

6880517

PN=AAV=944

ON MICROFILM



CATALOGUE

028055

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET DU TOURISME

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple - Un But - Une Foi

DIRECTION NATIONALE DE L'HYDRAULIQUE
ET DE L'ENERGIE

LABORATOIRE DE L'ENERGIE SOLAIRE

II CONSTRUCTION, TEST ET ADAPTATION AU POMPAGE D'EOLIENNES
DE TYPE "SAHORES" II

*Construction, testing & Adaptation of SAHORE water -
pumping windmills*

PAR

22 6 1981

MAHAMANE B.	TOURE
FATOGOMA	DEMBELE
ALLAN	WYATT
MODIBO	DICKO
CHEICKNA	TRAORE

DECEMBRE 1981

A. INTRODUCTION

B. EOLIENNE DE MORIBABOUGOU

1. TEST A VIDE

- 1.1. Caracteristiques dimensionnelles et matériaux utilisés pour sa construction.
- 1.2 Différentes formules utilisées
- 1.3 Valeurs utilisées pour nos calculs
- 1.4 Méthode et appareils utilisés pour nos relevés
- 1.5 Tableau de relevés effectués sans aucune charge
- 1.6 Relevés effectués avec le "Frein de Prony"
 - 1.6.1 Système du "Frein de Prony"
 - 1.6.2 Tableau des relevés

2. TEST EN CHARGE

- 2.1 Principe de fonctionnement de la pompe
- 2.2 Formules et Valeurs des coefficients
- 2.3 Tableau des relevés

C. EOLIENNE DE SAMA

I. CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

II. FORMULES ET VALEURS DES COEFFICIENTS UTILISEES POUR NOS CALCULS

III. TABLEAU DES RELEVES

D. CONCLUSION GENERALE

A. INTRODUCTION

L'exploitation de l'énergie éolienne consiste essentiellement en deux (2) systèmes :

a. Les éoliennes à axes horizontaux qui admettent de faibles vitesses du vent (2 à 3m/s). Ces éoliennes peuvent être classées en 2 catégories :

- Les éoliennes lentes (de 6 à 24 pales) utilisées soit pour les moulins à vents soit pour le pompage de l'eau.

- et les éoliennes rapides (2 à 4 pales) utilisées pour la production d'électricité.

b. Les éoliennes à axes verticaux qui nécessitent des vitesses de vent plus élevées que les premières (4 à 5 m/s).

Notre rapport consistera à présenter les résultats des tests et les caractéristiques de deux éoliennes de type "SAHORES":

- La première de type SAHORES original construite à Ségou (Mali) par le Père PLASTEQUE comportant des roulements à bois et installée dans un jardin potager au bord du fleuve Niger à SAMA (village situé à 70 Km de Ségou).

- La deuxième de type SAHORES aussi, mais construite au LABORATOIRE DE L'ENERGIE SOLAIRE A BAMAKO avec quelques petites modifications notamment au niveau du montage de la roue et de la bielle. Cette éolienne est installée à MORIBABOUGOU (village situé à 15 Km de BAMAKO).

La roue est montée sur des roulements à une rangée de bielles. La pompe entraînée est une Hydro-pompe VERGNET tirant l'eau du fleuve.

Dans la suite du rapport, nous vous présenterons les différents schémas de fonctionnement de l'éolienne de Moribabougou et ses caractéristiques, et nous nous contenterons de présenter les caractéristiques de l'éolienne de Sama suivant des relevés que nous avons effectués sur ce site en Juillet 1981.

B. EOLIENNE DE MORIBABOUGOU

1. TEST A VIDE

1.1. Caractéristiques Dimensionnelles et Matériaux utilisés pour sa Construction

Les matériaux utilisés pour la construction de l'éolienne sont les suivants :

- La tôle galvanisée pour les pales.

- Le bambou utilisé pour le support des pales, le gouvernail et

l'axe central soutenant les pales sur des fils de fer.

- Le bois : est utilisé pour la tête de l'éolienne et la base (le support des pales).
- Le tuyau galvanisé est utilisé pour le support de l'éolienne.
- Du câble en acier Ø 1mm (pour les freins de moteur) est utilisé pour le système d'ouverture des pales quand la vitesse du vent atteint une certaine valeur.
- Du câble en acier Ø 4mm pour l'équilibre du système.
- Et de l'élastique et du fil de coton relie 4 des pales (diamétralement opposées 2 à 2) à l'axe central pour le système d'ouverture des pales quand la vitesse du vent dépasse une certaine valeur.

Diamètre de la roue	D = 3 m
Hauteur	h = 5 m
Longueur de la bielle	L = 11cm
Surface de la roue	A = 7.07 m ²

La Fig.1 représente le schéma de l'installation avec le système du "Frein de Prony"

En effet notre éolienne comporte 16 pales.

1.2. Différentes Formules Utilisées

- Puissance du vent

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

- A = Surface de la roue
- ρ = Masse spécifique de l'air = 1,185 Kg/m³
- V = Vitesse du vent en m/s

- Puissance développée par l'éolienne avec le frein de Prony

$$PE = F \times R \times g \cdot \omega$$

- F = Valeurs relatives
- R = Rayon de la roue
- ω = Accélération angulaire

- Coefficient de Puissance

$$C_p = \frac{PE}{P_v}$$

- Vitesse spécifique

$$\lambda = \frac{2\pi r N}{60V}$$

r = Rayon de la roue de l'hélicoptère

N = Trs/mm de la roue

V = Vitesse du vent m/r

1.3 Valeurs Utilisées pour nos calculs

$$\begin{aligned} P_v &= 0,3726 V^3 \quad (V - \text{mph}) \\ &= 0,5667 V^3 \quad (V - \text{noeuds}) \\ &= 4,188 V^3 \quad (V - \text{m/s}) \end{aligned}$$

$$PE = 0,1179 N F$$

$$C_p = 0,0281 \frac{NF}{V^3}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{N}{V} (0,157) \quad (V - \text{m/s}) \\ &= 0,3516 \frac{N}{V} \quad (V - \text{mph}) \\ &= 0,3060 \frac{N}{V} \quad (V - \text{noeuds}) \end{aligned}$$

1.4. Méthode et Appareils Utilisés pour nos Relevés

Les appareils utilisés sont : un anémomètre et un indicateur de vitesse pour la vitesse du vent.

La méthode nécessitait la présence de 4 personnes :

- Une première tenant en main un chronomètre et donnant toutes les 5 secondes pendant une minute
- Une deuxième relevant la vitesse de vent à chaque
- Une troisième comptant le nombre de tours du
- et la quatrième donnant l'application des bases "top".

Remarques : Vu la méthode et les appareils, il va de soi que les résultats sont une approximation surtout si l'on tient compte que la direction du vent est très variable.

Suivant la direction du vent, l'anémomètre placé à quelques 10 m de l'éolienne peut indiquer une vitesse du vent qui n'a pas encore atteint la roue et réciproquement.

- Les différents graphes $N = f(v)$ du test à vide, du test en charge et de l'éolienne de Sama ont été tracés à l'aide d'un CALCULATEUR HP67.

1.5. TABLEAU DES RELEVÉS EFFECTUÉS SANS AUCUNE CHARGE

V Noeuds	V m/s	N Trs/mm	\rightarrow
4.17	2.13	21.75	1.59
3.09	1.58	20.6	2.04
3.58	1.8	18.25	1.56
4.54	2.32	18	1.21
4.08	2.09	19.75	1.48
4.27	2.24	18.6	1.30
4.87	2.49	23	1.44
5.03	2.58	21.75	1.32
4.67	2.39	22.25	1.46
5.46	2.80	25	1.40
4.67	2.39	20.5	1.34
7.79	3.99	43	1.69
7.025	3.6	39	1.70
7	3.59	41.5	1.81
5.92	3.03	38.4	1.99
6.79	3.48	37	1.95
5.625	2.88	36.4	1.84
4.22	2.16	32.3	2.01
4.04	2.07	38	2.12

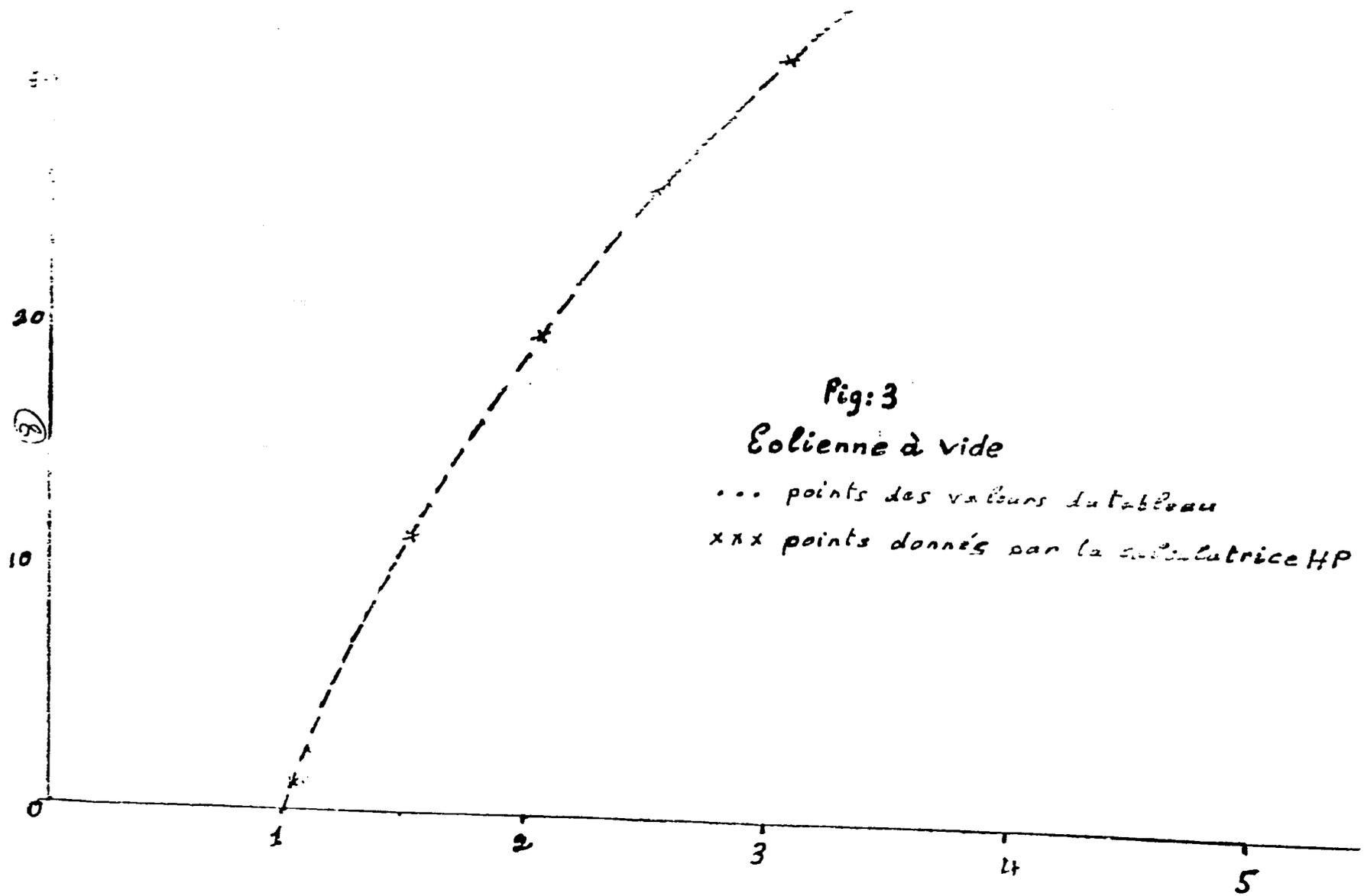


Fig: 3

Eolienne à vide

... points des valeurs du tableau
 xxx points donnés par la calculatrice HP

NB : La Fig.3 représente le graphe $N = f(V)$ tracé à partir du tableau. Sur ce graphe on peut remarquer que si la vitesse atteint une certaine valeur (dans l'ordre de 6 à 7 m/s), l'éolienne s'arrête, en cas de mauvais fonctionnement du système permettant la fermeture des pales. Nous avons vécu cette expérience au début de l'installation lors d'une tornade, qui a provoqué l'arrachement de la roue de l'éolienne.

Le graphe donne également la vitesse de démarrage qui est de 1m/s.

1.6 Relais effectués avec le "Frein de Prony"

1.6.1. Système du Frein de Prony

Le schéma est représenté par la Fig.1.

Le "Frein de Prony" est en effet constitué des éléments suivants :

- 2 balances (dynamomètres)
- 1 courroie
- 2 tendeurs
- 1 poulie et
- 1 un système rigide fixé à la tête de l'éolienne.

La poulie est montée sur l'axe de la roue et supporte la courroie qui à son tour maintient les 2 balances à ces deux bouts qui sont à leur tour reliés au système rigide par les deux tendeurs comme l'indique la Figure.

Les tendeurs ont pour rôle de pouvoir augmenter la pression de la courroie sur la poulie de façon à provoquer un freinage de la roue. Si malgré le freinage, la force du vent provoque la rotation de la roue, l'aiguille d'une des balances et permet ainsi de mesurer la force appliquée.

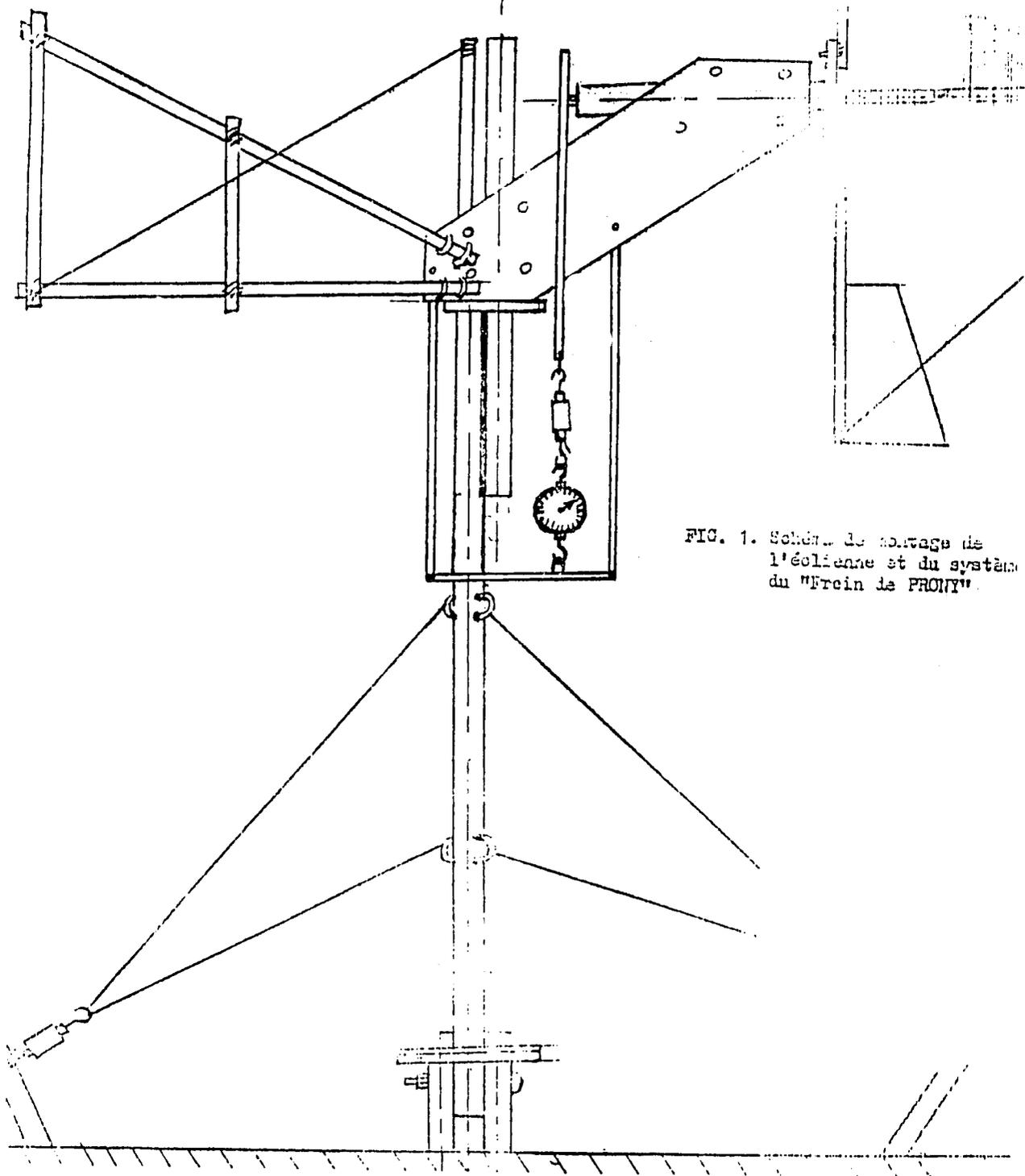
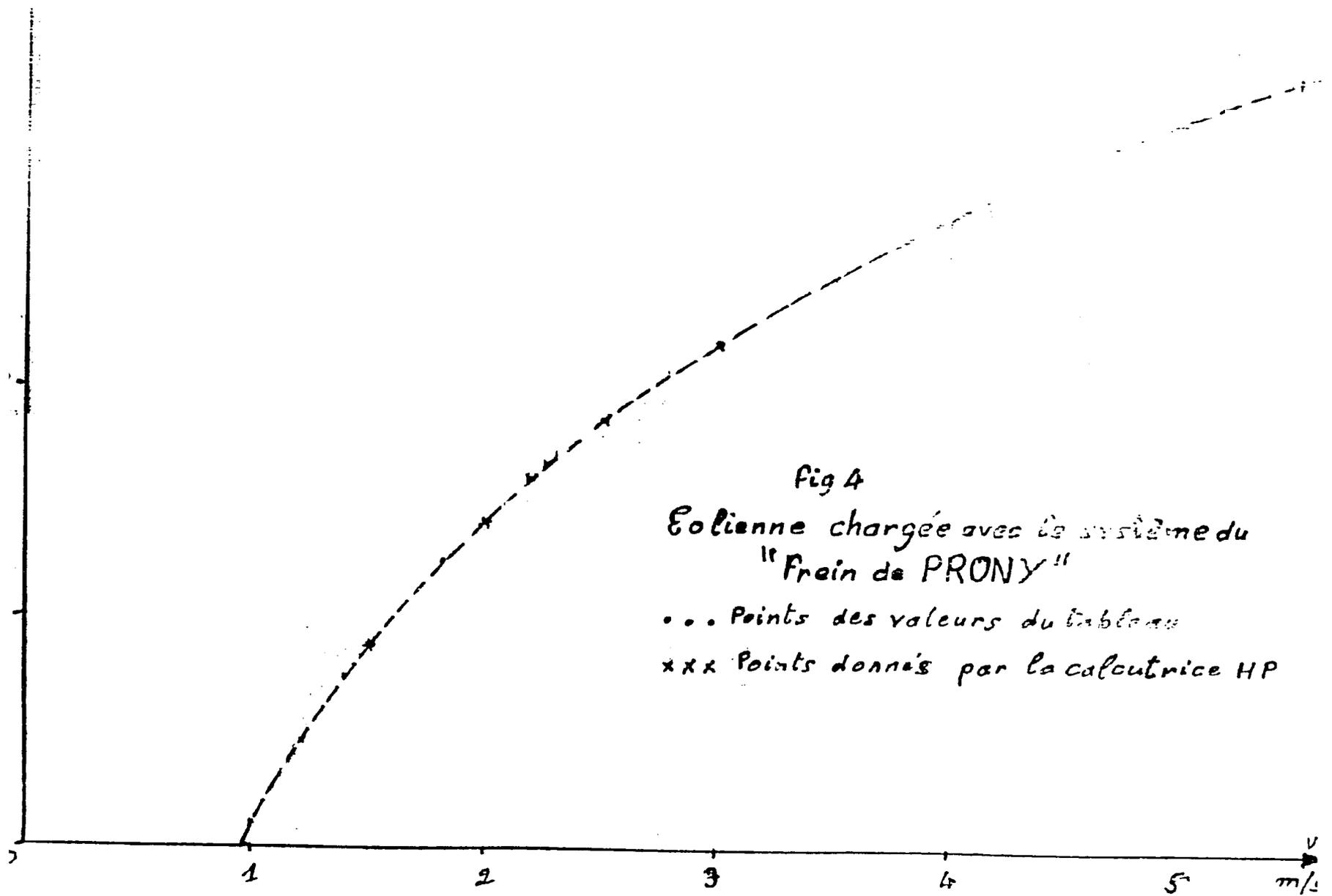


FIG. 1. Schéma de montage de l'éolienne et du système du "Frein de PRONY".

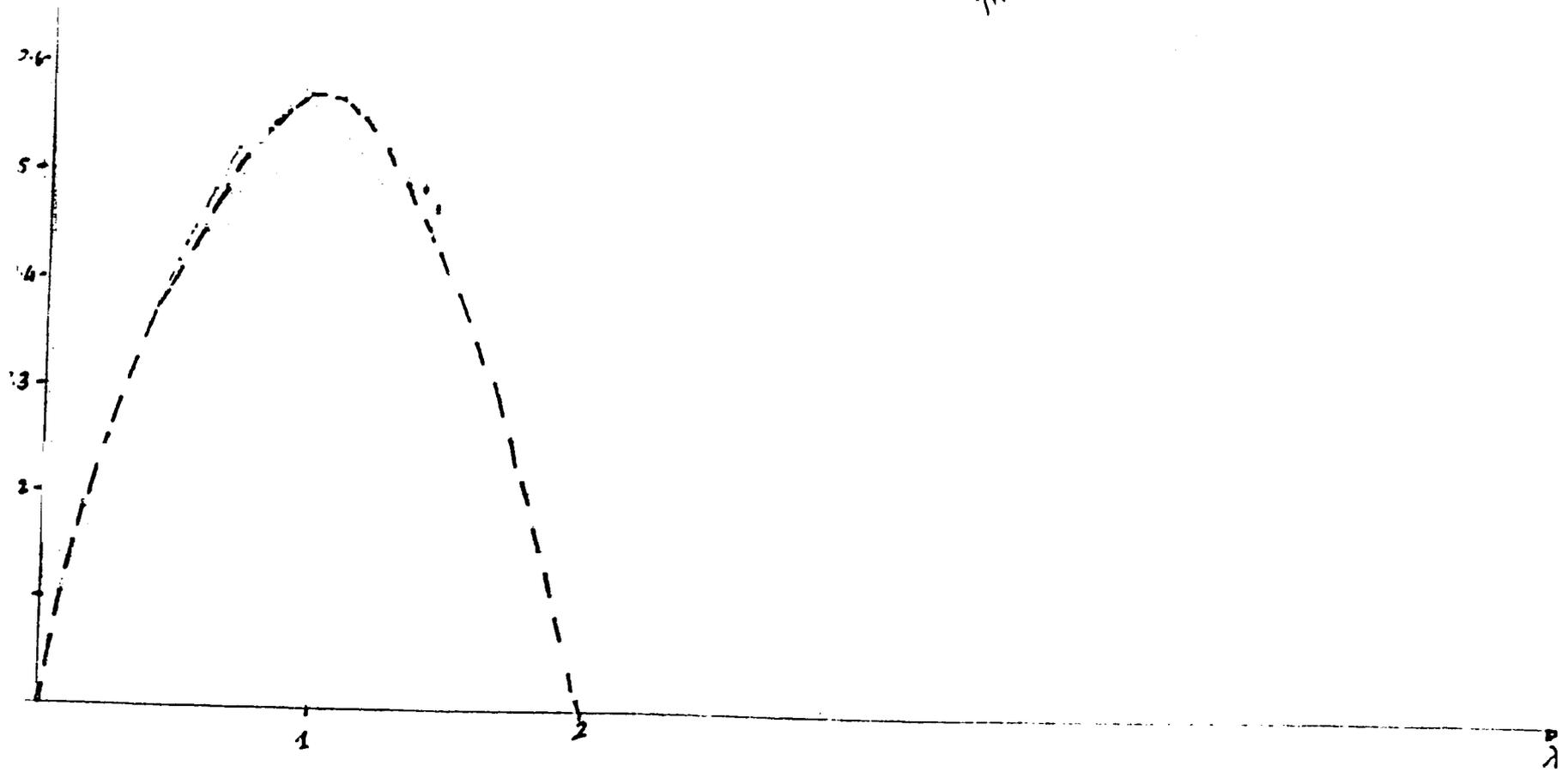
1.6.2 Tableau des Valeurs

TABLEAU 2

F Kg	V Noeuds	V m/s	N	C _p	A
8.3	3.4	1.74	12.6	0.55	1.13
11.9	4.9	2.5	23	0.49	1.4
13.3	5.29	2.7	24.8	0.47	1.43
11.58	4.5	2.3	19	0.5	1.29
8.1	2.69	1.37	10.8	0.95	1.23
7.40	2.92	1.49	7.4	0.46	0.775
7.5	2.46	1.26	6.6	0.69	0.821
7.6	2.76	1.41	7.4	0.56	0.82
7.65	2.83	1.45	5.4	0.38	0.584
11.03	3.55	1.82	12.4	0.63	1.07
14.76	6.54	3.35	29	0.31	1.357
13.59	5.15	2.69	22.7	0.44	1.323
10.44	4.25	2.18	15	0.42	1.08
10.17	3.25	1.66	12.4	0.77	1.167
11.28	4.42	2.26	15	0.41	1.013
22.6	7.25	3.71	28	0.34	1.18
21.78	7.375	3.78	28.5	0.32	1.19
22.25	7.375	3.78	28.5	0.33	1.18
22.53	6.	3.07	23.7	0.61	1.27
22.51	7.92	4.06	31.5	0.29	1.22
21.18	6	3.07	21.5	0.44	1.19
21.13	6.	3.07	20	0.41	1.02
20.82	6.08	3.11	19.5	0.37	0.98
17.86	4.29	2.20	11.8	0.55	0.94
20.67	5.14	2.73	19.5	0.62	1.16
22.56	7.375	3.78	30	0.35	0.936
21.27	5	2.56	22.5	0.80	1.38
21.85	5.39	2.76	18.6	0.54	1.06
22.38	6.29	3.22	24.3	0.45	1.19
22.07	6.08	3.11	23.4	0.48	1.18
21.67	6	3.07	21.5	0.45	1.19
21.60	6.125	3.14	20.7	0.40	1.03
21.49	5.50	2.82	19.6	0.52	1.09
20.83	5.88	3.01	21	0.45	1.09
19.43	5.46	2.8	19	0.47	1.06



TIP SPEED WIND M/S



Remarque : La Fig. 4 représente le graphe $N = f(V)$ et l'on peut remarquer une vitesse de démarrage de l'ordre de 1m/s.

La Fig. 5 représente la courbe $C_p = f(\omega)$. La puissance étant relevée avec le "Frein de Prony au bout de l'axe de la roue, nous admettons une valeur maximum du coefficient de puissance $C_p = 0,575$ proche du coef. de Betz = 0,593.

2 TEST EN CHARGE

Notre éolienne, comme il a déjà été souligné, est installée au bord du fleuve à Moribabougou. L'installation étant notre première expérience dans ce domaine, nous nous sommes servis des moyens de bord. C'est ainsi qu'une pompe Vergnet a été utilisée pour la charge de notre éolienne.

La Fig.5 représente l'installation de notre système (liaison mécanique, et pompe).

La pompe Vergnet est construite pour être installée sur un puits, et pour cela le corps de la pompe doit être immergé dans l'eau, pour permettre le remplissage de ce dernier par le système de vases communicants.

1.1 Principe de fonctionnement de la Pompe

- Le corps de pompe est verticalement maintenu au bord du fleuve, comme l'indique la Fig.6.

- Un tuyau plastique relie le corps de pompe à un clapet, dont l'ensemble est supporté par un flotteur en bois dans le fleuve.

- Le circuit de la boudruche, le corps de pompe, et le clapet le reliant au fleuve remplis d'eau pour l'amorçage du système.

- Le corps de pompe comporte deux clapets (entrée et sortie).

- Quand le piston comprime l'eau du circuit de la boudruche celle-ci se détend. Le clapet d'entrée se ferme sous la pression. Le corps de pompe étant plein d'eau, le clapet de sortie s'ouvre et l'eau passe dans le circuit de refoulement.

- Lorsque la boudruche se contracte, le clapet de sortie se ferme; il se crée ainsi une dépression à l'intérieur du corps de pompe, qui provoque l'ouverture du clapet d'entrée et l'eau remplit de nouveau le corps de pompe et le cycle reprend.

L'hydro-pompe VERGNET est ainsi transformée en une pompe à eau.

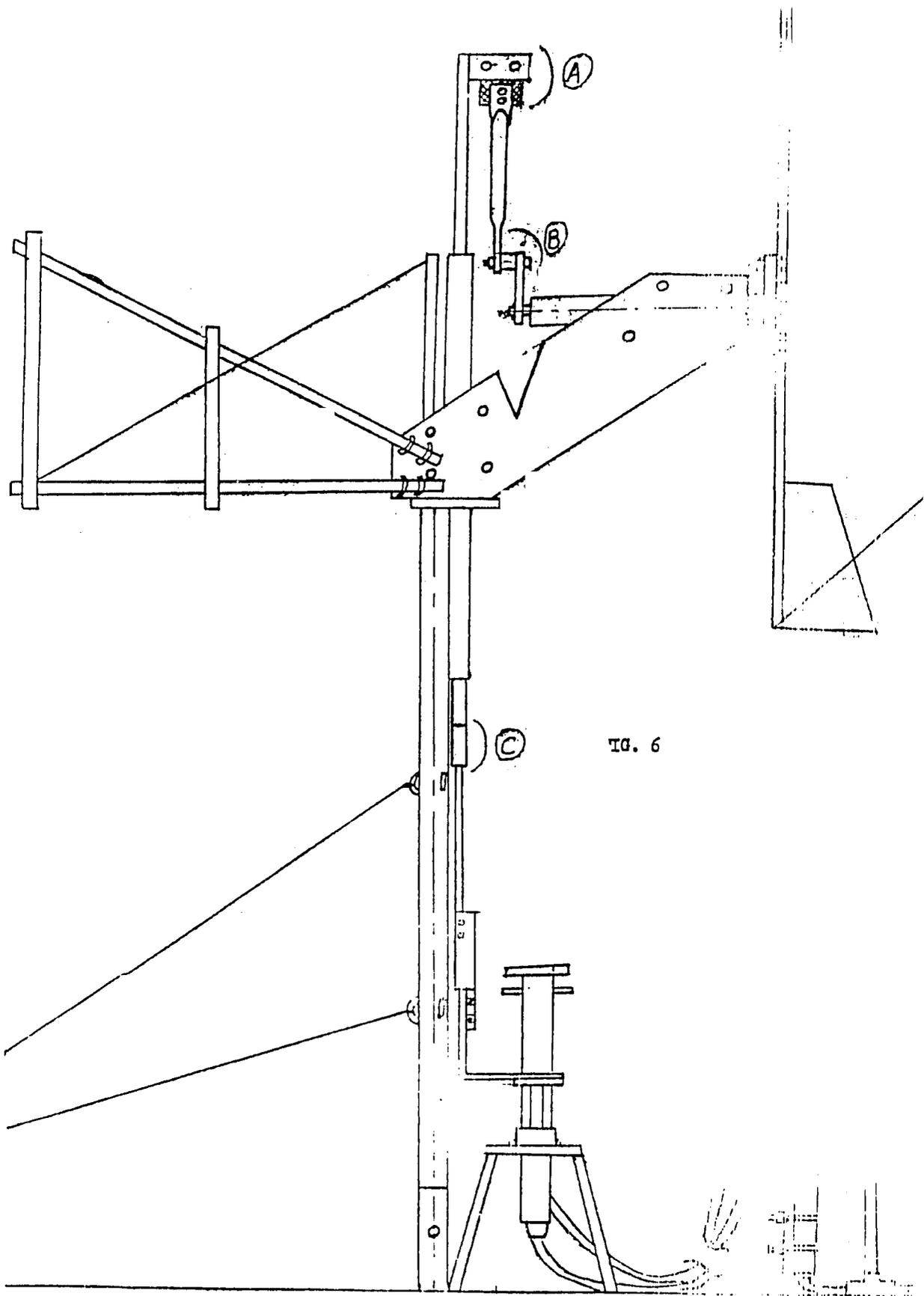


FIG. 6

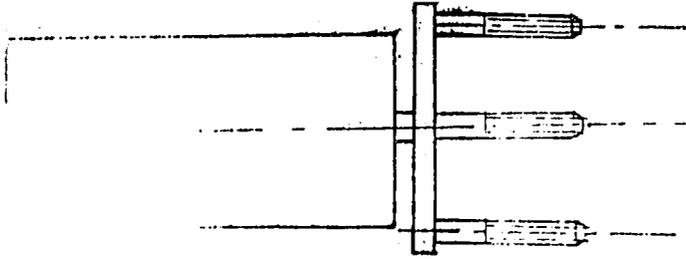


Fig. a. représente le montage de la roue et de la bielle.

Au premier montage la bielle était soudée à un écrou qui se visait au bout de l'axe de la roue.

La première conception du montage de la bielle

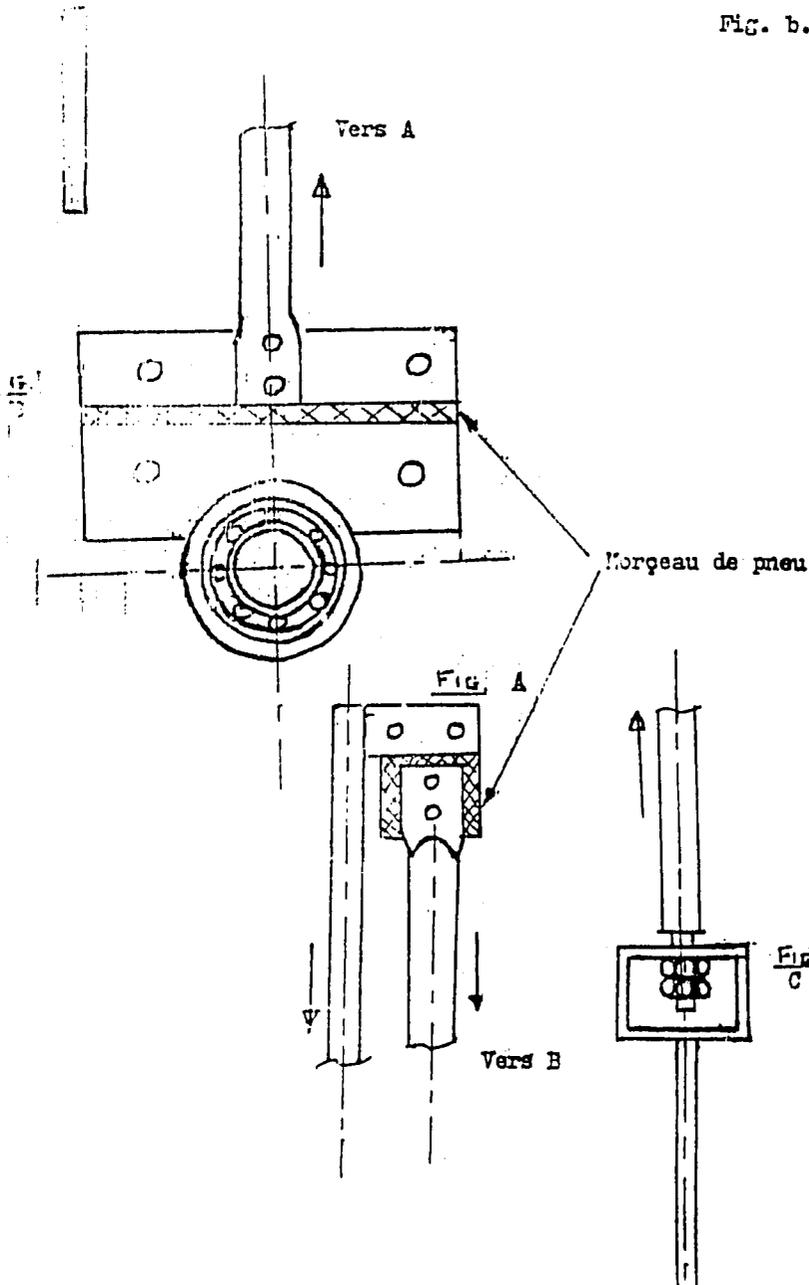


Fig. b. Ce montage a été inefficace car le sens de rotation de la roue correspondait au dévissage de l'écrou.

En (a) donc le système est alors condamné.

La bielle est soudée à l'axe de la roue.

Formules et Valeurs des coefficients --- P_{water} = P_u
extraite

- P_{water} = $\frac{Qhg}{80}$ Q - débit en l/mn

h = HMT = 3,5 m

g = 9,8

== P_{water} = 0,571 Q

- P_v = Puissance du vent

$P_v = \frac{1}{2} \rho A V^3 = 4,188 V^3 = P_v$

$C_p = \frac{P_w}{P_v} = 0,136 \frac{Q}{V^3}$

3.3 Tableau des relevés et différents graphes

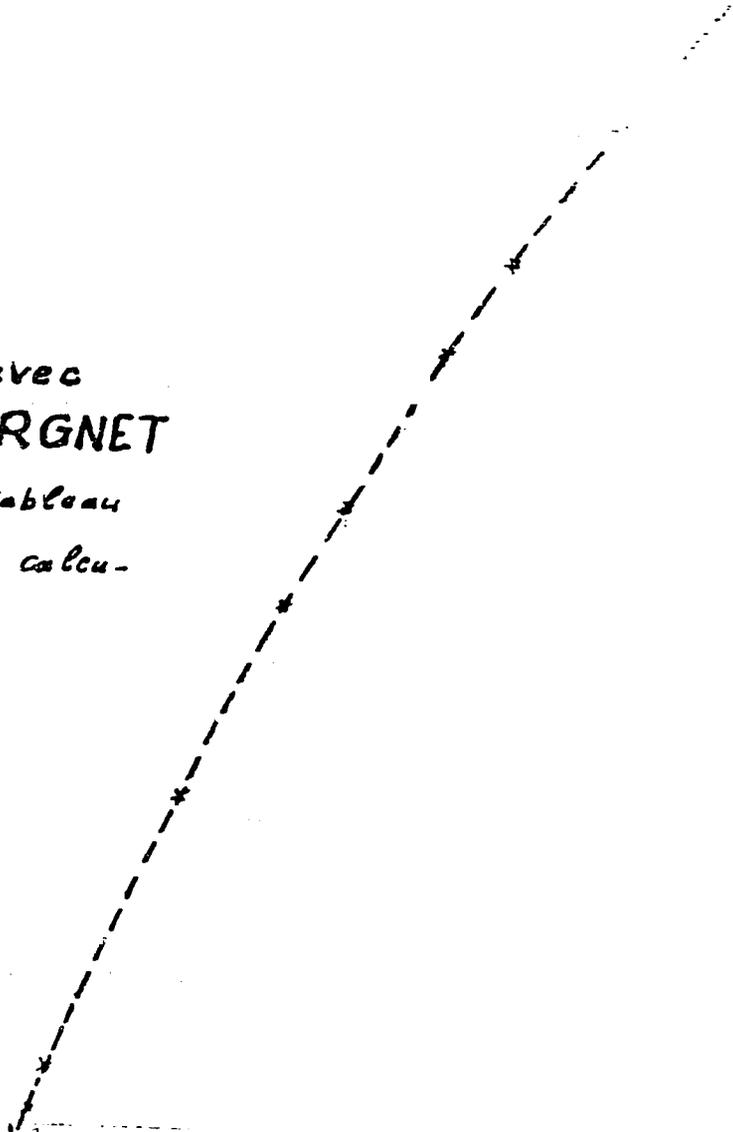
TABLEAU 3

V noeuds	V m/s	N trs/mm	$Q_V(l)$	l/coup	λ	C_p
3.6	4.11	22	2.53	0.115	0.77	0.004
8.20	4.2	33	4.16	0.126	0.23	0.056
6.91	3.54	29	2.32	0.134	1.23	0.032
7	3.6	32	4.59	0.143	1.39	0.013
6.125	3.14	25	3.35	0.134	1.25	0.014
6.52	3.4	26	3.9	0.15	1.20	0.013
8.375	4.29	42	4.7	0.11	1.53	0.006
7.62	3.9	29	3.56	0.22	1.16	0.008
9.25	4.74	37	4.64	0.125	1.22	0.005
8.75	4.48	36	5.78	0.160	1.26	0.003
6.125	3.14	20	2.53	0.126	1	0.011
8.66	4.14	37	4.7	0.127	1.3	0.007
8.9	4.55	30	3.5	0.116	1.03	0.005
6.79	3.45	21	0.918	0.043	0.94	0.002
8	4.6	54	5.503	0.102	1.34	0.007
6.75	3.46	33	4.482	0.135	1.49	0.014
5.37	3.01	24	3.618	0.150	1.25	0.018
7.45	3.82	16	1.782	0.111	0.65	0.004
7.7	3.97	37	3.803	0.105	1.47	0.008
6.5	2.82	25	3.618	0.144	1.39	0.021
6.33	4.78	47	5.230	0.111	1.54	0.006
10	5.13	53	6.912	0.130	1.62	0.006
6.9	3.54	38	5.292	0.139	1.68	0.014
5.45	2.3	15	2.260	0.151	0.84	0.011
6.37	4.0	50	5.500	0.110	1.63	0.006
12.05	6.198	66	7.938	0.120	1.57	0.004
8.20	4.21	54	5.355	0.127	2.01	0.010
6.8	4.14	35	4.535	0.129	1.32	0.066
7.45	3.82	35	4.158	0.118	1.43	0.010

Fig 7

Eolienne chargée avec
l'hydra-pompe VERGNET

... points des valeurs du tableau
x x x points donnés par la calcul-
atrice H.P.



Rémarque :

Le graphe $N = f(V)$ de ce tableau donne une vitesse de démarrage de l'ordre de 7 m/s. Mais, il est à remarquer qu'à partir de 3,15 m/s le nombre de tours par minute (N) devient plus élevé que celui du tableau

Ceci pourrait s'expliquer par l'inertie de la pompe et du système bielle-manivelle.

C. EOLIENNE DE SAMA

Cette éolienne de type "SAHORES" est vulgarisée dans la région de Segou (Mali) par "Père PLASTEQUE.

Il en existe actuellement une dizaine d'implantées.

Sama est un petit village situé au bord du fleuve Niger. L'activité principale de la population est la pêche. L'entretien de l'éolienne est assumé par des villageois ayant participé à sa construction, assistés d'un agent du Coprs de la Paix.

Avec l'installation de l'éolienne, les femmes du village, dont l'activité principale se limitait à la vente de poissons, ont aménagé un jardin potager de 2 Ha, (chacune possédant une parcelle) où elles cultivent des tomates, du piment, de l'oignon etc...

Leur production excède leur consommation et actuellement ces produits sont commercialisés dans ce village en toute période de l'année.

I. Caractéristiques Dimensionnelles

L'éolienne est installée sur un puits et entraîne une pompe dont les caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre du cylindre = 60 mm

Course du piston = 15,52 Cm

Volume possible = $\frac{\pi D^2}{4} \times$ Course du piston = 0,431/coups

Pour l'Eolienne :

Diamètre de la roue: D = 1,97 m

Hauteur : 5 m

Profondeur en Juillet 1981

.....

II FORMULES ET VALEURS DES COEFFICIENTS UTILISES POUR NOS

- Puissance du vent (P_v).

$$P_v = \frac{\rho}{2} \cdot CAV^3 \quad \rho = 1,185 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 1,185 \text{ kg/m}^3$$

$$= P_v = 4,104 \cdot V^3 \quad V \text{ en m/s} = \text{vitesse du vent}$$

- puissance déterminée par le débit (P_{water})

$$P_{water} = l/s \cdot n \cdot 9,8 = \frac{1/\text{mm} \times 7,27 \text{ m} \times 9,8}{360}$$

$$= P_{water} = 1/\text{mm} \times 1,187 \text{ Watts}$$

- vitesse spécifique

$$\hat{A} = \frac{11 \cdot D \cdot N}{60V} = 0,1555 \frac{N}{V} \quad \frac{N \cdot \text{trs}/\text{mm}}{V \cdot \text{m/s}}$$

- Coefficient de puissance

$$C = \frac{P_{water}}{P_v} = \frac{1,187}{4,104} \frac{Q}{V^3} = 0,292$$

Remarque : Ces relevés ont été effectués en Juillet 1981 dans les memes conditions que ceux de Moribabougou.

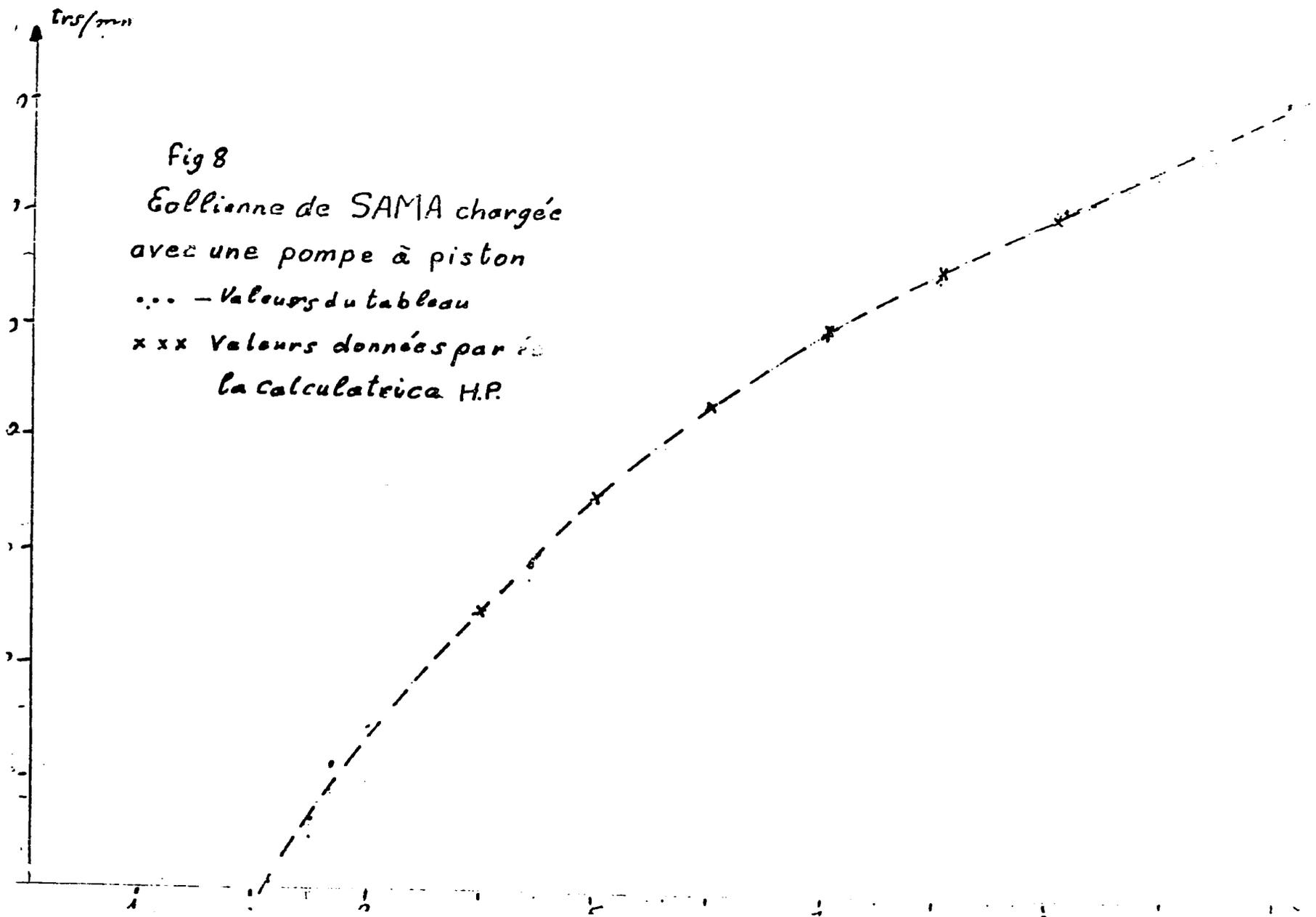
Rest Available Document

Tableau des relevés

TABLEAU 4

V (noeuds)	V m/s	N	Q 1/mm	Q 1/coup	λ	C _p
9.4	4.8	38	14.5	0.382	1.03	0.03
10.3	5.28	28	10.4	0.372	0.82	0.02
10.2	5.23	42	16.2	0.385	1.24	0.033
11.1	5.7	45	17.5	0.399	1.22	0.027
10.8	5.54	41.5	16.0	0.385	1.16	0.027
9.8	5.02	38	14.5	0.382	1.17	0.033
11.6	5.95	44.5	17.3	0.388	1.16	0.024
10.1	5.18	38	14.5	0.382	1.14	.030
9.7	4.97	45	17.5	0.389	1.40	.041
8.9	4.56	30	11.2	0.374	1.02	.034
5.6	2.87	13	4.6	0.357	0.707	.057
6.4	3.28	20.5	7.5	0.364	0.964	.062
8.6	4.41	29	10.8	0.373	1.02	.036
17.25	8.8	64	26	0.407	1.12	.011
19.5	10	70	28.8	0.412	1.09	0.008
22	11.2	71.5	29.7	0.415	0.983	.006
20.3	10.4	67	27.5	0.410	1	.007
14.6	7.48	50	19.6	0.393	1.04	.013
17.8	9.13	62	25.1	0.405	1.05	.009
17.9	9.13	63	25.6	0.406	1.06	.009
18.8	9.64	65	26.5	0.408	1.05	0.008
19.7	10.1	68	27.9	0.411	1.05	.007
14.9	7.64	62	25.1	0.405	1.20	.018

La Fig. 8 représente le graphe N = S (V) de ce tableau



D. CONCLUSION

La construction de notre éolienne est notre première expérience dans le domaine de l'énergie éolienne. Le but est en effet de nous permettre de vivre pratiquement les problèmes qui se posent dans l'exploitation de l'énergie éolienne.

Dans le tableau 2. (valeur relevée avec le "Frein de Prony"). La valeur élevée de la vitesse spécifique est assez remarquable ainsi que celle du coefficient de puissance (C_p).

Dans le tableau 3. Valeurs relevées avec l'éolienne chargée avec la pompe VERGNET, les valeurs du coefficient de puissance sont assez faibles. Ceci s'explique par l'installation spéciale effectuée avec l'hydro-pompe VERGNET.

Le débit moyen de cette pompe donné par le constructeur est de 0,31/coup. Au cours de nos relevés, nous avons atteint un maximum de 0,151/coup. Signalons que la pompe a été récupérée après usage, ses caractéristiques ne sont donc plus en concordance avec les valeurs nominales.

Dans le tableau 4 des relevés effectués sur l'éolienne de Sama, les valeurs de λ sont assez considérables. Il est aussi à remarquer les valeurs de C_p comparativement à celles du tableau 3. Des graphes $N = f(V)$ des tableaux 3 et 4, pour la même vitesse de vent, la vitesse de rotation du premier est plus élevée que celle du second.

Malgré cette élévation de la vitesse de rotation de l'éolienne de Moribabougou, le coefficient de puissance reste relativement bas (Tableau 3).

De ces valeurs nous déduisons qu'il est plus rentable d'utiliser les pompes à pistons plutôt que les pompes VERGNET pour les éoliennes du type testé.

Au niveau du groupe "Energie Eolienne" la réalisation de cette éolienne nous permettra d'être plus prudents dans nos études à venir surtout au niveau des liaisons mécaniques : (roue-bielle, bielle-manivelle et manivelle-tige de commande).

Après cette expérience l'étude d'une 2^e éolienne a déjà démarré. L'éolienne du type SAHORES étant de construction typiquement artisanale, nous espérons pour l'étude à venir, employer plus de technicité.