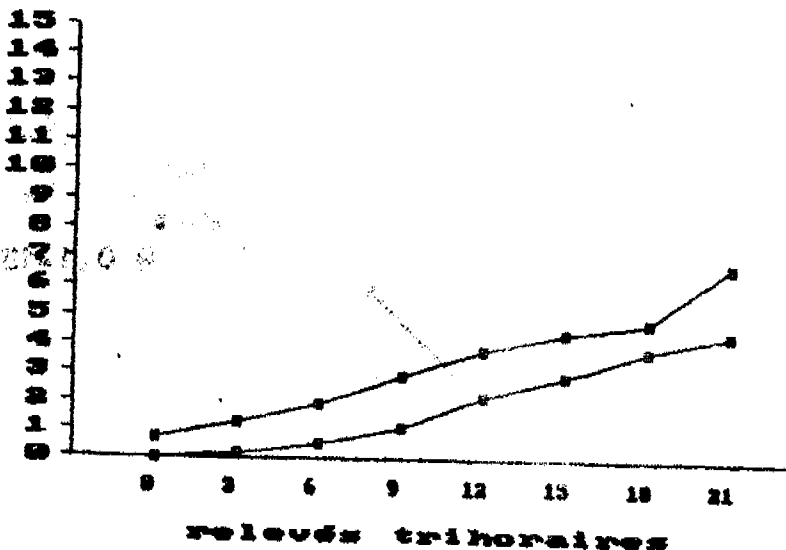
QMoy = 1773

U32

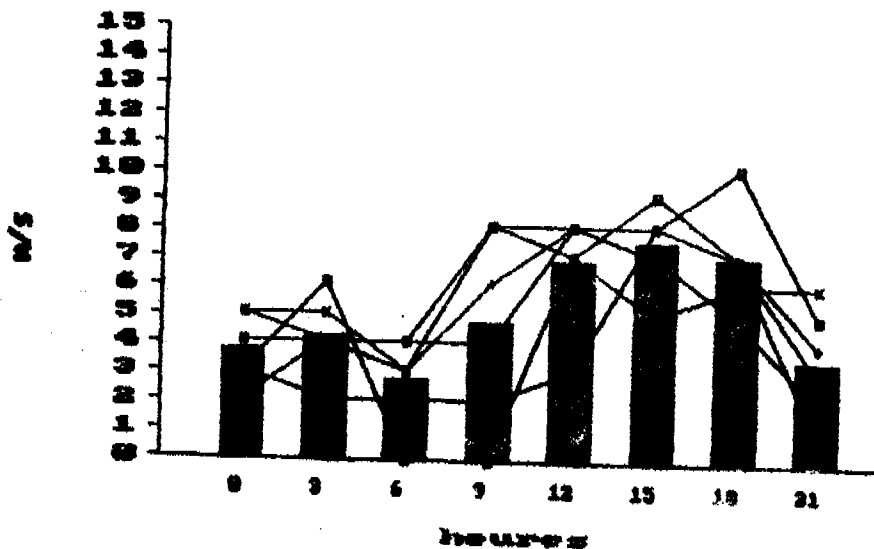
U33 $\frac{\Delta Q}{Q} = 23 \%$

2.5 - (Suite)

Jun



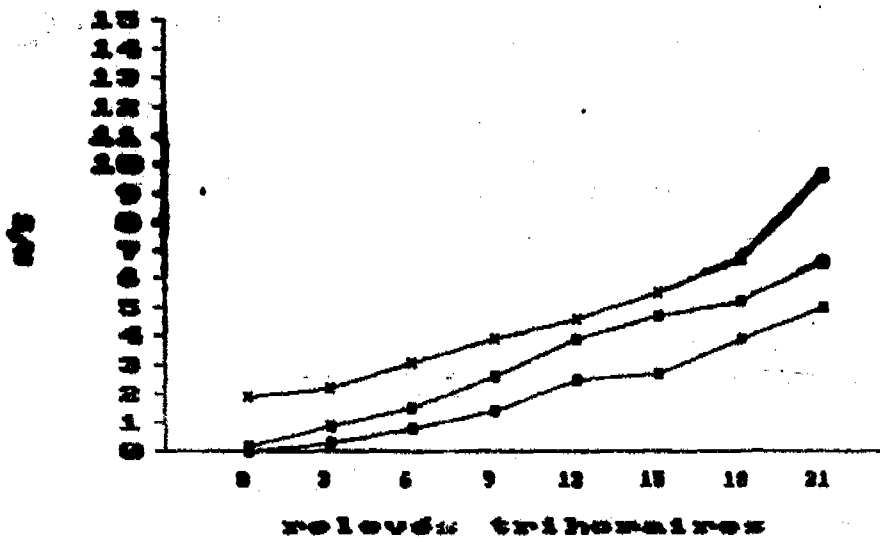
$Q_{0,9} = 214 \text{ Wh/m}^2$
 $U_{19} \cdot Q_M = 196 \cdot \frac{Q}{Q} = 8 \%$
 $U_{29} \cdot Q_{0,5} = 697 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_M = 665 - \frac{\Delta Q}{Q} = 5\%$



U_{39}
 U_{30}
 $U_{31} \cdot Q_{0,1} = 2026 \text{ Wh/m}^2$
 $U_{32} \cdot Q_{May} = 1649$
 U_{33}
 $U_{34} \cdot \frac{\Delta Q}{Q} = 19 \%$
 U_{35}

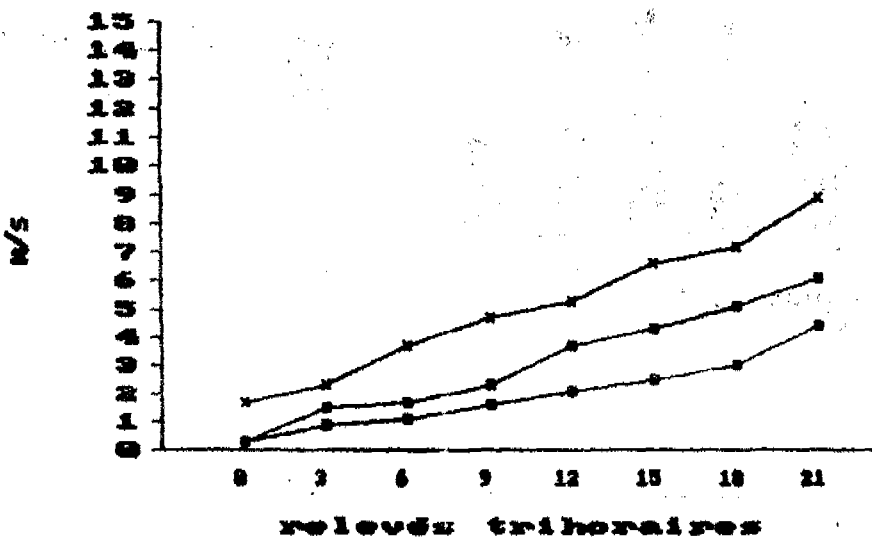
2.5 - (Suite)

Juillet



U19 Q 0,9=258 QM=247
 U29 Q 0,5=751 QM=680
 U39 Q 0,1=1832 QM=172

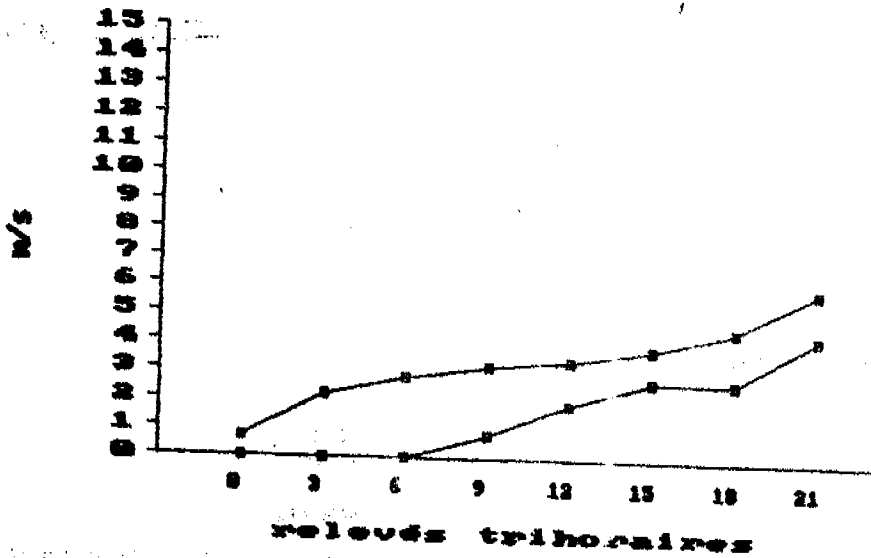
Août



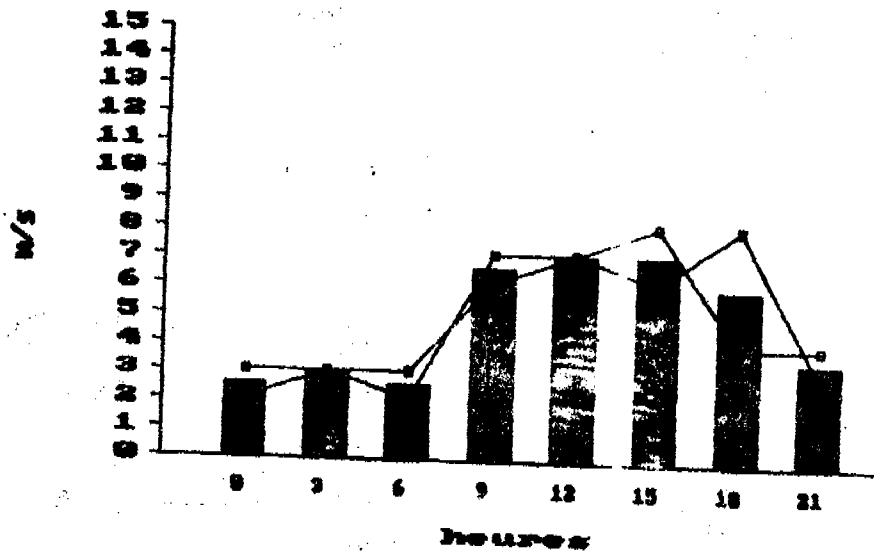
U19 Q 0,9=180 QM=159
 U29 Q 0,5=643 QM=566
 U39 Q 0,1=1952 QM=1872

2.5 - (Suite)

Septembre



U19
 U29
 $Q_{0,9} = 154 \text{ QM} = 140$
 $Q_{0,5} = 537 \text{ QM} = 507$

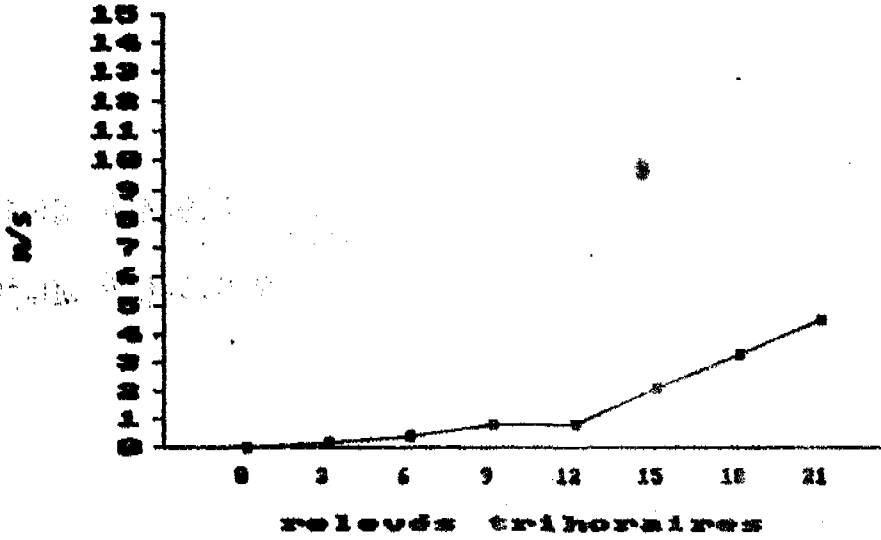


U39
 U30
 U31
 $Q_{0,1} = 1647 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 1545$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 6\%$$

2.5 - (Suite)

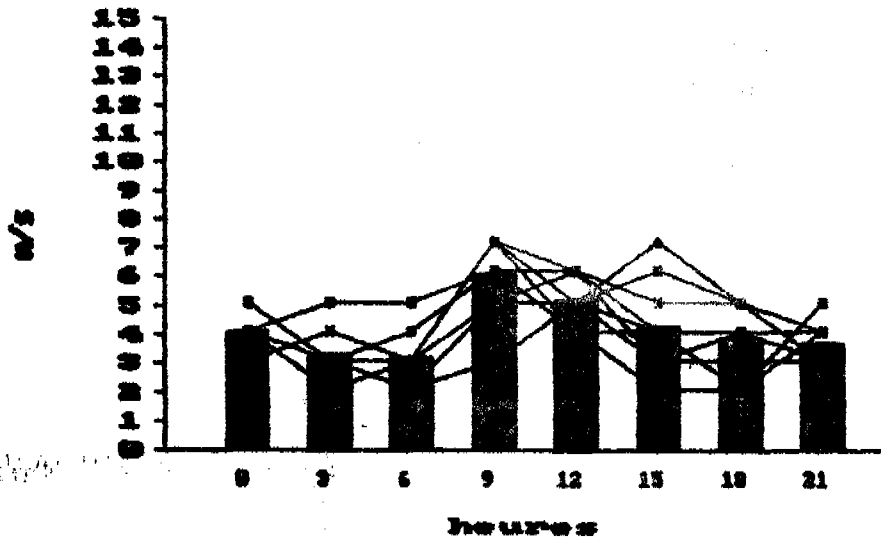
Octobre



$Q = 0,9 = 185 \text{ Wh/m}^2$

$Q_M = 152$

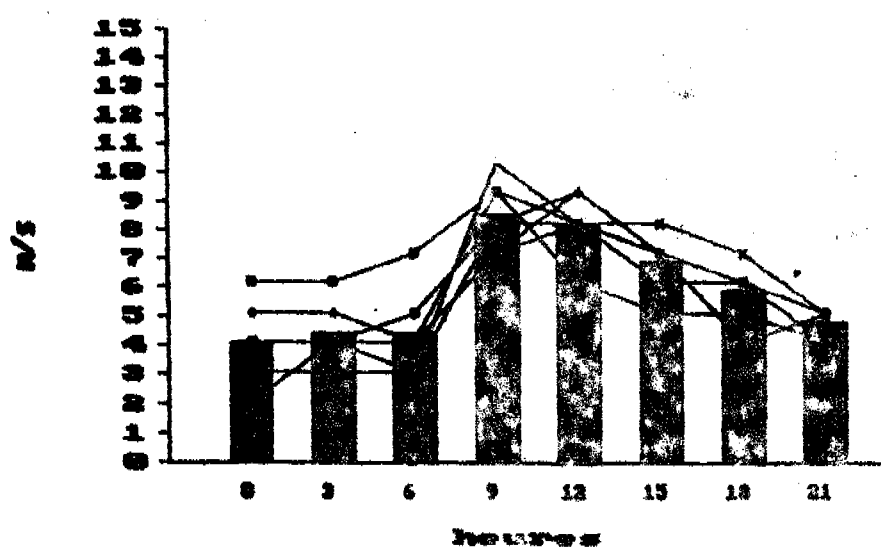
$\frac{\Delta Q}{Q} = 18 \%$



U29
+
U20
+
U21 $Q = 0,5 = 902 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{Moy} = 771$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 15 \%$



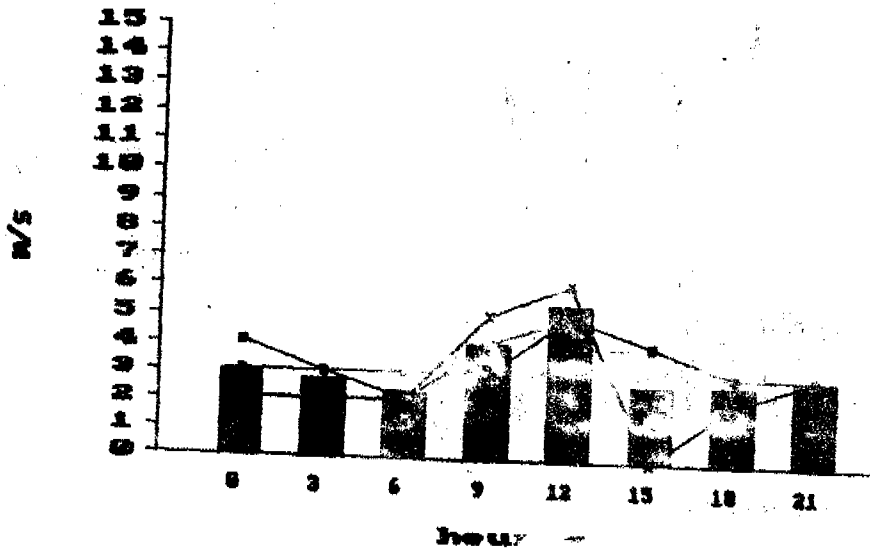
U39
+
U30
+
U31 $Q = 0,1 = 2451 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{Moy} = 2288$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 7 \%$

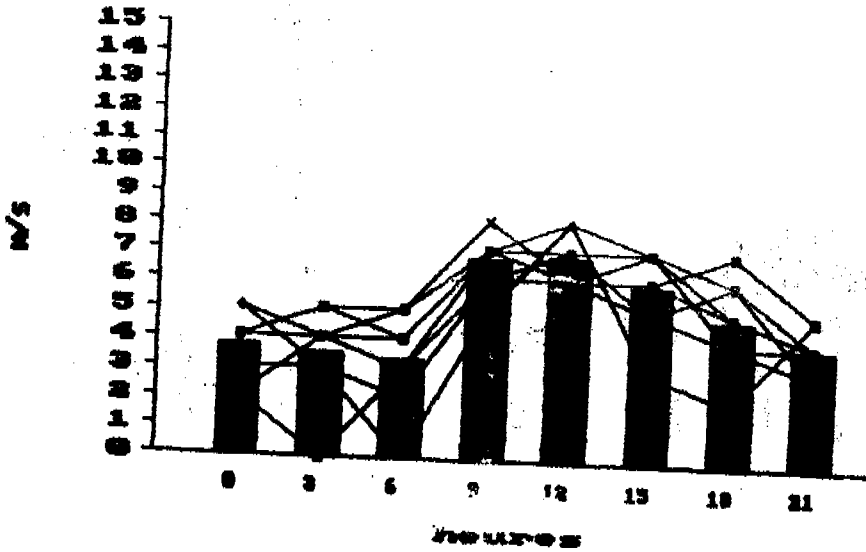
2.5 - (Suite)

Novembre



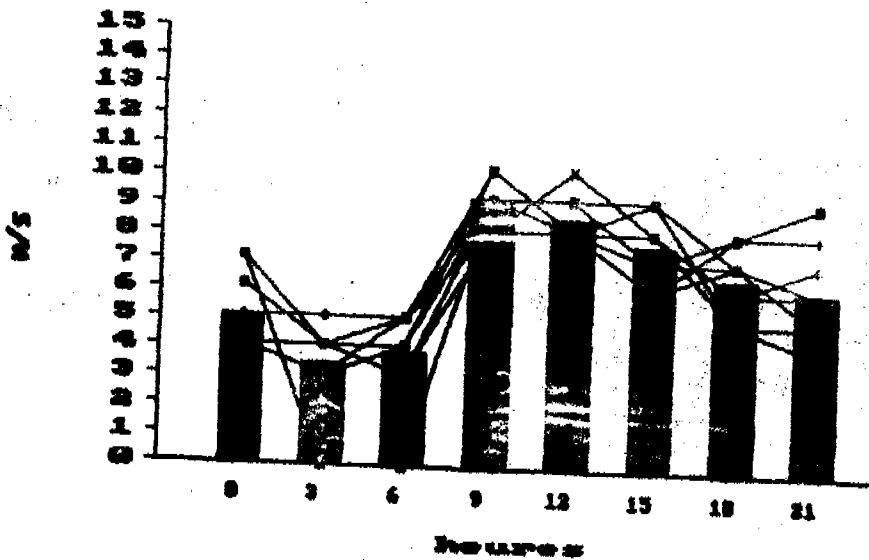
■ U19
 " U20
 ■ U21 Q 0,9=465 Wh/m²
 x Q Moy = 410
 U12

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$$



■ U29
 " U20
 ■ U21 Q 0,5=1537 Wh/m²
 x Q Moy = 1356
 U23
 ■ U24
 ■ U25 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$
 U26
 " U27
 ■ U28

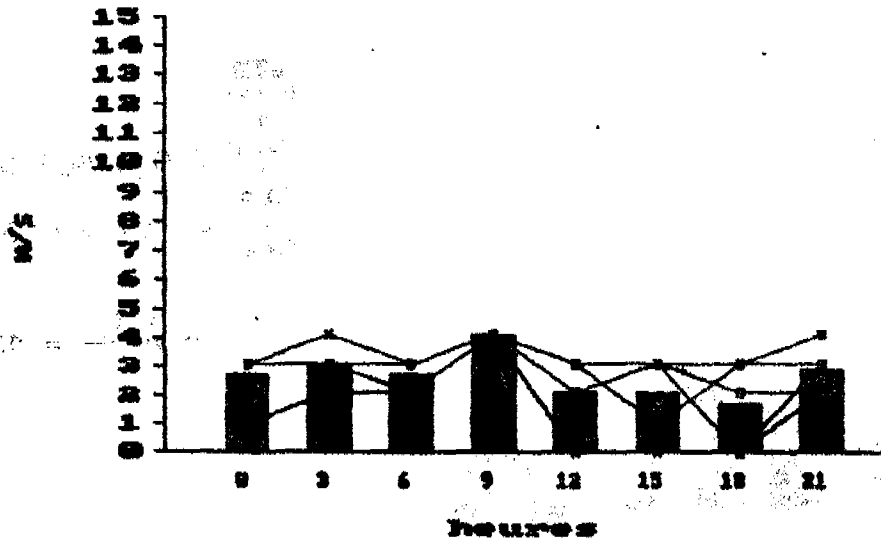
$$\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$$



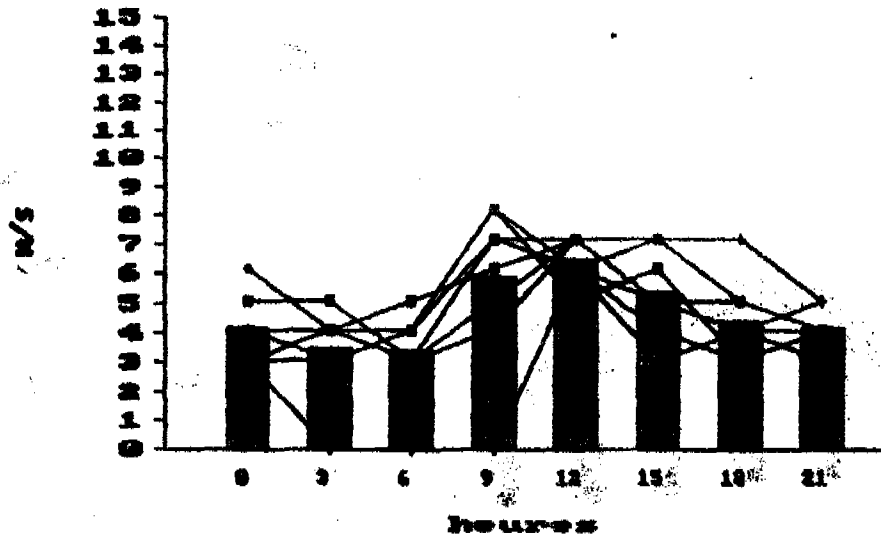
■ U39
 " U30
 ■ U31 Q 0,1=3293 Wh/m²
 x U32
 ■ U33 Q Moy = 3011
 ■ U34
 ■ U35 $\frac{\Delta Q}{Q} = 9\%$
 U36
 " U37
 ■ U38

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 9\%$$

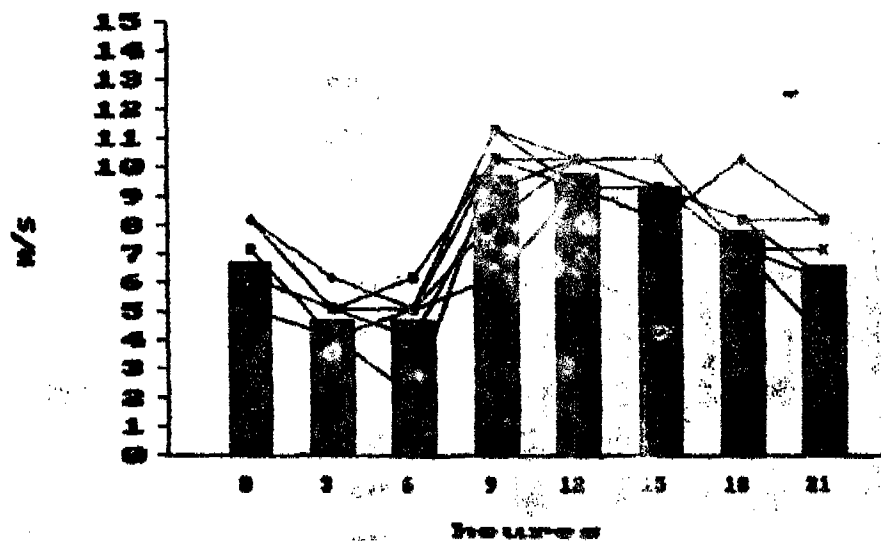
Décembre



U19
 U10
 Q 0,9=252 Wh/m²
 U11
 U12 Q Moy = 205
 U13
 U14 $\frac{\Delta Q}{Q} = 19\%$

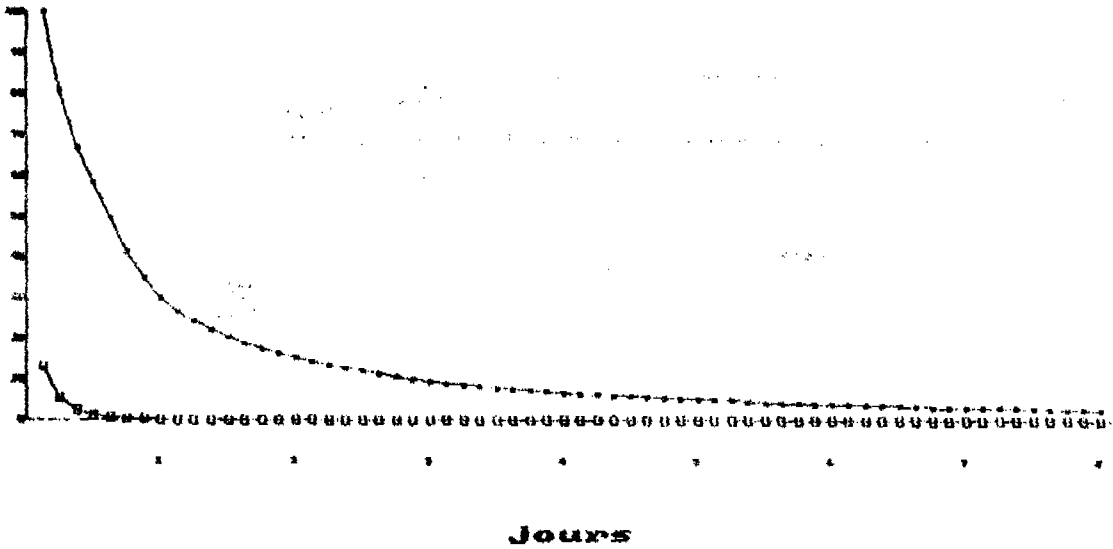


U29
 U20
 U21
 Q 0,5=1310 Wh/m²
 U22
 Q Moy = 1068
 U23
 U24
 U25
 U26 $\frac{\Delta Q}{Q} = 18\%$
 U27
 U28



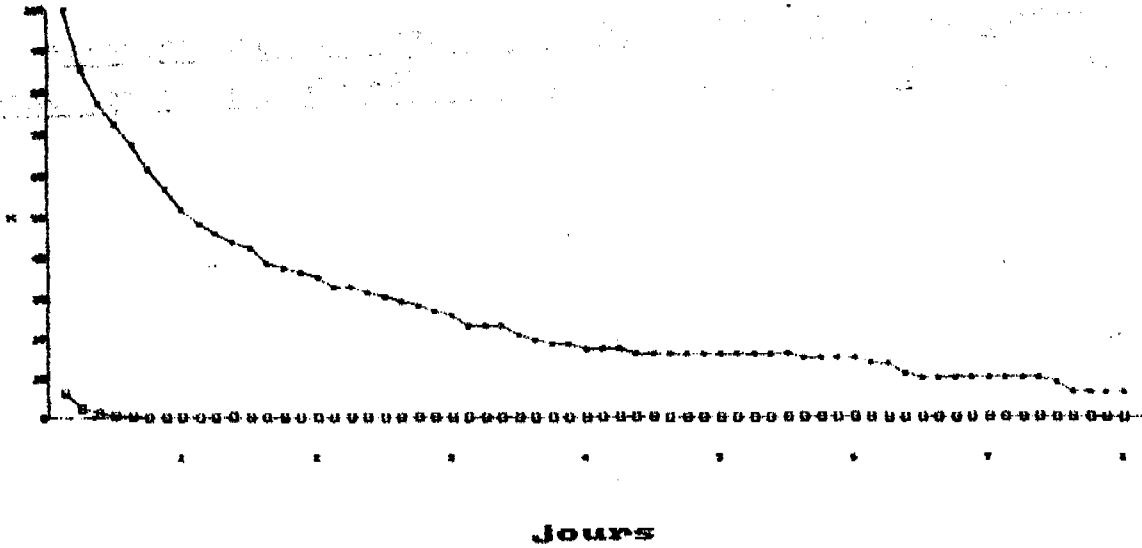
U39
 U38
 U31 Q 0,1=4557 Wh/m²
 U32
 Q Moy = 4346
 U33
 U34
 U35 $\frac{\Delta Q}{Q} = 5\%$
 U36
 U37

2.6 - (Suite) Pourcentage cumulés de fréquences des périodes de calme
et des périodes de vent séparant 2 périodes de calme (annuel)

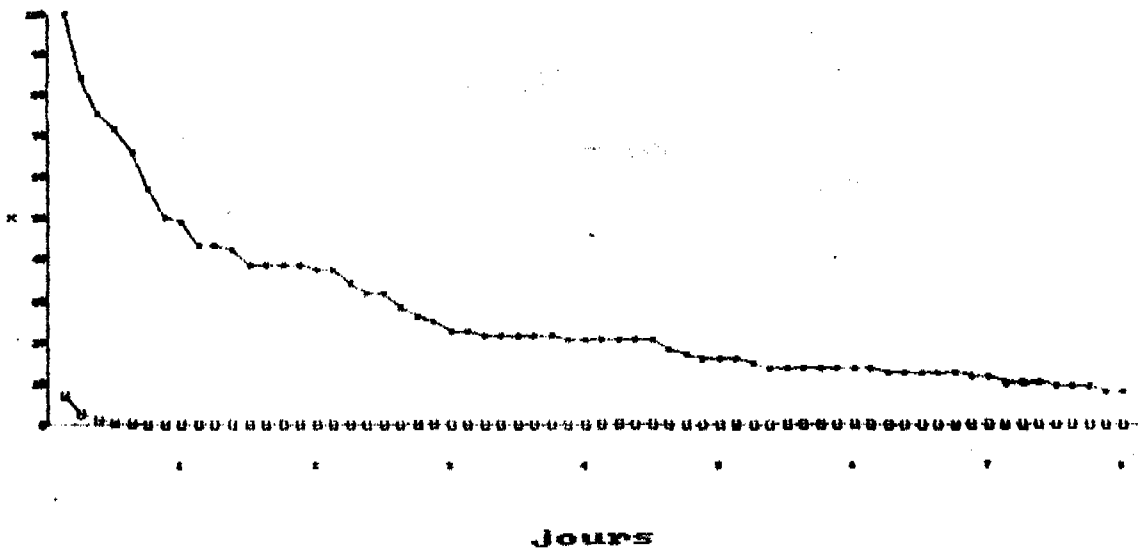


2.6 - (Suite) Périodes d'activités et d'inactivités mensuelle

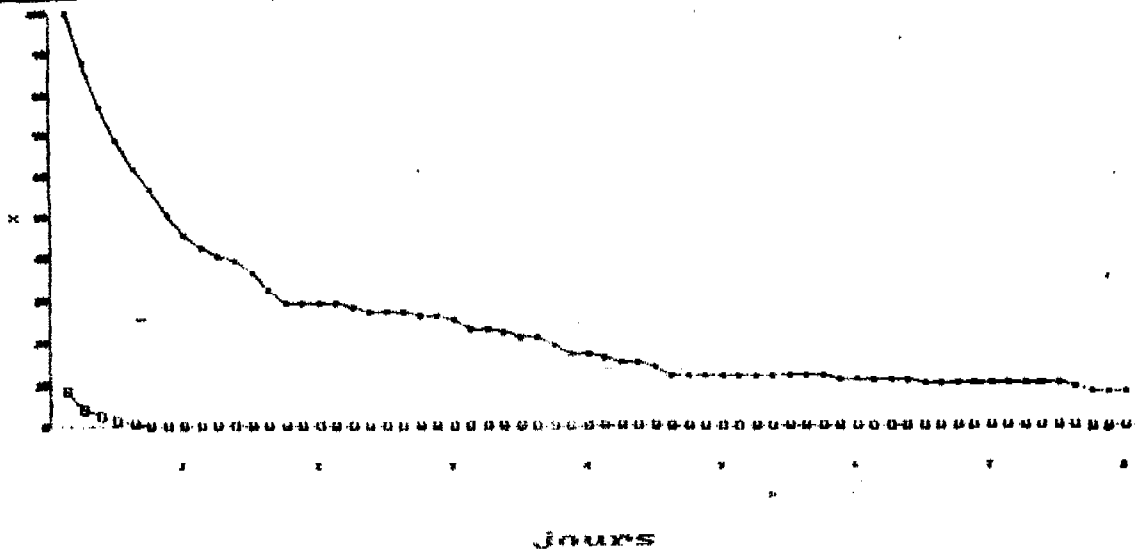
Janvier



Février

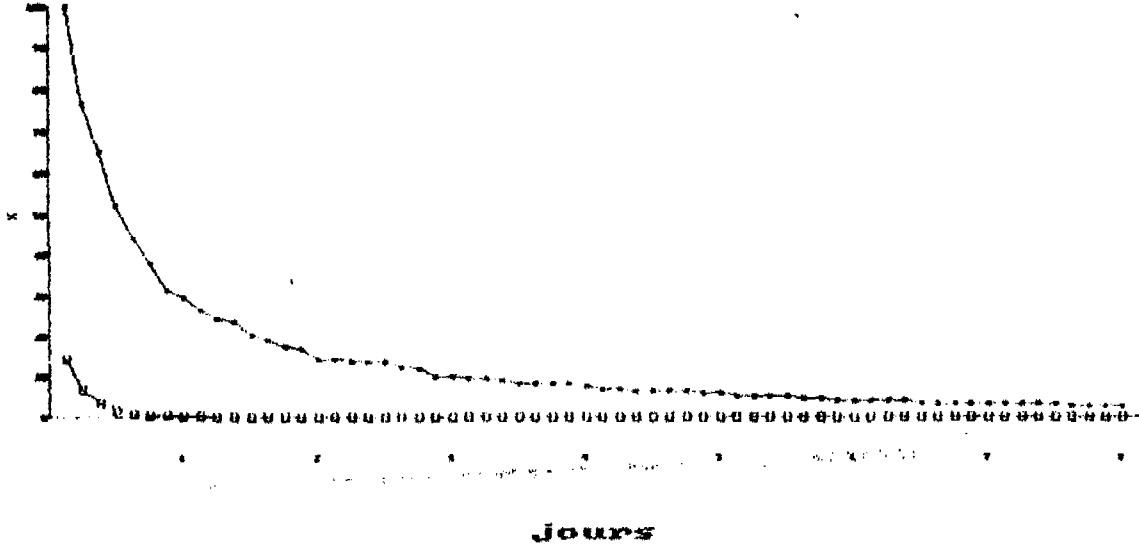


Mars



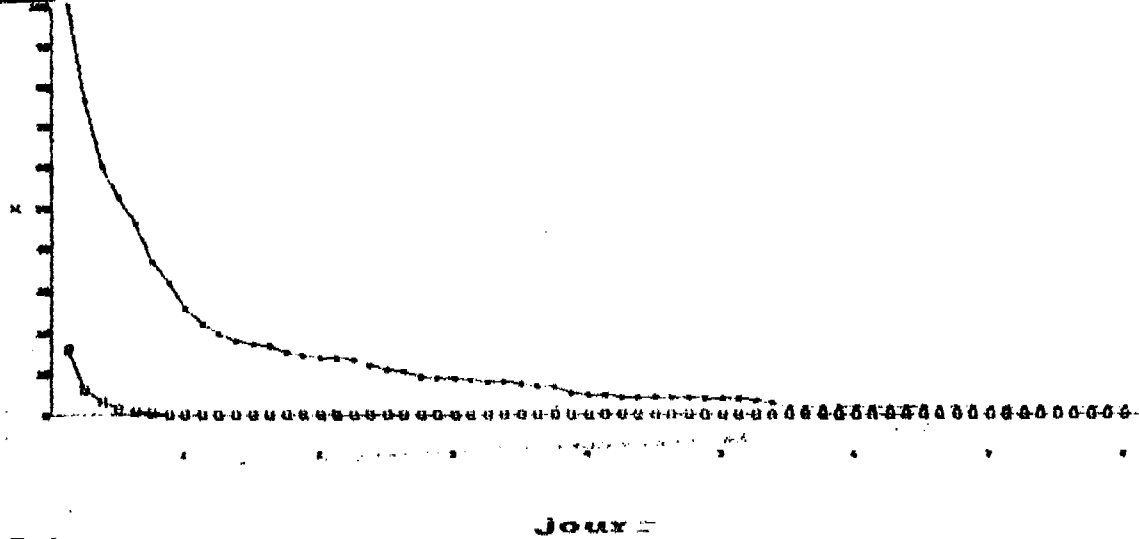
2.6 - (Suite)

Avril



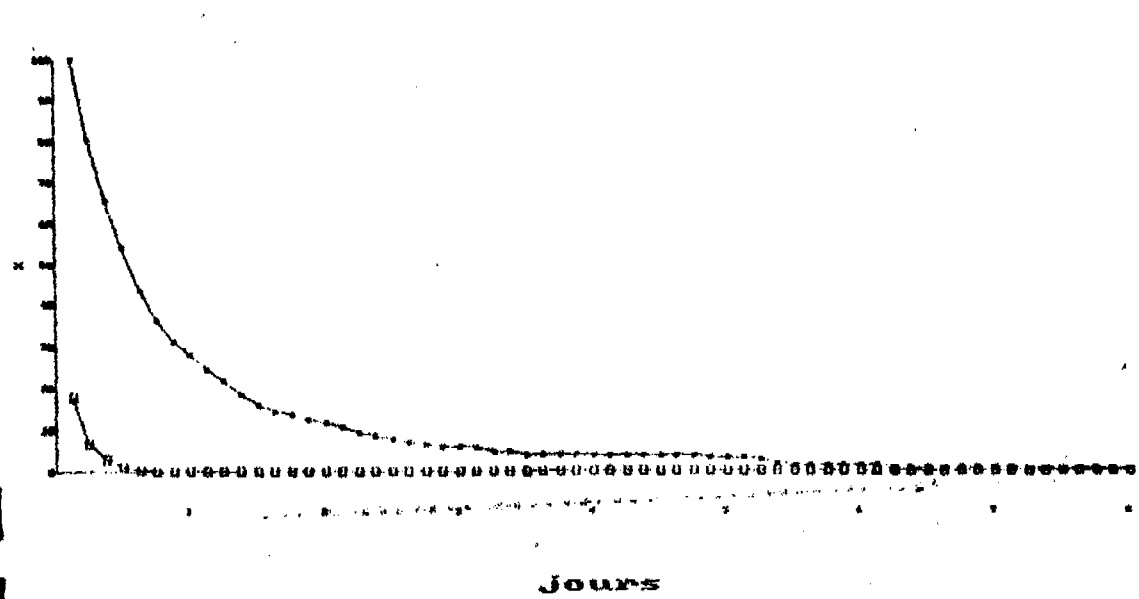
1
2
3

Mai

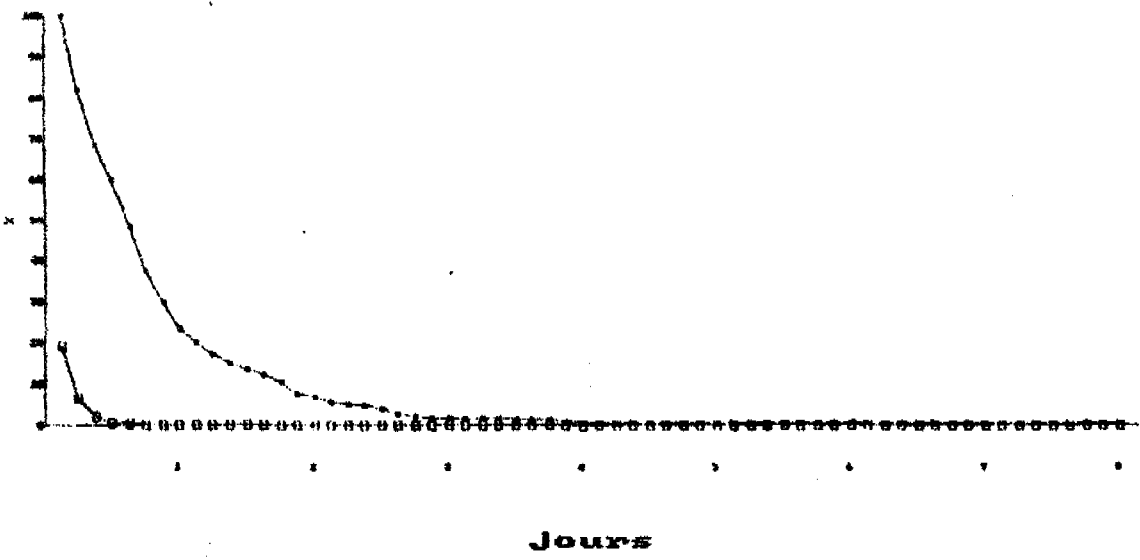


1
2
3

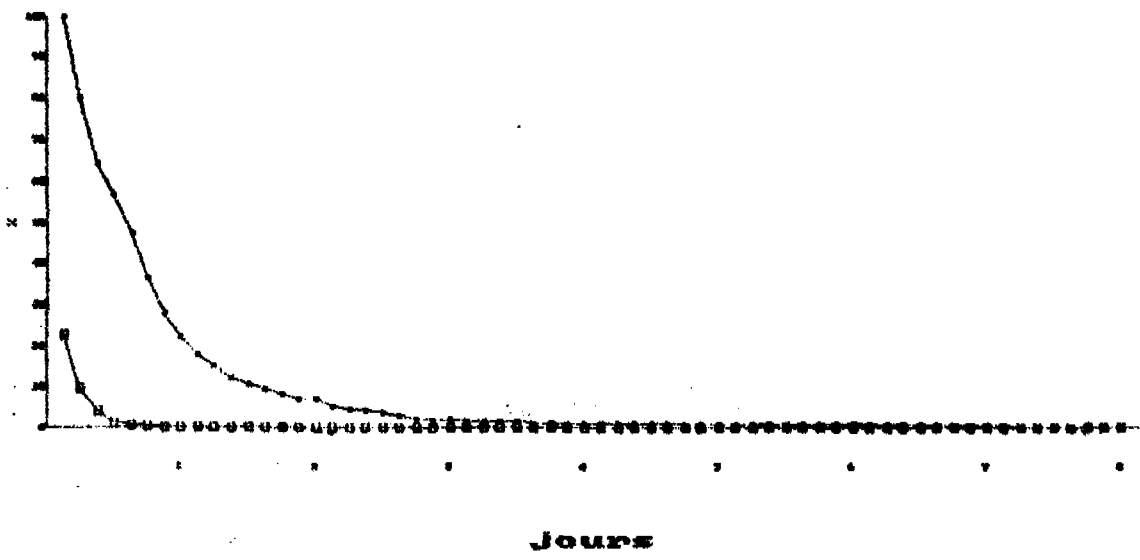
Juin



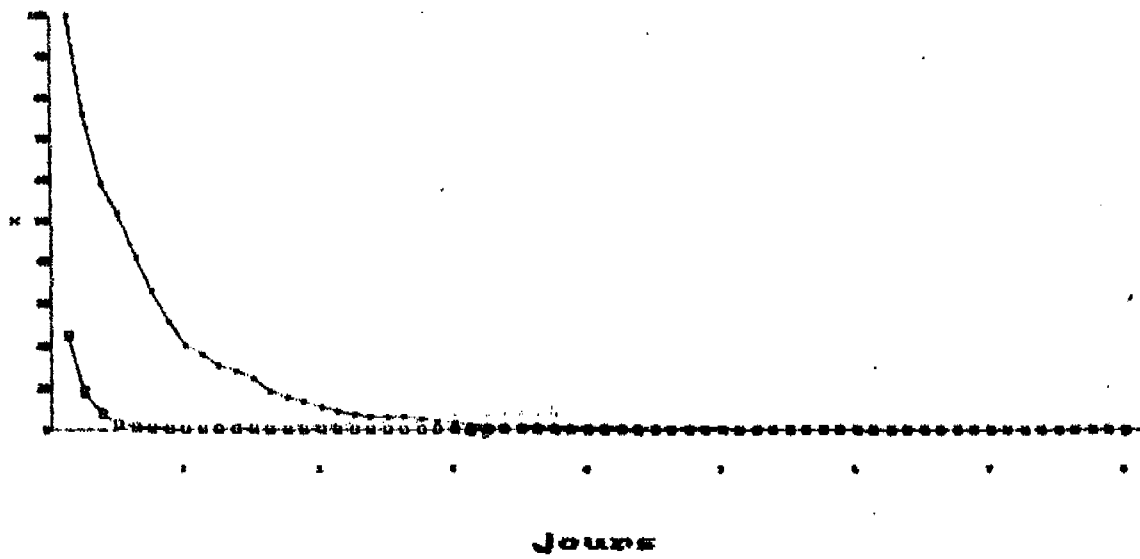
Juillet



Août



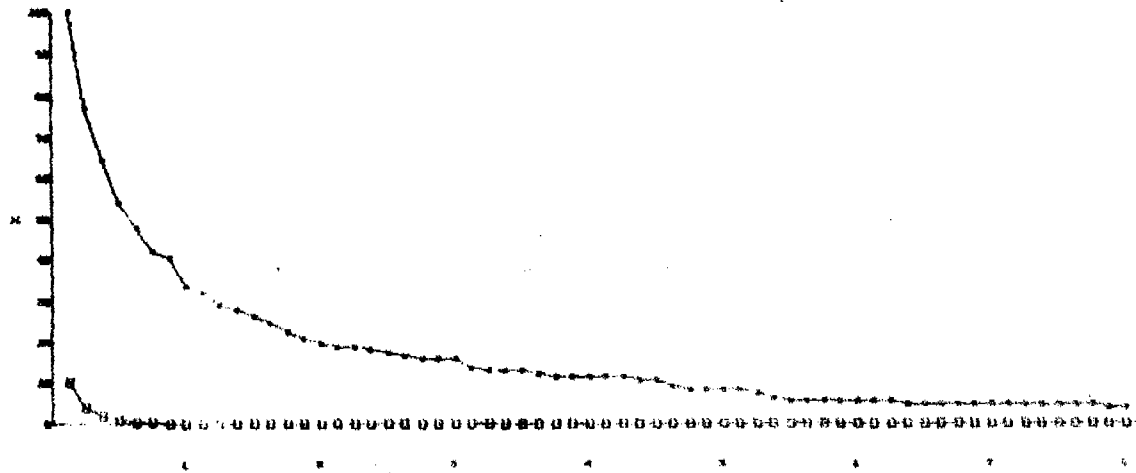
Septembre



2.6 - (Suite)

•
CALCUL
•
VARIABLE

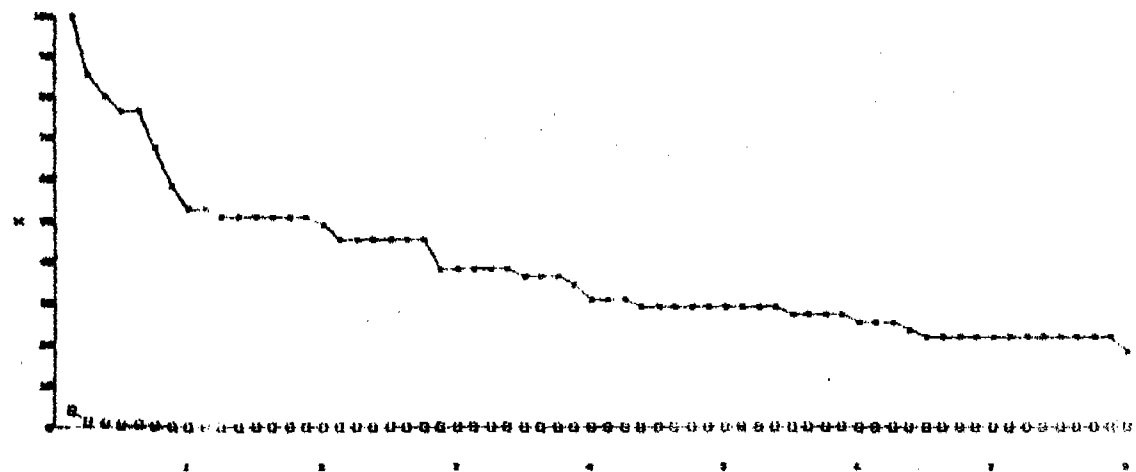
Octobre



Jours

•
CALCUL
•
VARIABLE

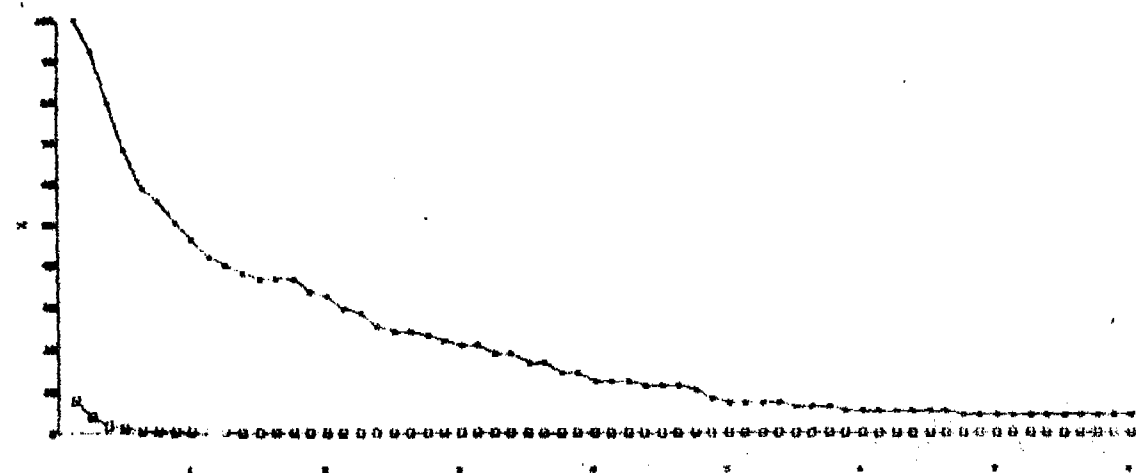
Novembre



Jours

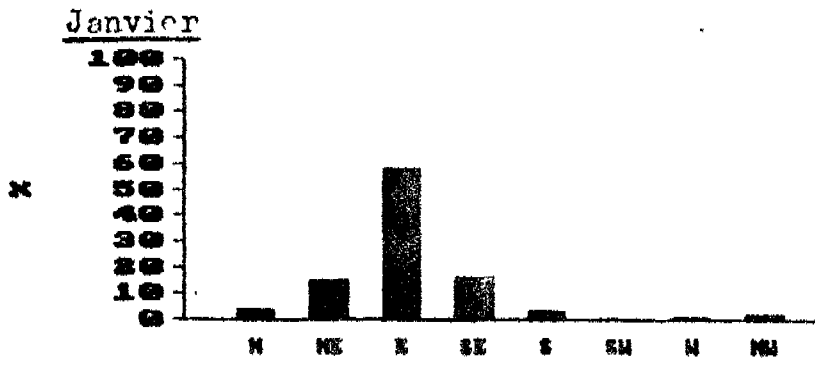
•
CALCUL
•
VARIABLE

Décembre

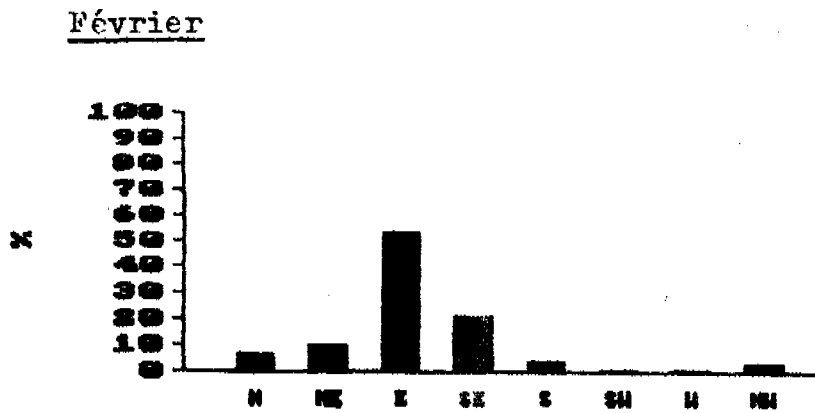


Jours

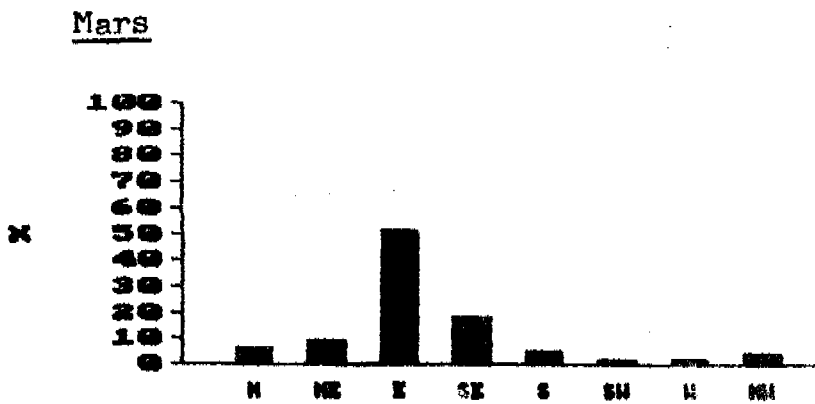
2.7 - (Suite) Directions du vent



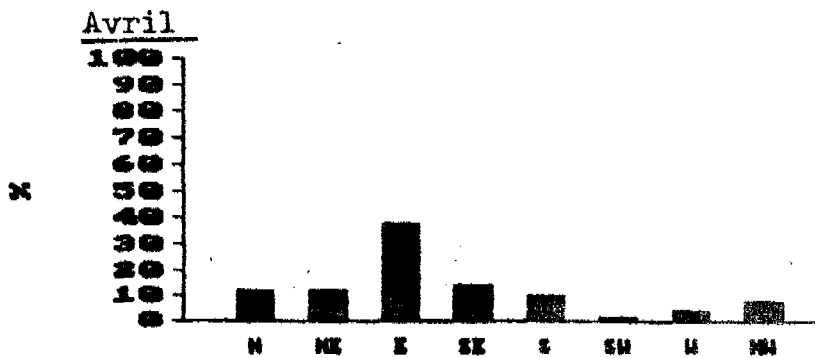
EDIR1



EDIR2



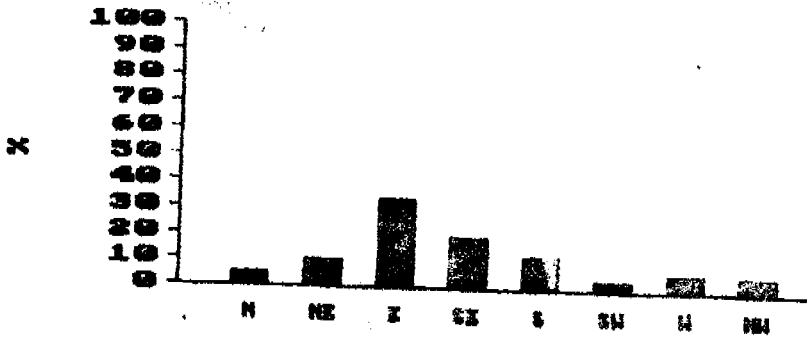
EDIR3



EDIR4

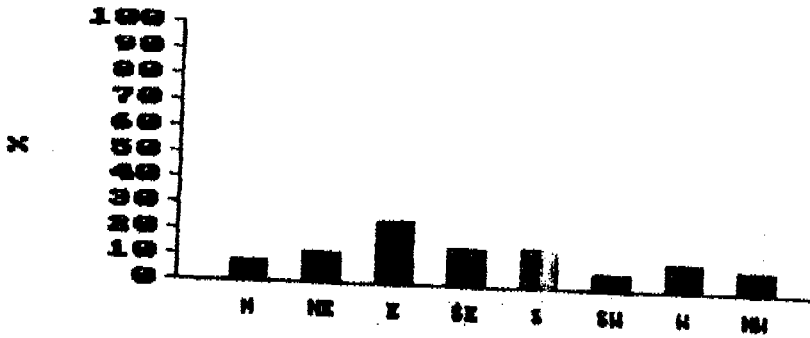
2.7 - (Suite)

Mai



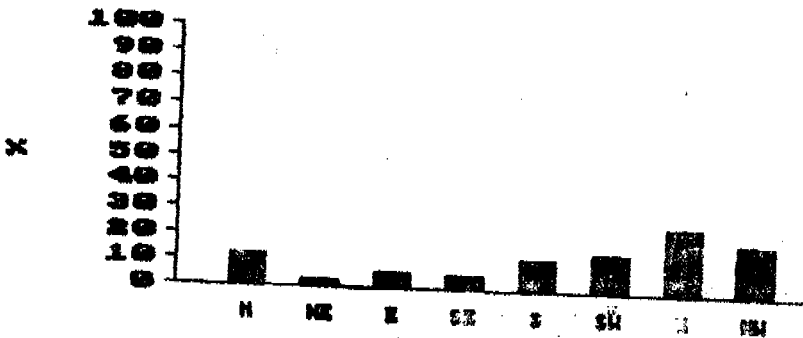
EDIR5

Juin



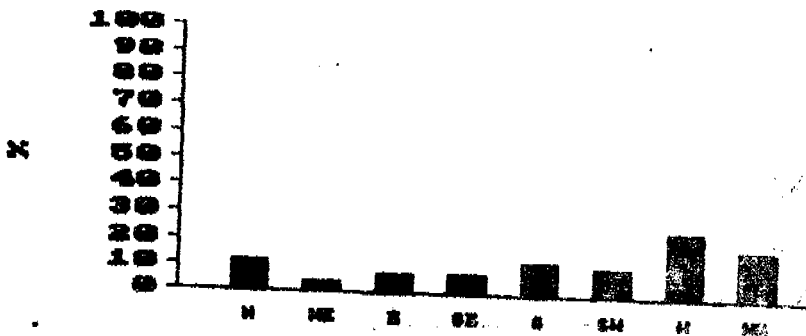
EDIR6

Juillet



EDIR7

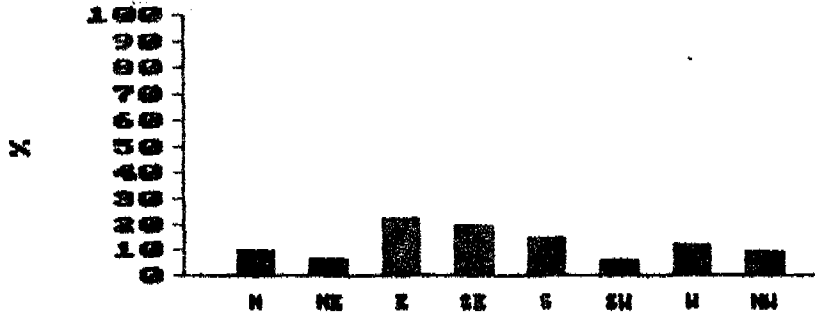
Août



EDIR8

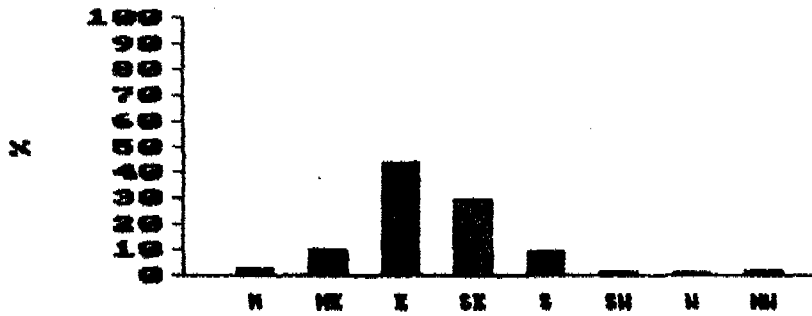
2.7 - (Suite)

Septembre



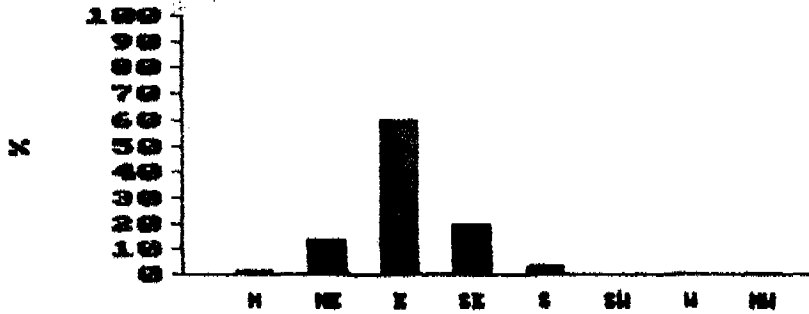
EDIR9

Octobre



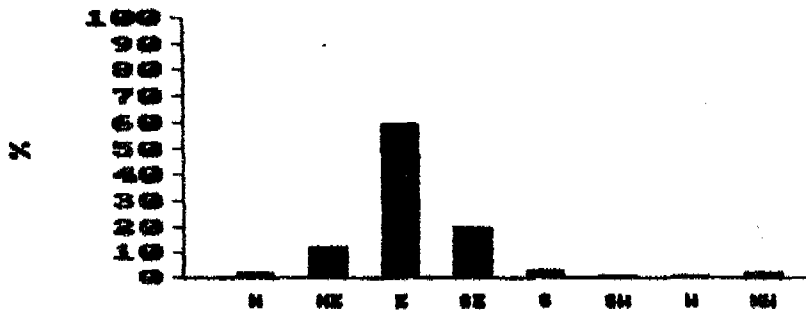
EDIR10

Novembre



EDIR11

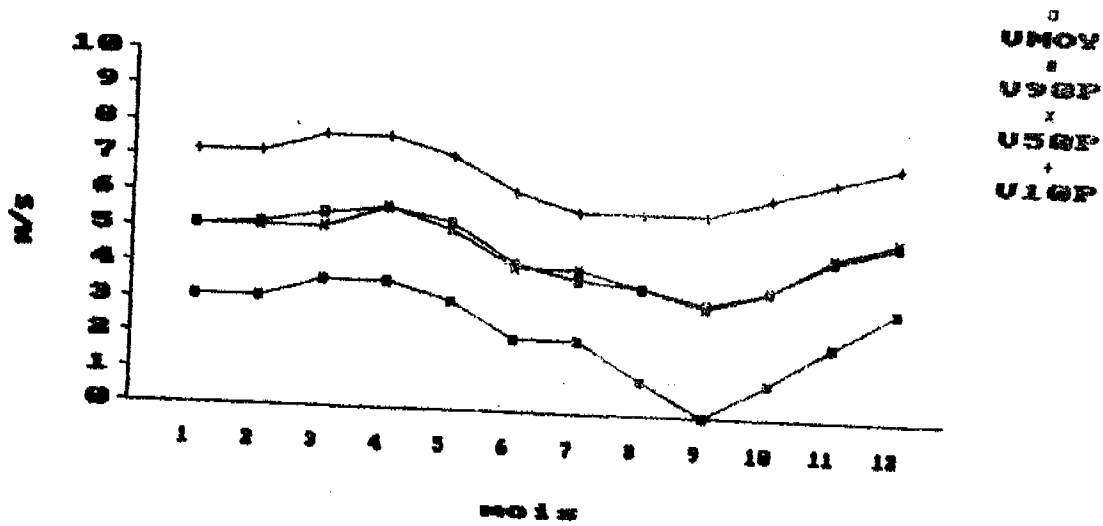
Décembre



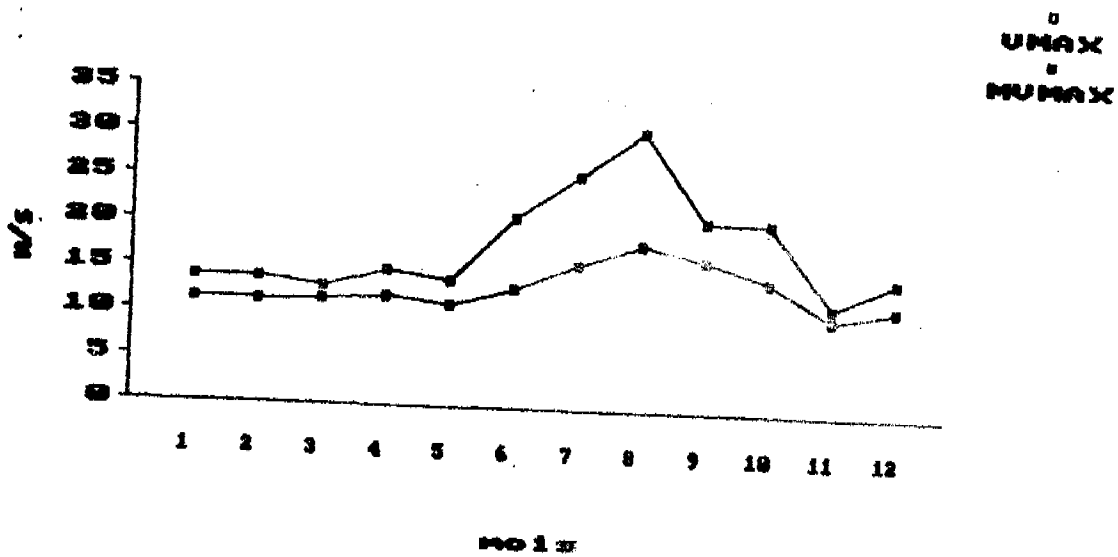
EDIR12

3 - DAKAR années 67 à 78

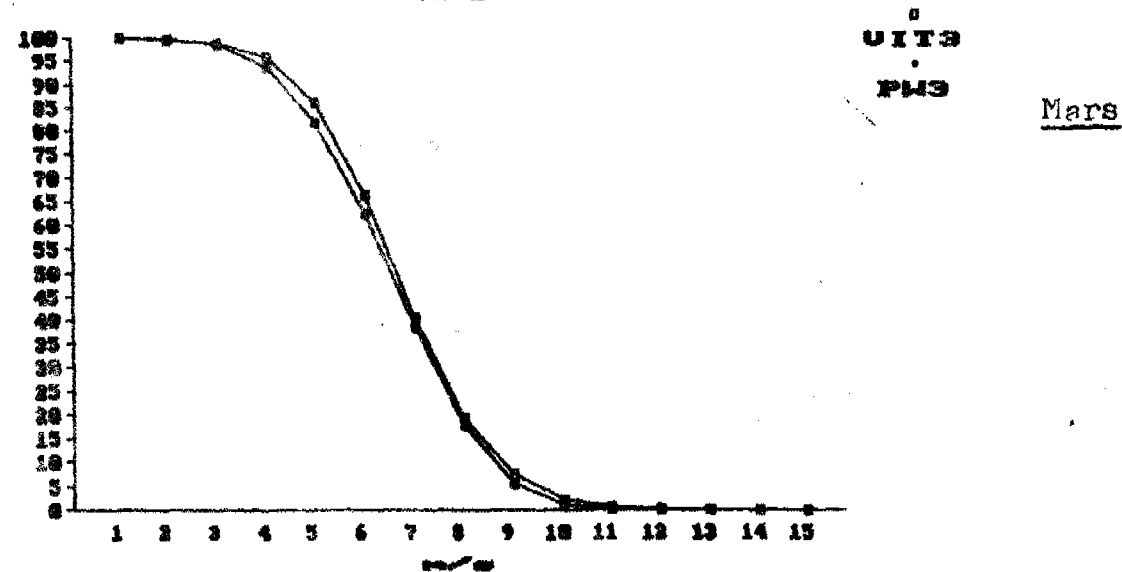
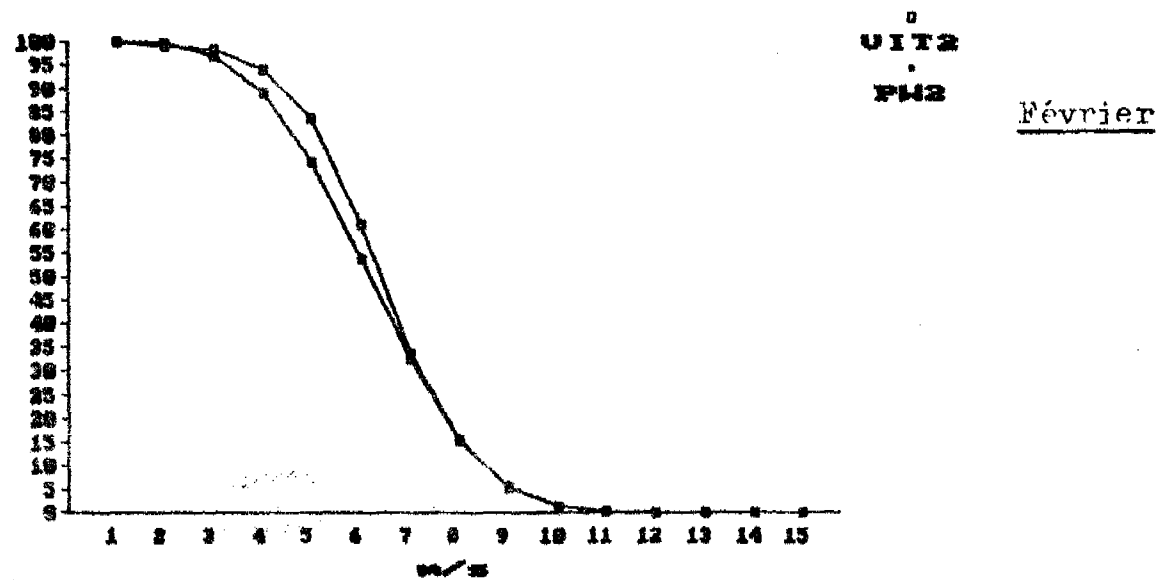
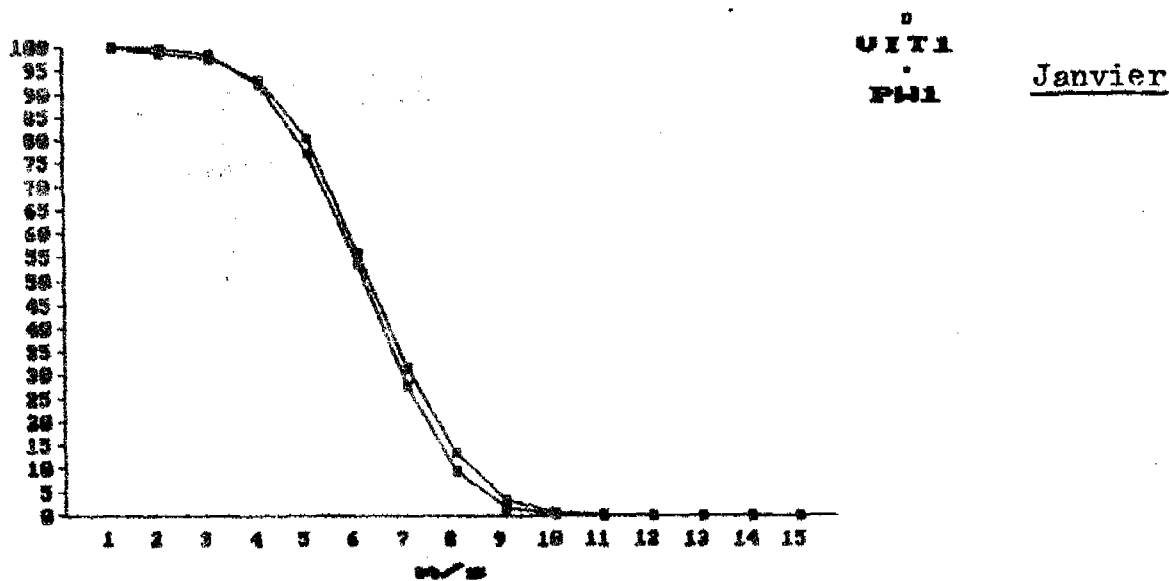
IV. 3.1 - Vitesses moyennes et quantiles 0,9 ; 0,5 et 0,1



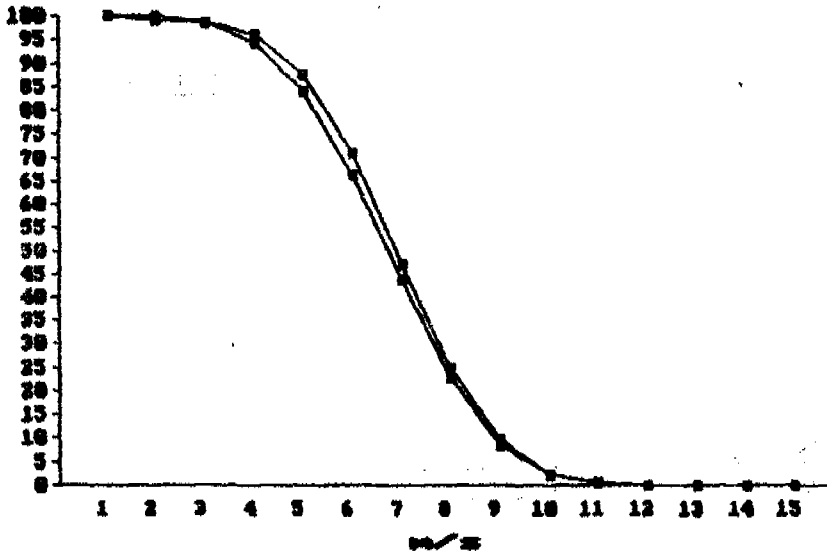
IV. 3.2 - Vitesses maximum



3.3 - Fréquences cumulées des vitesses classées et loi de Weibull (mensuel)

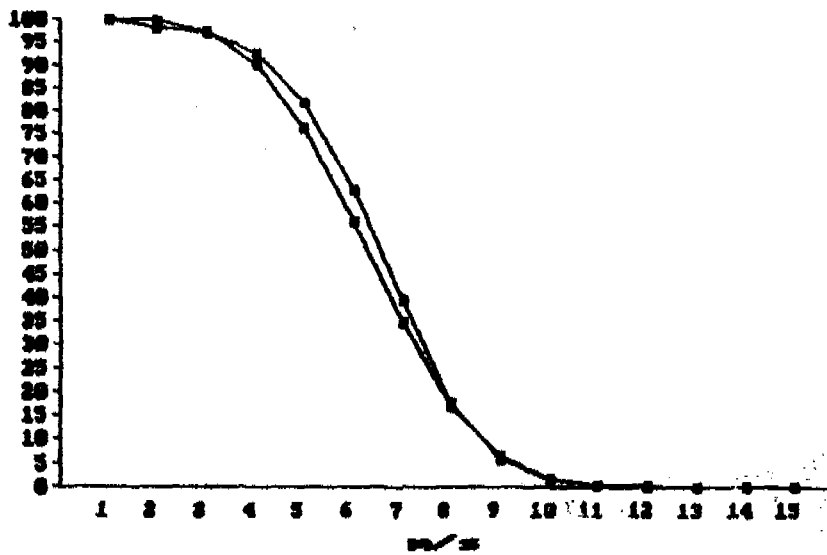


3.3 - (Suite)



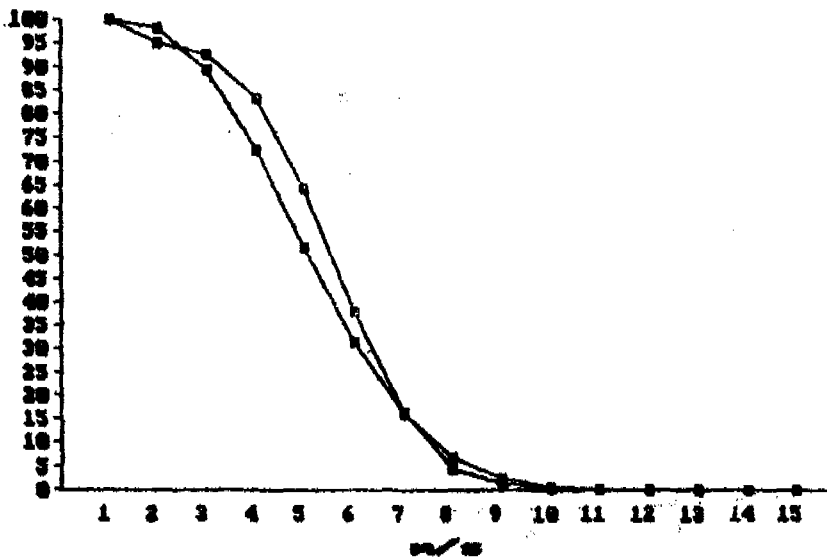
UITS
P14

Avril



UITS
P15

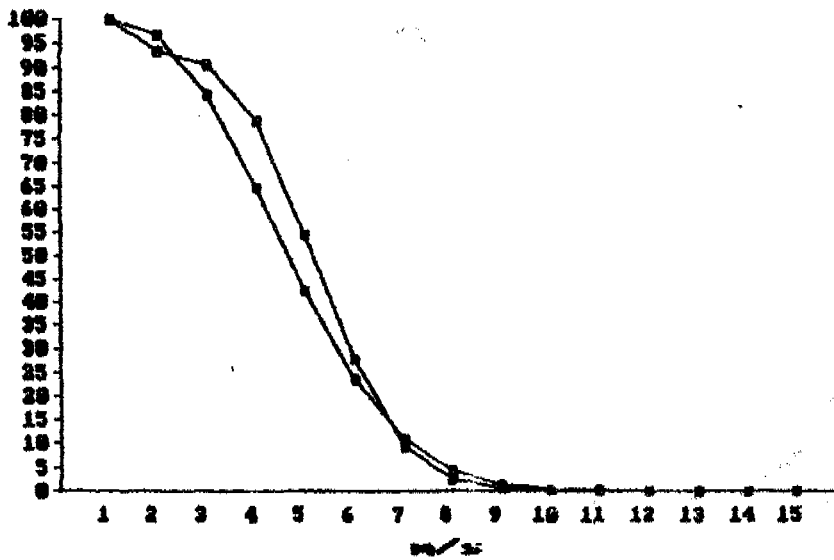
Mai



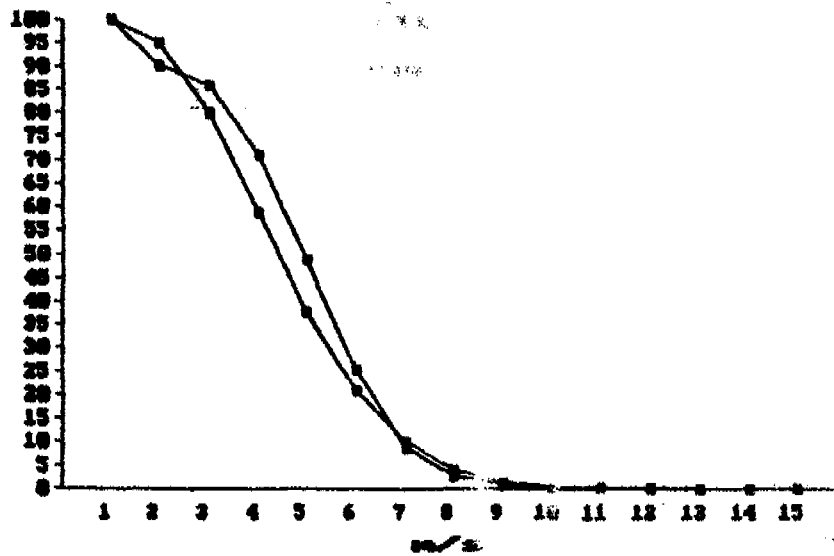
UITS
P16

Juin

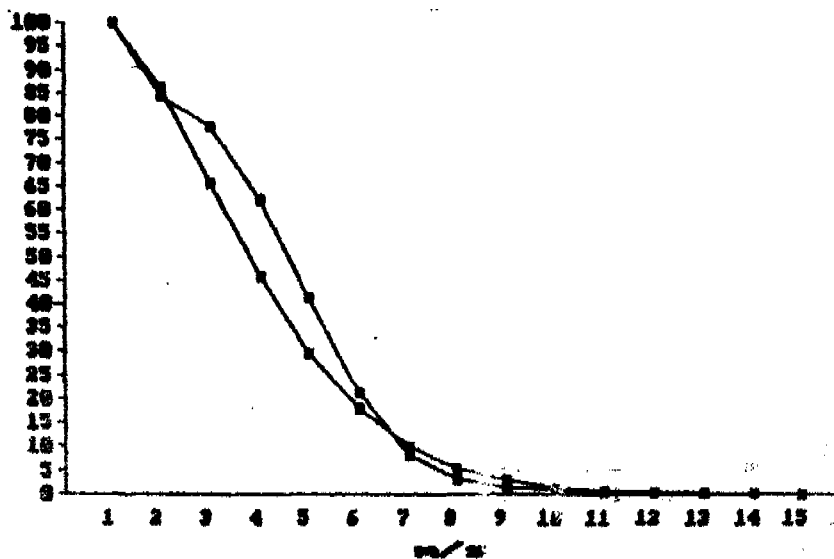
3.3 - (Suite)



UIT7
P47
Juillet

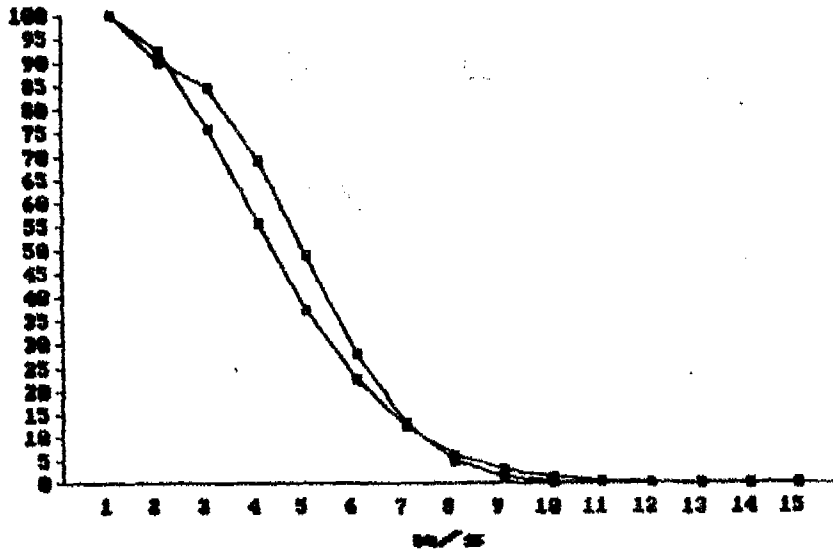


UIT8
P48
Août



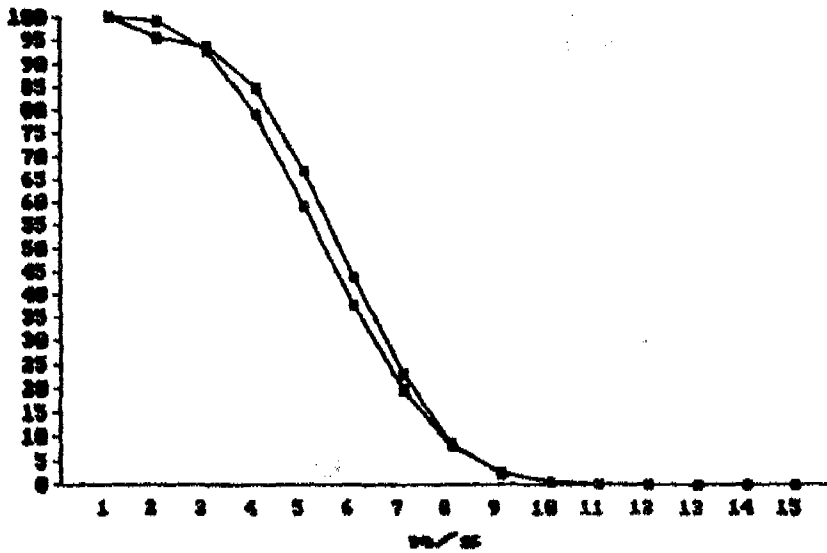
UIT9
P49
Septembre

3.3 - (Suite)



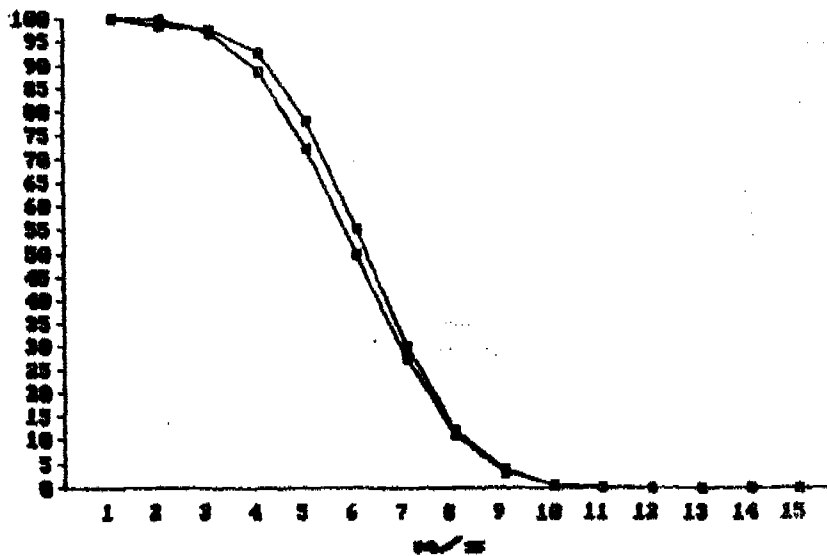
0
VIT10
FALL

Octobre



0
VIT11
FALL

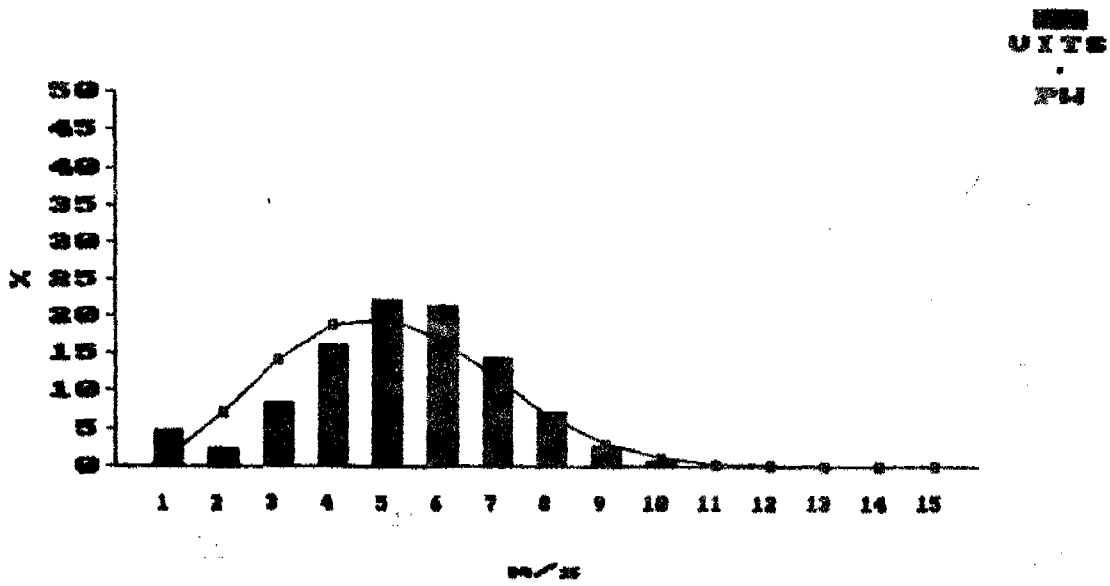
Novembre



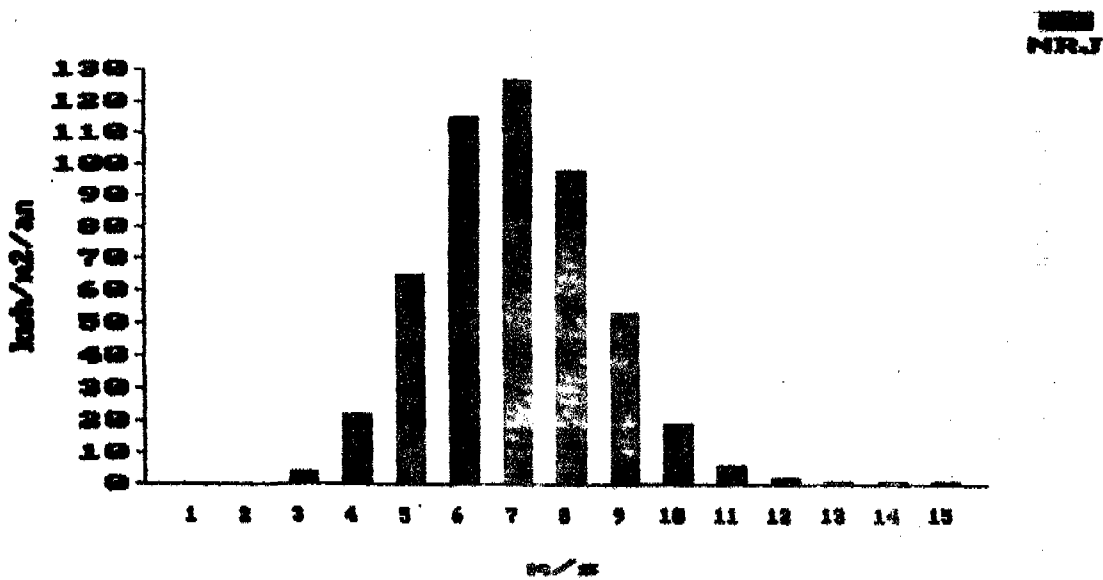
0
VIT12
FALL

Décembre

3.4 - Fréquences annuelles des vents et loi de Weibull

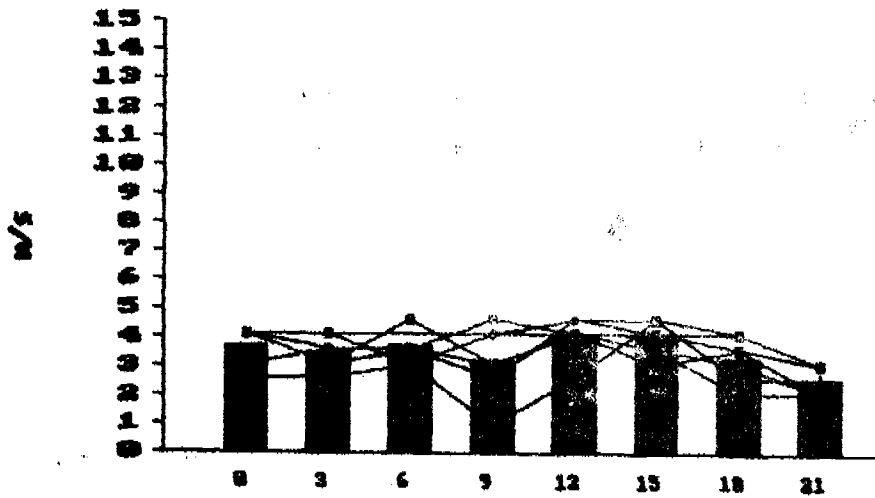


Energie récupérable de Betz

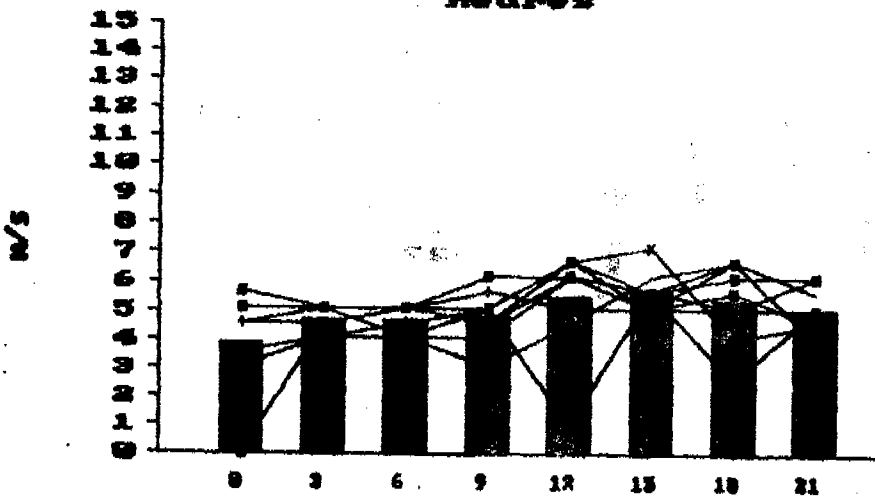


3.5 - Profil des journées d'énergie se rapprochant des quantiles observés 0,9 0,5 et 0,1 des énergies journalières.

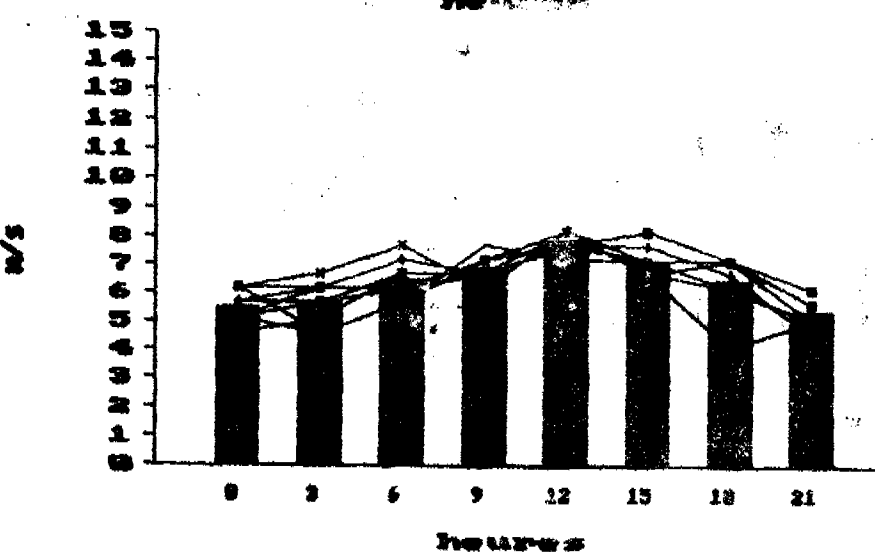
Janvier



■ U19 Q 0,9 = 436 Wh/m²
 ◊ U10
 - U11
 x QMoy = 398
 + U12
 . U13 $\frac{\Delta Q}{Q} = 9\%$
 ◊ U14
 . U15
 ■ U16



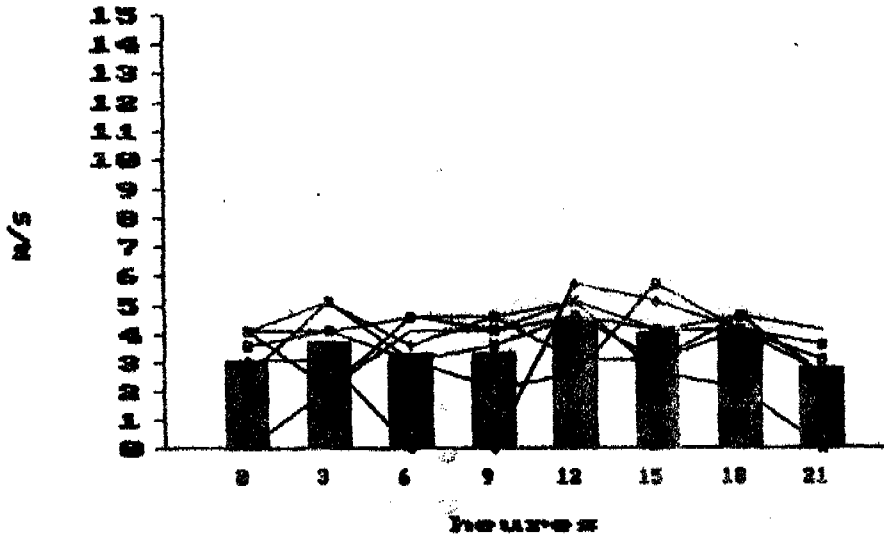
■ U29
 ◊ U20
 - U21 Q 0,5 = 1320 Wh/m²
 x QMoy = 1137
 + U22
 . U23
 ◊ U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 14\%$
 . U25
 ■ U26
 ◊ U27
 - U28



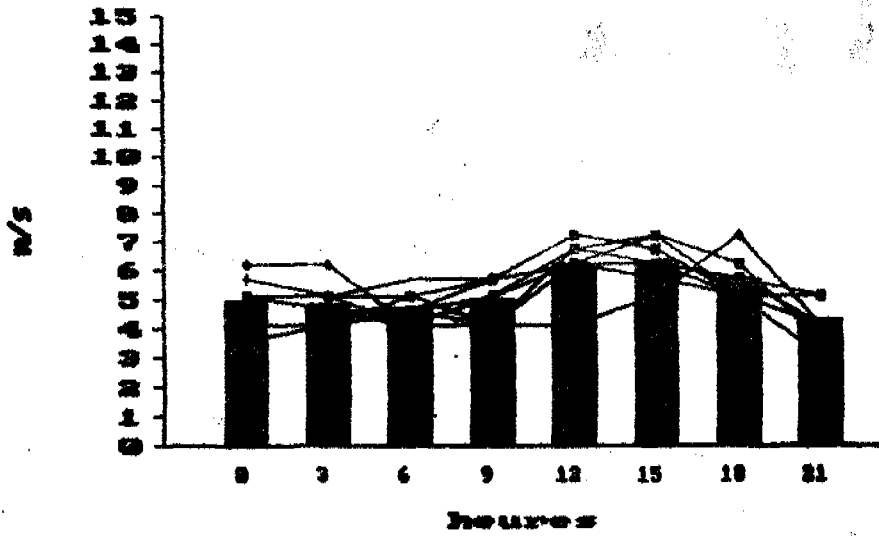
■ U39
 ◊ U30
 - U31 Q 0,1 = 2614 Wh/m²
 x QMoy = 2498
 + U32
 . U33
 ◊ U34 $\frac{\Delta Q}{Q} = 4\%$
 . U35
 ■ U36
 ◊ U37
 - U38

3.5 - (Suite)

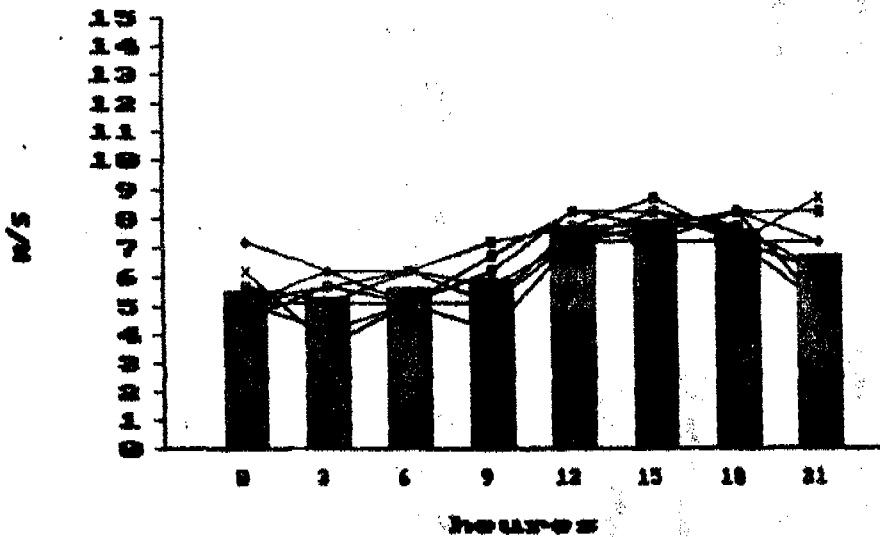
Février



U19
 +
 U10 $Q_{0,9} = 546 \text{ Wh/m}^2$
 +
 U11
 +
 U12
 +
 U13 $Q_{\text{Moy}} = 425$
 +
 U14
 +
 U15 $\frac{\Delta Q}{Q} = 22\%$
 U16



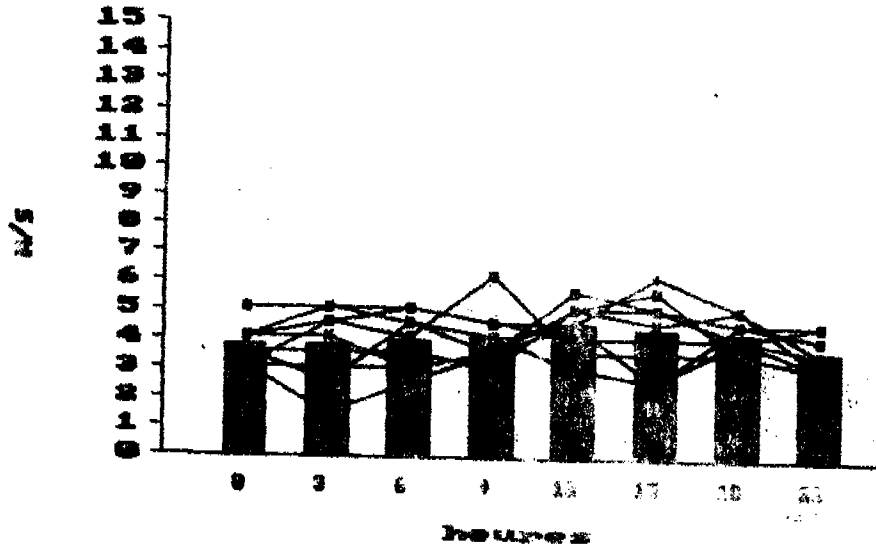
U29
 +
 U28 $Q_{0,5} = 1446 \text{ Wh/m}^2$
 +
 U21
 +
 U22 $Q_{\text{Moy}} = 1328$
 +
 U23
 +
 U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 8\%$
 +
 U25
 +
 U26
 +
 U27
 +
 U28



U39
 +
 U38 $Q_{0,1} = 2806 \text{ Wh/m}^2$
 +
 U31
 +
 U32
 +
 U33 $Q_{\text{Moy}} = 2644$
 +
 U34
 +
 U35 $\frac{\Delta Q}{Q} = 6\%$
 +
 U36
 +
 U37
 +
 U38

3.5 - (Suite)

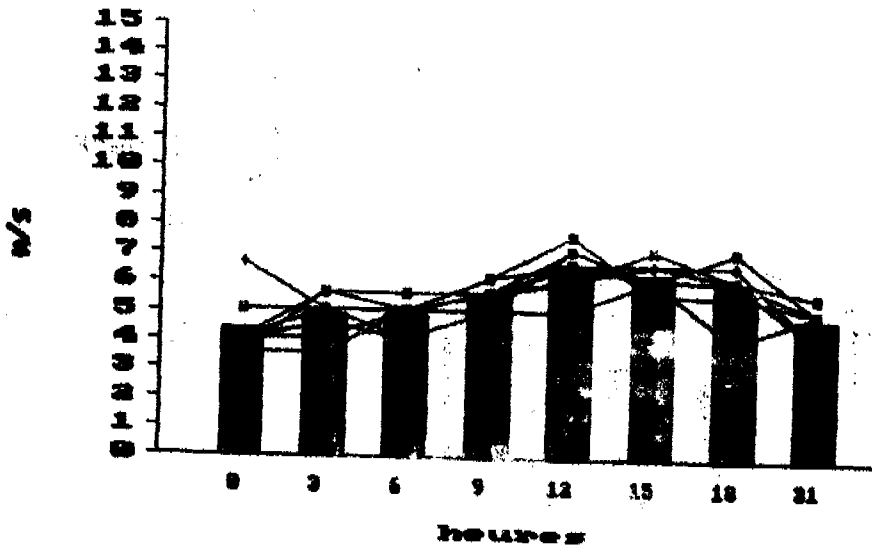
Mars



U19
 U20
 U21
 U22
 U23
 U24
 U25
 U26
 U27
 U28

$Q_{0,9} = 688 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 612$

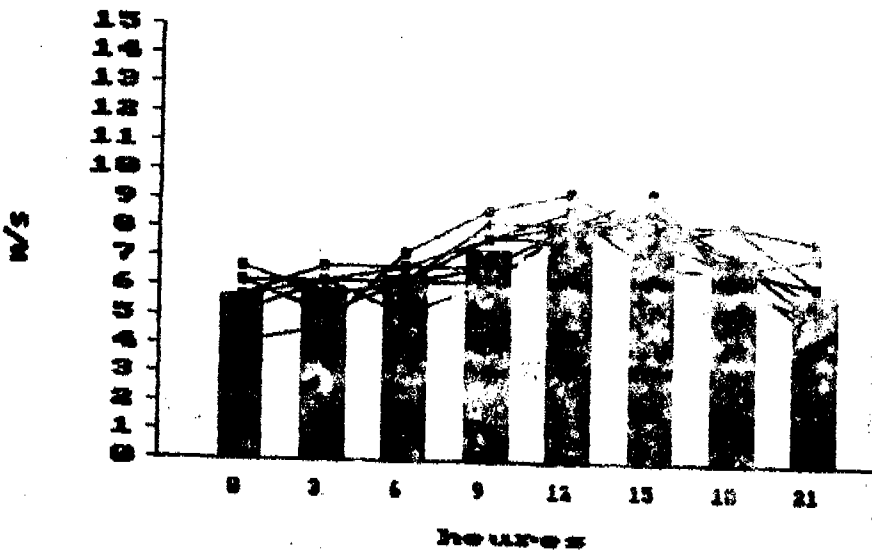
$\frac{\Delta Q}{Q} = 11 \%$



U29
 U30
 U31
 U32
 U33
 U34
 U35
 U36
 U37
 U38

$Q_{0,5} = 1648 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 1557$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 6 \%$



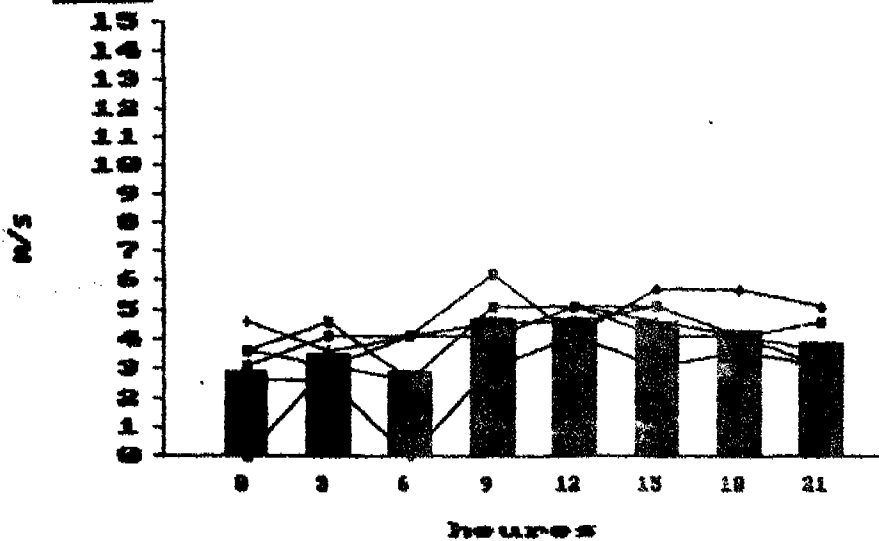
U39
 U40
 U41
 U42
 U43
 U44
 U45
 U46
 U47
 U48

$Q_{0,1} = 3171 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 3021$

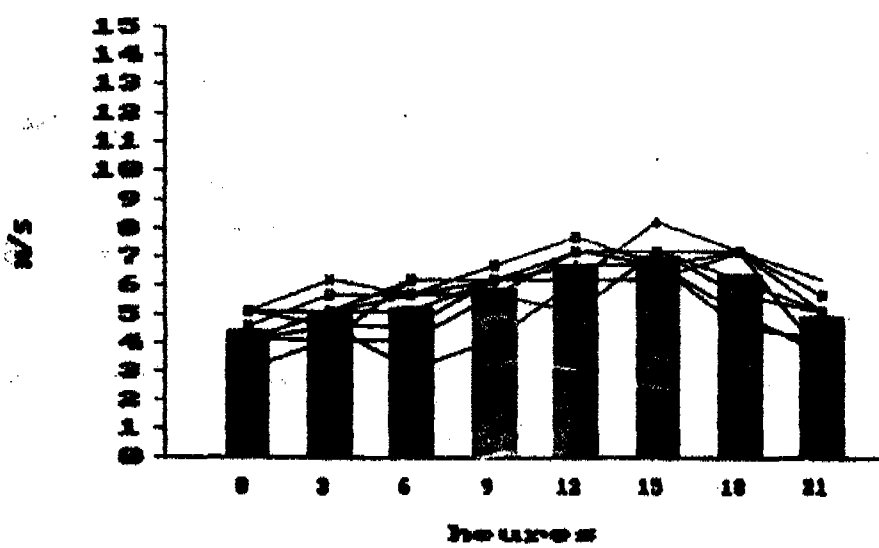
$\frac{\Delta Q}{Q} = 5 \%$

3.5 - (Suite)

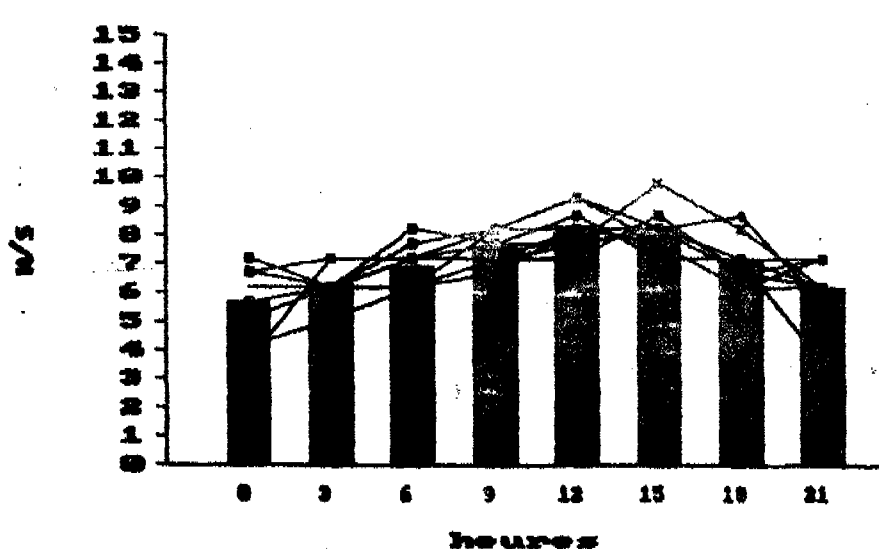
Avril



U19 Q 0,9=675 Wh/m²
 U10
 U11 Q Moy = 592
 U12
 U13 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12\%$
 U14
 U15



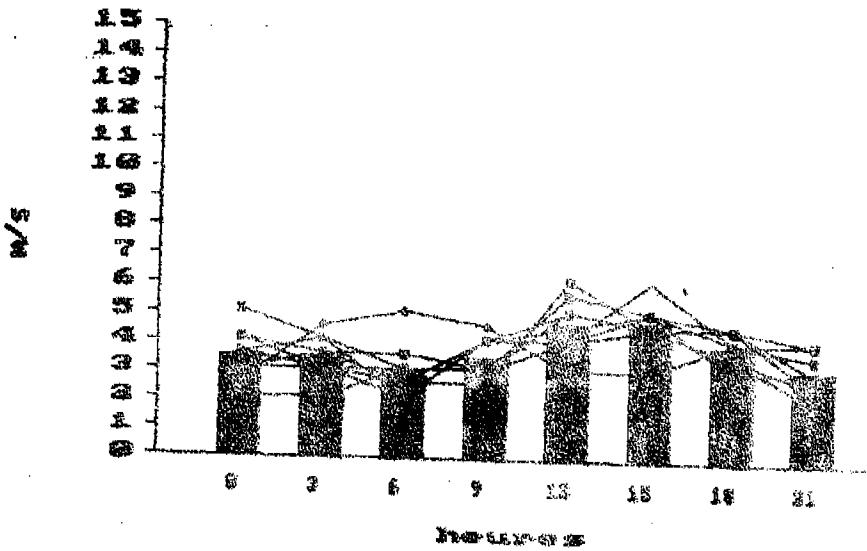
U29
 U20
 U21 Q 0,5=1885 Wh/m²
 U22
 U23 Q Moy = 1759
 U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 7\%$
 U25
 U26
 U27
 U28



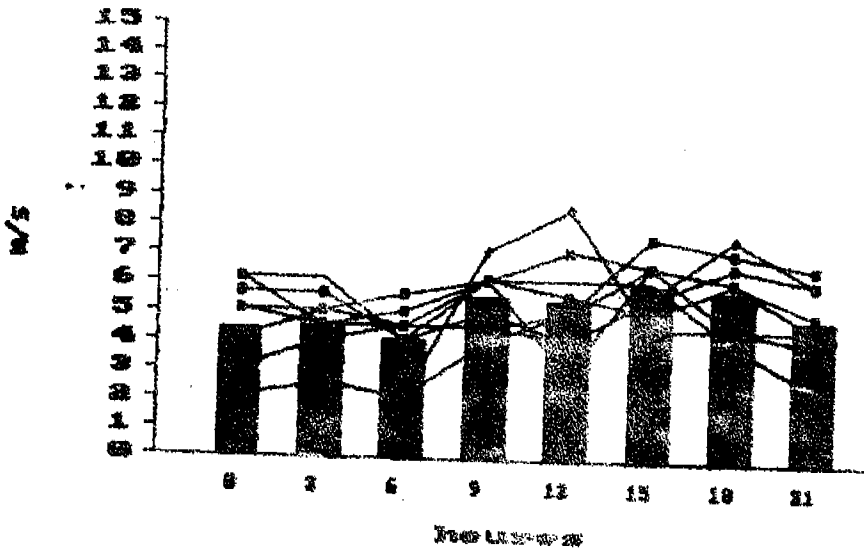
U39
 U30
 U31 Q 0,1=3491 Wh/m²
 U32
 U33 Q Moy = 3245
 U34
 U35 $\frac{\Delta Q}{Q} = 7\%$
 U36
 U37
 U38

3.5 - (Suite)

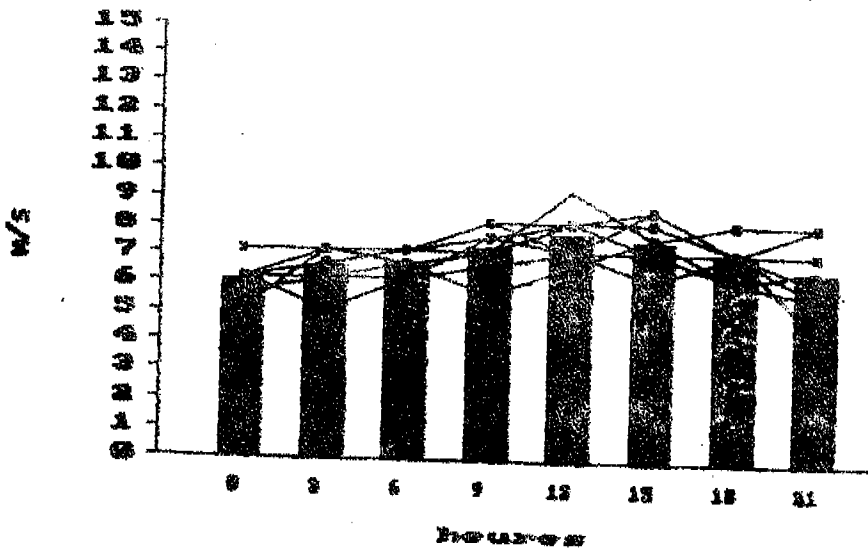
Mai



U19
 U20
 U21 Q 0,9=577 Wh/n
 U22 x
 U23 Q Moy = 520
 U24 $\frac{\Delta Q}{Q} = 10\%$
 U25
 U26
 U27
 U28



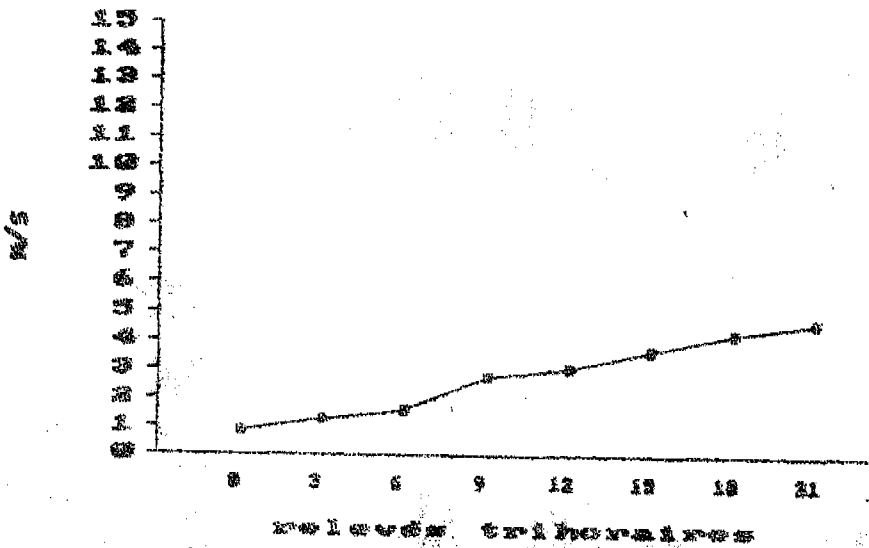
U29
 U30
 U31 Q 0,5=1515 Wh/
 U32 x
 U33 Q Moy = 1276
 U34 $\frac{\Delta Q}{Q} = 16\%$
 U35
 U36
 U37
 U38



U39
 U40
 U41 Q 0,1=3201 Wh
 U42 x
 U43 Q Moy = 3103
 U44 $\frac{\Delta Q}{Q} = 3\%$
 U45
 U46
 U47
 U48

3.5 - (Suite)

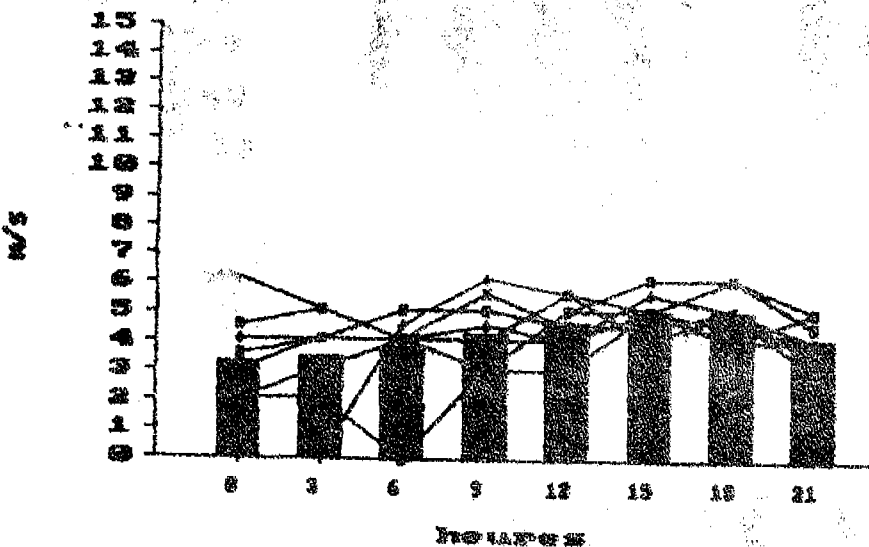
Juin



$Q_{0,9} = 366 \text{ Wh/}$

$Q_{\text{Moy}} = 325$

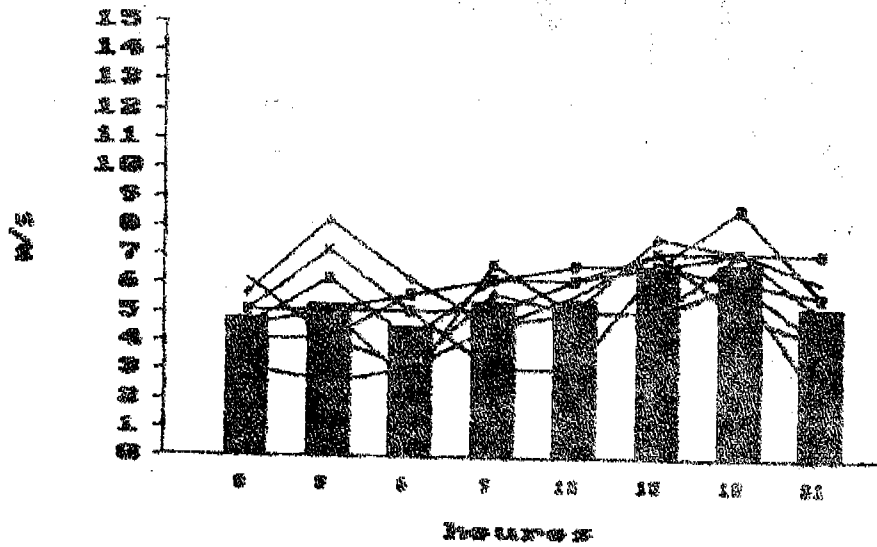
$\frac{\Delta Q}{Q} = 11 \%$



$Q_{0,5} = 856 \text{ Wh/m}$

$Q_{\text{Moy}} = 722$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 16 \%$



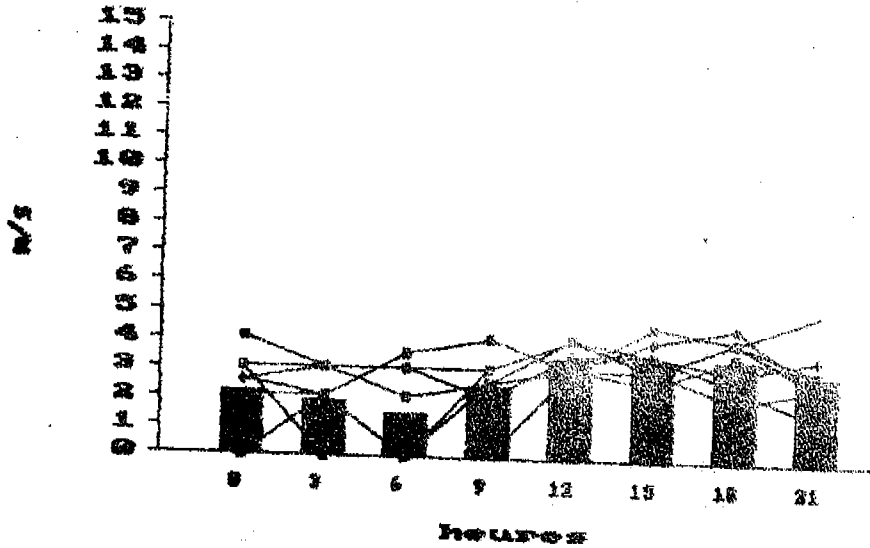
$Q_{0,1} = 1817 \text{ Wh/}$

$Q_{\text{Moy}} = 1571$

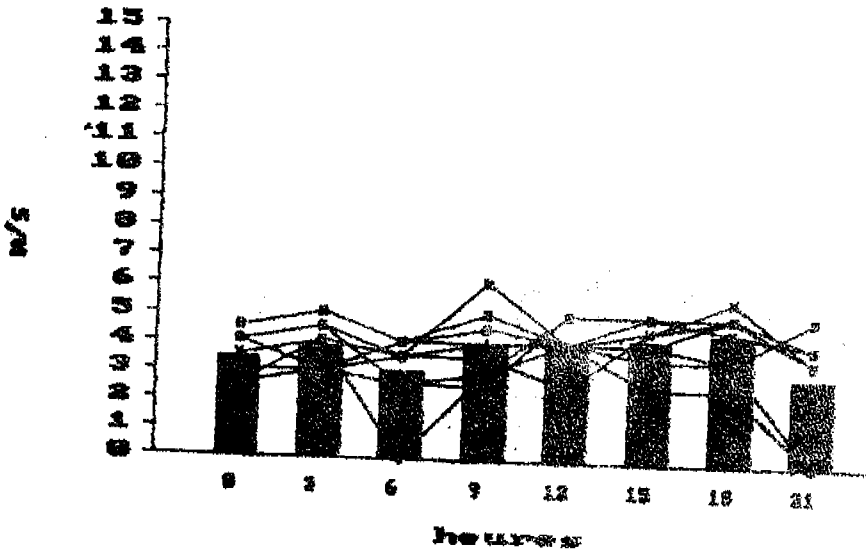
$\frac{\Delta Q}{Q} = 14 \%$

3.5 - (Suite)

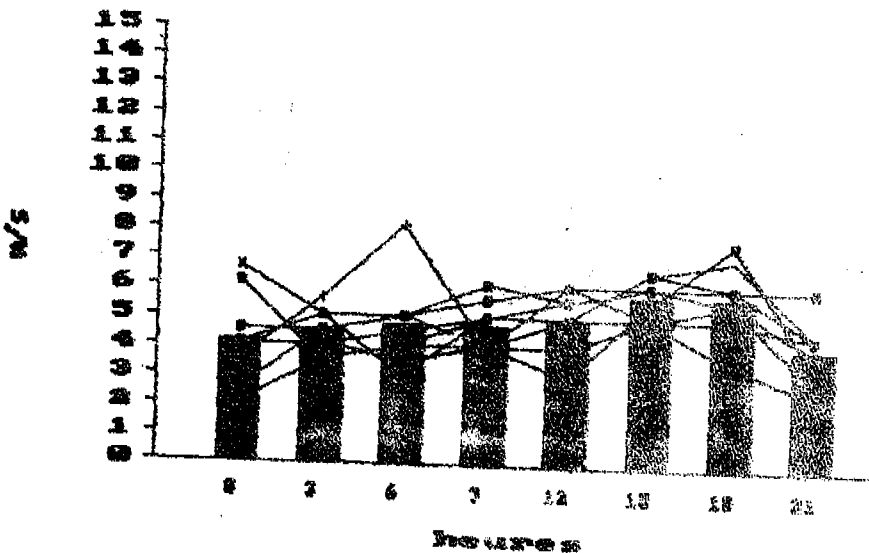
Juillet



U10
 U11 Q 0,9=278 Wh/m²
 U12
 U13
 U14
 U15 Moy = 217
 U16
 U17
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 22\%$



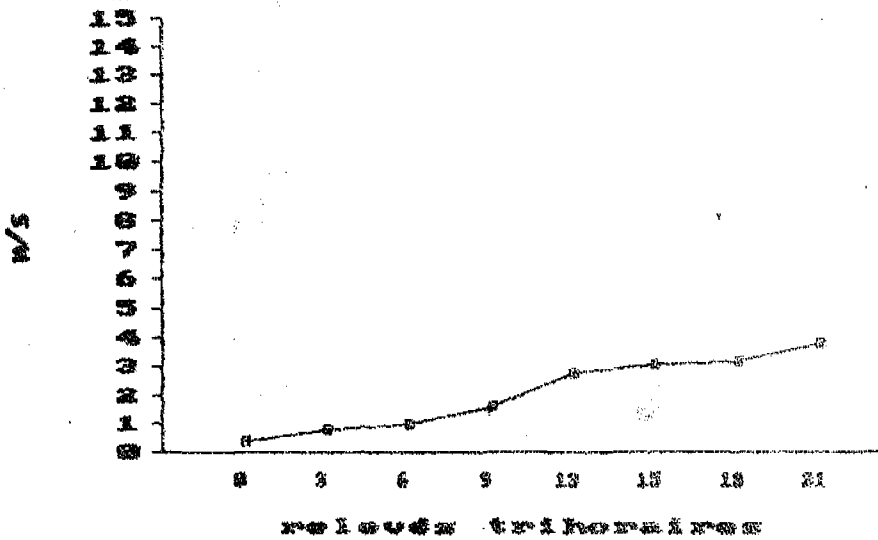
U20
 U21 Q 0,5=646 Wh/m²
 U22
 U23 Moy = 527
 U24
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 18\%$



U30
 U31 Q 0,1=1292 Wh/m²
 U32 Moy = 1119
 U33
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 13\%$

3.5 - (Suite)

Août

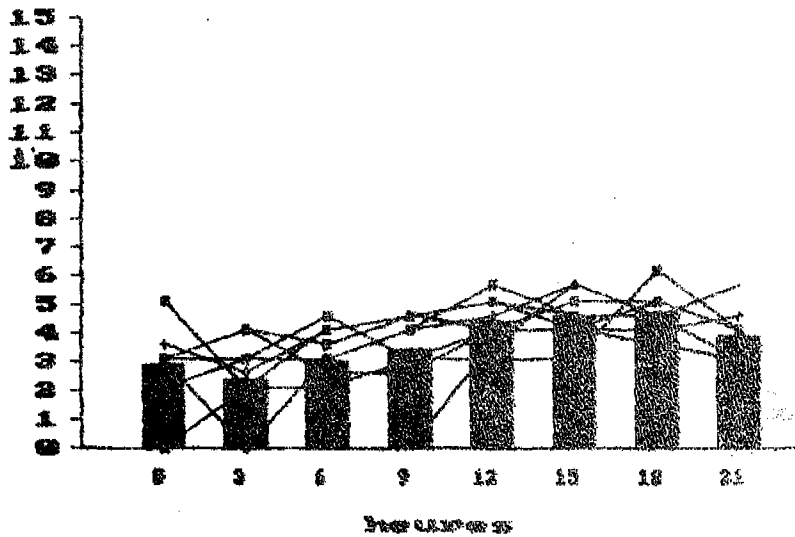


$Q_{0,9} = 175 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{\text{Moy}} = 161$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 8 \%$

W/S

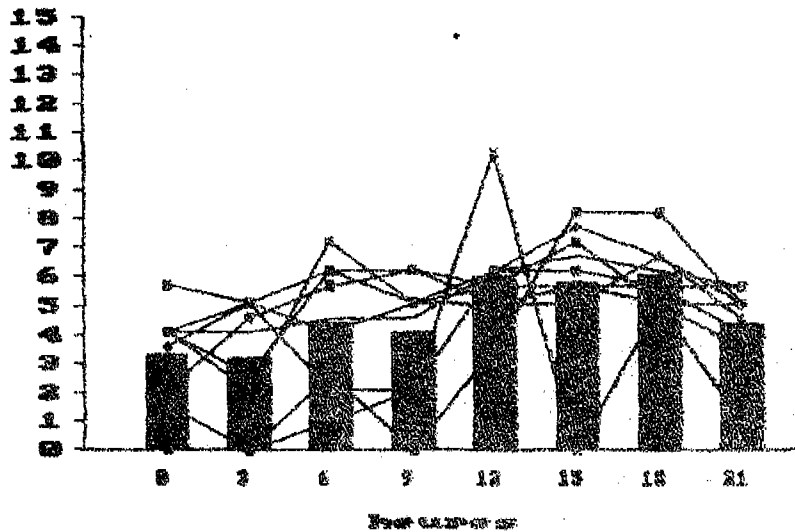


$Q_{0,5} = 607 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{\text{Moy}} = 499$

$\frac{\Delta Q}{Q} = 18 \%$

W/S



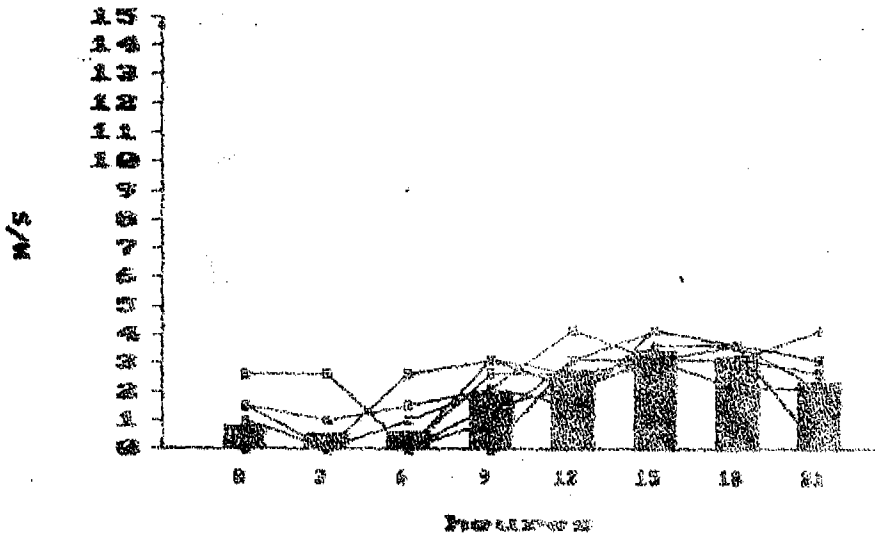
$Q_{0,1} = 1407 \text{ Wh/m}^2$

$Q_{\text{Moy}} = 1049$

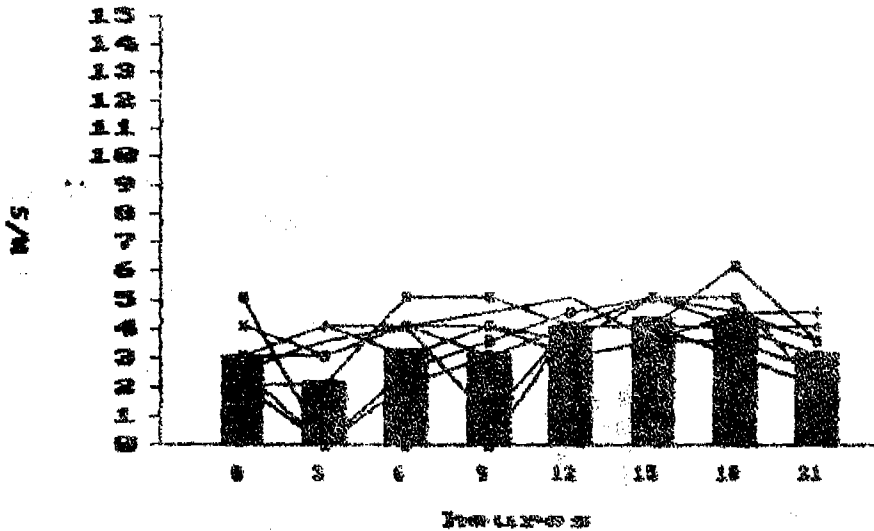
$\frac{\Delta Q}{Q} = 25 \%$

3.5 - (Suite)

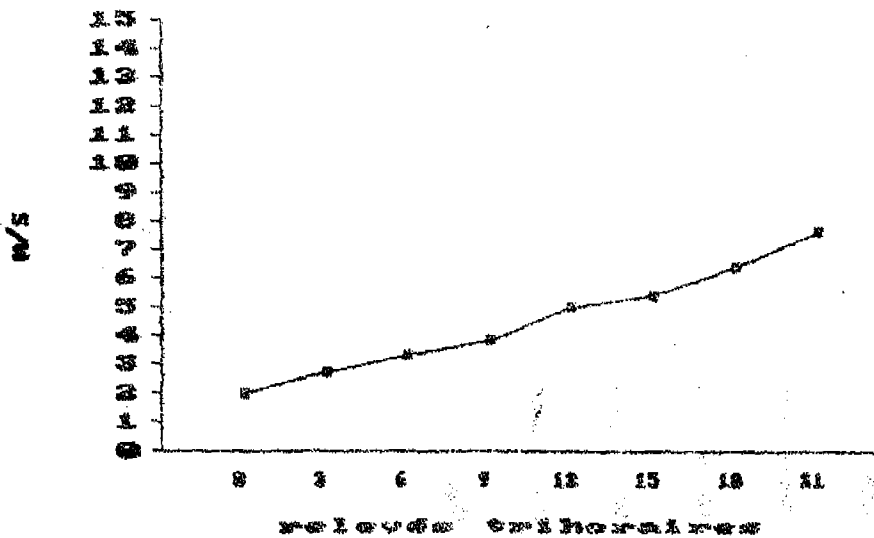
Septembre



U19
Q 0,9=157 Wh
U20
U21
Q Moy = 125
U22
+
U23
U24
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 20\%$
U25
U26
U27

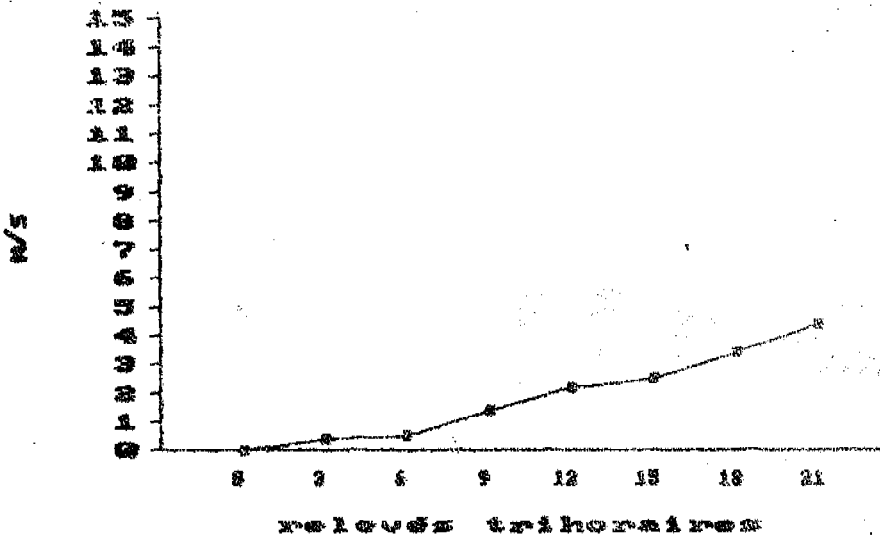


U29
U30
Q 0,5=527 Wh/i
U31
x
U32
Q Moy = 424
U33
+
U34
U35
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 20\%$
U36
U37
U38



U39
Q 0,1=1333 Wh
QM = 1223
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 8\%$

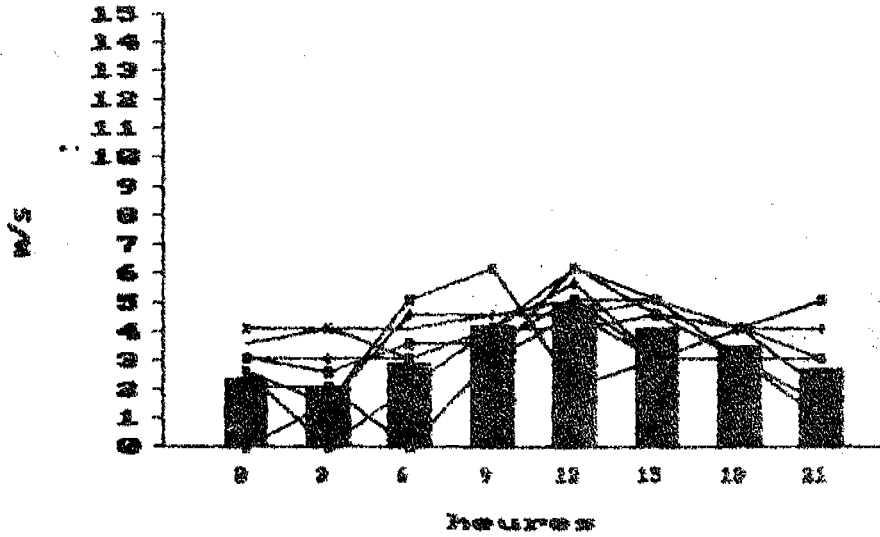
Octobre



U19 Q 0,9=185 Wh/m²

Q Moy = 171

$\frac{\Delta Q}{Q} = 8\%$

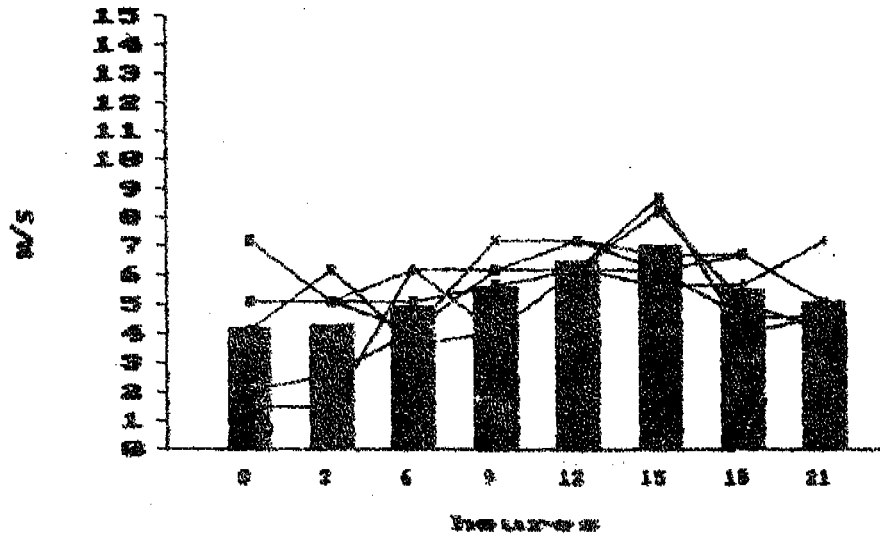


- U29
- U20
- U21
- U22
- U23
- U24
- U25
- U26
- U27
- U28

Q 0,5=538 Wh/m²

Q Moy = 405

$\frac{\Delta Q}{Q} = 25\%$



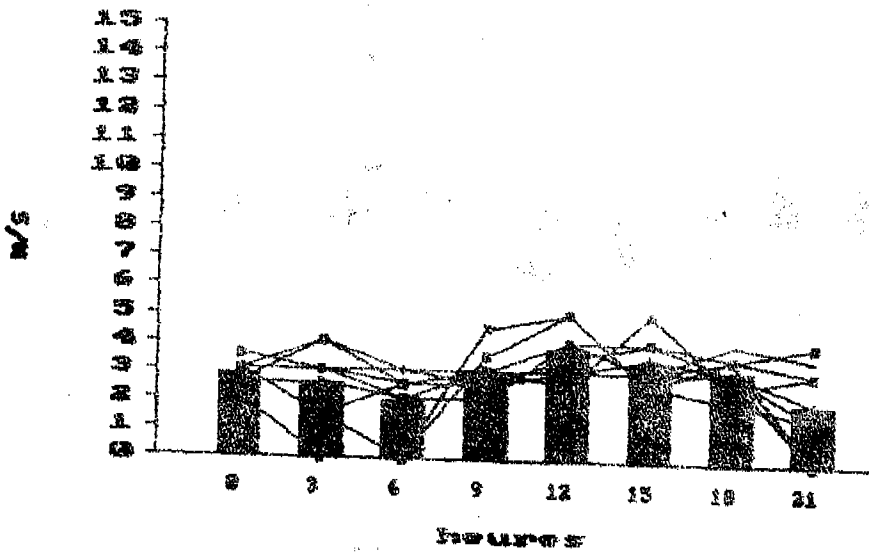
- U30
- U31
- U32
- U33
- U34
- U35

Q 0,1=1736 Wh/m²

Q Moy = 1504

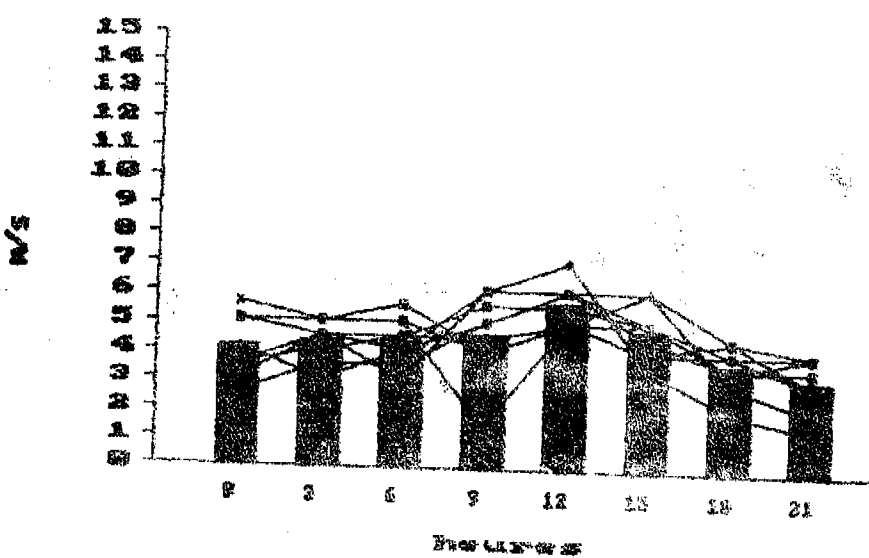
$\frac{\Delta Q}{Q} = 13\%$

Novembre



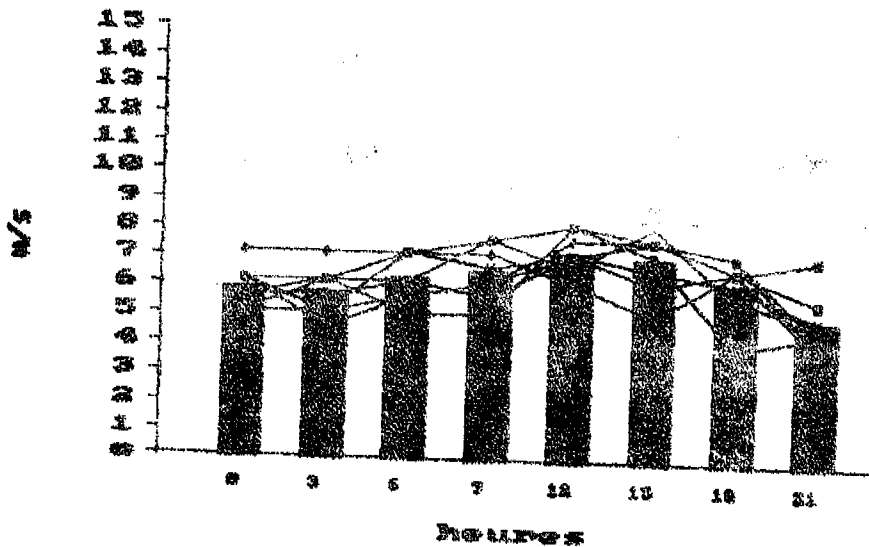
U19
 U18
 U17
 U16
 U15
 U14
 U13
 U12
 U11
 U10

$Q_{0,9} = 309 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 248$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 20 \%$



U29
 U28
 U27
 U26
 U25
 U24
 U23
 U22
 U21
 U20

$Q_{0,5} = 948 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 838$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 12 \%$

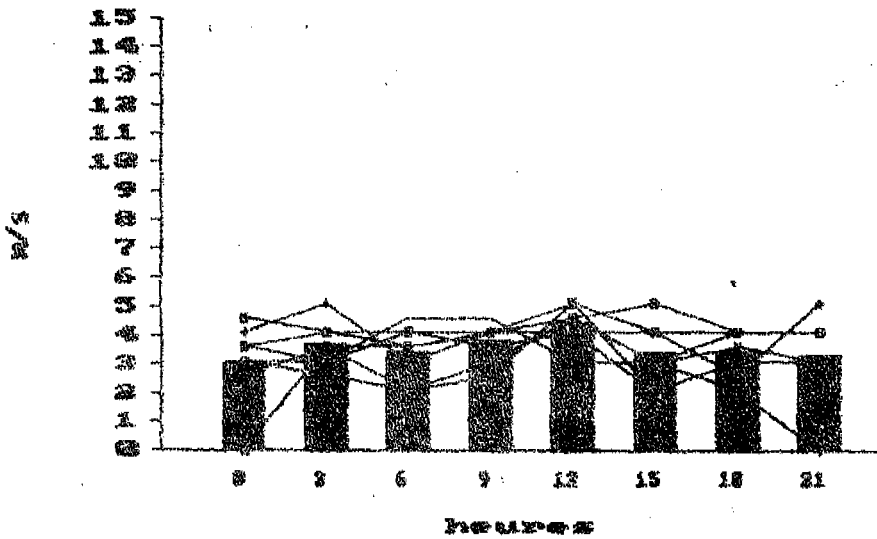


U39
 U38
 U37
 U36
 U35
 U34
 U33
 U32
 U31
 U30

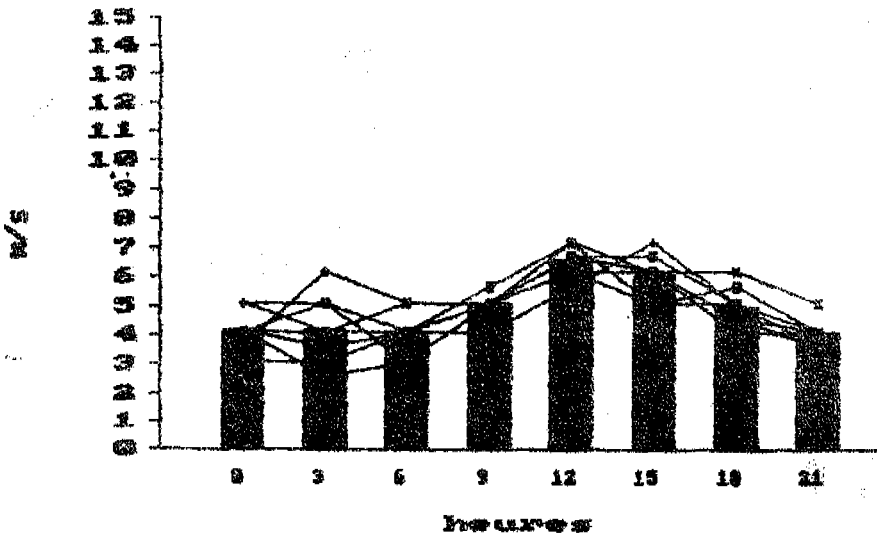
$Q_{0,1} = 2379 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 2289$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 4 \%$

3.5- (Suite)

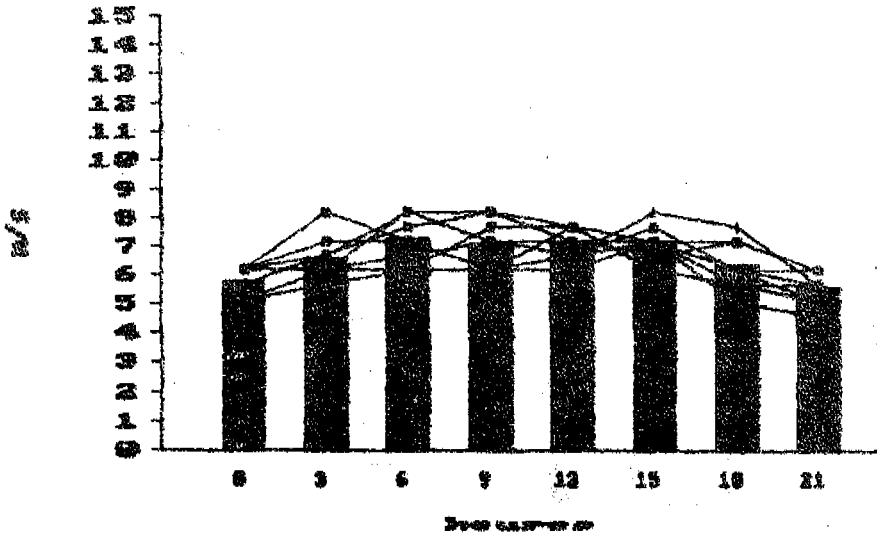
Décembre



U19
 U18
 U17
 $Q_{0,9} = 485 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 412$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 15 \%$
 U14
 U13
 U12
 U11
 U10
 U9

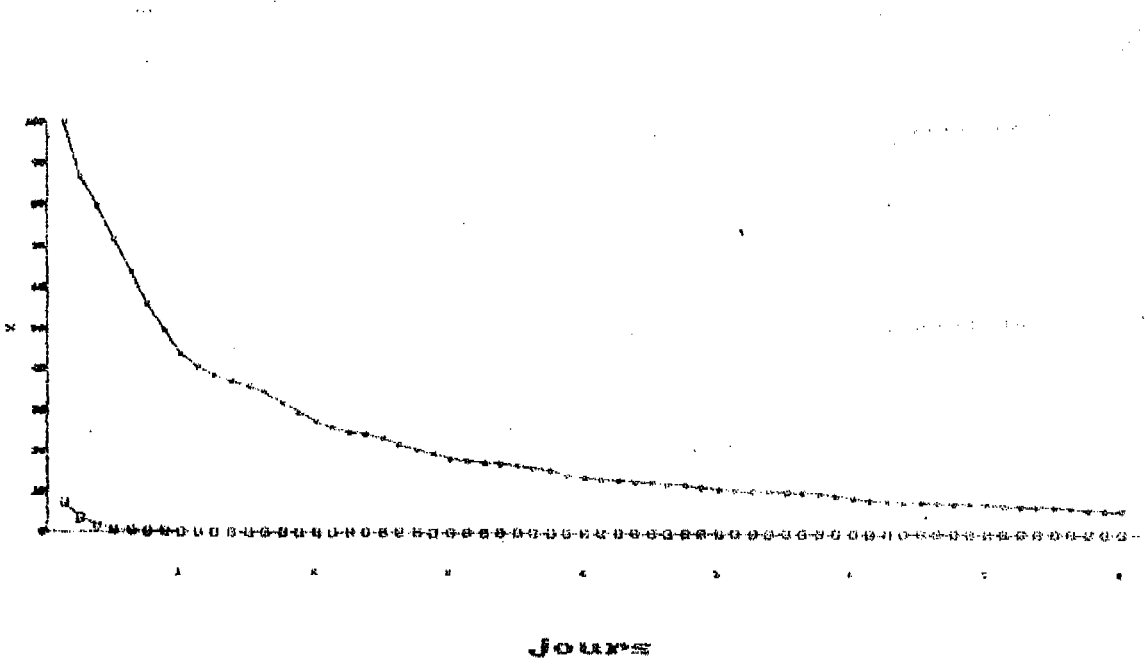


U29
 U28
 U27
 $Q_{0,5} = 1259 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 1172$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 7 \%$
 U26
 U25
 U24
 U23
 U22
 U21
 U20



U39
 U38
 U37
 $Q_{0,1} = 2830 \text{ Wh/m}^2$
 $Q_{\text{Moy}} = 2661$
 $\frac{\Delta Q}{Q} = 6 \%$
 U36
 U35
 U34
 U33
 U32
 U31
 U30

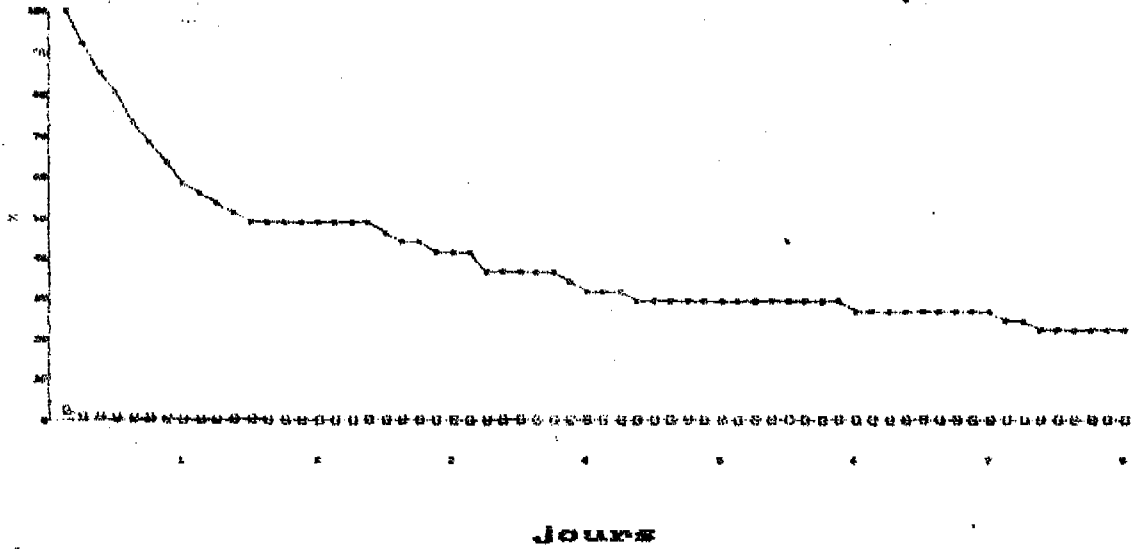
IV. 3.6 - Pourcentages cumulés de fréquence des périodes de calme et des périodes de vent séparant 2 périodes de calme (annuel).



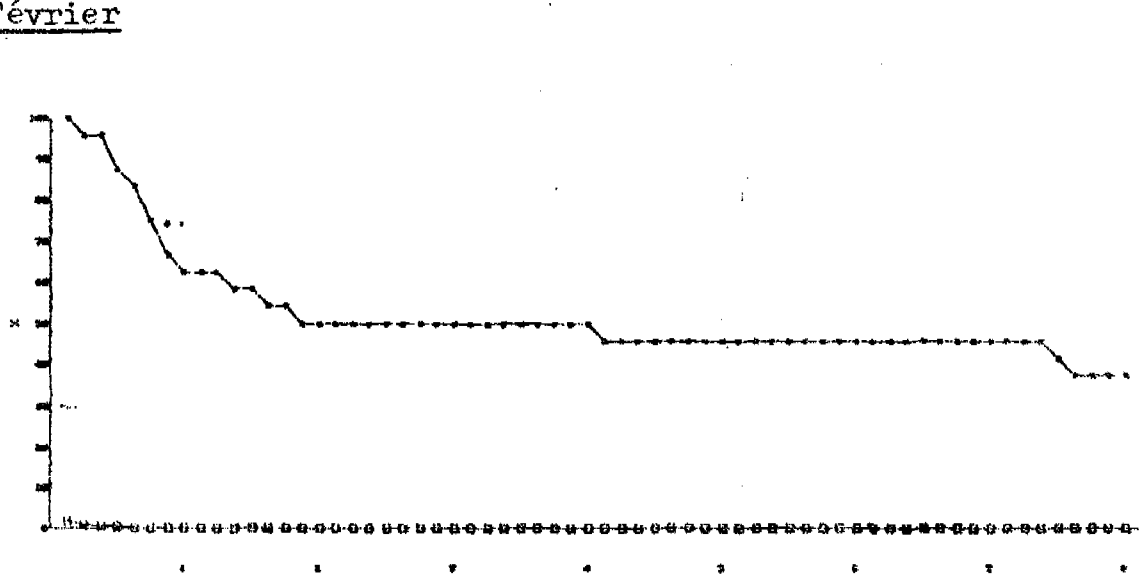
3.6 - (Suite) Périodes d'activités et d'inactivités mensuelles

U
L
M
A
S
C
O
M
P
T
E

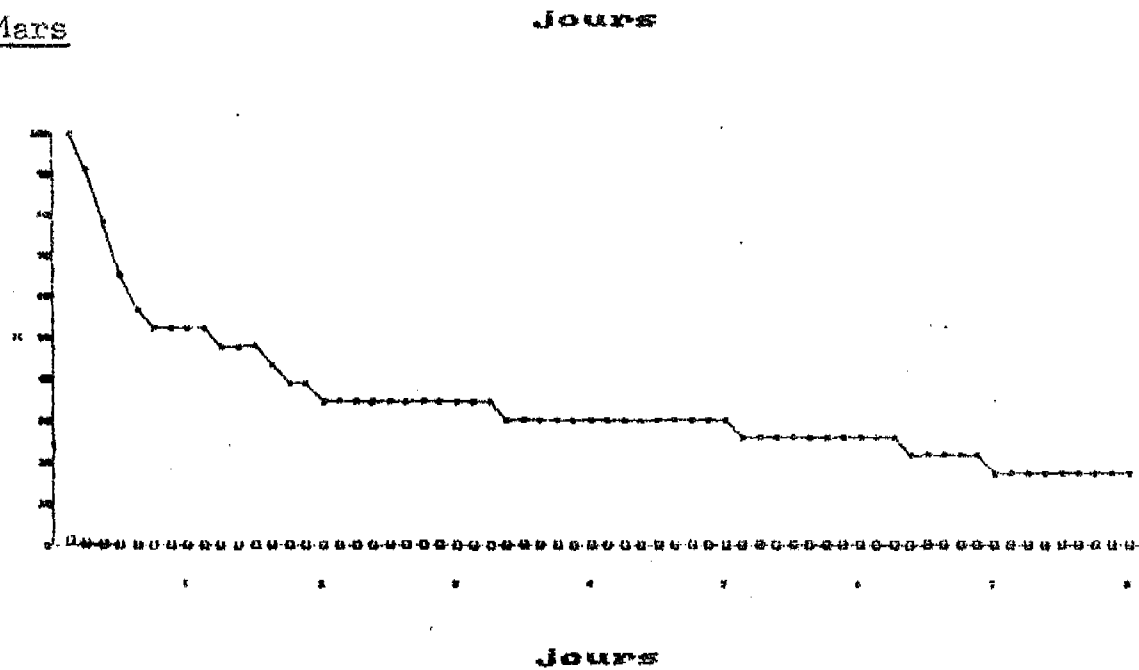
Janvier



Février

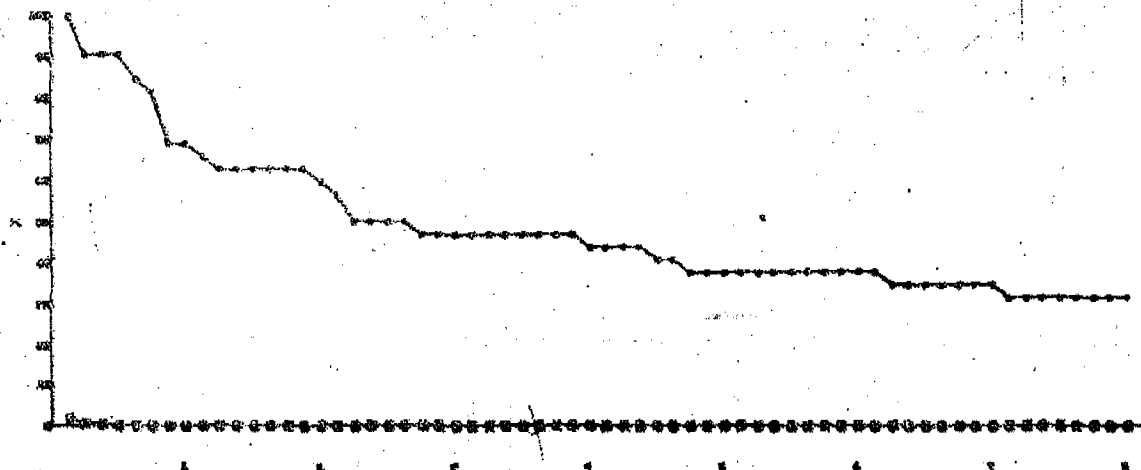


Mars



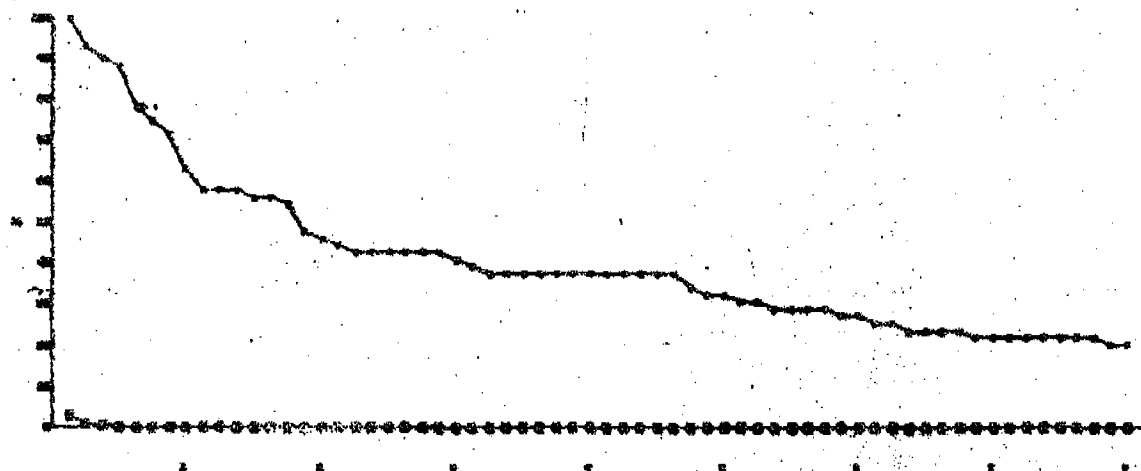
3.6 - (Suite)

Avril



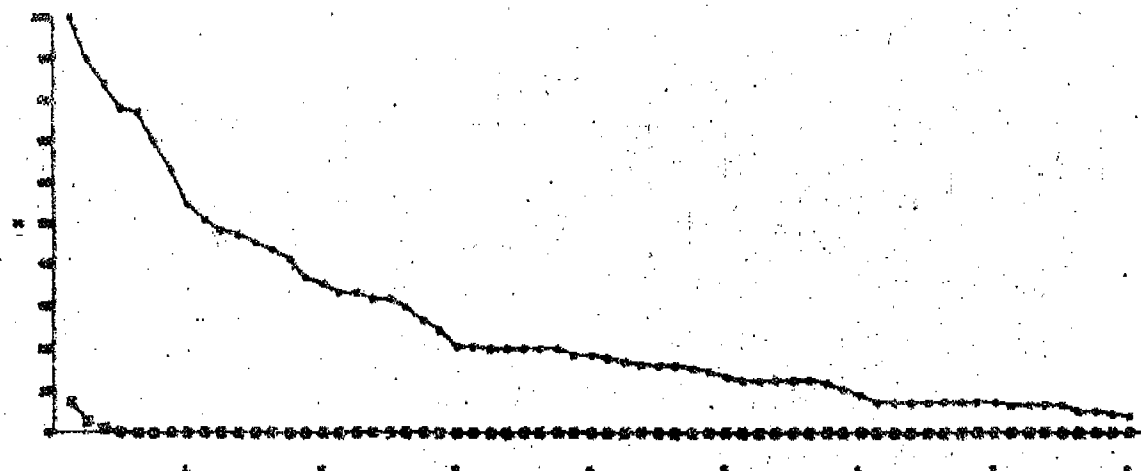
Mai

Jours



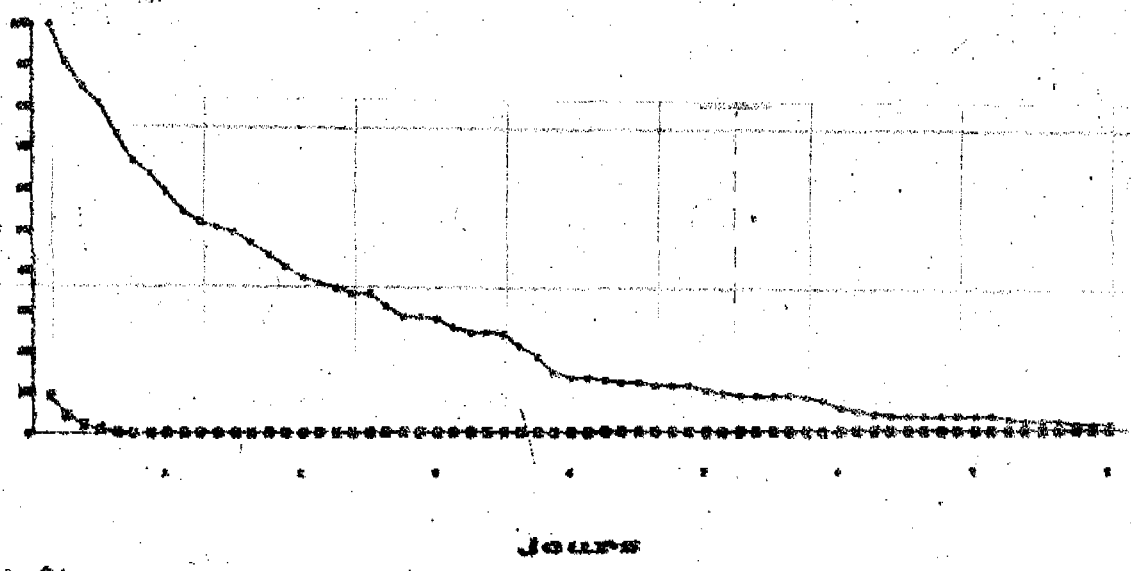
Juin

Jours

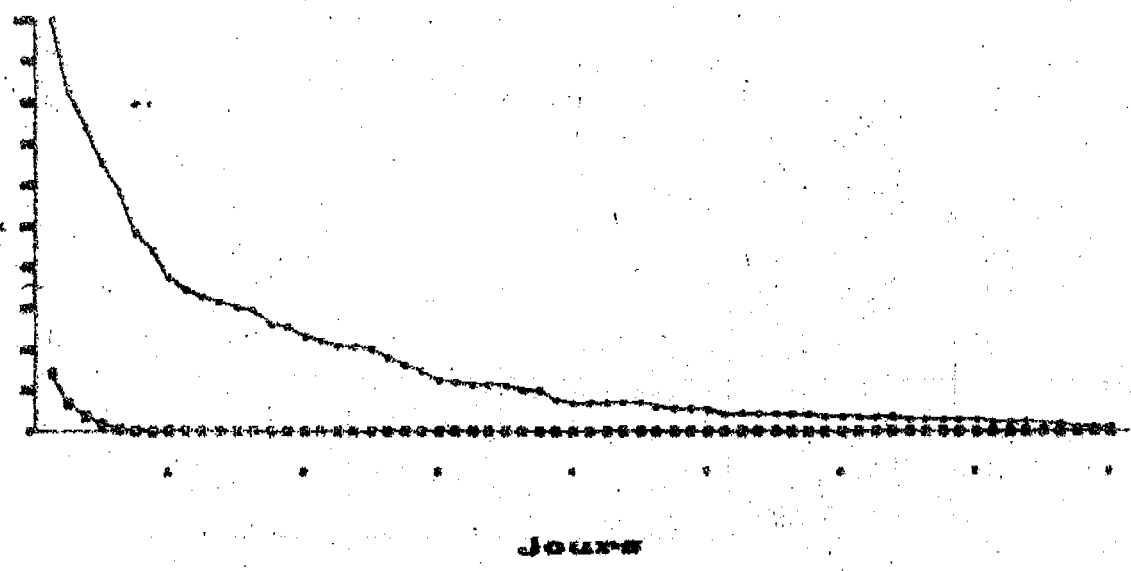


Jours

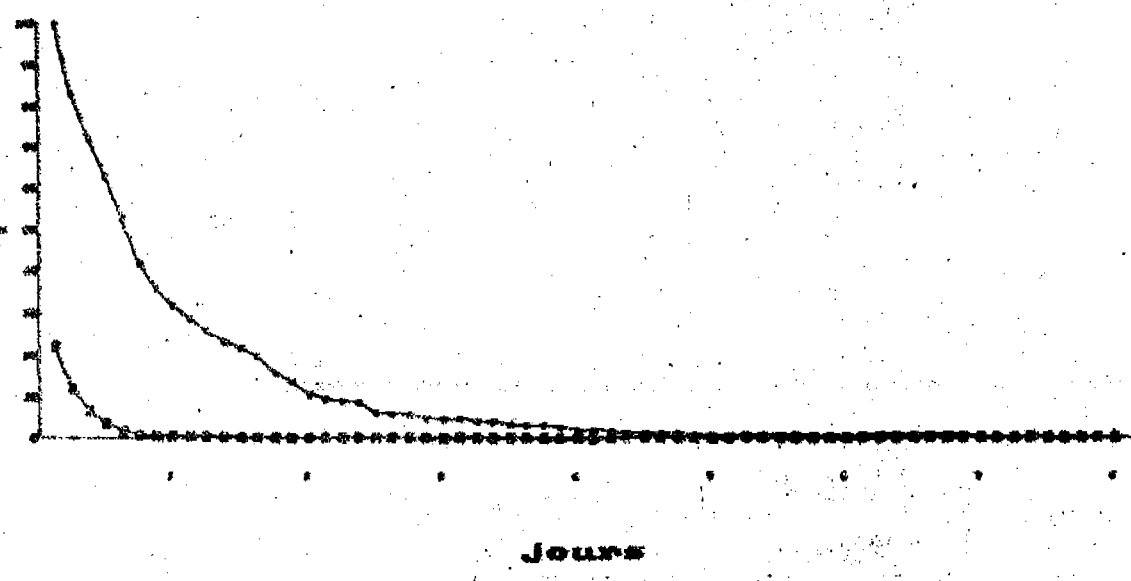
Juillet



Août

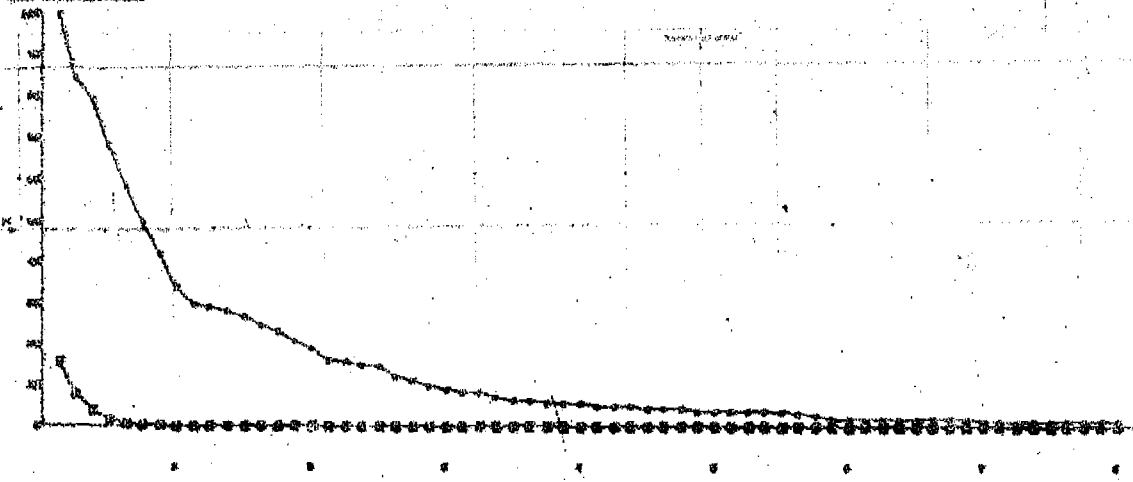


Septembre



1
2
3

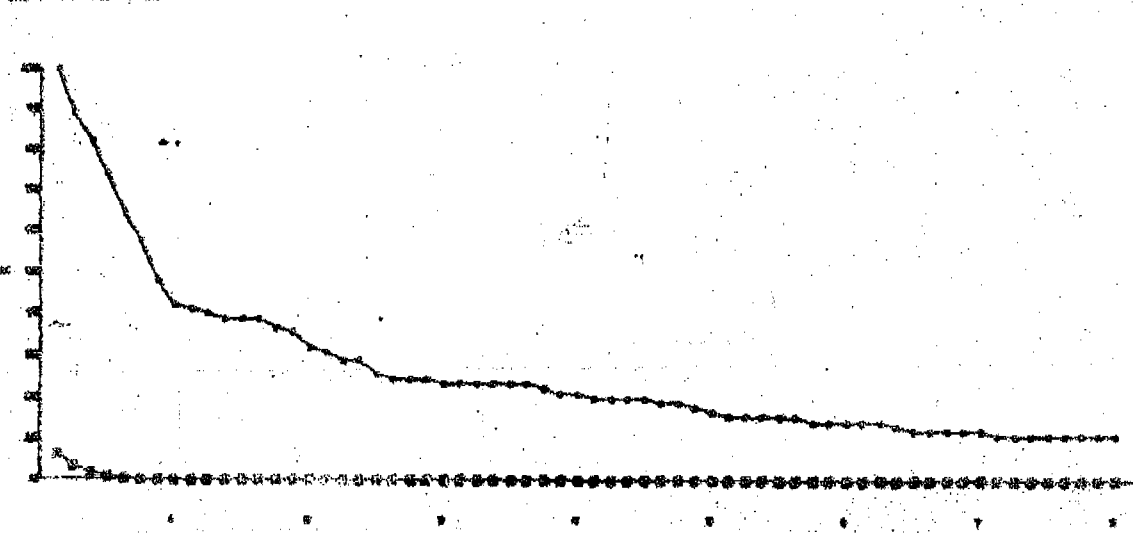
Octobre



Jours

Novembre

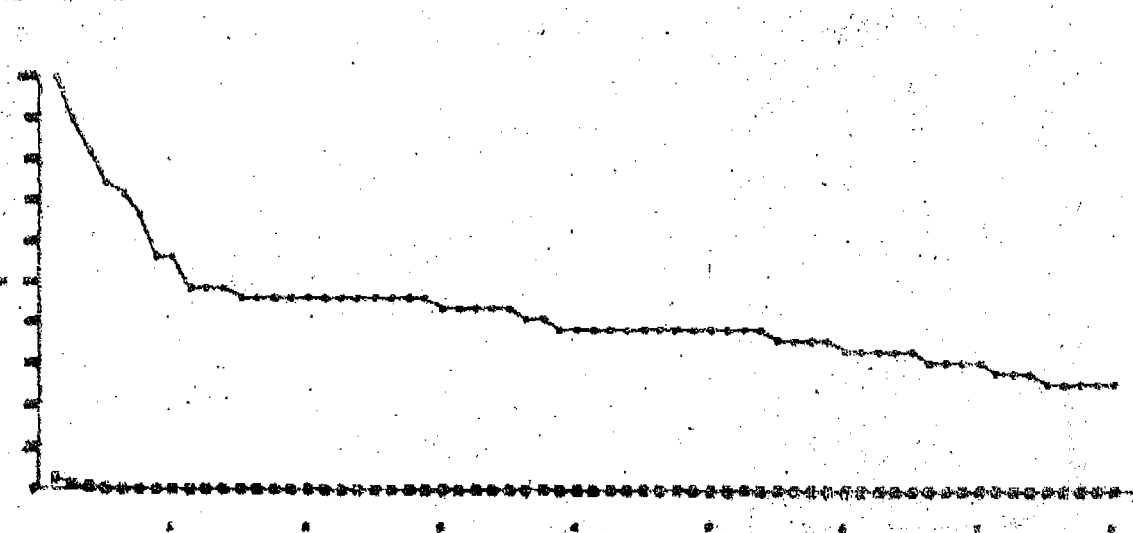
1
2
3



Jours

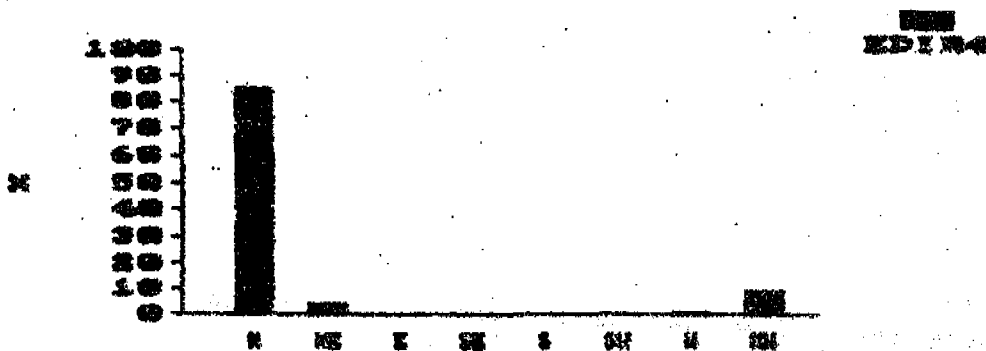
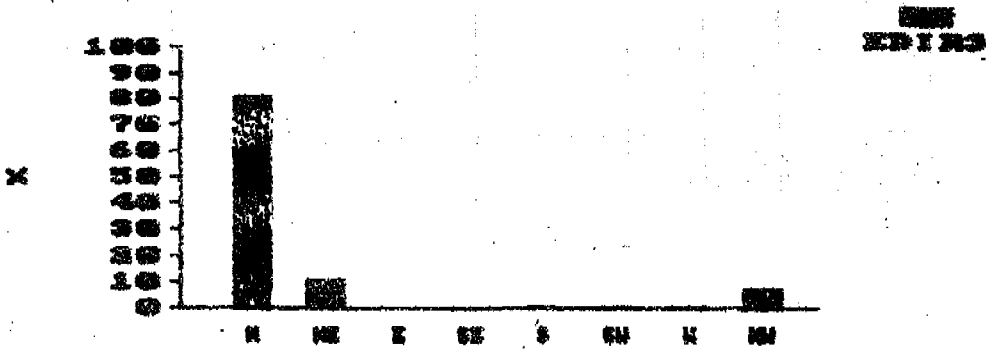
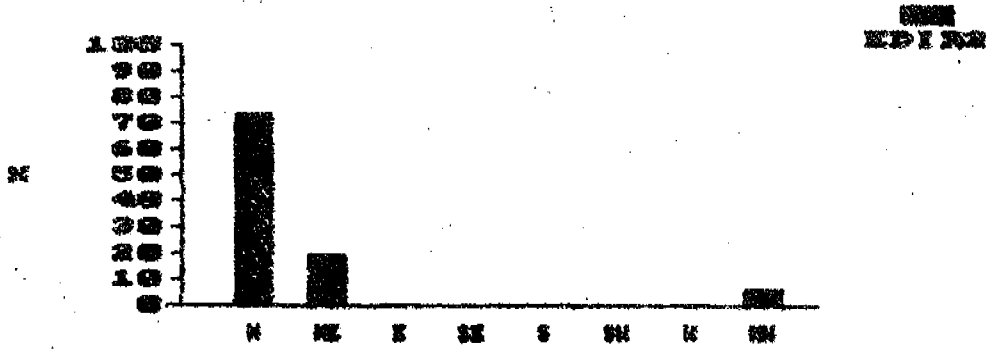
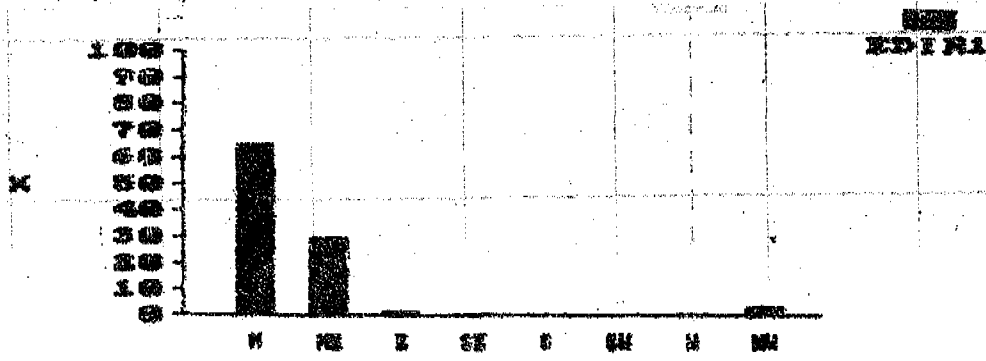
Décembre

1
2
3



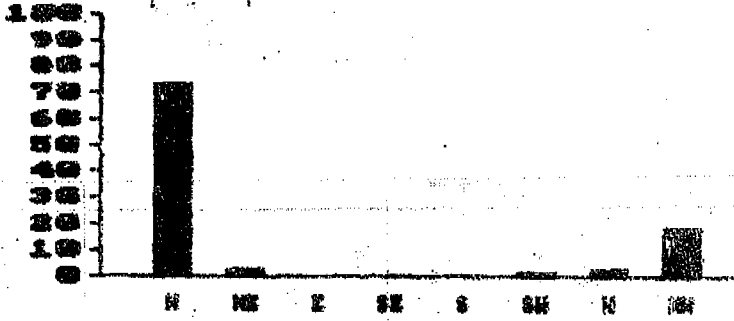
Jours

3.7 - Directions du vent



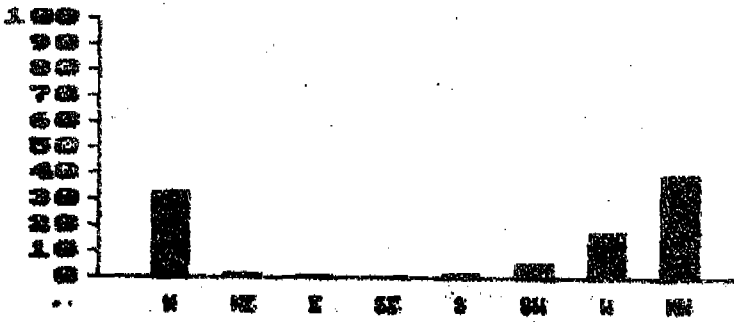
3.7 - (Suite)

X



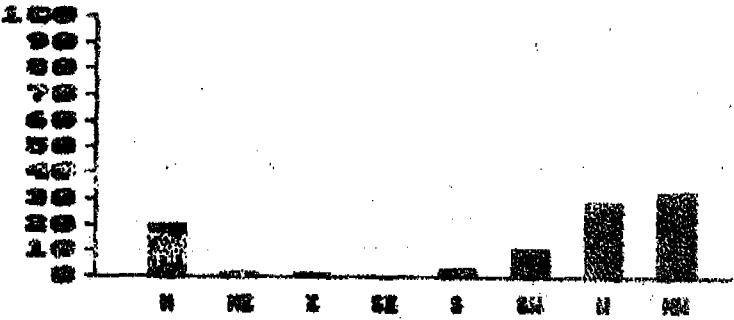
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

X



1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

X



1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

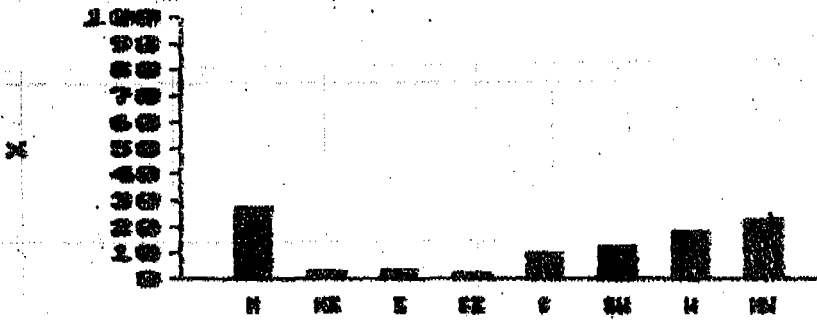
X



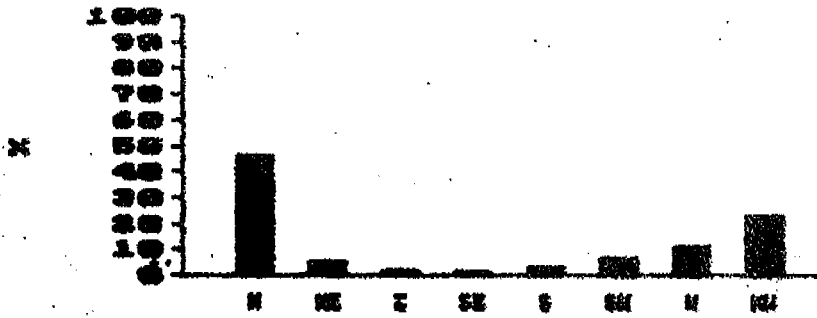
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

3.7 - (Suite)

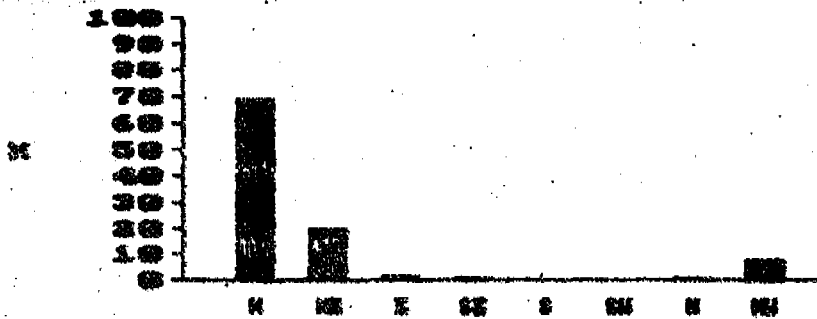
NOI
NOI 199



NOI
NOI 200



NOI
NOI 201



NOI
NOI 202

