



école polytechnique de thiès

SM.0441

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: quelques analyses des mesures
de vitesse du vent à Thiès, effectuées
à l'aide d'un anémomètre à coupelle

Auteur Rané Ndour

Génie Mécanique

Date juin 78

école Polytechnique de Thiès

Projet de fin d'études

"Quelques analyses des mesures
de vitesse du vent à Thiès, effectuées
à l'aide d'un anémomètre à coupelles"

Auteur: René Ndour

Année 1978

Remerciements

Je voudrais, avant d'entrer dans le vif du sujet, remercier Monsieur Vinh Nguyen-DUY, mon directeur de projet, pour les conseils précieux qu'il m'a donnés tout au long de ce travail.

Toute notre gratitude à l'équipe du laboratoire d'électronique, MM. Roger Martin et Jean Pierre Simon, pour l'aide qu'ils ont bien voulu nous accorder en mettant à notre disposition les données qu'ils ont recueillies pendant plusieurs mois.

Nous remercions aussi, très vivement, le Commandant Sidy Bouya Ndiaye et l'équipe de la bibliothèque pour les ouvrages et les documents qu'ils nous ont prêtés pour cette étude.

Sommaire

Au Sénégal, Comme dans le reste du monde, avec la crise énergétique, on est à la recherche d'autres sources d'énergie. L'énergie éolienne peut certes être utilisée le long des côtes du Sénégal. Cependant il nous faut savoir dans quelle mesure elle peut être exploitée à l'intérieur du pays, et c'est ce que nous nous proposons de faire à Thiès.

Les mesures sont faites avec un anémomètre Taylor, qui nous permet d'obtenir la vitesse du vent sous forme de réponse instantanée. Il faut ensuite trouver la vitesse moyenne journalière.

Nous constatons que plus de 55 % du temps, les vents ont une vitesse supérieure à 3 m/s. L'énergie éolienne peut donc être exploitée à Thiès par des éoliennes ayant une vitesse d'amorçage relativement faible.

Table des matières

	page
Remerciements	i
Sommaire	ii
Table des matières	iii
Introduction	1
I - Méthodes de mesure	4
I.1 - L'anémomètre à coupelles classique	4
I.1.1 - Etalonnage de l'anémomètre	8
I.2 - Détermination de la vitesse moyenne	10
II - Résultats	11
III - Conclusions	30
Bibliographie	32
Annexes	35

INTRODUCTION

Depuis longtemps l'homme a commencé à utiliser l'énergie éolienne. Nous noterons les moulins à vent dont les plus anciens sont ceux qui utilisaient les Denses pour la mouture des grains, et les navires à voiles, pour en arriver à l'utilisation des vents pour l'exhaure de l'eau et la production d'électricité.

Comment ne pas être tenté par l'idée d'utiliser cette énergie gratuite, quand on connaît les performances atteintes par les éoliennes dans le monde.

L'acuité du problème de l'eau au Sénégal, après plusieurs années de sécheresse, est telle qu'on recherche d'autres moyens pour tirer l'eau des nappes phréatiques. Certes la résolution de ce problème est primordiale, mais il n'en reste pas moins que cette énergie éolienne pourrait peut-être servir à d'autres fins.

C'est ainsi que l'on peut envisager l'utilisation de batteuses à mil ou d'arachides lotées d'éoliennes, quand on connaît l'énergie que fournit notre paysan pour le battage d'arachides ou de mil. La production d'électricité, moins urgente en milieu rural, pourrait être réalisée à petite échelle pour commencer, par exemple l'éclairage d'un dispensaire, d'une maison rurale, d'une maison des jeunes, d'une mosquée, d'une église etc.

L'exhaure de l'eau pourrait servir à l'approvisionnement des populations rurales en eau et à l'irrigation pour la culture maraîchère.

Avant de passer à l'expérimentation, il importe de recueillir des données sur le régime des vents de l'endroit concerné, afin de faire un choix judicieux de l'éolienne à utiliser.

Les régions côtières du Sénégal et de Mauritanie sont soumises pendant une bonne période de l'année (mi-novembre à mi-juin) à l'alizé maritime boréal (anticyclone des Açores),

un vent constant, d'une vitesse moyenne de 8 m/s. Cependant, plus on va vers l'intérieur du pays plus la vitesse de ce vent diminue. Les données fournies par l'ASECNA à Dakar Yoff ne peuvent avoir qu'une portée limitée.

Des essais ont été effectués à Louga pendant une dizaine d'années, mais ils ont été interrompus en 1965. L'expérience a été jugée non concluante en ce sens que l'emplacement ne semblait pas particulièrement bien choisi en regard à la vitesse et à la constance des vents.

Nous voyons donc la nécessité de faire des mesures de la vitesse de vent, avant d'installer des éoliennes.

Dans ce projet, qui en fait peut être considéré comme un avant projet, nous nous proposons d'analyser les données nécessaires à une utilisation rationnelle de l'énergie éolienne à Thiès.

I METHODES de MESURE

La vitesse du vent peut être mesurée de deux façons :

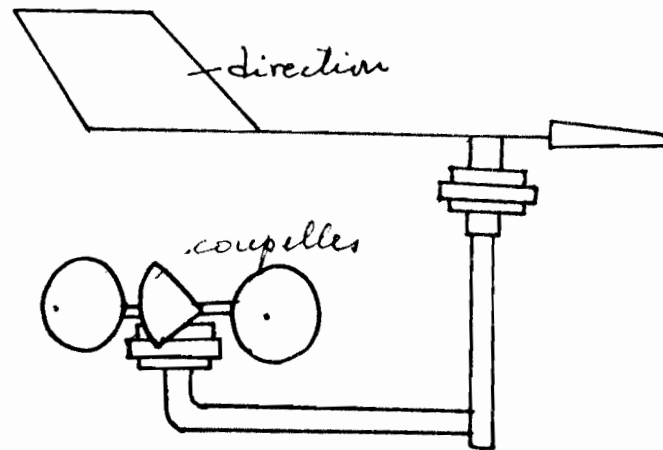
- forme intégrée, donnant, suivant les appareils, soit le chemin parcouru par le vent dans un temps donné, soit directement l'énergie reçue en kwh par mètre carré (kwh/m^2) de surface alaire.
- forme simple, donnant la vitesse instantanée du vent.

Pour cette étude nous utiliserons cette dernière méthode.

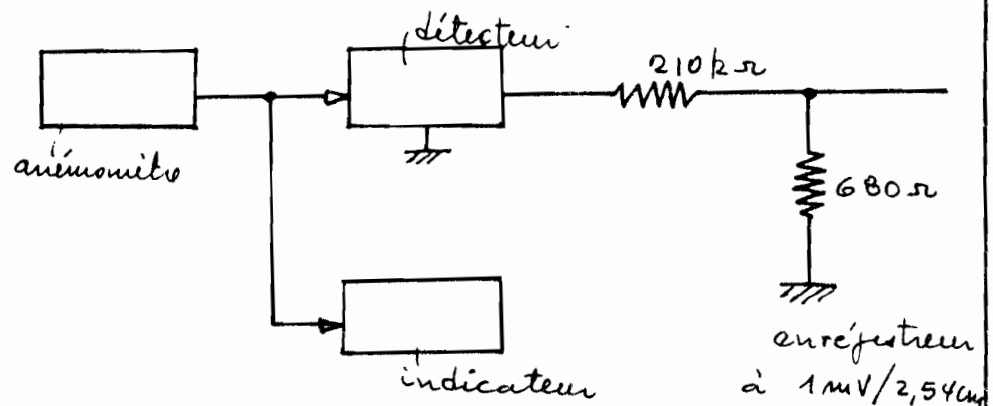
I,1 Anémomètre à Coupelles classique

L'anémomètre à coupelles utilisé pour enregistrer instantanément la vitesse du vent est situé sur le toit du bâtiment D de l'Ecole Polytechnique. L'ensemble est constitué par

i) un anémomètre classique Taylor

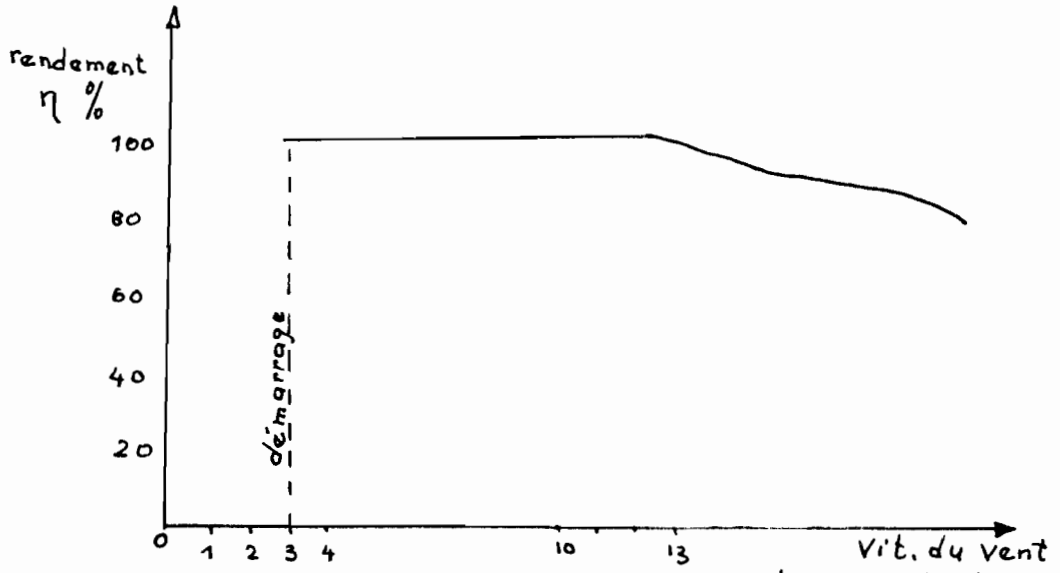


ii) un circuit électronique



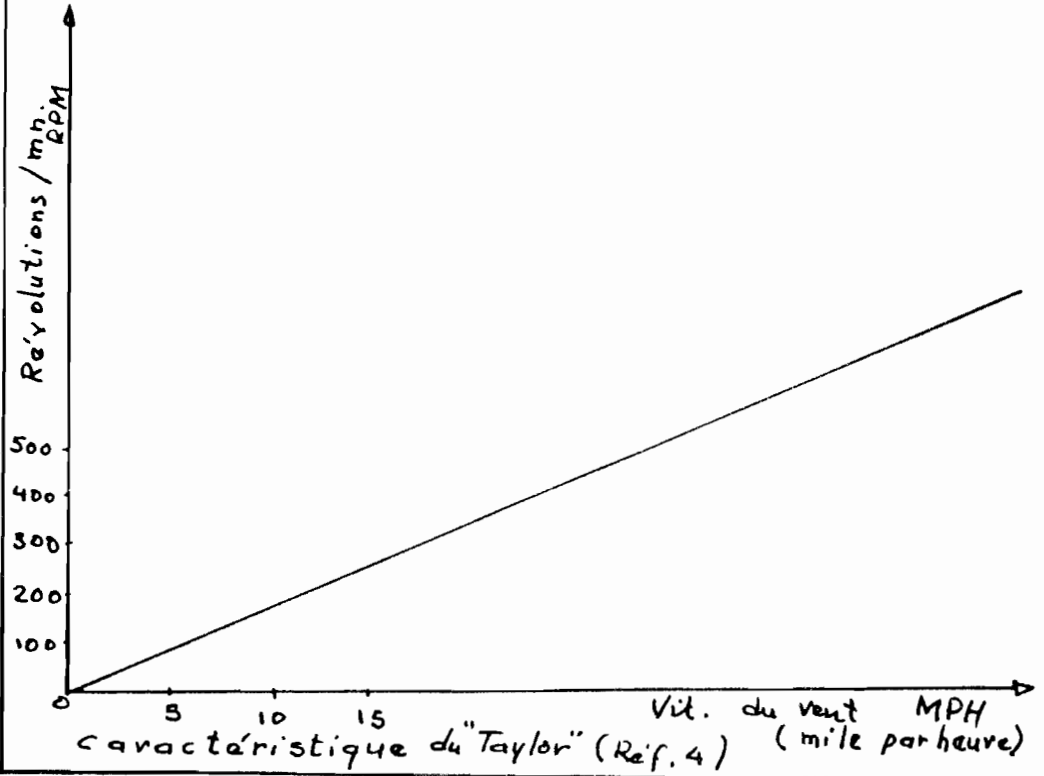
Détecteur : Si on a x volts crête à crête à l'entrée, alors à la sortie on aura $-0,33x$ volts continus. La linéarité est très bonne à partir d'une entrée de 40 mV crête à crête. La fréquence n'a pas d'influence si elle est supérieure à 10 Hz .

Pour que les résultats obtenus avec l'anémomètre soient fiables, il faut que celui-ci ait un bon rendement. Ce dernier est en général fonction de la vitesse du vent comme indiqué à la page suivante. Dans notre étude, étant donné que la vitesse du vent n'exécède pas 13 m/s., on peut se fier à l'anémomètre Taylor dont une courbe caractéristique est à la page 7.



courbe de rendement d'un anémomètre classique (m/s)
(Réf. 2)

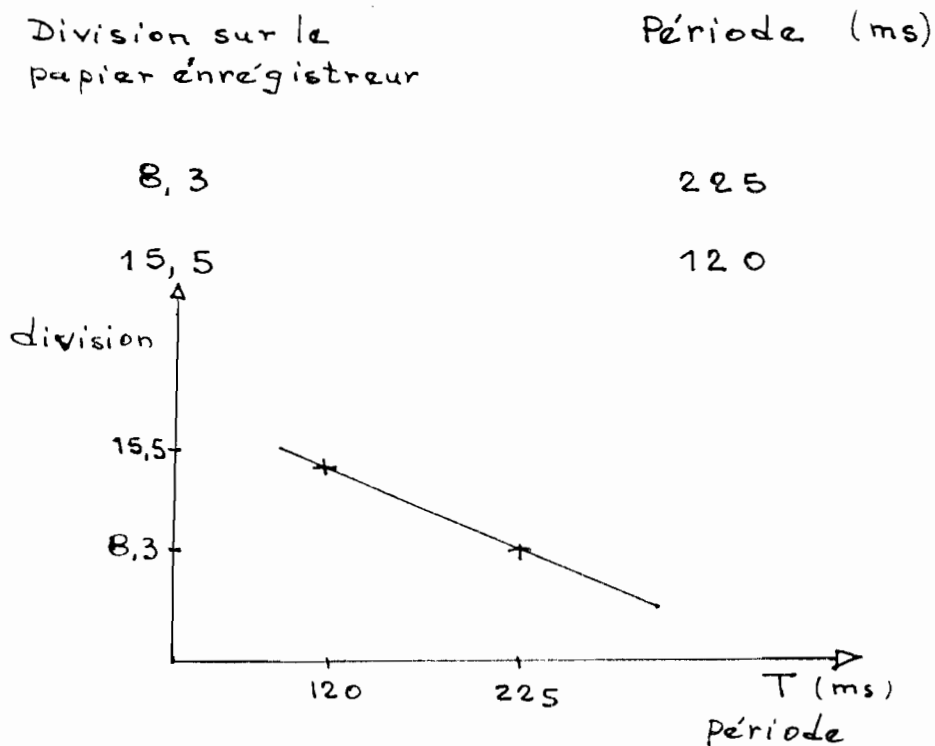
un anémomètre à coupelles a été utilisé:
"Wind speed & direction indicator Taylor instrument"



caractéristique du "Taylor" (Réf. 4) (mille par heure)

I.11 Etalonnage de l'anémomètre

Le papier utilisé pour l'enregistreur n'est pas gradué en m/s. Il s'agit donc de savoir la vitesse à laquelle correspond un carré du papier enregistreur. Pour ce faire il fallait faire tourner l'anémomètre à vitesse constante. Nous avons donc utilisé un ventilateur et un oscilloscope, celui-ci servant à mesurer la période du signal.



L'anémomètre a 4 pôles, soit 2 paires de pôles ($p=2$)

$$N = \frac{60 f}{p} \quad f = \frac{1}{T}$$

N : vitesse, en tours/mn.

f : fréquence du signal, en $\frac{1}{s}$.

T : période du signal, en s.

p : nombre de paires de pôles

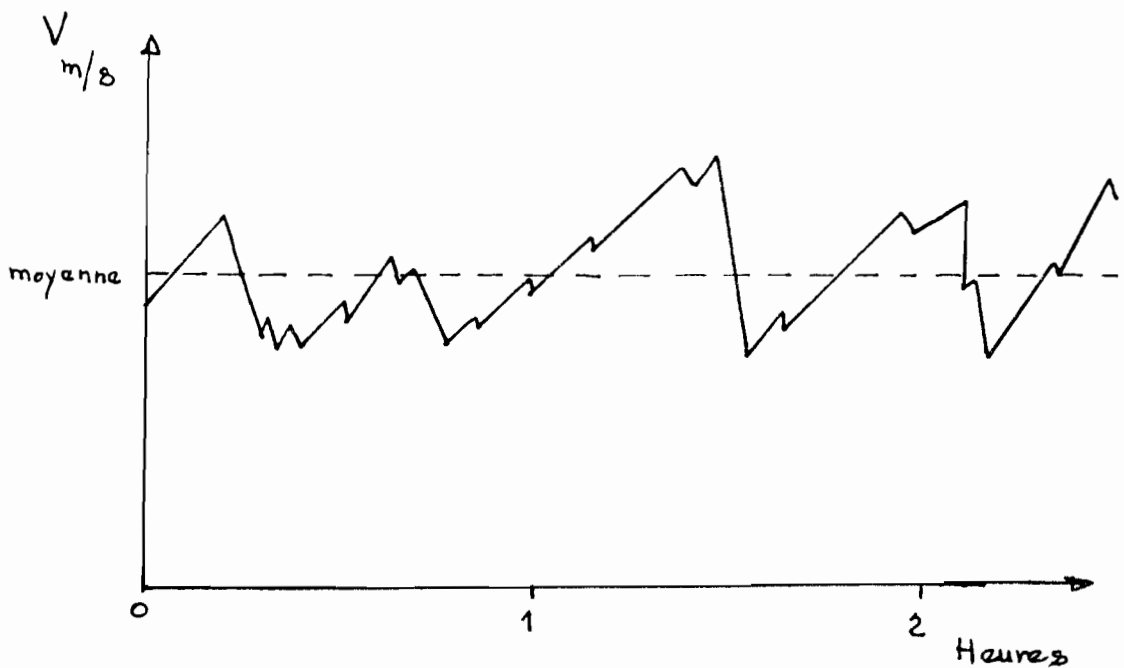
Le graphe RPM vs. MPH donne la vitesse réelle du vent.

Divisions	T(s)	f (1/s)	N (tu/mn.)	M. P. H.	m/s.
15,5	0,120	8,33	249	15	0,426
8,3	0,225	4,44	133	8	0,424

En moyenne une division correspond à $0,43 \frac{m}{s}$

I.2 Détermination de la vitesse moyenne

A cause d'un emploi du temps assez chargé cette année, nous sommes obligés de déterminer la vitesse moyenne journalière graphiquement. Cette technique, bien qu'approximative, nous permet de tirer quand même des conclusions valables.



II RESULTATS

L'enregistrement de la vitesse du vent à Thiès montre que celle-ci varie beaucoup (fig. C16). Les résultats de la vitesse moyenne journalière, du mois de juillet jusqu'au mois de février inclus, sont dépouillés et donnés sous forme de tableaux et de graphes. Ces résultats nous permettent de calculer les moyennes mensuelles dont les valeurs sont comparées à celles du service météorologique (fig. C9). Nous y observons une même allure des deux courbes, ce qui montre l'aspect non aléatoire (quasi stable) du vent à Thiès.

Par ailleurs, nous reproduisons sur les figures C10 à C12 quelques résultats publiés par le service météorologique. La figure C10 donne la vitesse du vent en fonction de la durée, La figure C11 le nombre de périodes de calme d'une durée

supérieure à un nombre donné de jours.
La fig. C12 donne la fréquence des vents entre
deux périodes de calme en fonction de leur
durée.

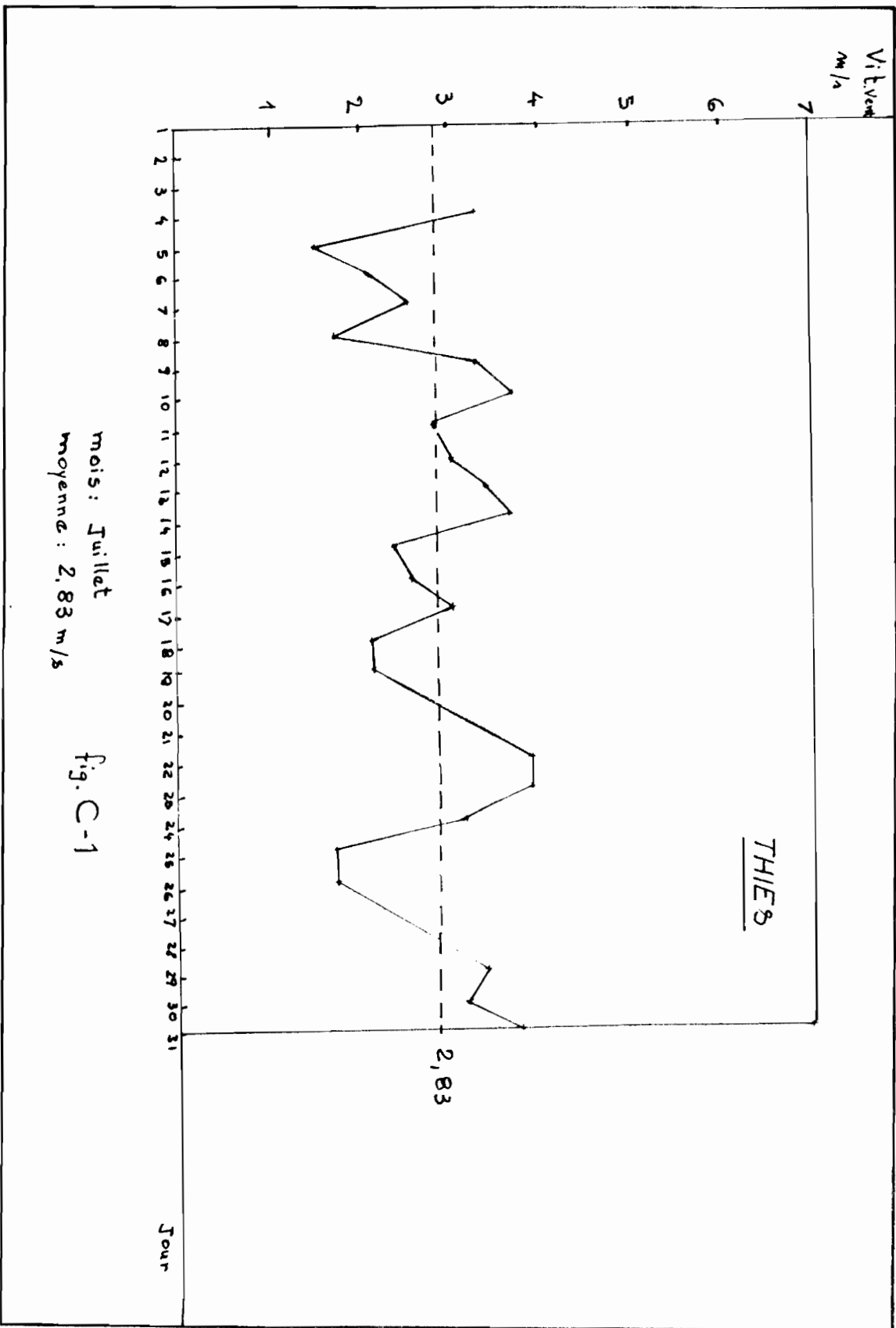
Les résultats obtenus avec l'anémomètre
de l'E.P.T. portent sur huit mois, soit les
 $\frac{3}{4}$ de l'année. Cependant ceux du service
météorologique montrent que plus de 55% du
temps la vitesse du vent est supérieure à
3 m/s. De juillet à février, la vitesse du
vent est plus grande en décembre, janvier
et février, soit, d'après le service météoro-
logique, de la mi-novembre à la mi-juin
pour toute l'année.

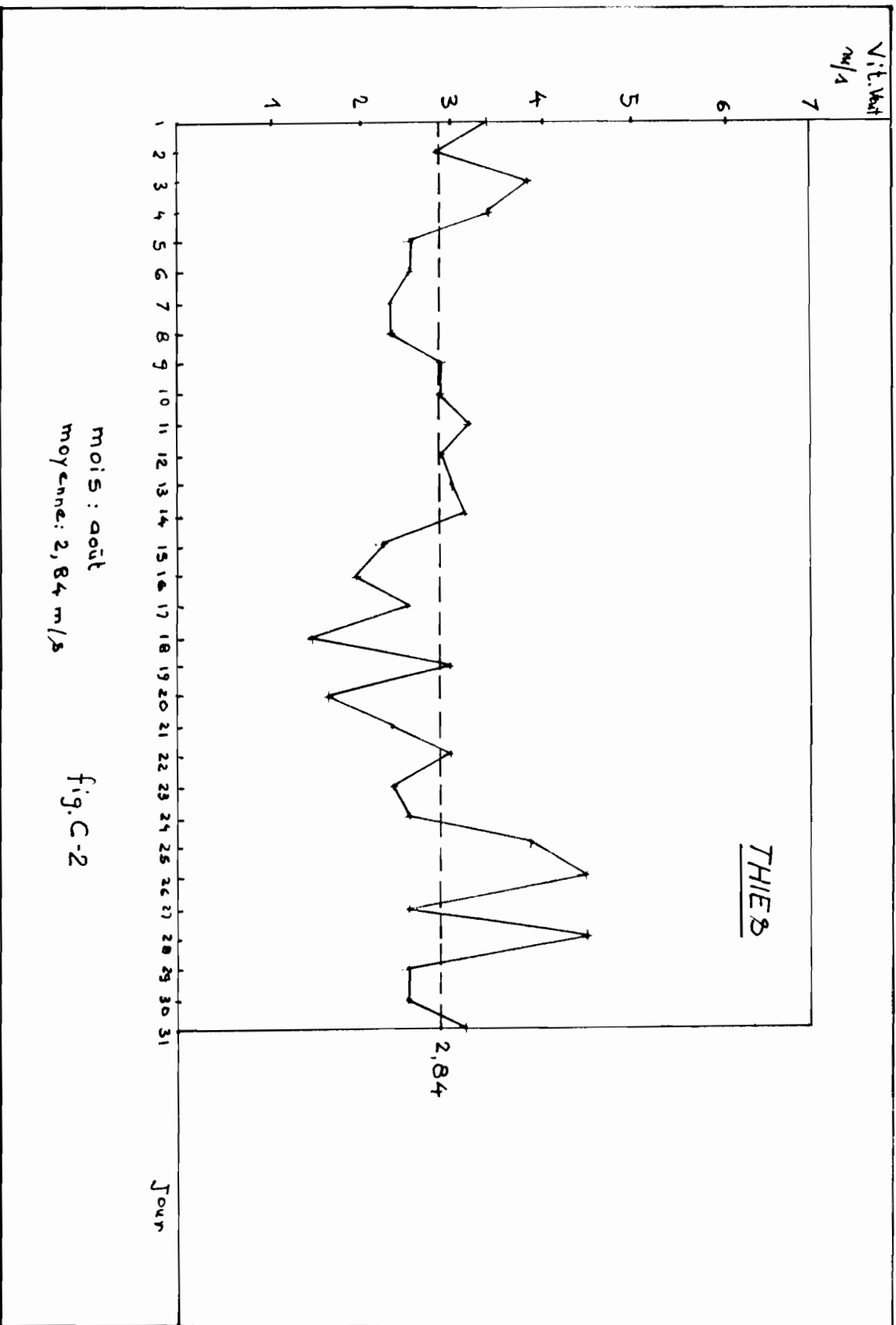
Vitesse moyennes journalières en m/s

Jour	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Fevrier
1	-	3,44	1,29	1,72	2,37	3,44	3,87	3,87
2	-	2,80	2,15	1,72	2,58	3,44	3,01	3,01
3	-	3,87	1,72	2,15	3,01	3,01	6,02	3,41
4	3,23	3,44	1,72	2,15	2,37	3,87	5,59	3,01
5	1,51	2,58	1,72	2,58	1,29	3,41	6,45	2,58
6	2,15	2,58	2,15	2,15	-	3,01	5,16	3,01
7	2,58	2,37	2,15	3,44	2,58	3,41	5,16	3,41
8	1,72	2,37	1,72	3,01	2,58	4,30	4,73	3,41
9	3,23	2,80	1,72	2,37	2,58	3,01	4,73	2,58
10	3,66	2,80	1,29	2,58	2,15	3,01	4,73	3,41
11	2,80	3,23	1,72	3,01	2,15	3,41	6,02	4,30

12	3,01	2,80	1,72	2,15	3,01	4,73	3,41	3,87
13	3,44	3,01	1,51	2,58	3,01	5,16	3,41	3,87
14	3,66	3,23	1,72	2,58	3,44	3,87	-	3,41
15	2,37	2,37	1,94	1,72	3,44	4,30	4,30	3,41
16	2,58	1,94	2,15	2,15	3,23	2,58	5,16	
17	3,01	2,58	1,94	2,15	3,01	3,87	5,16	
18	2,15	1,51	1,51	1,94	3,01	3,87	4,30	
19	2,15	3,01	2,58	3,01	3,01	3,01	3,41	
20	-	1,72	1,29	3,44	3,44	2,58	4,30	
21	-	2,37	2,15	2,80	3,44	2,15	5,16	
22	3,87	3,01	1,72	2,58	2,58	2,15	4,73	
23	3,87	2,37	2,15	2,15	3,44	3,87	5,16	
24	3,23	2,58	1,72	3,01	3,44	3,01	4,30	
25	1,72	3,87	1,72	3,87	3,44	2,58	3,41	

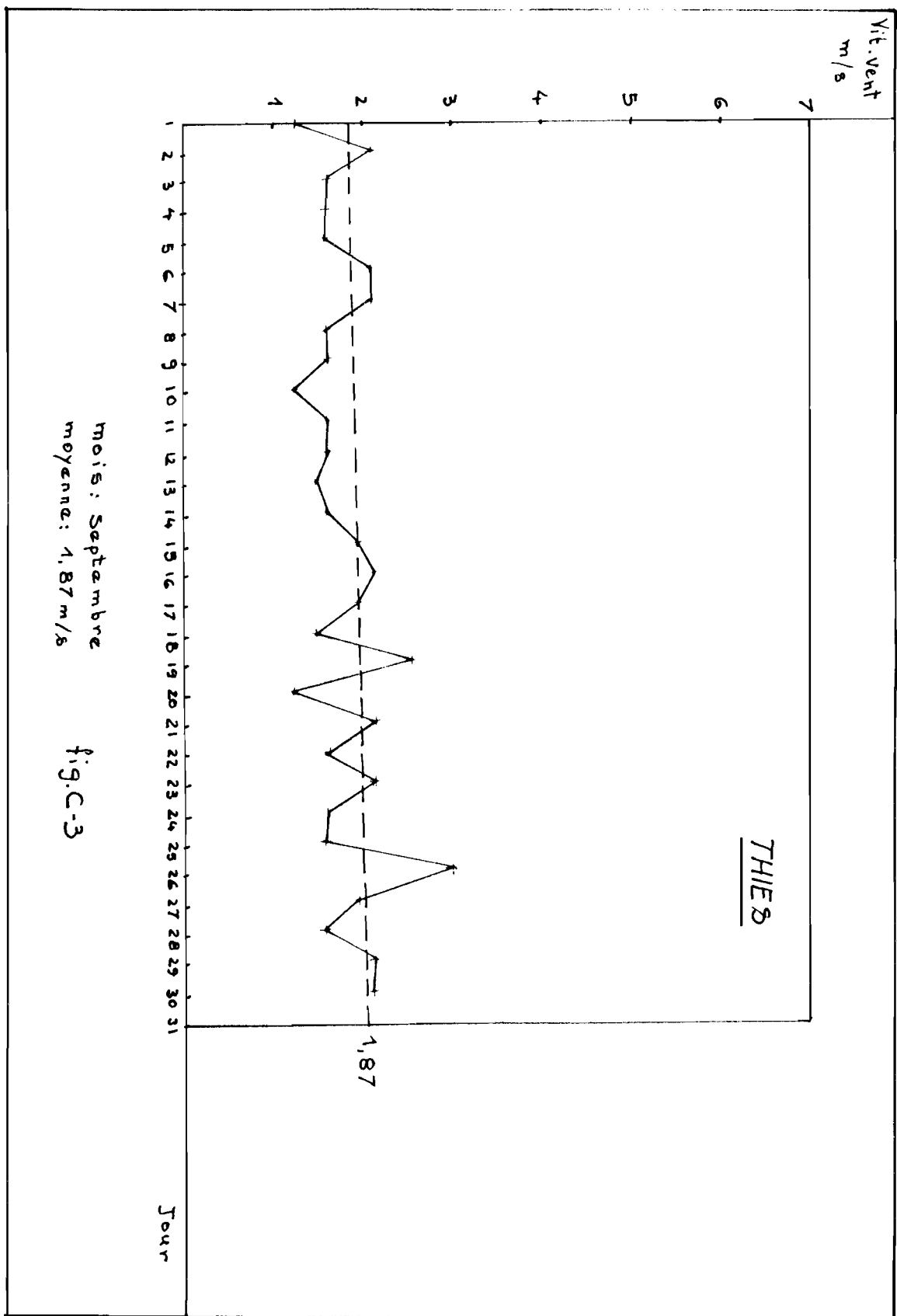
26	1,72	4,52	3,01	4,30	2,58	2,58	3,01
27	-	2,58	1,94	3,01	2,15	3,01	3,41
28	-	3,87	1,72	2,58	2,15	2,58	3,87
29	3,44	2,58	2,15	4,30	3,01	2,15	4,30
30	3,23	2,58	2,15	3,44	8,44	2,15	5,16
31	3,66	3,23	-	2,15	-	2,58	4,73

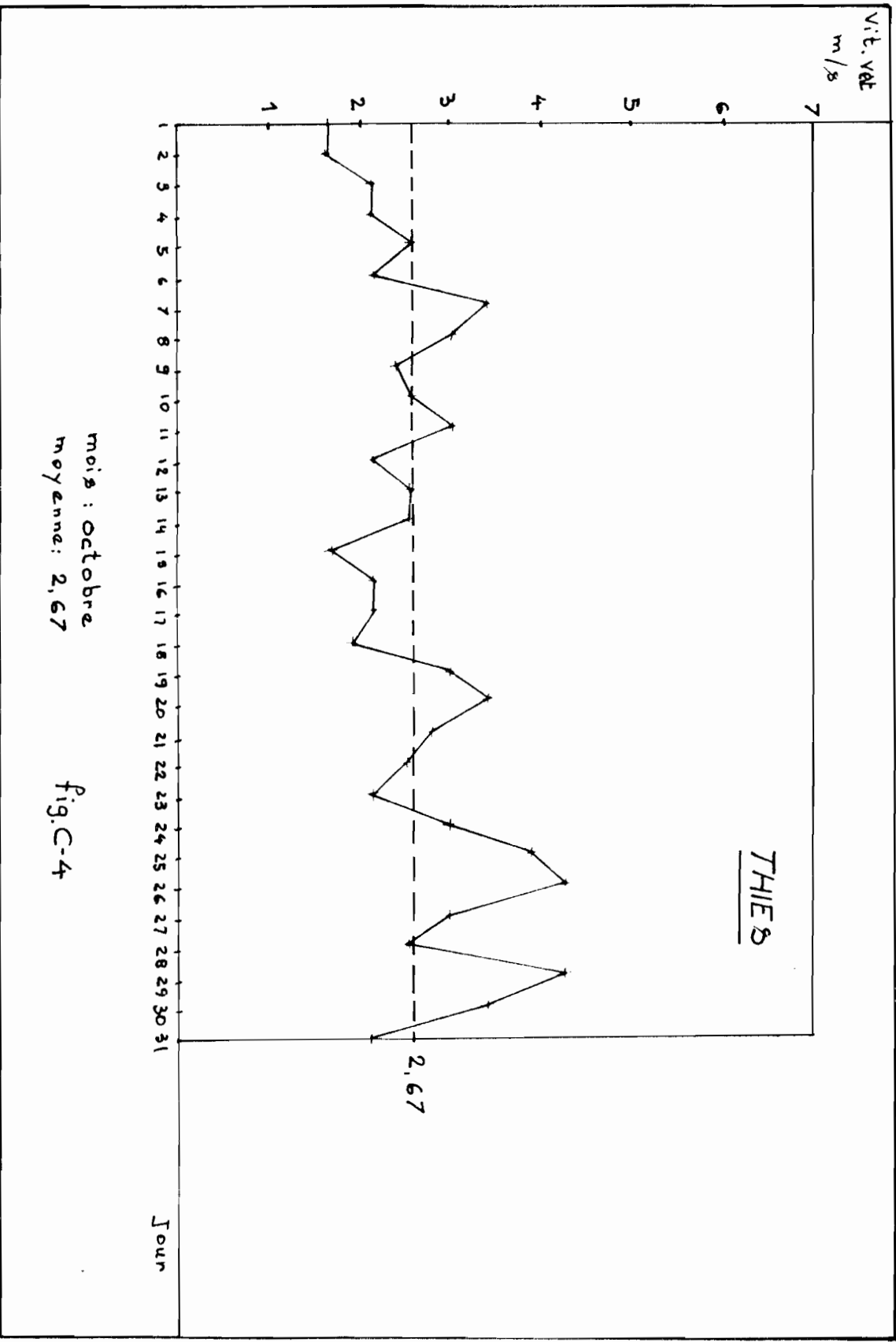




mois : août
moyenne: 2,84 m/4

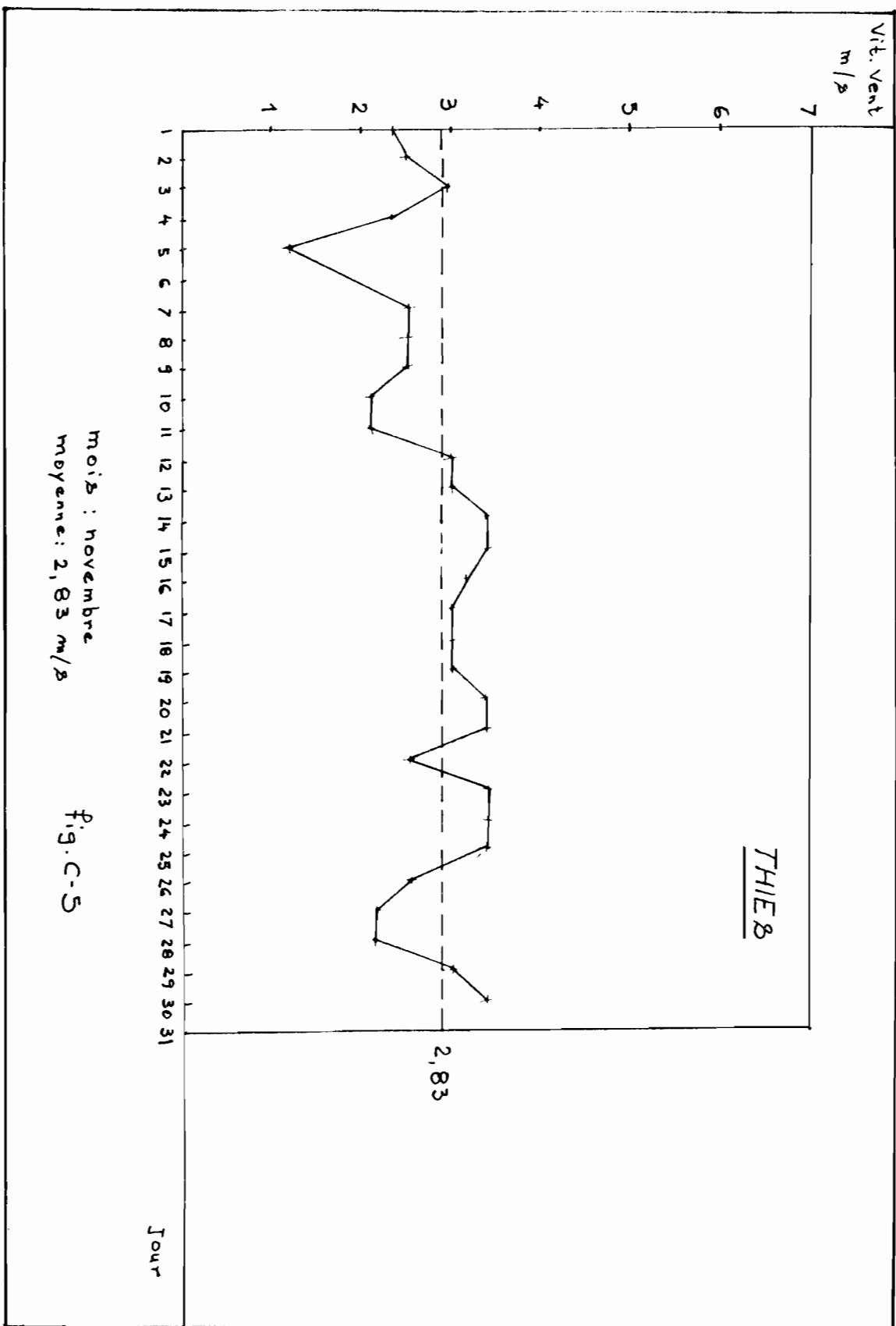
fig. C-2

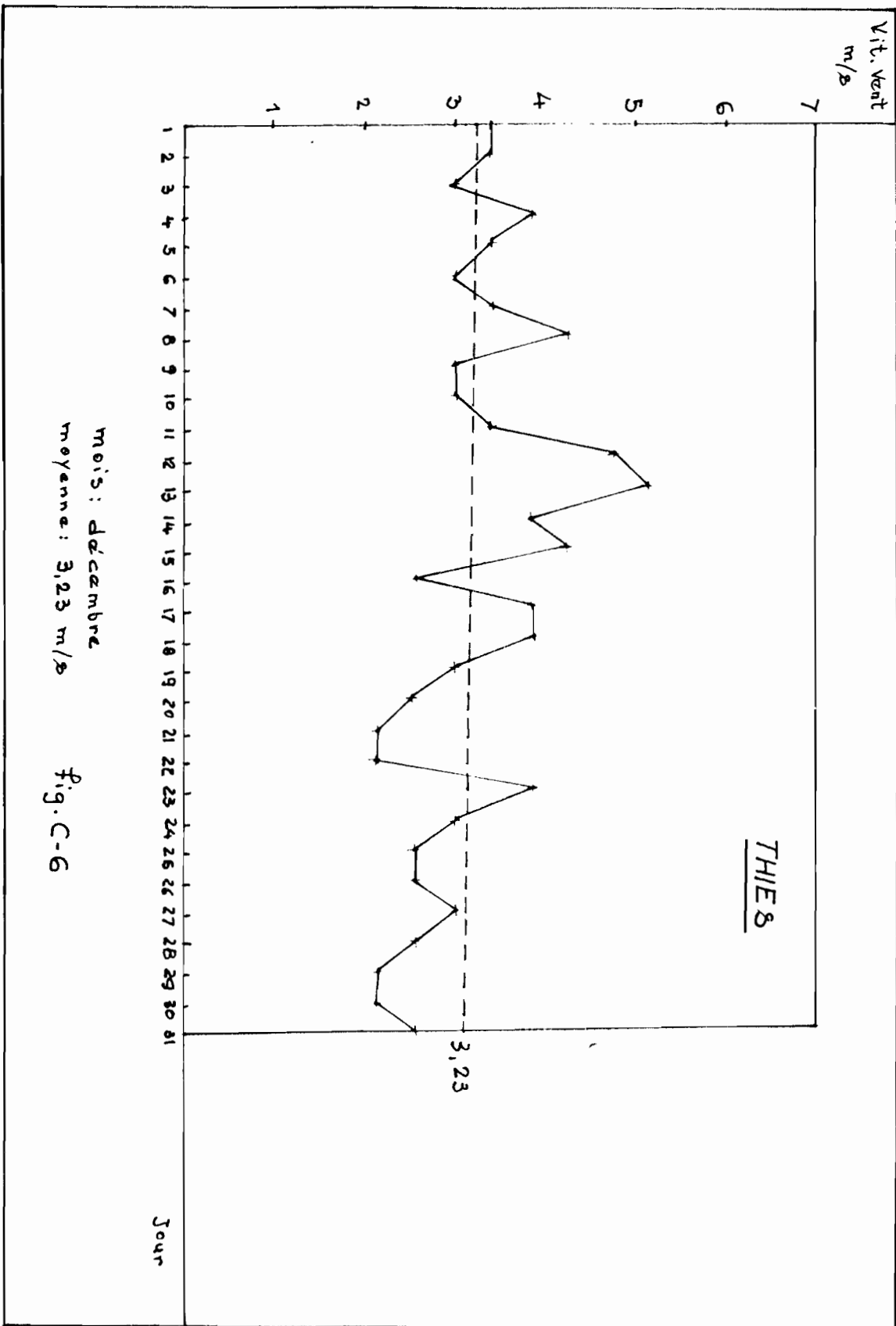


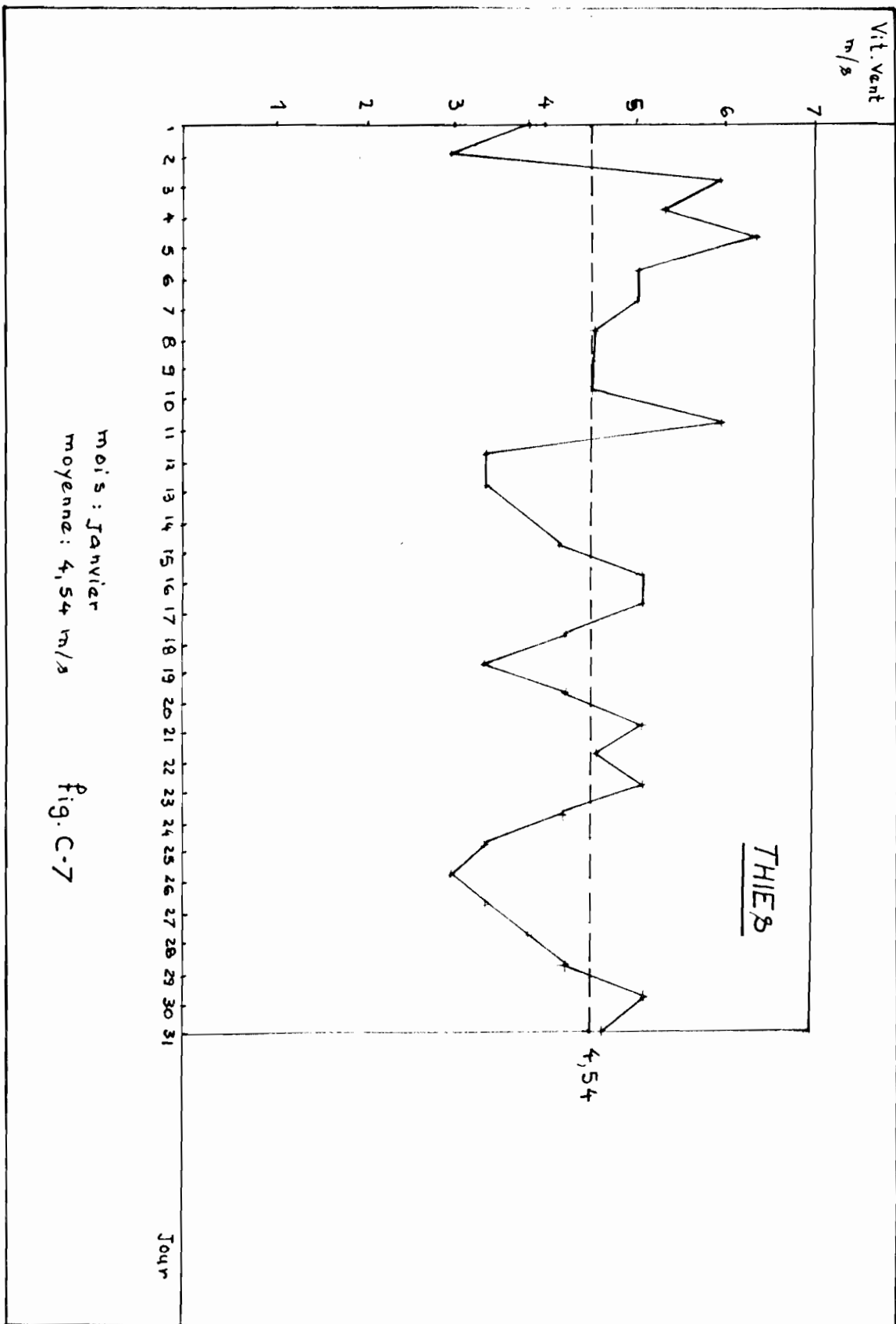


mois : Octobre
moyenne : 2,67

fig. C-4

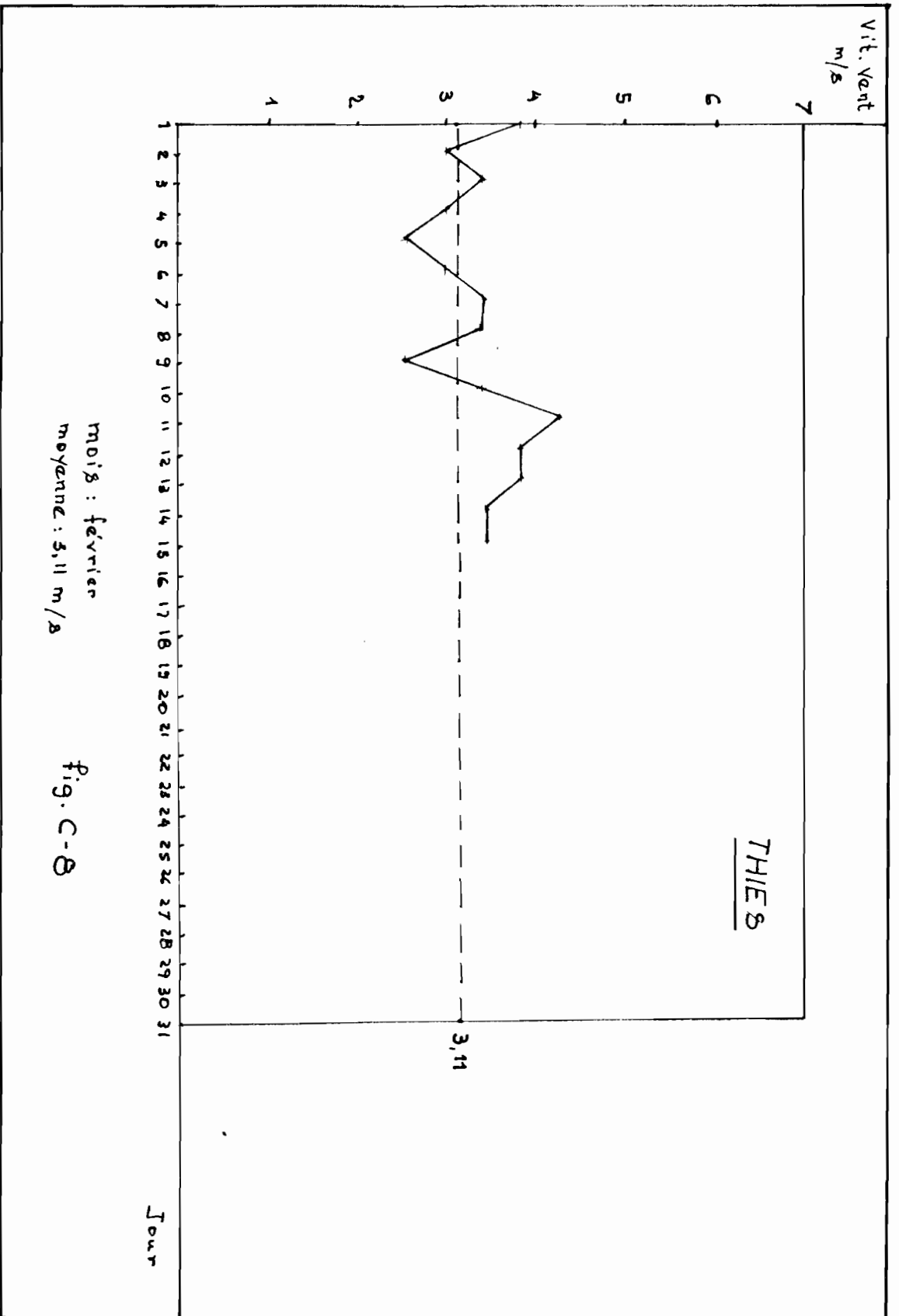






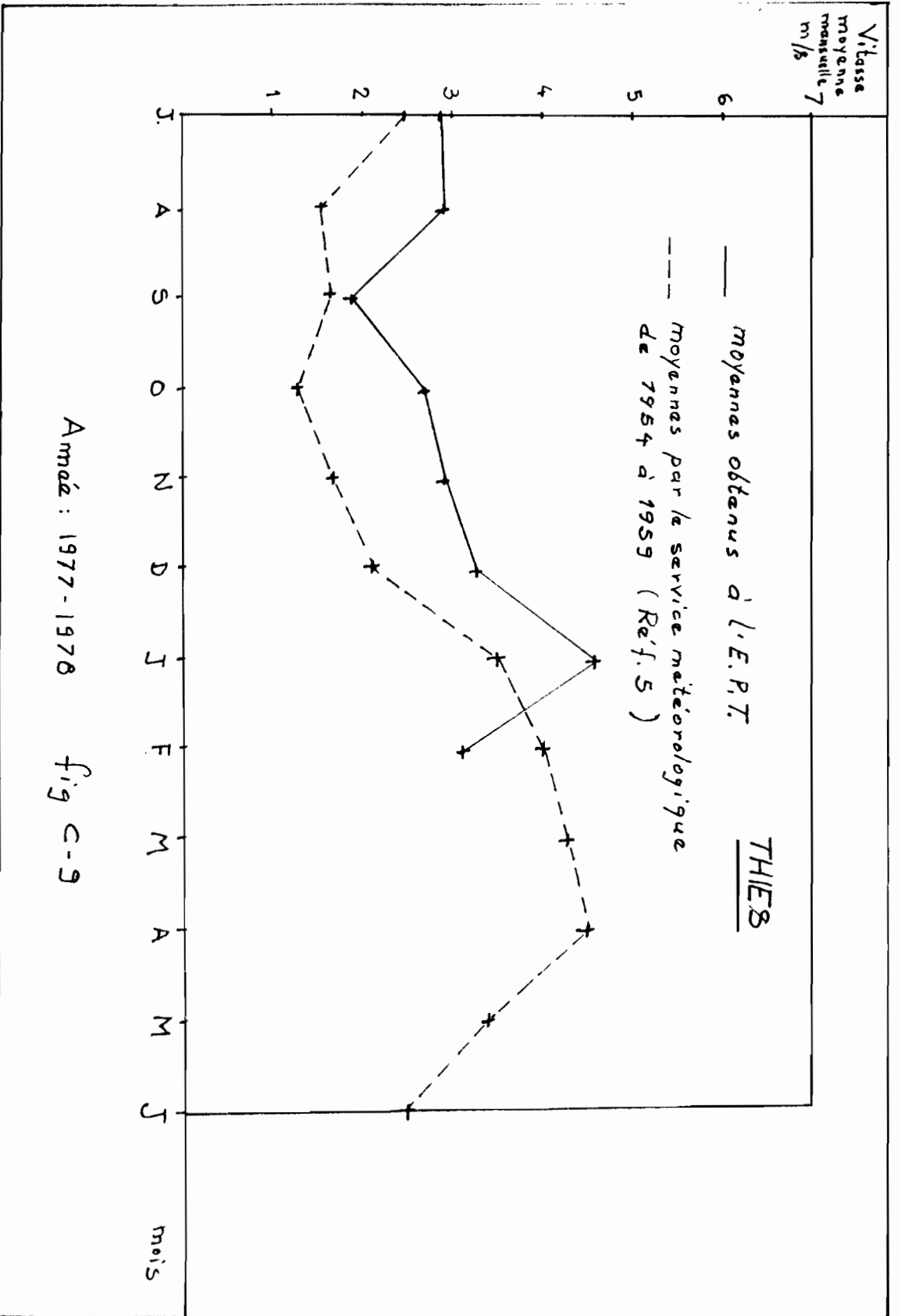
mois : Janvier
moyenne : 4,54 m/s

Fig. C-7

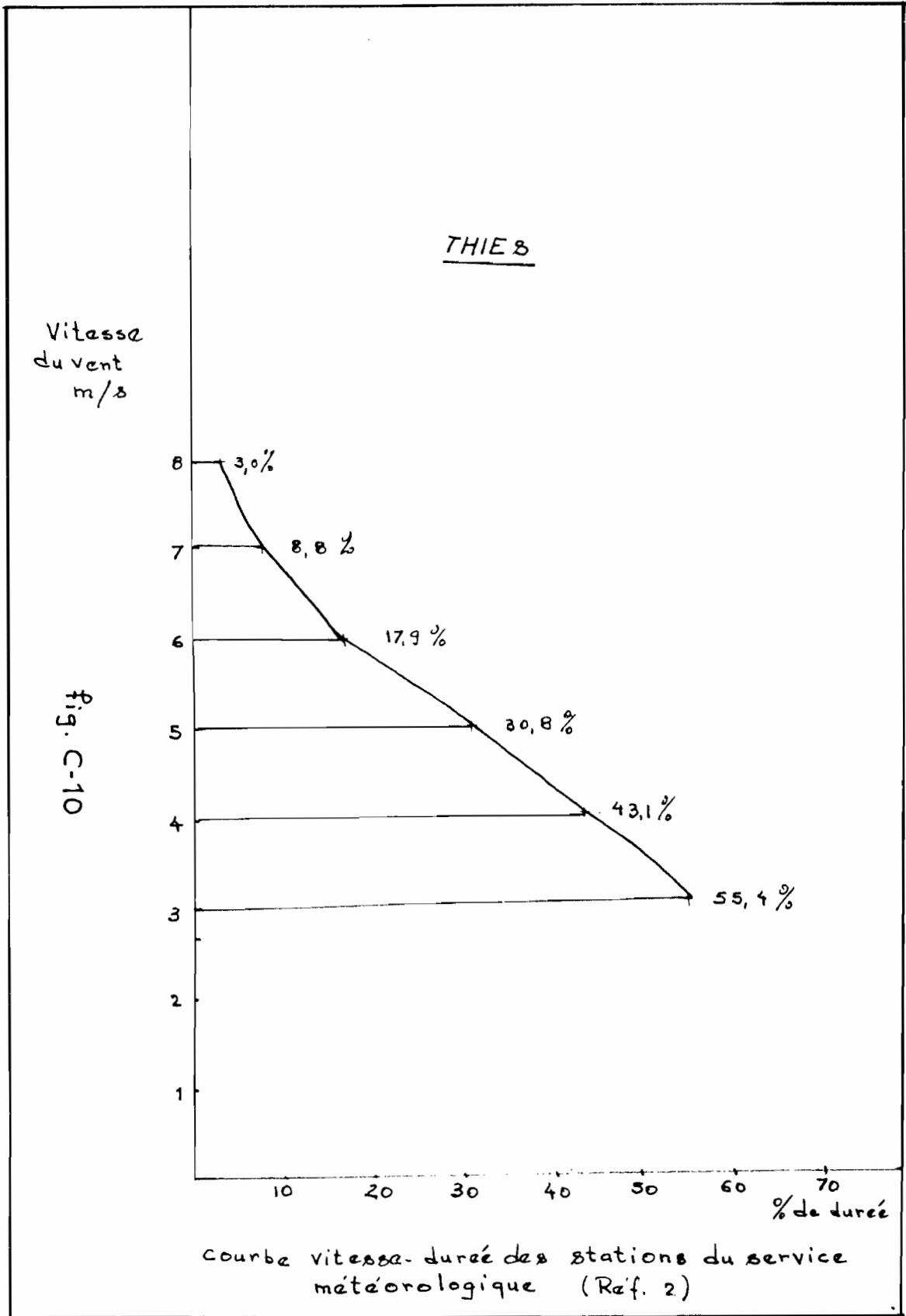


mois : février
moyenne : 3,11 m/s

fig. C-8



Année : 1977-1978 fig C-9



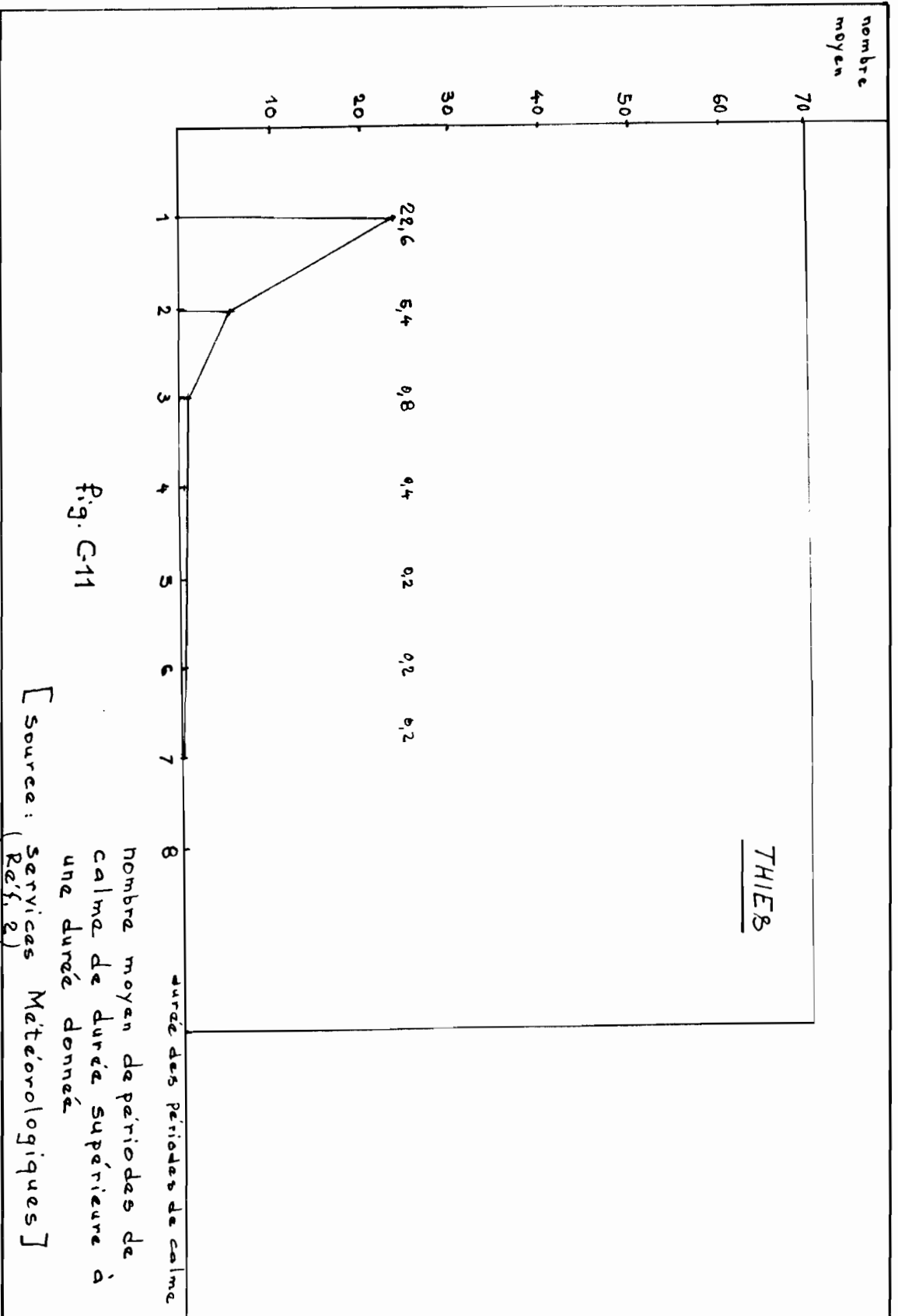
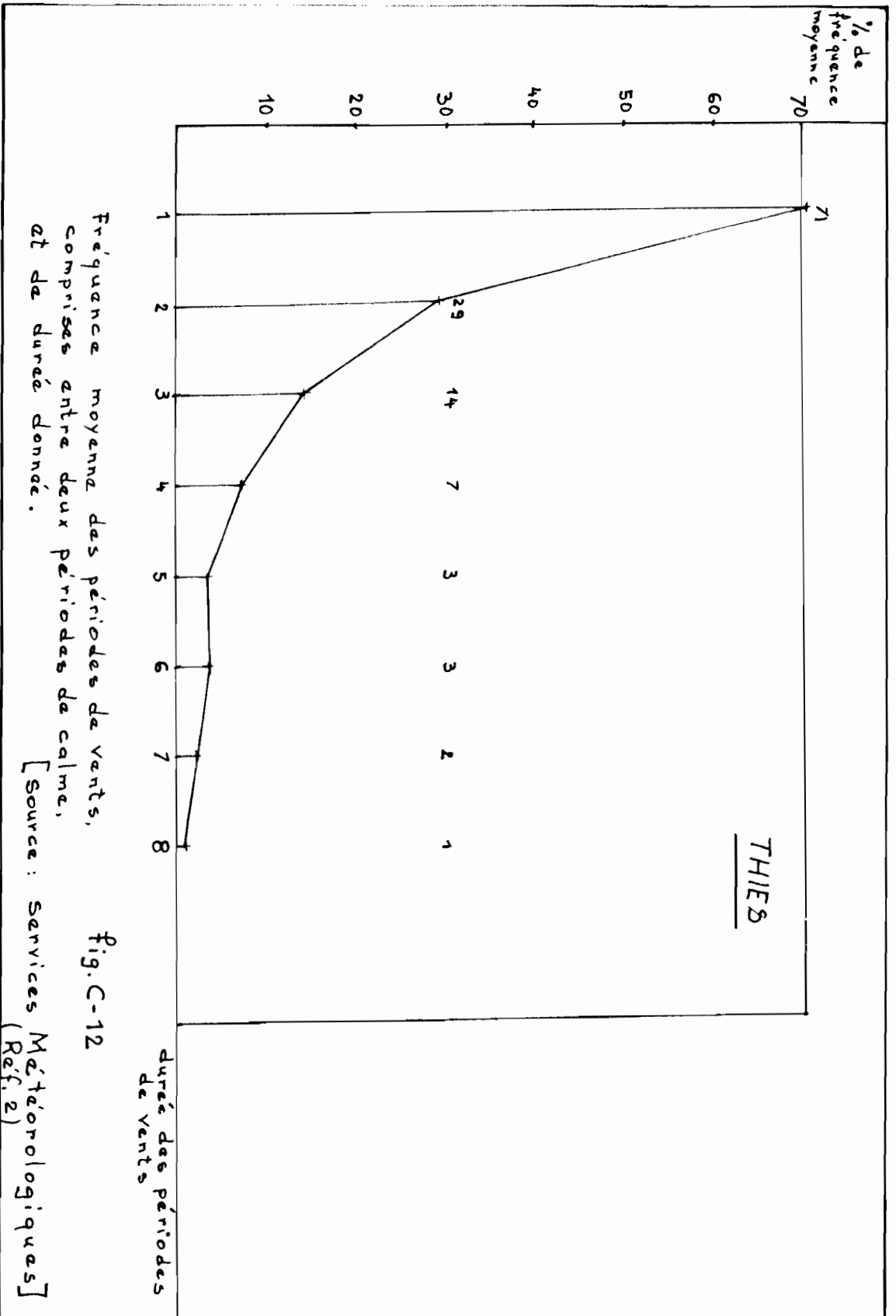


Fig. G-11

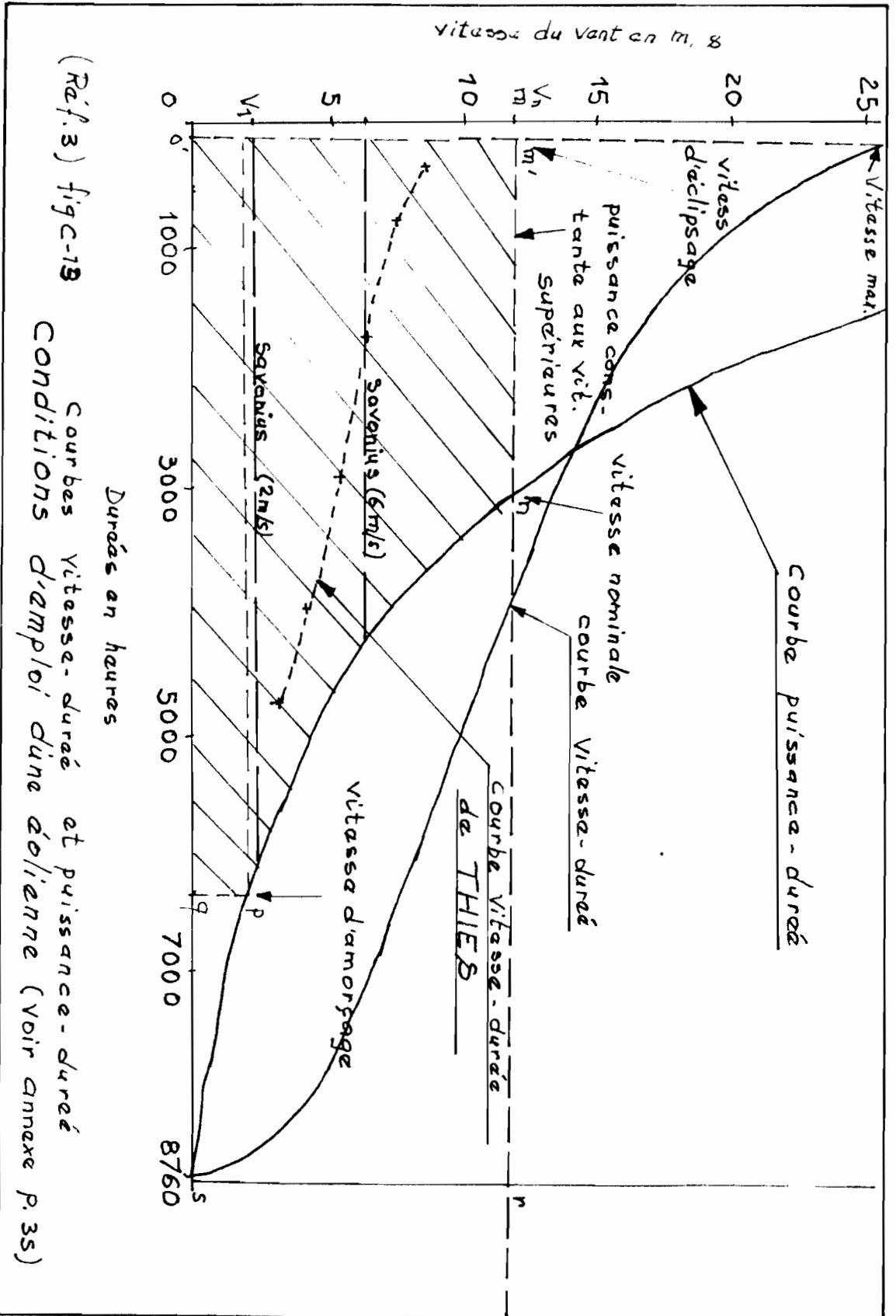
[source: Services Météorologiques]
 nombre moyen de périodes de
 calme de durée supérieure à
 une durée donnée



Fréquence moyenne des périodes de vents,
comprises entre deux périodes de calme,
et de durée donnée.

[Source: Services Météorologiques]

fig. C-12



(Ref. 3) fig-C-18

Courbes vitesse-durée et puissance-durée

Conditions d'emploi d'une délienne (voir annexe P. 35)

19-7-77 à 11H30 :

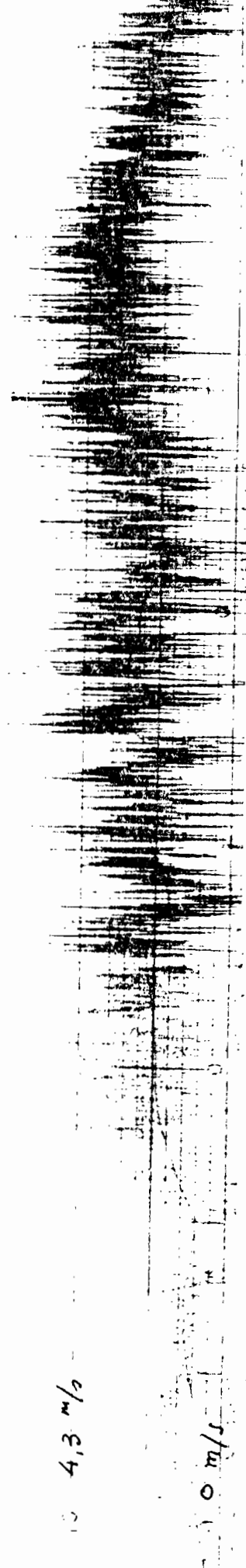
1977

(Fig. C14)

8,6 m/s

4,3 m/s

0 m/s



III CONCLUSIONS

L'incertitude dans les mesures et l'imprécision de la méthode utilisée pour la détermination des vitesses moyennes journalières réduisent la portée scientifique de ce présent document. Comme déjà mentionné, les données dont on dispose s'étalent sur une période de 8 mois. Il serait arbitraire de conclure avec ces valeurs si l'on ne savait pas que durant les 4 mois restant (de mars à juin), les vents sont relativement forts.

On peut cependant conclure que pour la période de l'alizé maritime boréal, en admettant qu'il existe un certain caractère répétitif du vent à Thiès, l'exploitation de l'énergie éolienne à Thiès est rentable, à condition d'utiliser une éolienne adéquate. L'éolienne Savonius constitue un choix judicieux dans un pays en voie de développement.

comme le Sénégal. En effet il est simple de construction et d'entretien, et peu dispendieux. En nous basant sur les essais de Monsieur BREMONT (réf. 5), effectués sur ce type d'éolienne, nous pouvons ajouter ^{pour} que, ^{pour} des vents de vitesses situées entre 2 et 6 m/s, l'emploi du rotor Savonius à plusieurs étages s'avère satisfaisant, malgré son rendement faible (40%). Nous rappelons que dans notre contexte, l'exploitation de l'énergie éolienne est nécessaire, le problème de l'exhaure de l'eau dans nos villages ne se posant pas en terme de rentabilité, mais de nécessité. Le fonctionnement du rotor Savonius ne requiert qu'un vent de vitesse relativement faible, et ce "bon petit vent", nous l'avons à Thiès.

Nous espérons que ces renseignements seront profitables et permettront notamment d'éviter des investissements inutiles et de mieux délimiter le champ des études futures sur l'exploitation de l'énergie éolienne à Thiès.

BIBLIOGRAPHIE

Réf 1 : UNIVERSITE DE SHERBROOKE ,

29 mai 1974 ,

Energie éolienne : Réalisation et possibilités ,
compte rendu du colloque organisé par
le département de génie mécanique de
la faculté des Sciences Appliquées sous
les auspices de l'ACFAS ,

Pages 21, 148, 186.

Réf. 2 : I. CHERET ,

Etude du régime des vents en Afrique

Occidentale ,

Possibilités d'utilisation des éoliennes pour
l'exhaure de l'eau, 1962,

pages 13, 44, 47 .

Réf. 3 : FELIX DA MATHA SANT'ANNA ,

ing. civil ,

Les moulins à vents et l'énergie de demain

mémoire soumis pour l'obtention d'une
maîtrise d'ingénieur (M. ing.)

Département de génie mécanique
section design de machines

Ecole Polytechnique

Université de Montréal.

Déc. 1975,

pages 167, 179, 180.

Réf. 4: Directives sur l'anémométrie TAYLOR
n.º 3105,

Wind speed & direction indicator Taylor
instrument

Réf. 5: MINISTÈRE DES T.P.
DES TRANSPORTS et des MINES
SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE,
Le climat du Sénégal,

données statistiques,

juillet 1960, page I-10.

Réf. 6 : BREMONT (I.U.T., Dakar),
Etude et réalisation d'une éolienne
pour les pays en voie de développement,
Colloque sur l'énergie,
Ecole Polytechnique de Thiès,
mars 1978.

Réf. 7 : D. Le GOURIERES (faculté
des sciences, Université Dakar),
Les possibilités d'éoliennes en général,
Colloque sur l'énergie,
Ecole Polytechnique de Thiès,
mars 1978.

Annexes

La fig. C13, tirée de la référence n°3 montre que l'on peut choisir une éolienne de vitesse d'amorçage et nominale données, pour une courbe vitesse - durée donnée, afin d'obtenir un rendement maximum.

V_1 : "vitesse d'amorçage", vitesse à laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie

V_n : "vitesse nominale", vitesse à laquelle la pleine puissance est atteinte. Pour les vitesses supérieures à V_n , un dispositif de réglage maintient la puissance fournie à la puissance nominale.

V_{max} : vitesse de mise hors de service

La surface hachurée représente la zone d'énergie pour l'exploitation de l'éolienne.

Le rectangle $m'rso'$ est l'énergie que l'on pourrait obtenir si la machine fonctionnait à la vitesse V_n toute l'année.