

REPUBLIQUE DU SENEGAL

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

ANNEE ACADEMIQUE 1990-1991

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

OPTION GENIE MECANIQUE

Gm. 198

TITRE:

ETUDE CRITIQUE D'AIDES A LA NAVIGATION SUR SITE ISOLE

AUTEUR:

EL HADJ ABDOUL HAMID FAYE

DIRECTEUR INTERNE: MOHAMADOU LAMINE DIALLO

Professeur à l'Ecole Polytechnique

DIRECTEUR EXTERNE: MAMADOU THIOUB

Ingénieur à la Subdivision des Phares
et Balises du Port Autonome de DAKAR

DEDICACE

A mes parents,

A mes amis et connaissances,

A mes condisciples dont la cohabitation et la collaboration pendant tout mon séjour à l'école auront été riches en enseignements,

Enfin à tous ceux qui auront contribué à la réalisation de ce projet,

REMERCIEMENTS

Pour leurs conseils avisés, la constante sollicitude et la disponibilité dont ils ont fait preuve à mon endroit tout au long de cette étude, Je remercie sincèrement messieurs:

- Mohamadou Lamine DIALLO, professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès.
- Mamadou THIOUB, ingénieur à la Subdivision des Phares et Balises du Port Autonome de DAKAR.

Au delà de leurs personnes, mes remerciements vont également à tout le personnel de l'Ecole Polytechnique et des Phares et Balises qui aura contribué de près ou de loin à la réalisation de ce document.

SOMMAIRE

Cette étude, suggérée par la subdivision des phares et balises du Port Autonome de DAKAR, a pour but de déterminer, sur la base d'une comparaison d'ordre technico-économique, un système optimal pour l'alimentation en énergie des aides à la navigation (Phares, feux et bouées lumineuses) en site isolé.

La première partie de cette étude consiste en une catégorisation des aides basée sur la nature des sites, les types d'aides, et leurs caractéristiques nautiques et une description des systèmes envisageables.

La deuxième et principale partie est consacrée à l'étude technique, à savoir: l'estimation de puissance, l'évaluation de potentiel énergétique, le dimensionnement des systèmes retenus, et une étude de cas.

La troisième et dernière partie comporte l'analyse de rentabilité et le choix final qui a porté sur le système photovoltaïque.

| |
|---------------------------|
| TABLE DES MATIERES |
|---------------------------|

| | PAGE |
|--|------|
| REMERCIEMENTS | i |
| SOMMAIRE..... | ii |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE 1: <u>LES AIDES A LA NAVIGATION</u> | |
| 1.1 généralités | 3 |
| 1.2 les aides lumineuses: phares et feux..... | 3 |
| 1.3 catégorisation des aides lumineuses..... | 5 |
| CHAPITRE 2: <u>LES SYSTEMES D'ALIMENTATION ENVISAGEABLES:</u> | |
| <u>PRINCIPES ET CONFIGURATIONS</u> | |
| 2.1 alimentation par le secteur..... | 7 |
| 2.2 alimentation par système photovoltaïque..... | 7 |
| 2.3 alimentation par système éolien..... | 10 |
| 2.4 alimentation à gaz butane..... | 13 |
| 2.5 génératrice houle-motrice..... | 15 |
| 2.6 autres alternatives/choix technologiques..... | 16 |
| 2.7 batteries d'accumulateurs..... | 17 |
| CHAPITRE 3: <u>ETUDE TECHNIQUE</u> | |
| 3.1 estimation de puissance..... | 19 |
| 3.1.1 calcul photométrique..... | 19 |
| 3.1.2 puissances effectives..... | 22 |
| 3.2 évaluation de potentiel..... | 24 |
| 3.2.1 gisement solaire..... | 24 |
| 3.2.2 gisement éolien..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 dimensionnement des systèmes..... | 31 |
| 3.3.1 système photovoltaïque..... | 32 |
| 3.3.2 système éolien..... | 39 |
| 3.3.3 gaz butane..... | 48 |
| 3.4 étude de cas: feu de Gorée..... | 49 |
| CHAPITRE 4: <u>ANALYSE DE RENTABILITE ET CHOIX FINAL:</u> | |
| 4.1 hypothèses | 52 |
| 4.2 coûts annuels équivalents..... | 54 |
| 4.3 choix de système..... | 57 |
| CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... | 59 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 61 |
| ANNEXES: | |
| 1.1 - Répertoire des aides à la navigation actuelles:..... | 63 |
| 1.2 - Périmètre d'intervention de la Subdivision des Phares et Balises de Dakar..... | 64 |
| 2 - Glossaire de signalisation maritime..... | 65 |
| 3 - Rappels de photométrie..... | 67 |
| 4 - Modules Photovoltaïques: | |
| 4.1 - Extraits du catalogue GISMAN..... | 69 |
| 4.2 - Influence de l'inclinaison et de la latitude..... | 71 |
| 5.1 - Conversion éolienne: Calcul du coefficient d'utilisation.. | 72 |
| 5.2 - Extraits de catalogue AEROWATT..... | 74 |
| 6 - Luminaires électriques et brûleurs à gaz..... | 85 |
| 7 - Accumulateurs GISMAN..... | 87 |
| 8.1 - Cartes d'ensoleillement..... | 88 |
| 8.2 - Courbes classées des vents..... | 90 |
| 8.3 - Détermination des calmes les plus longs..... | 94 |

INTRODUCTION

L'implantation et le bon fonctionnement des aides à la navigation sont gages de fréquentation sécuritaire des sites fluvio-maritimes et côtiers qui les abritent. L'alimentation en énergie des aides lumineuses, pose problème pour les sites isolés où l'absence de secteur électrique contraint à la génération sur place et/ou au stockage d'énergie pour en assurer l'autonomie de fonctionnement.

Le système d'alimentation qui a presque exclusivement prévalu dans ce cas, pour La Subdivision des Phares et Balises de DAKAR, jusqu'à une période récente, est le gaz butane, qui s'est révélé assez coûteux et non sans inconvénients liés aux dangers de manipulation, au transport périodique de l'appareillage et au stockage du butane.

Face aux impératifs d'économie des ressources, aux intéressantes perspectives offertes par les énergies renouvelables dans de nombreux secteurs; et même si en sécurité maritime, la fiabilité des systèmes est prioritaire et la rentabilité secondaire, il peut être opportun d'y envisager l'intégration de ces énergies dans le cas des sites isolés. Cette opportunité doit être confirmée par une étude critique technique et économique des systèmes existants et envisageables.

Cependant, le nombre élevé et d'ailleurs croissant des aides gérées par la Subdivision ne permettant pas une étude cas par cas qui ne soit trop coûteuse, une approche globale s'impose pour déterminer un système d'alimentation optimal pour chaque classe identifiée d'aide et de site, sinon d'en délimiter le champ d'investigation. Tel est l'objet de cette étude envisagée en quatre étapes consistant respectivement en:

- un aperçu des aides à la navigation.
- un répertoire des systèmes envisageables.
- une étude technique de pré-dimensionnement.
- une étude de rentabilité et un choix final.

CHAPITRE 1: LES AIDES A LA NAVIGATION

1.1. GENERALITES.

Une aide à la navigation est un dispositif visuel, sonore ou radio-électrique généralement situé au voisinage des côtes, aux embouchures des rivières et des fleuves et concourant à assurer la sécurité des bateaux en indiquant des dangers isolés, la limite des eaux saines, ou un passage à suivre pour la navigation.

Elle peut être fixe (phare, feu fixe) ou flottante (bouée), émettre ou non des signaux lumineux, sonores ou radio-électriques. Cependant les aides les plus répandues sont celles à signaux lumineux, ne nécessitant pas d'appareils récepteurs indispensables à la captage d'ondes radio-électriques et opérant à de plus grandes distances que les signaux sonores. Aussi cette étude ne portera-t-elle que sur les aides lumineuses.

1.2 LES AIDES LUMINEUSES: PHARES ET FEUX

1.2.1 Composition:

une aide lumineuse comprend essentiellement:

- une **source lumineuse** dont les types les plus courants sont les lampes aux hallogenes à longue durée de vie pour l'électricité et les manchons à incandescence pour le gaz.
- un **appareil optique** qui concentre les rayons lumineux
- un **accessoire de rythme.**

1.2.2 hierarchie:

Déduite d'une classification fonctionnelle des aides lumineuses, elle comporte cinq échelons:

- les grands phares
- les feux de grand atterrissage qui marquent les tournants importants des grandes lignes de navigation,
- les feux de jalonnement du littoral,
- les feux principaux d'entrée de chaque port,
- les feux de balisage sur tourelle ou sur bouées,
- les feux des rives et des estuaires,
- les feux intérieurs des ports.

1.2.3 Caractère d'un feu.

C'est par leur caractère (blanc ou coloré, fixe ou rythmé) que le navigateur distingue les différents feux qu'il aperçoit, chaque caractère ayant une signification particulière selon les conventions adoptées par l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM).

feu rythmé: feu dont la lumière apparaît par intermittence avec une périodicité régulière(cf annexe 2 pour).

feu fixe: feu dont la lumière paraît continue, uniforme et de couleur constante à un observateur immobile par rapport à lui.

feu d'horizon: feu qui présente le même caractère sur tout l'horizon intéressant la navigation maritime.

feu de direction: feu qui éclaire un secteur très étroit et qui est destiné à marquer une direction.

1.2.4 Intensité d'un feu:

L'intensité lumineuse d'un feu dans une direction déterminée caractérise le pouvoir de ce feu d'émettre plus ou moins de lumière dans cette direction (voir rappels de photométrie en annexe 3)

1.2.5 Portée d'un feu:

La limite la plus éloignée d'utilisation d'un feu dépend d'une part de la position géographique du point d'observation, d'autre part de l'intensité du feu et des conditions atmosphériques qui déterminent sa portée lumineuse. C'est cette dernière qui nous intéressera pour la suite de cette étude.

La **portée lumineuse** dépend donc de l'intensité du feu, de l'absorption de la lumière au cours de sa propagation à travers l'atmosphère qui n'est jamais parfaitement transparente, et du seuil d'éclairement de l'œil humain ou seuil de contraste si le fond est lumineux (voir rappels de photométrie en annexe 3).

On appelle **portée nominale** d'un feu, sa portée lumineuse par visibilité météorologique de 10 milles pour un observateur normal.

1.3 CATEGORISATION DES AIDES A LA NAVIGATION:

Cette étude qui est globale requiert un regroupement des nombreux types d'aides et de leurs sites par une catégorisation, essentiellement basée sur:

- la nature de sites (terre, mer),
- les types d'aides (bouées, phares, feux) et leurs caractéristiques nautiques (portées, optiques, caractère)
- les zones d'implantation (littoral nord, centre, et sud).

Des nombreuses combinaisons possibles de ces bases de catégorisation, nous retiendrons pour notre contexte (Subdivision des Phares et balises de Dakar) les cas existants (annexe 2) les plus répandus et ceux qui y sont envisageables.

Dans le périmètre d'intervention de la Subdivision nous distinguerons trois zones identifiées sur la carte (annexe 2).

Ainsi nous établissons le tableau suivant:

tableau 1.1 Catégories d'aides.

| Classe | Type | nature de Site | plage de Portées (milles) | Exemple type |
|--------|----------|----------------|---------------------------|--|
| C1 | Phare | terre | 20 - 30 | Mamelles (30) Cap Manuel (20) |
| C2 | | île | | [Lompoul, Potou] [île des madeleines] |
| C3 | Feu fixe | terre | 11 - 15 | Gandiol (30) Djogué (12) |
| C4 | | île | | Gorée (12) Almadies (11) |
| C5 | Bouée | mer | 9 - 11 | Tacoma |

[]:projet d'établissement futur ou passé, mais non effectif.

CHAPITRE 2 : SYSTEMES D'ALIMENTATION ENVISAGEABLES :

Configurations et principes :

2.1 ALIMENTATION PAR LE SECTEUR.

Dans le cas d'un site maritime proche du secteur, cette possibilité est envisageable, avec notamment l'installation de câbles sous-marins. Mais compte tenu :

- des risques d'exposition du câble à l'usure sous l'action de la houle, des courants, de la corrosion.
- de l'encombrement pour le dragage des cheneaux de navigation.
- des grandes longueurs de câbles que cela nécessitera, donc des chutes de tension.

on peut donc s'attendre à la complexité d'un tel système d'alimentation, de même qu'à des coûts très élevés; ce qui nous fait écarter cette solution.

2.2 ALIMENTATION PAR SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES.

2.2.1 Généralités sur la conversion photovoltaïque.

La conversion photovoltaïque permet de transformer en électricité l'énergie fournie par le soleil sous forme de lumière. Cette transformation est réalisée au moyen de cellules photovoltaïques ou photopiles (Voir caractéristiques des photopiles en annexe 4.1) connectées électriquement et assemblées en modules pour constituer des systèmes résistants, hermétiques et de tensions usuelles 12 ou 24 volts.

2.2.2 Caractéristiques des cellules et modules photovoltaïques.

La caractéristique d'une cellule réelle est donnée sur la base de critères standards retenus par les industriels de l'énergie solaire photovoltaïque. Ces critères sont par convention:

- pour le rayonnement: 1000 W/m²
- pour la température: 25°C

Pour ces valeurs, la puissance réellement délivrée par la cellule est appelée **puissance-crête (PC)**, elle est exprimée en Watt-Crête (WC). Il existe des cellules monocristallines de des cellules polycristallines. Les performances des dernières sont moindres, mais cette filière présente des avantages importants sur la filière monocristalline du fait des matériaux moins coûteux, et du découpage en lingots plus facile et plus économique (photopiles carrées ou rectangulaires plus faciles à utiliser) et elles sont aussi plus répandues. Les rendements de conversion réels sont de l'ordre de 10 à 14% pour les monocristallines et de 9 à 11% pour les polycristallines.

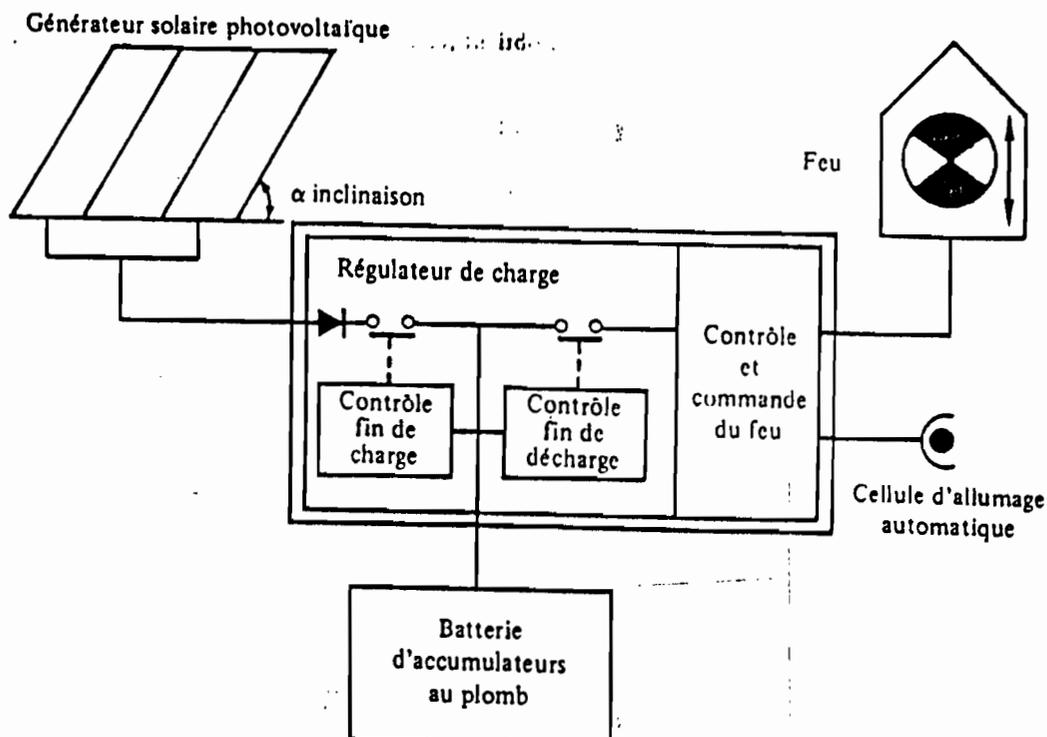
2.2.3 Configuration d'une station alimentée par générateur photovoltaïque.

2.2.3.1 Schéma de principe. (voir fig 2.1)

2.2.3.2 Le générateur photovoltaïque.

Il est obtenu par une association de modules photovoltaïques en parallèle. Ceux-ci étant disposés avec un angle d'inclinaison α , fonction de la latitude du site (cf annexe 4.2) qui permette un captage optimal du rayonnement solaire et qui favorise également l'auto-nettoyage par ruissellement.

Figure 2.1



2.2.3.3 Stockage: la batterie d'accumulateurs.

La nature aléatoire de la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque rend indispensable le stockage afin de permettre la compensation entre les périodes de production déficitaire et les périodes de production excédentaires. Le dispositif le plus utilisé à cet effet est la batterie d'accumulateurs qui est de ce fait un élément très important de la configuration.

2.2.3.3 Source de secours.

Pour les systèmes de faible puissance, on surdimensionne légèrement le générateur et la batterie pour ne pas avoir à utiliser d'autre source de secours, car un léger surdimensionnement est moins coûteux que l'adjonction d'une source de secours.

Par contre pour des puissances supérieures à 500 WC, on peut utiliser un groupe électrogène à démarrage automatique qui recharge la batterie en cas de décharge trop profonde.

2.2.3.4 Coffrets de commande et de contrôle.

Ils contiennent l'appareillage de commande et de contrôle du feu et le régulateur de charge de la batterie. Ce régulateur est un dispositif qui permet à la batterie de travailler dans de bonnes conditions grâce à trois fonctions essentielles:

- une diode anti-retour par module qui interdit à la batterie de décharger dans les modules pendant l'obscurité,
- un dispositif de contrôle de fin de décharge qui évite que la batterie ne descende en dessous d'un seuil ajustable correspondant à environ 70% - 80% de décharge,
- un dispositif de fin de charge qui limite la consommation d'eau par ébullition de l'électrolyte.

2.2.3.6 Cellule d'allumage automatique.

C'est une cellule photo-résistante à rôle de commutateur laissant passer le courant électrique selon un certain seuil d'éclairement. Il permet ainsi de ne mettre le feu en service que la nuit.

2.3 ALIMENTATION PAR SYSTEME EOLIEN.

2.3.1 Généralités sur la conversion éolienne.

L'énergie cinétique de l'air qui traverse une certaine surface est transformée en énergie mécanique par action aérodynamique sur une aile en mouvement.

Cette énergie mécanique est à son tour transformée en énergie électrique par un générateur qui peut être une dynamo à courant continu, un alternateur ou un générateur asynchrone excité par une batterie de condensateurs.

La puissance mécanique W obtenue est proportionnelle à l'aire S de la veine interceptée et au cube de la vitesse (cf annexe 5).

$$W = \frac{8}{27} * \delta * S * V^3 \quad (2.1)$$

où V est la vitesse du vent à l'amont, S l'aire de la veine d'air interceptée, et δ la masse volumique de l'air.

2.3.2 Caractéristiques des capteurs éoliens.

L'organe capteur prélevant l'énergie cinétique du vent pour la transformer en énergie mécanique est l'organe le plus important du système. Il en existe de nombreux types dont les caractéristiques sont principalement:

- le sens de l'axe qui peut être horizontal ou vertical,
- l'orientation: suivant la direction du vent ou perpendiculairement à elle.
- la vitesse de démarrage: vitesse de vent minimale à laquelle l'éolienne commence à produire de l'énergie.
- la vitesse de vent nominale: vitesse à partir de laquelle l'éolienne fournit sa puissance nominale.
- la vitesse de vent destructrice:

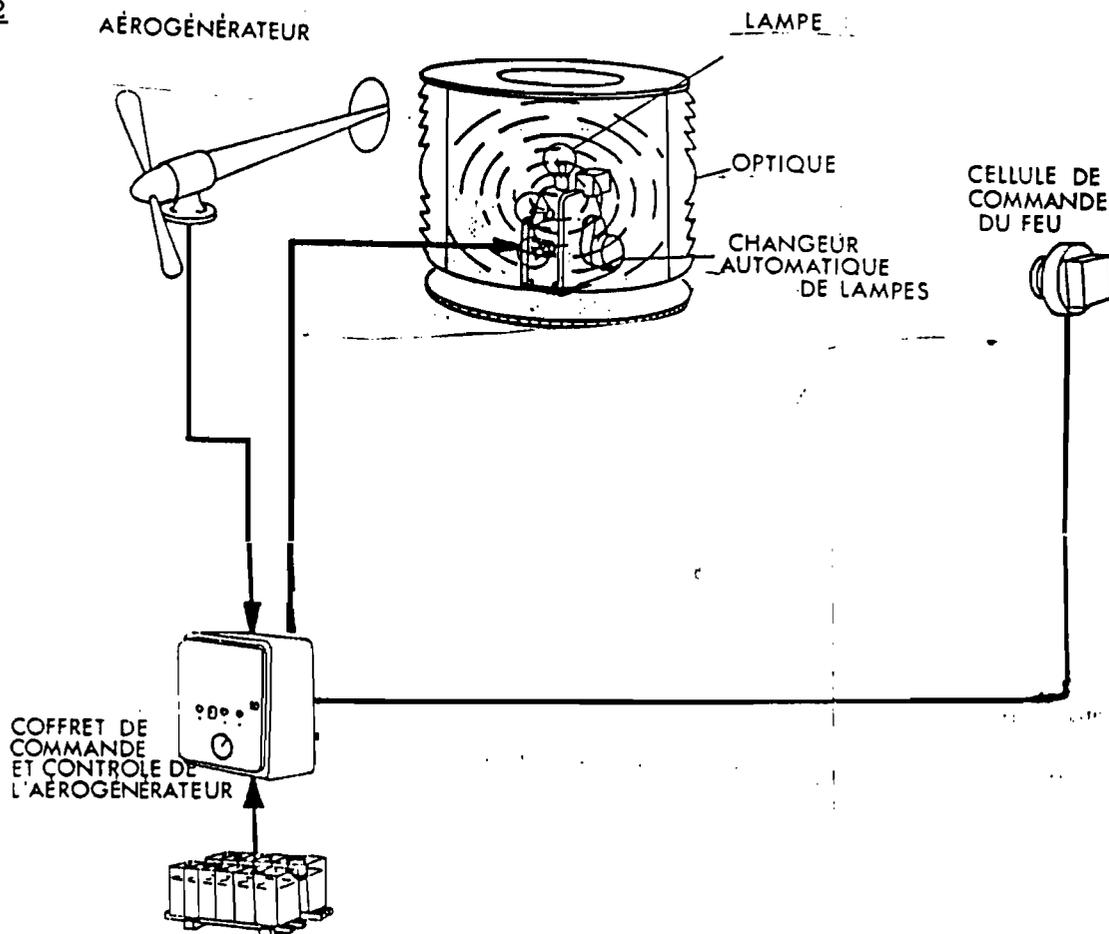
2.3.3 Configuration d'une station alimentée par aérogénérateur.

2.3.3.1 Schema de principe: (voir figure 2.2)

2.3.3.2 L'aérogénérateur:

Le choix en est déterminé par le régime des vents et la disponibilité des équipements.

Figure 2.2



2.3.3.2 Stockage:

Il est également dicté par la nature aléatoire du régime de vents qui donne des périodes de production excédentaire et d'autres déficitaires. Il est assuré par une batterie d'accumulateurs également.

2.3.3.3 Coffrets de commande et de contrôle:

Ils comprennent l'appareillage de commande et de contrôle du feu d'une part et de l'aérogénérateur d'autre part.

Pour ce dernier il consiste en un dispositif automatique de déconnection automatique de la batterie en fin de charge ou de connection d'une resistance de dissipation en cas de surproduction au dessus des besoins du feu et de la capacité de la batterie.

2.3.3.4 Source de secours:

Selon l'importance de la puissance necessaire, on peut utiliser ou non une autre source de secours. Il s'agit généralement d'une batterie de piles chimiques ou d'un groupe électrogène à démarrage automatique qui recharge la batterie d'accumulateurs en cas de décharge trop profonde.

2.3.3.5 Cellule d'allumage automatique.

Elle assure les mêmes fonctions que pour le système photovoltaïque, à savoir fonction de commutation selon le seuil d'éclairement fixé, donc selon qu'il fasse jour ou nuit.

2.4 ALIMENTATION PAR GAZ.

2.4.1 Généralités.

C'est le système d'alimentation classique et le plus répandu jusqu'à une période très récente en ce qui concerne les aides flottantes surtout. La flamme obtenue par combustion du butane porte à incandescence un manchon .Le manchon étant un tissu à texture lâche, en fibres naturelles ou synthétiques.

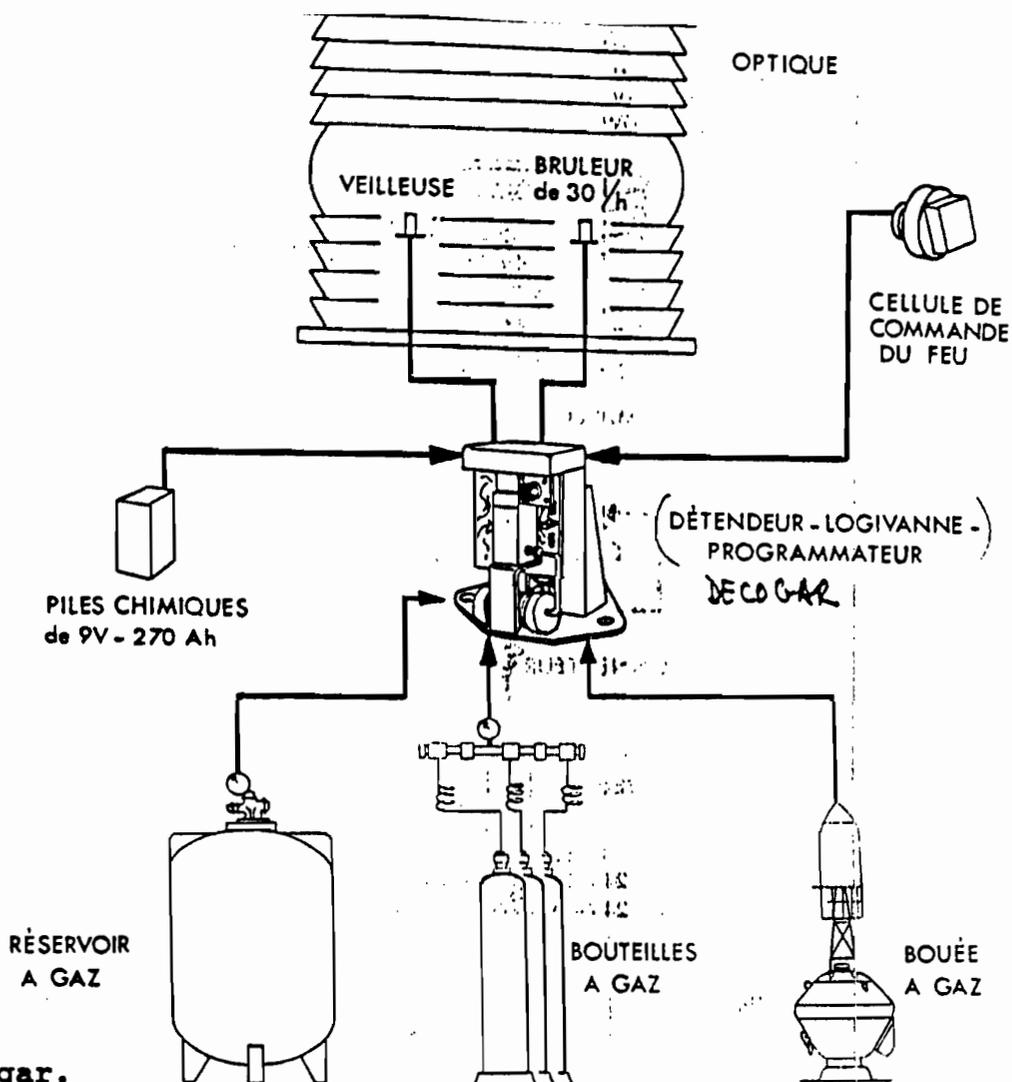
2.4.2 Caractéristiques.

Ce sont les caractéristiques de combustion du gaz, qui déterminent le débit requis pour satisfaire l'intensité lumineuse voulue.

2.4.3 Configuration d'un système d'alimentation à gaz.

2.4.3.1 Schéma de principe. (voir fig 2.3)

Figure 2.3



2.4.3.2 Décogar.

Dispositif électronique de contrôle à gaz rythmé, alimenté par piles chimiques Il contient l'appareillage de détente du gaz et de programmation du rythme, donc de régulation du débit.

2.5 ALIMENTATION PAR GENERATRICE HOULE-MOIRICE.

2.5.1 Généralités sur l'énergie de la houle.

La houle consiste en des oscillations de la surface de la mer créées sous l'action du vent, qui se propagent avec une célérité C . L'énergie y est contenue sous forme cinétique et potentielle. Plusieurs théories de ce phénomène ont été proposées et s'appuient sur les constatations suivantes:

- l'eau oscille sur place et seule se propage l'onde de la houle,

- Le creux de vague est plus arrondi que les crêtes, ce qui suggère un mouvement cycloïdal des filets d'eau superficiels de longueur d'onde f et de période T tels que $C = f/T$.

- La célérité et l'amplitude d'oscillations s'amortissent exponentiellement avec la profondeur, la houle n'affecte qu'une épaisseur de quelques longueurs d'onde. Les différents modèles proposés conduisent à l'équipartition entre forme cinétique et forme potentielle de la puissance moyenne par unité de largeur. Dans la pratique, plusieurs harmoniques se superposent et le flux de puissance moyen par unité de largeur est donné par la formule empirique:

$$P = \Pi * \delta * g^2 * h^2 * T / 32 \quad (2.2)$$

où g =accélération de la pesanteur, T =période,

h =amplitude crête-creux.

δ =masse volumique de l'eau

2.5.2 Caractéristiques des génératrices houlomotrices.

Ces génératrices sont statiques ou dynamiques. Les dispositifs sur lesquels se porterait notre choix sont les dispositifs dynamiques (parce que nécessitant moins d'infrastructure de génie civil) couplés mécaniquement à la houle dont ils transmettent l'énergie à un réservoir de stockage hydraulique ou pneumatique.

2.6 AUTRES ALTERNATIVES / CHOIX TECHNOLOGIQUES.

- centrales autonomes de groupes électrogènes
- " " batteries de piles chimiques
- " " batteries d'accumulateurs

Ces alternatives ajoutées aux systèmes précédemment décrits permettent d'envisager plusieurs possibilités. Cependant nous écartons déjà:

_ les génératrices houlomotrices du fait que les seules machines qui en ont été construites à date sont des prototypes non encore disponibles en commerce, du fait également que les relevés de h et T permettant d'évaluer l'énergie récupérable pour un site maritime donné ne sont pas disponibles à cette phase de l'étude.

- les trois dernières alternatives, du fait de leur coût en maintenance (interventions pour remplacement, recharge, démarrage) déjà pressenti par expérience dans les services techniques de Phares et balises.

La suite de notre étude ne concernera donc que les trois premiers types d'alimentation à savoir les systèmes photovoltaïques, les systèmes éoliens et le butane.

2.7 BATTERIES D'ACCUMULATEURS: CARACTERISTIQUES.

Les caractéristiques de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire obligent à utiliser un stockage de l'énergie électrique dans les installations. Actuellement le stockage le plus viable est celui réalisé dans les accumulateurs chimiques. Compte tenu de leur usage dans les systèmes que nous avons précédemment décrit, il convient d'en rappeler les principales caractéristiques et les modalités particulières d'exploitation dans les phares et balises.

2.7.1 Caractéristiques principales d'un accumulateur:

- **tension d'utilisation:** tension à laquelle l'énergie est restituée normalement.
- **capacité:** quantité maximale d'énergie restituable par un accumulateur, exprimée en Ampère-heures ou en Watt-heures. Elle dépend du temps et de l'intensité de décharge et est généralement exprimée pour une décharge à intensité constante de durée 10, 20, ou 100 heures, alors notée respectivement C10, C20, C100.
- **rendement:** rapport de l'énergie restituée sur l'énergie reçue.
- **durée de vie d'un accumulateur:** nombre de cycles complets de charge et décharge avant détérioration ou perte de rendement. Par ailleurs quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il a une durée de vie totale, exprimée en années.
- **taux d'autodécharge:** C'est le taux de "fuite" du réservoir d'énergie, il est égal au rapport de l'énergie perdue sans utilisation sur l'énergie stockée.

2.7.2 Modalités particulières d'utilisation:

Les batteries sont classées en trois catégories selon leur utilisation principale: batteries classiques dites "**batteries de voitures**", les batteries à usage cyclique ("**cyclage**"), les batteries à usage flottant ("**floating**"). Cette dernière catégorie toujours maintenue en charge (décharge maximale 70%) est conçue pour présenter un très faible taux d'auto-décharge, elle est donc bien adaptée aux systèmes photovoltaïque et éolien des aides lumineuses.

Une autre classification distingue essentiellement les accumulateurs au **cadmium-nickel** et ceux au **plomb**. Ce sont ces derniers qui sont exclusivement utilisés dans les systèmes envisagés ici, les premiers étant plus lourds, plus coûteux et de moindre rendement.

Pour les aides sur support fixe où l'espace est suffisant, les batteries d'accumulateurs **stationnaires** en éléments de 2 volts sont préférées, puisque supportant en effet un plus grand nombre de cycles, des décharges plus profondes et des tensions de fin de charge plus profondes.

Pour les aides flottantes ou celles de petite puissance où l'espace est insuffisant pour loger des éléments stationnaires on utilise des batteries 100% **étanches**. Les capacités dépassant la capacité modulaire sont obtenues par mise en parrallèle de plusieurs modules étanches en veillant aux précautions de branchement. Les durées de vie estimées sont de 10 ans pour les batteries stationnaires et de 5 ans pour les étanches.

CHAPITRE 3: ETUDE TECHNIQUE.

Pour un plus grand facteur de sécurité, donc une meilleure fiabilité des systèmes d'alimentation des aides nous considérons les données, et effectuons les calculs aux états limites c'est à dire dans des conditions d'appel maximal de puissance et de puissance disponible minimale.

3.1 ESTIMATION DE PUISSANCE.

Compte tenu des portées requises en signalisation maritime, des luminaires spéciaux y sont utilisés. Le type et la puissance du luminaire dépendront essentiellement des caractéristiques photométriques désirés, dont principalement l'intensité lumineuse de la source.

3.1.1 Calculs photométriques.

intensité lumineuse (I): elle est liée à la portée et à l'éclairement par la formule d'ALLARD^[9]:

$$E = I * \frac{T^X}{X^2}$$

(3.1)

E: éclairement produit sur une surface,

I: intensité de la lumière incidente dans la direction de mesure,

X: Portée nominale

T: coefficient de transmission atmosphérique (suppose uniforme pour la distance unité spécifiée) caractérisant la transparence de l'atmosphère usuellement évalué par:

$$T=0.05^{1/V} \quad (3.2)$$

où V = visibilité météorologique (fixée ici à 10 milles afin de donner les portées nominales) définie pour un seuil de contraste C=0.05. Ce qui conduit à:

$$E = \frac{I * 0.05^{X/V}}{X^2} \quad (3.3)$$

Des considérations physiologiques amènent à caractériser l'effet visuel d'un point lumineux par l'éclairement sur l'oeil de l'observateur. Et ce seuil d'éclairement est lié à la luminance L du ciel par:

$$E=0.242*10^{-6}*(1+\sqrt{0.4*L})^2 \quad (3.4)$$

Soit pour E=0.242*10⁻⁶ pour L=0 ou de nuit. Cette valeur est ramenée à E=Eo=0.2*10⁻⁶ lux, seuil d'éclairement usuel en signalisation maritime, augmentant ainsi la marge de sécurité. Avec Eo, l'équation 3.3 devient:

$$I=Eo*X^2*0.05^{-X/V} \quad (3.5)$$

X, V en mètres si I en Candelas (cd)

Deux corrections sont à apporter à cette intensité:

- une première, valable pour les feux fixes comme pour les feux rythmés et tenant compte des pertes d'intensité non considérées par le coefficient de transmission atmosphérique T et dûs en partie à l'opacité des optiques (transmission imparfaite des glaces). A cet effet, on utilise un facteur de réduction de 0.8 pour trouver l'intensité I requise en amont pour obtenir en aval une intensité $I_1 = E_0 * X^2 * 0.05^{-X/V}$ en aval. ainsi

$$I = I_1 / 0.8 = 1.25 * I_1 = 1.25 * E_0 * X^2 * 0.05^{-X/V}$$

$$I = 1.25 * 0.2 * 10^{-6} * X^2 * 0.05^{-X/V}$$

(3.6)

- Une seconde correction, tenant compte de la variation de l'intensité lumineuse dans le temps pour les feux rythmés, pour trouver l'impression lumineuse produite sur l'oeil d'un observateur moyen. Cette correction permet donc de calculer l'intensité effective I_e d'un feu fixe équivalent. Elle est donnée par la formule de SCHMIDT-CLAUSEN sous la forme:

$$I = I_0 * \frac{t}{a+t}$$

(3.7)

I_0 étant l'intensité crête de l'éclat

t sa durée et a une constante variant de 0.2 à 0.3 pour les observations de nuit selon la technique de production de l'éclat (par obturation ou par commutation).

Toujours dans le souci de calcul aux états limites nous faisons le calcul d'intensités comme pour les feux à optique fixe et ce pour toutes les catégories en considérant pour les projecteurs d'une durée d'écart supérieure ou égale à une seconde, que l'observateur

voit le signal lumineux de ces feux dans les mêmes conditions qu'un signal lumineux fixe de même intensité.

Dans une étude globale nous ne tiendrons compte que de la première correction. C'est en phase d'étude de cas que peut être intégrée la seconde correction puisque chaque cas ayant alors un taux de travail(t) spécifique.

Autres caractéristiques photométriques:

Flux lumineux: En le supposant uniforme on peut l'écrire :

$$F = I \cdot \theta = I \cdot 4 \cdot \pi$$

où I en cd, θ angle solide en Str, F en lumen(lm)

Efficacité lumineuse d'une source:

$$e = (\text{flux émis}) / (\text{puissance consommée})$$

$$= F/P \text{ (lm/w) pour les sources électriques.}$$

$$= F/Q \text{ (lm/(l/h) pour les manchons à incandescence}$$

3.1.2 Détermination de la puissance électrique ou du débit gazeux du luminaire:

La puissance électrique et le débit gazeux consommé sont liés à l'intensité lumineuse par l'efficacité lumineuse de la source utilisée. Sa détermination nécessite d'abord le choix qualitatif du type de luminaire.

Une fois ce choix fait, la puissance et le débit sont alors obtenus par simple déduction, $P = F/e$ ou $Q = F/e$.

L'efficacité lumineuse e est donnée explicitement par les caractéristiques techniques des luminaires, ou implicitement par des courbes ou tableaux de puissance ou débit en fonction de l'intensité lumineuse. A défaut de ces deux cas on utilise la méthode comparative consistant à adopter la même puissance ou le même débit qu'une aide existante de même catégorie et de même intensité.

La consultation du Recueil des Caractéristiques des Projecteurs du service Français des Phares et Balises pour les catégories C3, C4, C5 et la méthode comparative pour C1, C2 ont permis suite au calcul d'intensités lumineuses d'établir les puissances effectives au tableau 3.1.

Pour les luminaires électriques, des lampes à décharge et à incandescence ont été spécialement développées et adaptées aux besoins de la signalisation maritime (voir annexe 6). Il s'agit de lampes aux hallogènes (cf annexe 2) à longue durée de vie LDV (2000 heures). A titre comparatif un bulletin de l'AIMS[10] donne une répartition des puissances utilisées pour les aides du Service Français des Phares et Balises alimentées au photovoltaïque.

Quant aux dispositifs à gaz, des deux brûleurs normalisés (type 32 l/h et type 30 l/h en annexe 6) nous choisissons le type 32 l/h dont l'efficacité lumineuse est la plus grande ($3150\text{lm}/32 = 98.43$ contre $2300\text{lm}/30 = 76.67$ pour le type 30 l/h).

tableau 3.1: Intensités effectives et Puissances de luminaires.

| Catégorie | Portée X (milles) | Intensité effective ⁽¹⁾ I _{eff} (candelas) | Puissance (watts) | Débit de gaz (l/h) |
|-----------|-------------------|--|--------------------|--------------------|
| C1 , C2 | 30 | 5*10 ⁶ | 150 ⁽²⁾ | 32 |
| C3 , C4 | 15 | 14*10 ³ | 40 ⁽³⁾ | 32 |
| C5 | 11 | 2.8*10 ³ | 20 ⁽³⁾ | 32 |

(1):déduite de l'eq3.6

(2):déduite par méthode comparative

(3)déduites des tableaux du Recueil des caractéristiques des projecteurs des Phares et Balises.

3.2 EVALUATION DU POTENTIEL ENERGETIQUE:

Il s'agit d'évaluer l'offre d'énergie pour les différents systèmes envisagés et selon les zones d'implantation dans le périmètre d'intervention des Phares et balises.

3.2.1 Le gisement solaire:

La donnée la plus utile est ici la série de valeurs mensuelles du rayonnement global reçu par un plan d'inclinaison donné pour toutes les zones définies en 1.3. Cette série n'étant disponible que pour la station météorologique de DAKAR en ce qui concerne notre périmètre d'intervention, notre recours sera une carte d'ensoleillement établie par le CERER (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies renouvelables) (cf annexe 8.1), la seule source dont nous disposons à défaut de données plus récentes.

On dispose également d'une carte d'irradiation globale concernant les différentes régions du monde (cf annexe 8.1).

Cette carte présente l'intérêt de classer les différentes zones du globe terrestre en fonction de l'énergie solaire disponible. Mais elle reste encore peu utilisée car les variations annuelles, le micro-climat, l'effet du relief, ne sont pas représentés. De plus l'écart entre ses isolignes concernant notre région ne reflète pas la variété réelle de classes d'ensoleillement qui y existe. Toutes ces remarques nous font opter pour la carte élaborée par le CERER qui distingue 3 classes d'ensoleillement dans le périmètre d'intervention.

La mesure du gisement solaire sera la productivité des modules solaires, à savoir le nombre de watt-heure(Wh) productibles par jour et par watt-crête(Wc) installé, qui déterminera par la suite le nombre de modules à installer. Avant le calcul de cette productivité les remarques suivantes s'imposent:

- la productivité est calculée pour une inclinaison et une orientation optimales sur le site considéré.
- l'inclinaison optimale α des modules par rapport à l'horizontale est voisine de $(1.6 * \text{latitude} - 12^\circ)$ pour les latitudes supérieures à 20° et est égale à 20° pour les latitudes inférieures d'après les prescriptions de la Documentation technique des Phares et Balises. L'annexe 4.2 nous montre l'influence de l'inclinaison des modules sur le rayonnement global reçu à DAKAR qui est de latitude 14° .

Nous y évaluons graphiquement le rapport entre le rayonnement reçu à l'horizontale et celui reçu à l'inclinaison optimale 20° qui vaut pour tout le périmètre, lequel rapport vaut 0.843 .

A noter cependant que pour un calcul plus précis de cette influence de l'inclinaison sur l'irradiation, des formules ont été développées à partir de relevés statistiques de l'éclairement par Ch.PERRIN et BRICHAMBAUT ^[6], formules qui font intervenir: l'Azimut, la Hauteur du soleil ou distance zénithale $Z=90^\circ-H$, la course apparente du soleil (fonction de la saison), la durée d'ensoleillement, l'Albédo, le coefficient de réflexion du capteur. Le tout assorti d'un facteur correctif traduisant les fluctuations de la repartition spectrale du rayonnement solaire en fonction des conditions atmosphériques locales.

Les résultats théoriques ainsi obtenus permettent de mieux évaluer les variations de rendement de conversion des modules soumis à de telles conditions d'éclairement. Mais la complexité de ces formules ainsi que l'indisponibilité des paramètres requis à leur utilisation font qu'ils ne conservent leur intérêt que lors d'estimation d'énergie pour les systèmes de très grande puissance. Nous nous limiterons donc à l'estimation graphique faite ci-avant.

*** Calcul de la productivité p des modules:**

Avec un rendement r et le watt-crête étant défini comme le watt fourni par un module lorsqu'il reçoit du soleil une irradiation de 1000 w/m^2 , ce module peut donc fournir $1000*r$ WC par m^2 de cellule.

Si en un jour, 1 m² de cellule reçoit en moyenne X Wh/m² avec un rendement r, il fournira ne fournira réellement que r*X Wh par jour. La productivité du module est alors $p=r*X/(1000*X*r)$ soit $p = X/1000$.

Ainsi pour les 3 zones identifiées, la lecture du rayonnement global sur la carte d'ensoleillement (annexe 8.1) et l'expression de la productivité des modules permettent d'établir le tableau 3.2.

tableau 3.2: Productivités des modules solaires.

| | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| X2 (kWh/m ² .an) | 2000 | 1800 | 1600 |
| X1 (kWh/m ² .jour) | 5.8 | 4.932 | 4.380 |
| X = X1/0.843 * | 6.499 | 5.85 | 5.196 |
| p (Wh/WC.jour) | 6.499 | 5.85 | 5.196 |

*:facteur k=0.843 pour tenir compte de l'inclinaison optimale.

$$W_{\alpha=0} = 0.843 * W_{\alpha=\alpha_{optim}}$$

*** Cas des bouées ou supports flottants.**

Il faudra appliquer un certain coefficient à la production des modules à terre (donc à orientation fixe), pour trouver la production des modules sur bouées qui sont donc à orientation aléatoire due à l'action des vagues. Des calculs et mesures faits en ce sens par le Service technique français des phares et balises [3] permettent de l'estimer à une valeur moyenne de 2, soit une production en orientation fixe 2 fois plus grande qu'en orientation aléatoire.

3.2.2 Le gisement éolien:

Il s'agit essentiellement d'étudier le régime des vents qui sera très déterminant pour le choix de l'éolienne. A ce titre nous disposons de courbes de vitesses moyennes mensuelles et annuelles (cf annexe 8.2) des principales stations météorologiques du périmètre d'intervention établies sur quatre années(79-82).

Faute de données plus récentes, la comparaison de ces cartes avec une carte de même nature, mais élaborée pour la période 70-75 révèle une certaine constance dans l'allure et l'ordre de grandeur des isovaleurs observées pour les deux séries de périodes.

Ces cartes font apparaître clairement les zones les plus favorables à l'implantation d'éoliennes. Celles-ci sont le nord du pays et la côte atlantique: région coïncidant avec notre périmètre.

La lecture des cartes nous permet de relever, pour les stations représentatives des zones d'implantation, les vitesses moyennes mensuelles et annuelle(cf tableau 3.3), les valeurs minima étant reprises par le tableau 3.4.

* Coefficient de production.

C'est le rapport K_p entre la puissance moyenne(P_m) disponible aux bornes du générateur éolien et sa puissance nominale(P_n). $K_p = P_m / P_n$. Ce coefficient de production dépend de la caractéristique du générateur et du régime de vents(courbes des vitesses classées):

* La seconde dépendance est théoriquement traduite par le coefficient d'utilisation(K_u), rapport entre la puissance réelle maximale productible et la puissance théorique maximale P_{max} .

Pmax étant donné par la formule (3.8) ou formule de BETZ où ρ est la masse volumique de l'air, S l'aire de la veine d'air interceptée par les pales, V la vitesse du vent à l'amont.

$$P_{max} = \frac{8}{27} * \rho * S * V^3$$

(3.8)

(En réalité la puissance nominale des aérogénérateurs les plus perfectionnés ne dépasse pas 60% à 70% de cette puissance maximale de BETZ)

* la première dépendance est spécifiquement liée aux dimensions du couple capteur-générateur et à sa constitution mécanique.

Les coefficients K_u dont la méthode de calcul est exposée en annexe 5.1 pourraient constituer un critère de choix d'aérogénérateurs, si l'on ne dispose pas des coefficients de production ($K_p = f(V)$) fournis par les constructeurs et donnant une mesure plus exacte de la puissance réellement productible parce que tenant compte des deux facteurs.

tableau 3.3: Moyennes mensuelles et annuelle des vitesses de vent en m/s:

| | S.L | Dkr | Mbr | SAL | C.Sk | Klk | Zig |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Janvier | 3.5 | 4.7 | 4.0 | 4.0 | 2.9 | 3.1 | 1.5 |
| Février | 4.4 | 4.9 | 4.3 | 4 | 3.1 | .35 | 2 |
| Mars | 5.0 | 5.3 | 3.9 | 4 | 3.8 | 3.7 | 2 |
| Avril | 5.6 | 5.1 | 3.7 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 1.8 |
| Mai | 5.2 | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 3.1 | 3.3 | 1.8 |
| Juin | 4.5 | 3.6 | 4.8 | 4.0 | 2.8 | 3.5 | 1.8 |
| Juillet | 4.3 | 3.5 | 4.3 | 3.5 | 2.9 | 2.7 | 1.2 |
| Août | 3.6 | 3.1 | 3.4 | 3 | 2.6 | 2.1 | 1.0 |
| Septembre | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.5 | 1.6 | 1.8 | 0.6 |
| Octobre | 3.6 | 3.9 | 3.0 | 2 | 1.6 | 1.7 | 0.6 |
| Novembre | 3.1 | 4.5 | 2.7 | 2 | 1.6 | 1.9 | 0.7 |
| Decembre | 3.2 | 4.0 | 3.2 | 3.5 | 2.2 | 2.9 | 1.2 |
| Van | 4.1 | 4.3 | 3.8 | 4 | 2.7 | 2.8 | 2.7 |

Sl: Saint-Louis
 Dk: Dakar
 Mb:

Klk: Kaolack
 Sal: Saloum
 Csk: Cap-Skiring

Zg: Ziguinchor

3.3 DIMENSIONNEMENT DES SYSTEMES.

Il s'agit d'adapter offre et demande d'énergie à travers des composantes de transfert et de stockage de la chaîne énergétique qui peut être représentée par un schéma synoptique général pour tous les systèmes photovoltaïque, éolien et à butane (cf figure 3.1).

Notre première approche de dimensionnement du système ne pourra prendre en compte le conditionnement de puissance que par approximation à partir des cas existants. On considèrera par exemple les appareils de régulation, de conversion et de protection les plus répandus et les plus utilisés. De même qu'on fera un dimensionnement général en ne considérant que des feux à optique fixe. Les spécificités du conditionnement de puissance selon le cas, de même que la grande variété de rythmes ne permettant pas une entrée en détails, c'est dans une étude de cas seulement que les particularités de conditionnement peuvent être prises en compte.

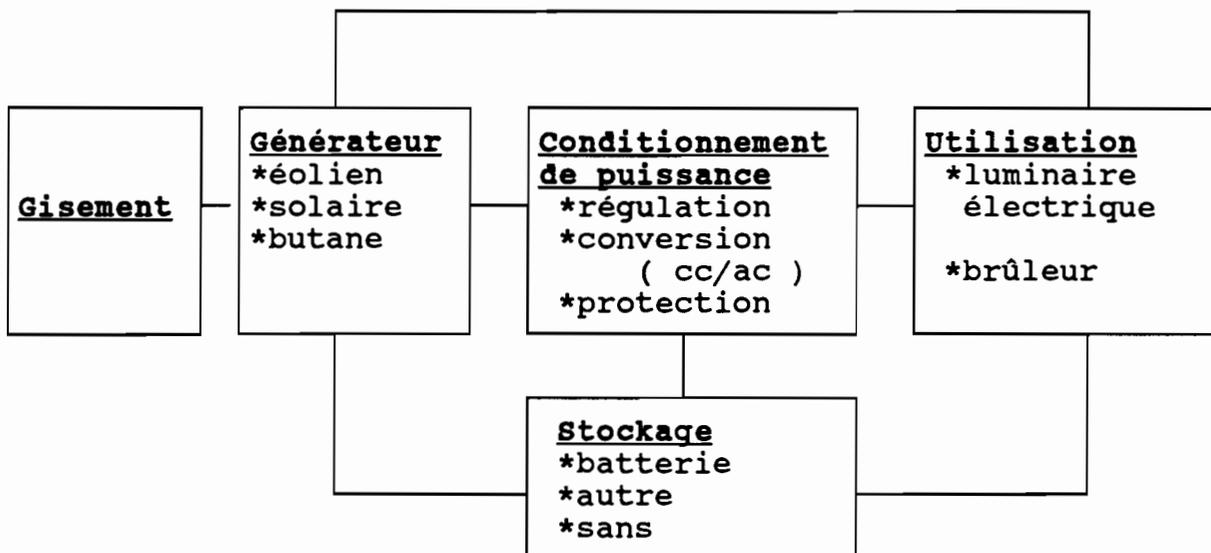


figure 3.1: Schéma synoptique de chaîne énergétique
(photovoltaïque, éolienne ou à butane).

3.3.1 Système photovoltaïque:

3.3.1.1 calcul du générateur.

Pour calculer la puissance du générateur, nécessaire à l'alimentation, il est nécessaire de faire le bilan de l'énergie quotidienne nécessaire pendant la période la plus défavorable.

***Paramètres de calcul:**

- P_l puissance de la lampe et sa tension nominale, déterminées en 3.1.2.
- U_b tension nominale de la batterie prise égale 12 volts compte tenu des puissances calculées et d'après les prescriptions de FOGELMAN dans Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé:

| | | |
|------|-------------------|--------------------------------|
| pour | PC<150WC | Ub=12 V |
| | 300 WC<PC<1000 WC | Ub=24 V |
| | 1000 WC<PC | Ub=48 V où PC est la puissance |

crête installée.

- **t** **taux de travail** du feu: il est fonction du rythme, ici nous considérons le taux le plus élevé, soit 0.66.

- **T** **durée de la nuit la plus longue**: 13 h dans notre cas.

Feux 20;40 150W

- **s** **surintensité à l'allumage de la lampe**:.....1.11 1.13

- **Ij** **consommation de jour:(mA)**0.17 25

- **Ine** **consommation de nuit lampe éteinte:(mA)** ...3 5.3

- **Ina** **consommation de nuit lampe allumée:(mA)**....12 5.3

- **Iaa** **consommation appareillages annexes**:.....5 10

(composantes du coffret de
commande et de contrôle)

- **R** **rendement de la batterie**:.....80%

- **p'** **pertes câbles et connexions**.....10%

Ces différents paramètres permettent de trouver l'énergie quotidienne à produire en Wh/jour, ensuite, les productivités des modules permettent alors de trouver la puissance crête nécessaire en divisant l'énergie quotidienne E_g à produire par le générateur, par la productivité. Et le nombre de modules sera déduit par division de la puissance crête totale par celle du type de module choisi.

*Choix des modules:

- notre choix de modules s'est porté sur les modules photowatt dont les puissances crêtes disponibles sont 20,20,30,40,et 45 WC (cf annexe 4.4 pour les autres caractéristiques).

En définissant aussi:

Pc: puissance crête du module choisi

p: productivité des modules

N: nombre de modules

Pg: puissance crête du générateur.

Ub': la tension maximale au bornes de la batterie. Celle-ci est obtenue pendant la charge, donc de jour.

On déduit les consommations par les expressions suivantes:

$$\begin{aligned} E_j &= I_j * U_b' * (24 - T) && \text{de jour,} \\ E_{na} &= (I_{na} * U_b' * s + P_l) * t * T && \text{de nuit, lampe allumée} \\ E_{ne} &= I_{ne} * U_b' * T * (1 - t) && \text{de nuit, lampe éteinte} \\ E_{aa} &= I_{aa} * U_b' * 24 && \text{appareillages annexes} \\ E_g &= (E_j + E_{na} + E_{ne} + E_{aa}) / R * p' && \text{énergie quotidienne à} \\ &&& \text{fournir par le générateur} \\ P_g &= E_g / p && \text{puissance crête du générateur} \\ N &= P_g / P_c && (3.10) \end{aligned}$$

3.3.1.2 Calcul de la batterie d'accumulateurs.

Les paramètres de calcul sont fixés ainsi qu'il suit:

- **profondeur de décharge maximale:** 70% ; quantité d'électricité déchargée/capacité nominale.

- autonomie: acceptable à 5 jours compte tenu de la faible probabilité d'occurrence d'une "période sans soleil" de plus de 5 jours et de la mobilité des équipes d'intervention en cas d'occultation des modules solaires.

- tension nominale de charge et décharge: 12 volts

- C: capacité de la batterie en Ah

D'après la profondeur de décharge et l'autonomie, 70% de C doivent pouvoir assurer 5 fois l'énergie quotidienne E_g calculée au paragraphe 3.4.1.1

d'où $C = 5 * E_g / (0.7 * 12)$ ou $C(Ah) = 0.6 * E_g$ (3.11)

***Choix des accumulateurs:**

Une fois leur capacité calculée, le choix des accus se fait à travers un catalogue. A cet effet, nous disposons d'extraits de catalogue de GISMAN(cf annexe 7) à travers lesquels nous déterminons les capacités C20 (soit un régime de décharge de 20h qui est compatible avec la durée de décharge de 13h où nuit la plus longue).

3.3.1.3 Conditionnement de puissance:

Tout l'appareillage destiné à cette fonction est désormais disponible en coffrets ou tableaux de commande et de contrôle pour différentes puissances de feu. Notre choix est fait dans les séries GCC50 et PWR également disponibles chez GISMAN. A noter que les types de luminaires choisis, fonctionnent aussi bien en DC qu'en AC du fait de l'absence de polarité qui les caractérise, ce qui fait que les coffrets de commande et de contrôle se passent d'éléments convertisseurs (micro-convertisseurs, onduleurs).

3.3.1.4 Tableaux de calculs:

tableau 3.5: **Zone 1: p = 6.499 Wh/wc/jour**

| | C5 | C3, C4 | C1, C2 |
|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| P1 (W) | 20 | 40 | 150 |
| s | 1.11 | 1.11 | 1.13 |
| Ij (mA) | 0.17 | 0.17 | 0.25 |
| Ine (mA) | 3 | 3 | 5.3 |
| Ina (mA) | 12 | 12 | 5.3 |
| Iaa (mA) | 5 | 5 | 10 |
| Ej (Wh) | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| Ena (Wh) | 175.59 | 349.79 | 1,307.13 |
| Ene (Wh) | 0.15 | 0.15 | 0.27 |
| Eaa (Wh) | 1.44 | 1.44 | 2.88 |
| Eg (Wh) | 246.13 | 488.07 | 1,819.89 |
| Pg (Wc) | 75.74 | 75.10 | 280.03 |
| Pc (Wc) | 40 | 40 | 40 |
| N | 2 | 2 | 7 |
| C (Ah) | 147.68 | 292.84 | 1,091.93 |
| C10 (Ah) | 3x60 étanche* | 2x150 station. | 5x250 station |

*:l'option étanche ou monobloc pour les bouées, du fait des projections d'eau et/ou contraintes d'espace.

tableau 3.6: Zone 2: p = 5.85 Wh/wc/jour

| | C5 | C3,C4 | C1,C2 |
|----------|--------------|----------------|---------------|
| P1 (W) | 20 | 40 | 150 |
| s | 1.11 | 1.11 | 1.13 |
| Ij (mA) | 0.17 | 0.17 | 0.25 |
| Ine (mA) | 3 | 3 | 5.3 |
| Ina (mA) | 12 | 12 | 5.3 |
| Iaa (mA) | 5 | 5 | 10 |
| Ej (Wh) | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| Ena (Wh) | 175.59 | 349.79 | 1,307.13 |
| Ene (Wh) | 0.15 | 0.15 | 0.27 |
| Eaa (Wh) | 1.44 | 1.44 | 2.88 |
| Eg (Wh) | 246.13 | 488.07 | 1,819.89 |
| Pg (Wc) | 84.15 | 83.43 | 311.09 |
| Pc (Wc) | 45 | 45 | 45 |
| N | 2 | 2 | 7 |
| C (Ah) | 147.68 | 292.84 | 1,091.93 |
| C10 (Ah) | 3x60 étanche | 2x150 station. | 5x250 station |

Tableau 3.7:

Zone 3: $p = 5.196 \text{ Wh/wc/jour}$

| | C5 | C3, C4 | C1, C2 |
|----------|--------------|----------------|---------------|
| Pl (W) | 20 | 40 | 150 |
| s | 1.11 | 1.11 | 1.13 |
| Ij (mA) | 0.17 | 0.17 | 0.25 |
| Ine (mA) | 3 | 3 | 5.3 |
| Ina (mA) | 12 | 12 | 5.3 |
| Iaa (mA) | 5 | 5 | 10 |
| Ej (Wh) | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| Ena (Wh) | 175.59 | 349.79 | 1,307.13 |
| Ene (Wh) | 0.15 | 0.15 | 0.27 |
| Eaa (Wh) | 1.44 | 1.44 | 2.88 |
| Eg (Wh) | 246.13 | 488.07 | 1,819.89 |
| Pg (Wc) | 94.74 | 93.93 | 350.25 |
| Pc (Wc) | 20 | 20 | 45 |
| N | 5 | 5 | 8 |
| C (Ah) | 147.68 | 292.84 | 1,091.93 |
| C10 (Ah) | 3x60 étanche | 2x150 station. | 5x250 station |

3.3.2 Systeme éolien:

Ici, il ne s'agit pas de concevoir un capteur éolien, mais plutôt de faire un choix, compte tenu des caractéristiques éoliennes du site considéré et des capteurs disponibles dans le commerce.

3.3.2.1 Paramètres d'une station d'aérogénérateur:

Ces paramètres sont ceux qui définissent l'aérogénérateur, la batterie d'accumulateurs et la source de secours:

- l'aérogénérateur: Les éoliennes généralement utilisées pour la production d'énergie électrique sont les éoliennes rapides à axe horizontal à deux ou trois pales et ceci pour deux raisons:

- elles sont plus légères et moins chères,
- elles tournent plus vite, le multiplicateur de vitesse à utiliser pour l'entraînement du générateur électrique pourra de ce fait présenter un plus faible rapport de multiplication, sera plus léger et ne sera même pas nécessaire pour l'aérogénérateur où il est déjà incorporé à la construction.

Les réalisations sont nombreuses, dont les puissances varient de quelques watts à 20 kW .La possibilité de disposer d'informations nous a fait retenir la compagnie française AEROWATT qui fabrique des éoliennes de puissances comprises entre 24 W et 4100 W. Elle dispose de trois gammes d'aérogénérateurs: les gammes FP5, FP7, FP10 dont les vitesses V_2 de régulation sont respectivement 5, 7 et 10m/s, celle de démarrage V_1 de 2m/s. Leurs principales caractéristiques sont données en annexe 5.2.

V2:vitesse de régulation est la vitesse de vent minimale pour laquelle l'aérogénérateur donne sa puissance nominale.

V1:vitesse de démarrage est la vitesse de vent minimale pour laquelle l'aérogénérateur commence à fournir de l'énergie.

La régularité de la production est mieux assurée par une machine FP5 qu'une FP7, par une FP7 qu'une FP10(car $V_{2_5} < V_{2_7}$ et $V_{2_7} < V_{2_{10}}$) et il est plus économique d'installer une machine FP5 qu'une FP7, une FP7 qu'une FP10. Mais pour les besoins de l'étude nous nous limiterons aux seuls modèles de ces gammes dont nous disposons:

*** Puissances nominales disponibles:**

| | | | | | |
|--------|----------|---------|---------|----------|----------|
| modèle | 100 FP5G | 24 FP7G | 60 FP7G | 150 FP7G | 300 FP7G |
| Pn(W) | 100 | 30 | 60 | 150 | 300 |

- la batterie d'accumulateurs: Elle est définie par les mêmes paramètres que pour les systèmes photovoltaïques, à savoir sa tension V, sa capacité C, la décharge maximale, et le rendement.

Nous fixons:

V = 24 Volts (l'autonomie devra être plus grande du fait de la probabilité d'occurrence "periodes sans production" plus longues pour le vent que pour le soleil; la capacité en sera plus élevée et une plus grande tension que 12V, soit 24V convient)

décharge maximale = 70%

rendement: 80%

3.3.2.2 Méthode de dimensionnement:

Compte tenu de l'imprécision et de la non-actualité des valeurs statistiques de vents dont nous disposons, nous adopterons la méthode simplifiée de la Documentation Technique des Phares et Balises (DTPB) qui permet à partir d'hypothèses simplificatrices de déterminer un aérogénérateur et une batterie d'accumulateurs de telle sorte que l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation soit toujours disponible. L'autre méthode de la DTPB consistant à simuler sur ordinateur, pour un site et une période donnés, les échanges d'énergie à travers le schéma synoptique de la figure 3.1 pour obtenir un bilan de fonctionnement de l'installation.

*** Définition des paramètres:**

En définissant les paramètres suivants correspondant à un type d'aérogénérateur et une période de référence que nous prenons égale à une année:

V: vitesse moyenne du vent.

N1: la durée en jours de la plus longue période de l'année pendant laquelle l'aérogénérateur ne produit pas d'énergie: $V < V_1$

N2: la durée en jours de la plus longue période de l'année pendant laquelle l'aérogénérateur ne produit pas d'énergie ou fonctionne à vitesse réduite: $V < V_2$

Kp: coefficient de production que nous évaluons avec la vitesse moyenne annuelle à partir de la figure en annexe 5.1.

Pn: Puissance nominale de l'aérogénérateur.

Pa: puissance pouvant être produite par l'aérogénérateur pour la période considérée de un an sur le site considéré est:

$$Pa = Kp * Pn.$$

*** Hypothèses simplificatrices:**

La méthode simplifiée de la DTPB^[9] suggère ces simplifications:

a) sur l'utilisation de l'énergie électrique: considérer la moyenne des puissances nocturnes et diurnes comme puissance à pourvoir P_u .

b) sur l'aérogénérateur: on suppose que sa puissance pour toute période où $V_1 < V < V_2$ est constante et égale à $P_n/2$, valeur moyenne des puissances maximale P_n (V_2) et minimale $P = 0$ ($V < V_1$).

*** Détermination de N_1 , N_2 , K_p , P_u**

N_1 et N_2 sont déterminés en annexe 8.3 par les courbes des vitesses classées de l'annexe 8.2 pour les principales stations.

K_p est déterminé par les courbes caractéristiques de la figure 3.2.

$P_u = 1/2 * (P_{noct} + P_{diurne})$ P_{noct} étant composé de la puissance P_l du luminaire et de la puissance consommée par le coffret de commande et de contrôle. Cette dernière n'est pas disponible mais on sait par analogie à un cas étudié^[10] que sa contribution avec P_{diurne} n'excède pas 10% de P_l . Ce qui nous amène à estimer P_u à $1.1 * P_l / 2$.

*** Détermination de l'aérogénérateur.**

La puissance productible de l'aérogénérateur pour le site considéré et sur la période de un an ne doit pas être inférieure à P_u . Soit

$$Pa > Pu \quad \text{ou} \quad Kp * Pn > Pu \quad (3.12)$$

La puissance de l'aérogénérateur doit donc vérifier $Pn > Pu / Kp$ nous choisirons donc la puissance nominale au dessus de Pu / Kp .

Ce rapport, le choix de P_u et la capacité de batterie sont établis dans les tableaux 3.8, 3.9, 3.10 .

*** Détermination de la batterie:**

L'autonomie de la batterie devra être au moins égale à N_1 .
Considérons une période de N_2 jours, l'énergie provenant de la batterie nécessaire au fonctionnement de l'installation durant la sous-période N_1 est:

$$1) \quad E_1 = 24 * P_u * N_1 \quad \text{si } P_n > 2P_u$$

$$2) \quad E_1 = 24 * P_u * [N_1 + (N_2 - N_1) * (1 - P_n / 2P_u)] \quad \text{si } P_n < 2P_u$$

tandis que l'énergie fournie que peut restituer la batterie est :

$$E_2 = 0.7 * 0.8 * C$$

Pour que l'installation soit constamment alimentée, il faut que

$$E_2 > E_1 \text{ soit pour 1) } C > (24 / (0.7 * 0.8)) * P_u * N_1 \text{ ou } C > 34.3 * P_u * N_1 \quad (3.13)$$

$$\text{pour 2) } C > 34.3 * P_u * [N_1 + (N_2 - N_1) * (1 - P_n / 2P_u)] \quad (3.14)$$

*** coffrets de commande et de contrôle.**

une fois l'aérogénérateur et la batterie d'accumulateurs déterminés le coffret de commande et de contrôle est à choisir dans une gamme de coffrets mis au point par la compagnie AEROWATT et sur lesquelles s'est porté notre choix.

L'examen de ces tableaux pour les différentes stations et puissances utiles à pourvoir appelle les remarques suivantes:

- Dans nombre de cas, les modèles disponibles ne sont pas à mesure d'offrir la puissance requise par la contrainte (3.12). Il faut alors recourir à d'autres modèles de puissances plus élevées.

- Les capacités de batteries requises sont très élevées, dû en fait à l'insuffisance du potentiel éolien (les périodes de calme étant très longues, N1 varie autour de 72 jours) auquel elles sont inversement proportionnelles.

- Les coûts prohibitifs que laisse présager non seulement le recours à des modèles de puissances supérieures donc plus onéreux, mais aussi et surtout les exorbitantes capacités de stockage qu'il faudra disqualifier l'option éolienne. Néanmoins, un cas qui mérite un examen approfondi est celui de la classe C5 en zone 1 et zone 2 partiellement, à savoir les bouées autour des stations de Saint-louis, Dakar et Mbour qui requièrent une moindre capacité de stockage et dont les machines déterminées, (24 FP7G) les plus petites (cf dimensions en annexe 5.2) de la gamme devront être assez satisfaisantes du point de vue coûts et encombrement (aspect considérable pour les aides flottantes)

Tableau 3.8: $Pu_{1,2} = 82.5 \text{ W}$ (1.1*150/2) Classes C1,C2

| | SL | Dk | Mb | Sal | Klk | Csk | Zig |
|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Van | 4.1 | 4.3 | 3.8 | 4.0 | 2.7 | 2.8 | 2.7 |
| N1 | 73 | 73 | 73 | 256 | 256 | 238 | 362 |
| FP5 | N2 | 362 | 362 | 336 | 365 | 365 | 365 |
| | Kp | 0.51 | 0.52 | 0.48 | 0.50 | 0.30 | 0.31 |
| | Pu/Kp | 161.7 | 158.6 | 171.8 | 165.0 | 275.0 | 266.1 |
| | model | / | / | / | / | / | / |
| FP7 | N2 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 |
| | Kp | 0.36 | 0.37 | 0.34 | 0.35 | 0.21 | 0.22 |
| | Pu/Kp | 229.2 | 223.0 | 242.6 | 235.7 | 392.9 | 375.0 |
| | model | 300 | 300 | 300 | 300 | / | / |
| | Rc<1? | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | C | 206,5 | 206,5 | 206,5 | 724,4 | / | / |
| | C20 | 148 | 148 | 148 | 517 | / | / |

/: model convenable non disponible pour cette gamme

Rc: $=Pn/2Pu$ 1 si <1 , 0 sinon

C: 1000 x capacité calculée

C20: capacité normalisée en batteries de 1400 Ah (cf annexe 7).

Tableau 3.9: $Pu_{3,4} = 22 W$ (1.1*40/2) Classes C3,C4

| | SL | Dk | Mb | Sal | Klk | Csk | zig |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Van | 4.1 | 4.3 | 3.8 | 4.0 | 2.7 | 2.8 | 2.7 |
| N1 | 73 | 73 | 73 | 256 | 256 | 238 | 362 |
| FP5 | N2 | 362 | 362 | 336 | 365 | 365 | 365 |
| | Kp | 0.51 | 0.52 | 0.48 | 0.50 | 0.30 | 0.31 |
| | Pu/Kp | 43.14 | 42.31 | 45.83 | 44.00 | 73.33 | 70.97 |
| | model | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Rc<?1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | C | 55,08 | 55,08 | 55,08 | 193,1 | 193,1 | 179,5 |
| | C20 | 40 | 40 | 40 | 138 | 138 | 129 |
| FP7 | N2 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 |
| | Kp | 0.36 | 0.37 | 0.34 | 0.35 | 0.21 | 0.22 |
| | Pu/Kp | 61.11 | 59.46 | 64.71 | 62.86 | 104.7 | 100.0 |
| | model | 60 | 60 | 60 | 60 | 100 | 100 |
| | Rc<?1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | C | 55,08 | 55,08 | 55,08 | 193,1 | 193,1 | 179,5 |
| | C20 | 40 | 40 | 40 | 140 | 140 | 130 |

Tableau 3.10: $Pu_5 = 11 W$ (1.1*20/2) **Classe 5**

| | SL | Dk | Mb | Sal | Klk | Csk | Zig | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Van | 4.1 | 4.3 | 3.8 | 4.0 | 2.7 | 2.8 | 2.7 | |
| N1 | 73 | 73 | 73 | 256 | 256 | 238 | 362 | |
| FP5 | N2 | 362 | 362 | 336 | 365 | 365 | 365 | |
| | Kp | 0.51 | 0.52 | 0.48 | 0.50 | 0.30 | 0.31 | |
| | Pu/Kp | 21.57 | 21.15 | 22.92 | 22.00 | 36.67 | 35.48 | |
| | model | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Rc<?1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | C | 27,54 | 27,54 | 27,54 | 96,58 | 96,58 | 89,79 | 136,5 |
| | C20 | 20 | 20 | 20 | 70 | 70 | 64 | 98 |
| FP7 | N2 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | |
| | Kp | 0.36 | 0.37 | 0.34 | 0.35 | 0.21 | 0.22 | |
| | Pu/Kp | 30.56 | 29.73 | 32.35 | 31.43 | 52.38 | 50.00 | |
| | model | 24 | 24 | 24 | 24 | 60 | 60 | |
| | Rc<?1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | C | 27,54 | 27,54 | 27,54 | 96,58 | 96,58 | 89,79 | 136,5 |
| | C20 | 20 | 20 | 20 | 69 | 69 | 65 | 98 |

3.3.3 Alimentation au butane:

La quantités de butane nécessaire compte tenu des caractéristiques du brûleur et du temps réel d'allumage est donnée par l'expression:

$$M = m*(13*t) + 24*m'$$

m étant la consommation spécifique du brûleur,

$$m = 0.077 \text{ Kg/h pour le brûleur } 32 \text{ l/h}$$

m' la consommation spécifique de la veilleuse,

$$m' = 0.010 \text{ Kg/h pour le même brûleur}$$

t le taux de travail du feu

nous prenons également le taux maximum de 0.67 pour les feux à optique fixe.

13h et 24h correspondant au temps respectifs de fonctionnement du brûleur et de la veilleuse.

alors les consommations journalière(Mj) et annuelle(Ma) sont:

$$Mj = 0.077*8.71 + 0.01*24 = 0.911\text{kg}$$

$$Ma = 365*Mj = 333 \text{ Kg}$$

Un tel calcul aurait tout son intérêt dans le cas où il y avait une certaine dépendance avec le site, et une diversité de brûleurs. Ce qui n'est pas le cas si bien que la solution à retenir pour une nouvelle implantation peut être obtenue par analogie à un cas existant dont les quantités nécessaires sont déjà connues. d'expérience. Les résultats obtenus ici peuvent cependant servir de base de calcul à titre comparatif avec le système photovoltaïque.

3.4 ETUDE DE CAS: FEU LE GOREE.

3.4.1 Caractéristiques nautiques:

Portée: 14 miles

rythme: 4 éclat en 6s

3.4.2 Paramètres de calcul:

Puissance nominale de la lampe:.....40 watts
Tension nominale de la batterie:.....12 volts
Taux de travail du feu:.....4/6 = 0.67
Surintensité à l'allumage:.....1.11
Consommation de jour0.17 mA
Consommation de nuit lampe éteinte:.....3 mA
Consommation de nuit lampe allumée:.....12 mA
Appareillages annexes:(régulateur de charge)....12 mA
Durée de la nuit la plus longue:.....13 h
Rendement de la batterie:.....80%
Pertes dans les câbles, connexions etc.....10%
Productivité des modules(zone 2).....5.85 Wh/Wc.jour

3.4.3 Calcul du générateur solaire:

Consommation jour:

$$0.17 \text{ mA} \times 14 \text{ V} \times (24 - 13)\text{h} = 0.026 \text{ Wh}$$

Remarque: Ici on utilise la tension de charge de 14 volts, car celle-ci est supérieure à la tension nominale et une tension de charge moyenne de 14 volts convient pour le calcul.

Consommation de nuit lampe éteinte:

$$3 \text{ mA} \times 12 \text{ V} \times 0.33 \times 13 \text{ h} = 0.154 \text{ Wh}$$

Consommation de nuit lampe allumée:

$$(0.012\text{A} \times 12\text{V} \times 1.11 + 40\text{w}) \times 0.67 \times 13\text{h} = 349.79 \text{ Wh}$$

Consommation du régulateur de charge:

$$5 \text{ mA} \times 12 \text{ V} \times 24 \text{ h} = 1.44 \text{ Wh}$$

Consommation totale journalière:

$$0.026 + 0.154 + 349.79 + 1.44 = 351.41 \text{ Wh}$$

Energie à fournir à la batterie par jour:

$$(351.41 \text{ Wh}) / (0.8 \times 0.9) = 486.36 \text{ Wh}$$

Puissance crête à installer:

$$(486.36 \text{ Wh}) / \text{productivité}$$

$$(486.36) / (5.85) = 83 \text{ WC}$$

Nombre de modules :

$$2 \text{ module } 45 \text{ WC} \quad (90\text{Wc})$$

3.4.4 Calcul de la batterie:

Autonomie voulue: 5 jours

décharge maximale: 70 %

$$\text{Capacité } C = 5 \times 486.36 / (0.7 \times 12 \text{ V})$$

$$= 289.5 \text{ Ah soit } 2 \times 150 \text{ Ah}$$

donc batterie 2 x 150 Ah

Remarques:

Les résultats ainsi trouvés recourent parfaitement ceux du pré-dimensionnement du tableau 3.6. Ce qui confirme la validité de ces derniers. Ainsi, pour un feu donné, les tableaux 3.5, 3.6 et 3.7 permettent de déterminer plus rapidement, le nombre de modules de même que la batterie nécessaire.

Pour ce qui est du système éolien, Le tableau 3.9 prévoit pour ce feu: un aérogénérateur 100 FP5 et 40 batteries de C20 = 1400 Ah ou un aérogénérateur 60 FP7 avec la même capacité de batteries. Toutes valeurs assez significatives pour décourager toute investigation supplémentaire en ce sens.

CHAPITRE 4: ANALYSE DE RENTABILITE ET CHOIX FINAL

4.1 HYPOTHESES ET METHODE:

L'absence de données relatives à plusieurs éléments de coûts (systèmes éoliens, autres composantes des systèmes photo et à gaz) qui auraient permis un calcul plus exhaustif, nous amène à poser les hypothèses suivantes:

- 1) l'analyse économique sera limitée au photovoltaïque et au gaz.
- 2) Il ne sera tenu compte que des composantes directement impliquées dans la production le conditionnement et le stockage de l'énergie, du fait que les composantes directes sont de loin les plus coûteuses et les composantes indirectes (génie civil tourelles, abris de réservoirs et de batteries pour feux fixes, supports métalliques de modules solaires) sont difficiles à évaluer compte tenu de leur hétérogénéité selon les sites et catégories.
- 3) les coûts à considérer comme base de calcul sont les suivants:

- les coûts d'investissement:

initial.....I1

renouvellement d'éléments (periodicité>1an).....I2

- les coûts d'exploitation:

coûts directs:E1

matériel et pièces consommables

coûts indirects:E2

moyens navals et automobiles

personnel (frais de mission d'intervention)

Mais les données recueillies en ce sens ne nous permettant pas une estimation des coûts d'exploitation indirects E3, dont certaines composantes sont d'ailleurs des coûts fixes (personnel), nous les supposons identiques si les programmes de maintenance systématique est maintenu.

4) les coûts directs d'exploitation pour le butane seront estimés par analogie à ceux enregistrés par le service français des phares et balises[9] dont les systèmes à butane, ont pratiquement les mêmes fournitures et les mêmes conditions de fonctionnement que ceux des Phares et balises de DAKAR.

5) la comparaison économique sera faite sur la perspective de rénovation: il s'agit là d'évaluer l'opportunité d'une conversion d'un système à butane en un système photovoltaïque, l'autre perspective étant l'implantation d'une nouvelle aide où il s'agit de choisir un système. La première perspective qui ignore l'investissement initial du butane constitue ainsi une évaluation plus sévère pour le photovoltaïque.

5) Les coûts globaux trouvés avec les hypothèses précédentes ne peuvent avoir qu'une valeur indicative devant induire:

- * une évaluation détaillée plus précise, s'ils sont rapprochés pour deux configurations données,

- * un choix à première vue, si un écart important est noté.

Au vu de ces hypothèses, et des durées d'utilisation différentes pour les équipements, nous utilisons comme critère de rentabilité, le Coût Annuel Equivalent (annuité de la valeur actuelle nette d'un actif sur sa durée d'utilisation).

Le taux d'actualisation alors recommandé dans le cas d'autofinancement est le coût d'opportunité du capital c'est à dire le taux auquel l'entreprise aurait pu prêter ses capitaux. Les taux d'interêt de la place financière de Dakar variant entre 13.5 et 16% , le taux de 13% est un choix convenable d'autant plus qu'il ne s'agit ni d'un établissement financier, ni d'une entreprise industrielle ou commerciale.

4.2 COUTS ANNUELS EQUIVALENTS:

Le calcul étant fait à titre comparatif nous prenons le cas de feux fixes (puissance maximale dont nous disposons de plus de prix de références) zone 3 où le gisement éolien est plus faible. Il y faut (cf tableau 3.7): 5x20 WC ou 2x45 WC et 2x150 Ah et 333 Kg/an de butane.

L'annuité A d'une valeur présente P_0 , sur n années, au taux d'actualisation i, est donnée par:

$$A = P_0 * (i / (1 - (1+i)^{-n}))$$

$$\text{soit } A = 0.142 \text{ pour } 13\%, 20 \text{ ans}$$
$$= 0.184 \text{ pour } 13\%, 10 \text{ ans}$$

Les prix de référence des tableaux 4.1 et 4.2 permettent alors d'effectuer les calculs suivants où les valeurs indiquées sont en francs CFA:

systeme photovoltaïque:

| | | | | |
|-----|---------------------------------------|----------------|---------|--|
| I1: | modules(2*136000)..... | 272 000 | | |
| | coffret de c.c | 500 000 | | |
| | boitier de raccordement..... | 64 000 | | |
| | douille A.2114 | 15 550 | | |
| | | | 851 550 | |
| | annuité sur 20 ans: 851 550 x 0.142 = | 120 920 | FCFA | |
| I2: | batterie d'acc..... | 368 000 | | |
| | annuité sur 10 ans 368 000 x 0.184 | 67 712 | FCFA | |
| E1 | lampes..... | 8 800. | FCFA | |
| | Total: | <u>197 432</u> | FCFA | |

butane:

333Kg/an*216F/Kg = 71 921 FCFA

les coûts d'exploitation directs sont estimés^[9] à 3 000 ff
par an par bouée, soit 150 000 fcfa.

Au total 71 921 + 150 000 = 221 000 FCFA

La différence peut paraître faible, mais il faut noter qu'il s'agit là du cas le plus défavorable, le coffret (40 W) de commande et de contrôle "gonflant l'investissement initial".

Dans le cas de bouées où le prix du coffret(20 W) n'est que 216 000, le coût annuel equivalent du système passerait à 156000. Cet écart de coût annuel, même s'il peut être minime pour des cas spécifiques, prouve la plus grande rentabilité du photovoltaïque.

tableau 4.1: Prix de référence et durées d'utilisation.

| | Coût (ttc) unitaire (fcfa) | Durée probable d'utilisation |
|---|----------------------------------|------------------------------------|
| Modules solaires - BPX 47 101 10 WC 12V - BPX 47 201 20 WC 12V - BPX 47 402 40 WC 12V - BPX 47 451 45 WC 12V | 136 000 | 20 ans |
| Coffret de commande et contrôle (PWR 20C) pour feu 20 W (PWR 40M) pour feu 40 W feu 150 W | 216 000 500 000 | >20 ans |
| Batterie d'accumulateurs monobloc 60 Ah 12 V stationnaire (elmts 2 V) 150 Ah 12 V 250 Ah 12 V | 80 000 184 000 274 500 | 10 ans |
| Boitier de raccordement. | 64 000 | |
| Douille A.2114 | 15 550 | |
| Brûleur 321/h | | |
| DECOGAR pour gaz | | |

tableau 4.2:

| | Coût (ttc) unitaire(fcfa) | Fréquence (an-1) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Gaz (Kg) | 215.9 | |
| Lampes LDV 20 W 40 W 150 W | 3 900 4 400 | 2 |
| Pile d'alimentation. décoGAR | | 4 |
| Manchons à incandescence | | 4 |

4.3 CHOIX FINAL:

Etant donné l'impératif de sécurité, le critère prépondérant pour le choix du système, est sa fiabilité (probabilité de bon fonctionnement dans des conditions déterminées pour une période donnée), laquelle est liée ici à l'environnement du système (suffisance ou non du potentiel énergétique) et à la fiabilité des composantes électro-mécaniques (régulation, étanchéité).

Le premier lien a été prise en compte en calculant les systèmes aux états limites et en s'assurant d'une large autonomie de fonctionnement par la capacité des accumulateurs. La fiabilité des composantes, quant à elle ne peut être prise en compte sans connaissance de leur taux de défaillance qui pourrait être calculé par une série de relevés du temps de fonctionnement entre deux défaillances. Ces considérations nous amènent donc à supposer la même fiabilité pour les système photovoltaïque et butane.

A égale fiabilité donc, le critère de rentabilité nous fait retenir le système photovoltaïque par rapport au butane pour les classes C2, C3, C4, et C5: bouées et feux fixes. Pour les classes grands phares (classes C1 et C2), les éléments de coûts disponibles ne permettent pas de conclusion catégorique.

Mais même si les coûts d'investissement supplémentaires qu'il y faudrait (plus de modules que C3, C4 et coffret plus coûteux) semblent indiquer un coût global plus élevé que pour le butane (dont le brûleur plus puissant requis augmentera aussi les coûts), il reste que ce dernier sera plus coûteux sur une plus longue durée d'utilisation des modules et batteries.

Quant au système éolien l'étude technique en a montré les limites, notamment les capacités de stockage requises du fait des faibles régimes de vent.

En définitive le meilleur choix de système est à porter, pour toutes les classes, sur le photovoltaïque, le butane ensuite, et l'éolienne en dernier recours.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus confirment la faisabilité des systèmes photovoltaïques pour l'alimentation en énergie des aides lumineuses en site isolé, et prouvent qu'ils constituent une meilleure option que l'alimentation au butane.

La seconde option envisageable, celle des aérogénérateurs, s'est avérée au vu des mêmes résultats, non viable pour nombre de sites du fait essentiellement de l'insuffisance du potentiel éolien, nécessitant du coup d'énormes capacités de stockage aux coûts tout aussi prohibitifs que ceux des aérogénérateurs.

D'autres possibilités sont envisageables (centrales autonomes d'accumulateurs et génératrices houlo-motrices), mais demeurent moins viables; de sorte qu'en définitive l'alimentation par générateur photovoltaïque reste la solution la plus convenable du double point de vue technique et économique.

A noter cependant de noter que l'inaccessibilité de certaines données:

- caractéristiques techniques et prix de référence de certaines composantes
- régimes de vents et d'ensoleillement plus récents
- statistiques précises sur les aides existantes

sinon leur disponibilité tardive n'en permettant pas une exploitation convenable dans les délais impartis, ont fait qu'il a fallu la plupart du temps recourir à des solutions approchées.

Aussi recommandons nous pour une plus grande précision des résultats:

- la collecte in situ des données météorologiques pour une évaluation plus précise des potentiels éolien et solaire.

- l'enregistrement centralisé de données statistiques sur les opérations effectuées sur les aides existantes portant entre autres: nombre, nature de ces opérations, quantités et qualités des fournitures mises en jeu.

- l'acquisition auprès de fournisseurs des catalogues assortis des prix de référence des divers équipements photovoltaïques et éoliens pour un plus large éventail de choix techniques et pour un calcul économique plus exhaustif sur la base des éléments de coûts déjà identifiés.

Par ailleurs, le cas pratique des phares et balises n'étant qu'un cas parmi tant d'autres de sites isolés, l'étude comparative faite ici pourrait être généralisée en vue de l'intégration des énergies renouvelables à une plus grande échelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [2]: LE GOURIERES: Energie Eolienne
Théorie, conception, et calcul pratique
des installations.
Eyrolles 1982
- [3]: G. CUNTY: XIIème conférence: Bouées électriques
alimentées par générateur solaire photovoltaïque:
optimisation du générateur et de la batterie
d'accumulateurs. AISM 1990
- [4]: J.P FRETEAUD: Etude du régime des vents au SENEGAL:
possibilité d'utilisation pour l'exhaure de
l'eau. CERER 1984
- [5]: DOCUMENTATION TECHNIQUE DES PHARES ET BALISES: première et
deuxième parties.
- [6]: PERRIN de BRICHAMBEAU et VAUGE: Le Gisement Solaire.
Technique et documentation 1982
- [7]: T. FOGELMAN: Installations photovoltaïques dans l'habitat
isolé. Edisud 1983
- [8]: Service des phares et balises: ILe des Madeleines: Allumage
d'un feu électrique autonome par aérogénérateur 150 FP5.
Dossier T468
- [9]: J.M CALBET et J. GRANBOULAN: XIIème conférence: Conversion
Photovoltaïque de bouées lumineuses à gaz à l'énergie solaire.
AISM 1990

ANNEXES

- 1.1 - Répertoire des phares, feux fixes et bouées
- 1.2 - Périmètre d'intervention de la subdivision des Phares et balises.
- 2 - Glossaire des aides à la navigation.
- 3 - Rappels de photométrie.
- 4.1 - Modules photovoltaïques: extraits du catalogue GISMAN.
- 4.2 - Modules photovoltaïque: influence de l'inclinaison et de la latitude.
- 5.1 - Conversion éolienne: Calcul du coefficient de production.
- 5.2 - Aérogénérateurs: extraits de catalogue AEROWATT
- 6 - Luminaires électriques et brûleurs à gaz
- 7 - Batteries d'accumulateurs GISMAN
- 8.1 - Cartes d'ensoleillement.
- 8.2 - Régime des vents et Courbes classées des vents.
- 8.3 - Détermination des calmes les plus longs.

**Annexe 1.1: Répertoire des lumineuses actuelles des Phares et
Balises de DAKAR.**

| type | appellation | Portée lum. | alimentation actuelle |
|----------------------|-----------------|-------------|--------------------------|
| Phares | Mamelles | 30 | secteur |
| | Cap Manuel | 20 | secteur |
| feux fixes | Almadies | 11 | solaire |
| | Gorée | 12 | secteur |
| | Jetée sud (Dk) | 12 | secteur |
| | Jetée Nord (Dk) | 12 | secteur |
| | Rufisque | 12 | secteur |
| | Joal | 12 | secteur |
| | Gandiol | 14 | solaire |
| | Guet Ndar | 14 | solaire |
| bouées lumineuses | Tacoma | 10 | solaire |
| | Bouée 12 | 10 | solaire |
| | Résolue | 10 | solaire |
| | Mbao | 10 | solaire |
| | Saloum | 10 | gaz |
| | Casamance | 10 | gaz |
| | Djogué | 12 | gaz |

Annexe 2: Glossaire de signalisation maritime:

OPTIQUE ET VISION:

Portée géographique d'un feu:

La plus grande distance à laquelle la lumière provenant d'une source peut théoriquement atteindre un observateur compte tenu seulement, d'une part de la courbure de la terre et de la réfraction atmosphérique, d'autre part de la hauteur de l'observateur et de la hauteur du feu.

Portée lumineuse d'un feu:

La plus grande distance à laquelle un feu peut être vu, compte tenu de l'intensité lumineuse du feu, du coefficient de transmittivité atmosphérique et du seuil d'éclairement de l'oeil de l'observateur.

Coefficient de transmittivité atmosphérique:

Grandeur qui caractérise la transparence de l'atmosphère. C'est le rapport du flux lumineux transmis sans changement de direction par l'atmosphère au flux qui serait transmis dans le vide, sur une même distance.

Visibilité météorologique:

La plus grande distance à laquelle un objet noir de dimensions appropriées peut être vu et identifié de jour sur le ciel à l'horizon ou quand il s'agit d'observations de nuit, pourrait être vu et identifié si l'illumination générale était augmentée jusqu'à atteindre l'intensité normale de la lumière du jour. Le terme peut exprimer la visibilité dans une seule direction ou la visibilité prédominante dans toutes les directions.

Portée nominale d'un feu:

La portée nominale d'un feu utilisé comme aide à la navigation est la portée lumineuse d'un de ce feu en atmosphère homogène, pour laquelle la visibilité météorologique est de 10 milles marins.

APPAREILS OPTIQUES:

Optique: Ensemble composé d'éléments optiques réfringents ou réfléchissants (ou les deux), ainsi que de leurs armatures et supports. Par l'intermédiaire de ces éléments optiques, les rayons issus d'une source lumineuse sont déviés dans les directions désirées.

Optique tournante: Ensemble constitué d'un ou plusieurs panneaux d'optique tournant autour d'un axe vertical et destiné à produire des apparitions de lumière par pinces lumineuses.

SOURCES LUMINEUSES:

Retard à l'allumage: Laps de temps compris entre le moment où commence l'apport d'énergie à la lampe et le moment où est atteint un pourcentage spécifié de la valeur nominale de l'intensité ou le flux lumineux de la lampe à une puissance donnée.

Surintensité à l'allumage: Rapport entre l'intensité de courant à l'allumage et l'intensité nominale, supérieur à 1, du fait de l'inertie thermique présentée par le filament à porter à incandescence ou l'enceinte à rayonner.

Lampes aux halogénures: Lampe à décharge dans laquelle la lumière est produite par le rayonnement d'un mélange d'une vapeur métallique (mercure par exemple et des produits de dissociation d'halogénures (de thallium, d'indium, de sodium par exemple)).

EQUIPEMENT DES FEUX:

Veilleuse: Petite flamme allumée en permanence, destinée à enflammer le gaz à son arrivée à un brûleur.

Changeur de lampe: Mécanisme automatique qui remplace une lampe par une autre, lorsqu'elle est défectueuse en cours de service.

TYPES ET CARACTERES DES FEUX:

Caractère d'un feu de navigation: Particularités de coloration ou de rythme d'un feu permettant de l'identifier.

Feu fixe: Feu dont la lumière paraît continue, uniforme et de couleur constante à un observateur immobile par rapport à lui.

Feu rythmé: Feu dont la lumière apparaît par intermittence, avec une périodicité régulière.

Annexe 3: Rappels de Photométrie:

Intensité lumineuse (d'une source, dans une direction):

Quotient du flux lumineux quittant la source et se propageant dans un élément d'angle solide contenant la direction, par cet élément d'angle solide. Unité: candela

Luminance lumineuse: (dans une direction, en un point de la surface d'une source ou d'un récepteur, ou en un point sur le trajet d'un faisceau):

Quotient du flux lumineux quittant, atteignant ou traversant un élément de surface en ce point, et se propageant dans des directions définies par un cône élémentaire contenant la direction donnée, par le produit de l'angle solide du cône et de l'aire de la projection orthogonale de l'élément de surface sur un plan perpendiculaire à la direction donnée.

Eclairement lumineux (en un point d'une surface)

Quotient du flux lumineux reçu par un élément infiniment petit de cette surface entourant le point considéré, par l'aire de cet élément.

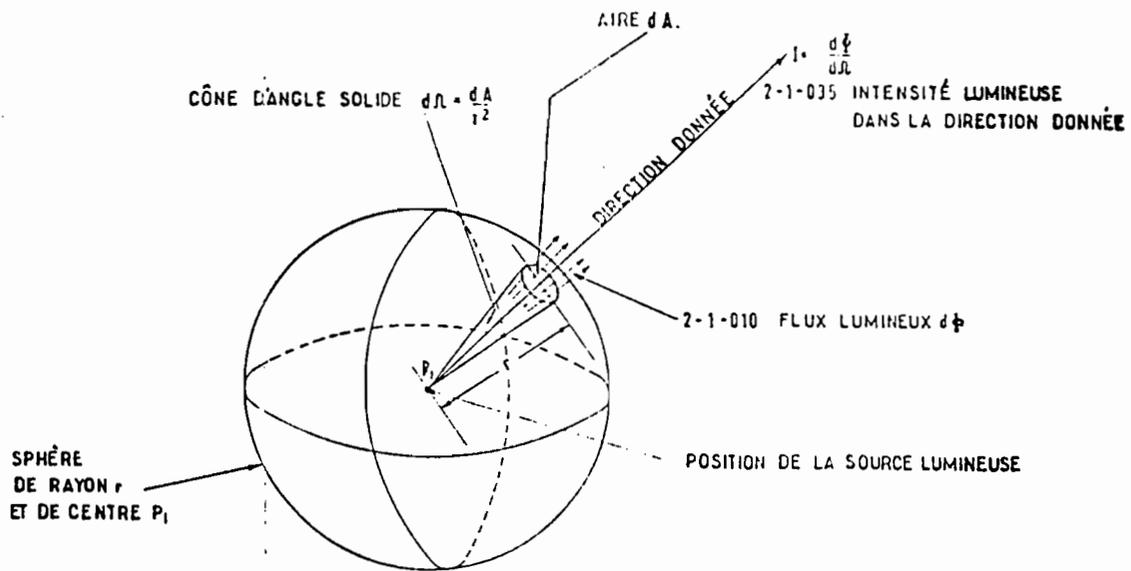


Fig 1. 2-1-035 INTENSITÉ LUMINEUSE (d'une source, dans une direction)

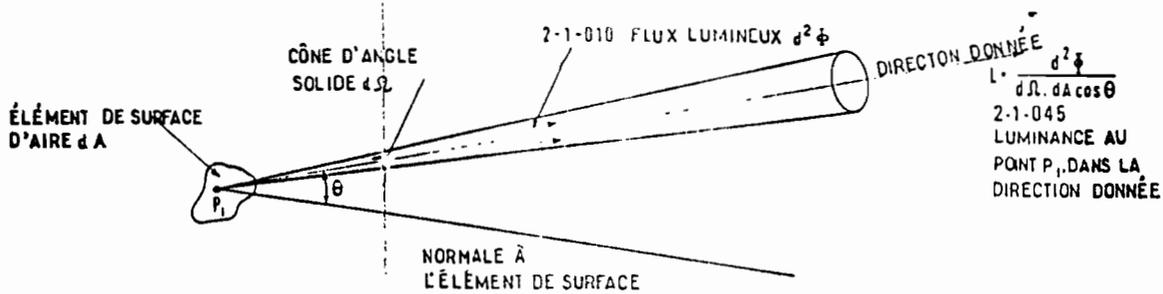


Fig 2. 2-1-045 LUMINANCE LUMINEUSE (dans une direction, en un point d'une surface)

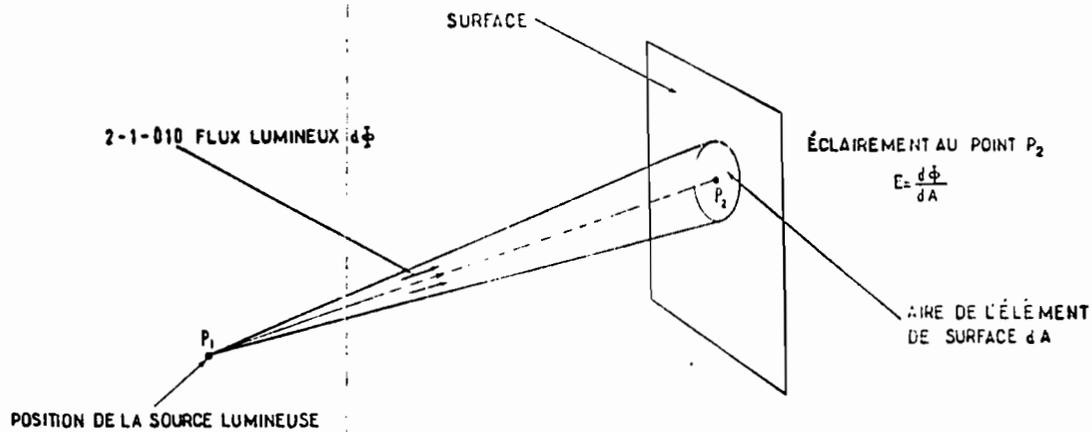


Fig 3. 2-1-055 ÉCLAIREMENT LUMINEUX (en un point d'une surface)

Annexe 4.1:**Modules Photovoltaïques:****Extraits de catalogue GISMAN:**

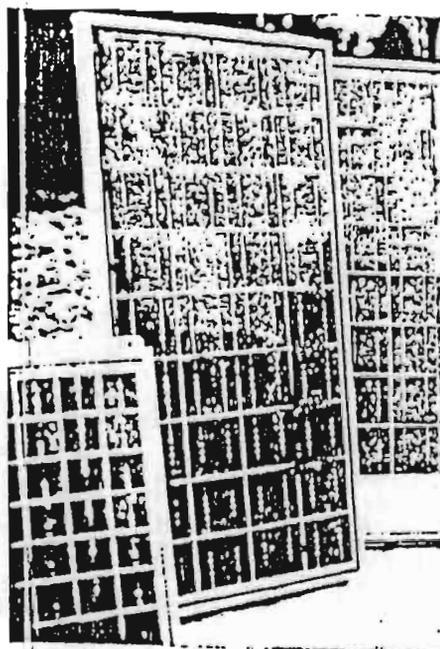
La cellule est évidemment le composant essentiel d'un système photovoltaïque mais rares sont les applications directes sous cette forme.

En effet, les caractéristiques mécaniques d'une cellule (fragilité) et de résistance à l'humidité ne pourraient lui garantir la longévité de ses performances.

D'autre part, les caractéristiques d'une seule cellule (tension unitaire voisine de 0,5 volt, puissance...) ne permettent généralement pas d'alimenter directement un équipement électrique dont les tensions de fonctionnement sont normalisées (12, 24, 48 Volts). C'est pourquoi les cellules sont connectées électriquement (montage en série) et assemblées en module pour constituer des systèmes résistants, hermétiques, et de tensions conventionnelles.

Les modules développés et fabriqués par PHOTOWATT International SA bénéficient d'une technologie éprouvée qui s'appuie sur son expérience de plus de 20 ans sur le terrain.

D'autre part, son important potentiel de recherche et de développement lié à sa connaissance des problèmes d'ensembles que lui confère sa vocation d'ensemblier du photovoltaïque lui assure de garantir un haut niveau de performance et une très grande longévité de ses produits.



- Cellules à haut rendement au silicium multicristallin
- Encapsulation type feuilleté
- Cadre auto-porteur
- Face avant en verre trempé à haut coefficient de transmission
- Résistance élevée aux agents extérieurs
- Assemblage facile en panneaux

A GAMME PHOTOWATT

| Références | | BPX 47 101 | BPX 47 201 | BPX 47 402 | PWP 402 | BPX 4745 |
|----------------------------|-----|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| Puissance maximale (P.Max) | (W) | 10 | 20 | 40 | 40 | 45 |
| Tension nominale batterie | (V) | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Type d'encapsulation | | Bi-verre | | | Verre/Tedlar | |
| Tension à P Max | (V) | 16 | 16 | 16 | 16 | 16,5 |
| Courant à P Max | (A) | 0,625 | 1,25 | 2,50 | 2,50 | 2,73 |
| Tension en circuit ouvert | (V) | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 21,21 |
| Courant de court circuit | (A) | 0,68 | 1,37 | 2,74 | 2,74 | 3 |

LES RÉGULATEURS

GENERALITES

La plupart des applications des générateurs photovoltaïques nécessitent des moyens de stockage d'énergie.

D'une manière générale, il est fait appel à des batteries d'accumulateurs dont le bon fonctionnement et la tenue des performances dans le temps, résultent directement des conditions d'utilisation.

Afin de réaliser un contrôle précis de ces conditions de charge et de décharge il est nécessaire d'intercaler entre les modules solaires et la batterie d'accumulateur un dispositif électronique de régulation

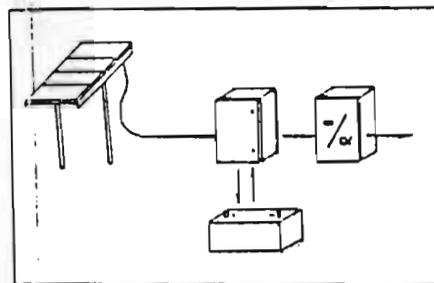
calibré au mieux des besoins de l'installation.

Ce régulateur constitue le cœur du générateur et de lui dépendra la fiabilité et le rendement de l'ensemble photovoltaïque.

PHOTOWATT International SA a utilisé toute sa connaissance des systèmes pour développer une gamme de régulateurs de haute fiabilité parfaitement adaptés.

Elle se développe comme suit :

- PWR BS
- PWR 100
- PWR 20 C
- PWR 40 M



BLOC DE SÉCURITÉ TYPE PW-R BS

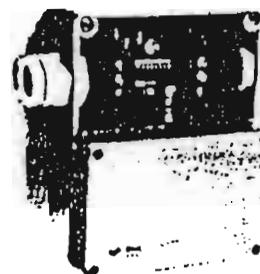
Dans le cas d'applications ne dépassant pas quelques dizaines de watt-crête, le courant délivré par les modules ne risque pas de provoquer de surcharge nuisant à la durée de vie des batteries.

protéger les batteries contre les décharges profondes.

PHOTOWATT International SA a donc développé un bloc de sécurité assurant uniquement cette fonction de protection.

Par contre, il convient de toujours

- Sécurité par série coupure électromagnétique
- Protection contre inversion de polarité
- Courant d'utilisation 5 A



CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

| | |
|---------------------------------|---|
| Tension nominale : | 12 V - 24 V |
| Sécurité : - seuil apparition | 1,9 V exemple pour |
| - seuil disparition | 2,15 V éléments d'accumulateurs en plomb* |
| Consommation moyenne : | 3,8 mA (sous 12 et 24 V) |
| Température de fonctionnement : | -15 °C à +50 °C |
| Caractéristiques des contacts : | |
| Puissance de coupure maximale : | 100 W |
| Courant maximum d'utilisation : | 5 A |

* Sur demande, il est possible de disposer de réglages de tensions des seuils permettant l'utilisation de batteries d'accumulateur Nickel-Cadmium.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Boîtier : matériau : PVC moulé gris

Degré de protection :

- IP 555

- protégé contre les poussières

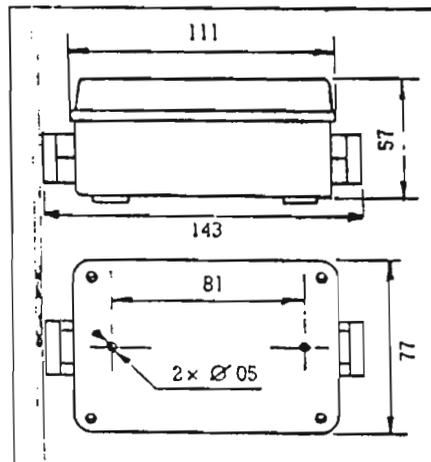
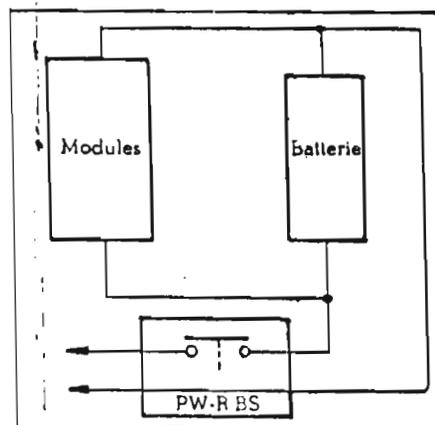
- protégé contre les jets d'eau

Dimensions extérieures : 143 x 77 x 57 mm

Masse : 0,150 kg

Entrées et sorties électriques : 2 presse-étoupes de Ø 16 permettant le passage de câbles de 2 x 4 mm²

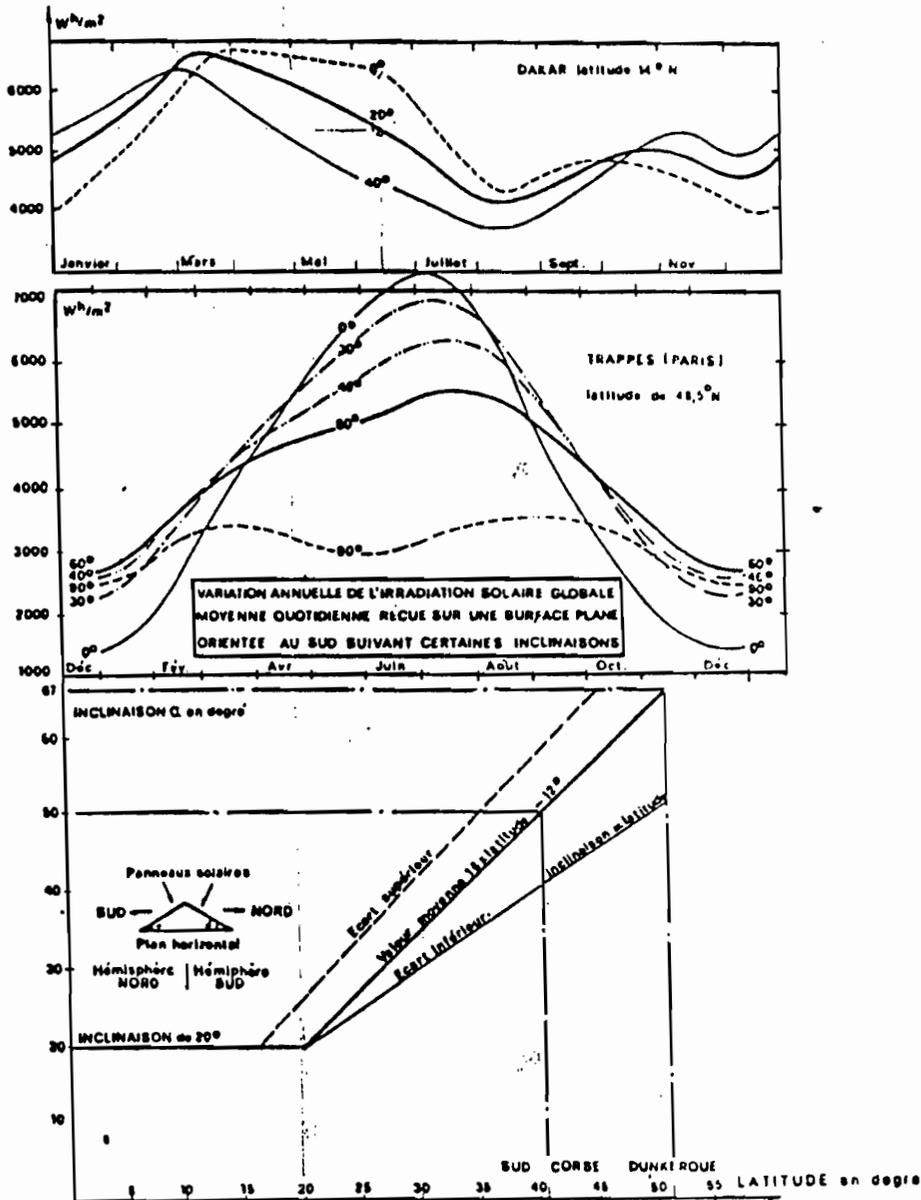
Raccordement électrique : les connexions électriques se font au niveau des deux borniers à vis situés de part et d'autre du circuit imprimé.



Annexe 4.2: Modules Photovoltaïques

Influence de l'inclinaison:

INFLUENCE DE L'INCLINAISON DES MODULES SUR L'IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE



Annexe 5.1: Conversion éolienne:

Calcul du coefficient d'utilisation.

le coefficient Ku est donné d'après LE GOURIERES^[1] par la formule

$$Ku = \frac{Vn^3 * (T2 - T1) + \int_{T2}^{T3} v^3 * dT}{V^3 * T} \quad (3.9)$$

où v: vitesse instantanée

Vn: vitesse nominale de la machine.

V: vitesse moyenne exprimée par

$$V = \frac{1}{T} \int_0^T v dt$$

T étant la période d'observation

T1: durée pendant laquelle la vitesse du vent est supérieure à la vitesse maximale Vm que la machine peut supporter sans dommage. Dans notre cas les vitesses sont faibles comparées aux résistances des pâles (50m/s et 90m/s) de sorte que T1=0).

T2: durée pendant laquelle la vitesse du vent est supérieure à la vitesse de vent Vn, vitesse à laquelle l'éolienne fournit sa puissance maximale.

T3: temps pendant lequel la vitesse du vent est insuffisante pour que l'éolienne produise de l'énergie.

A défaut des courbes v=f(t) exactes, les approximations suivantes permettent d'évaluer Ku.

$$Ku = \left(\frac{Vn}{V}\right)^3 \frac{T2 - T1}{T} + \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{v}{V}\right)^3 dt$$

$$K_u = \left(\frac{V_n}{V_{an}}\right)^3 F_{vn} + \frac{1}{12} \sum_{janv}^{dec} \left(\frac{V}{V_{an}}\right)^3 * (T_3 - T_2)$$

F_{vn} étant la fréquence de dépassement de la vitesse V_n.

A titre d'exemple de calcul, nous avons obtenu les résultats suivants: Modèle 24 FP 7G D=1.02 m

| | S1 | Dk | Mb | Sal | Klk | Csk | Zig |
|----------------------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Vmin | 3.1 | 3.1 | 2.7 | 2.1 | 1.7 | 1.6 | 0.6 |
| Ebetz | 6.20 | 6.20 | 4.10 | 1.93 | 1.02 | 0.85 | 0.04 |
| Ku | 1.26 | 1.215 | 1.062 | 0.28 | 0.51 | 0.045 | 0.069 |
| E _{max} (W) | 7.81 | 7.53 | 4.35 | 0.54 | 0.52 | 0.04 | 0.00 |

$$E_{betz} = E_{théorique} = 0.2 * D^2 * V^3$$

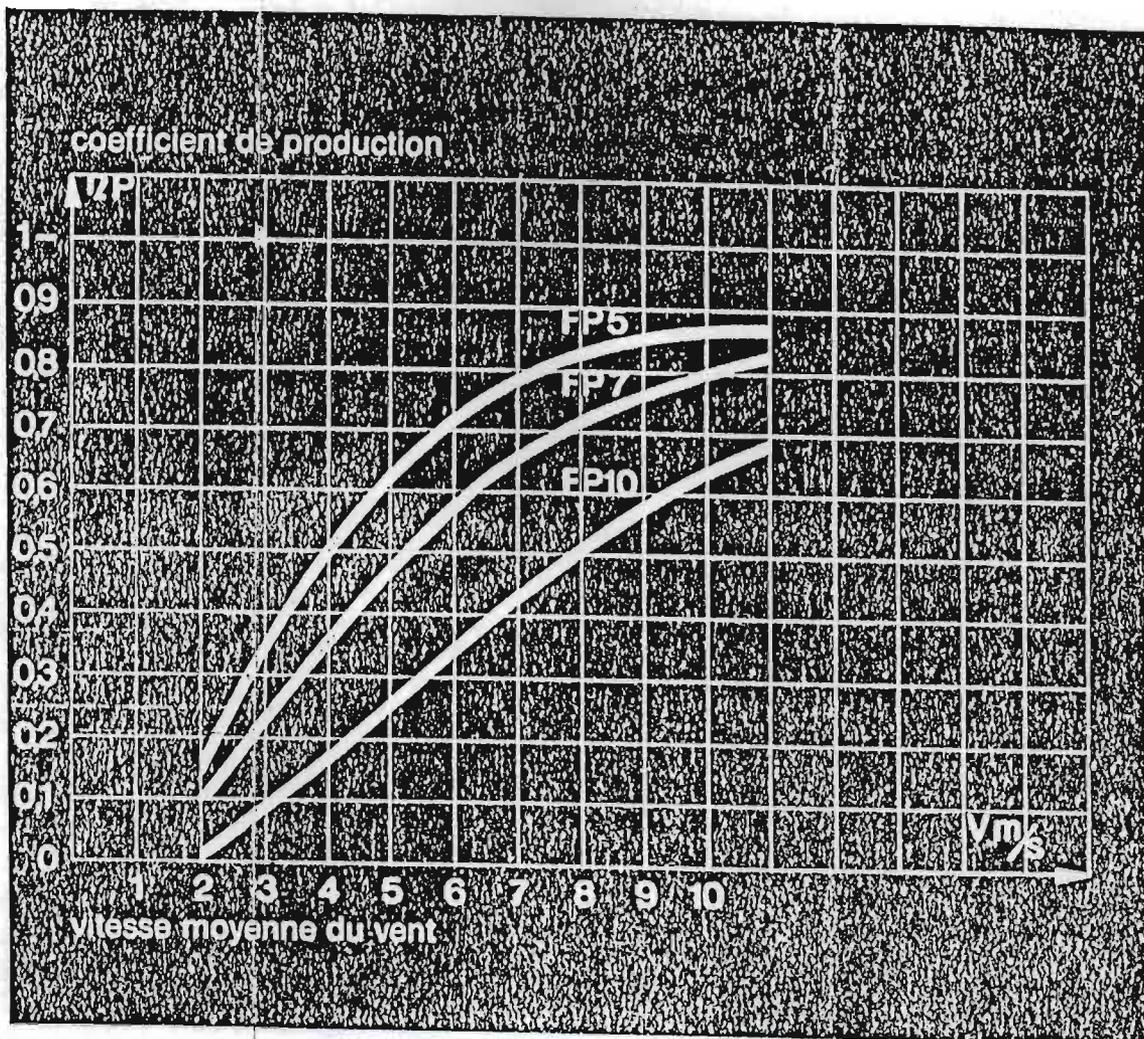
$$E_{max} = 0.2 * D^2 * D^3 * K_u$$

Annexe 5.2: Aérogénérateurs: Extraits de Catalogue AEROWATT

5.2.1 Coefficient de production:

Le coefficient de production est fourni par les courbes ci-dessous pour les machines FP5, FP7 et FP10 d'AEROWATT

Ce coefficient est le rapport entre la puissance moyenne disponible aux bornes de l'appareil et sa puissance nominale. Il dépend de la caractéristique de l'aérogénérateur (FP5, FP7 ou FP10) et de la fonction de répartition des vitesses de vent.



AEROGENERATEUR 100 FP 5 G

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

Vitesse de vent nominale: 5 m/s
Vitesse de démarrage: 2 m/s
Vitesse destructrice: 60 m/s
Vitesse nominale de rotation en charge: 380 tpm

DIMENSIONS

Diamètre de l'hélice: 3200 mm
Corde du profil: 125 mm
Longueur hors-tout: 3040 mm
Poids net: 176 kg

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance nominale: 100 Watts à la vitesse de rotation nominale.

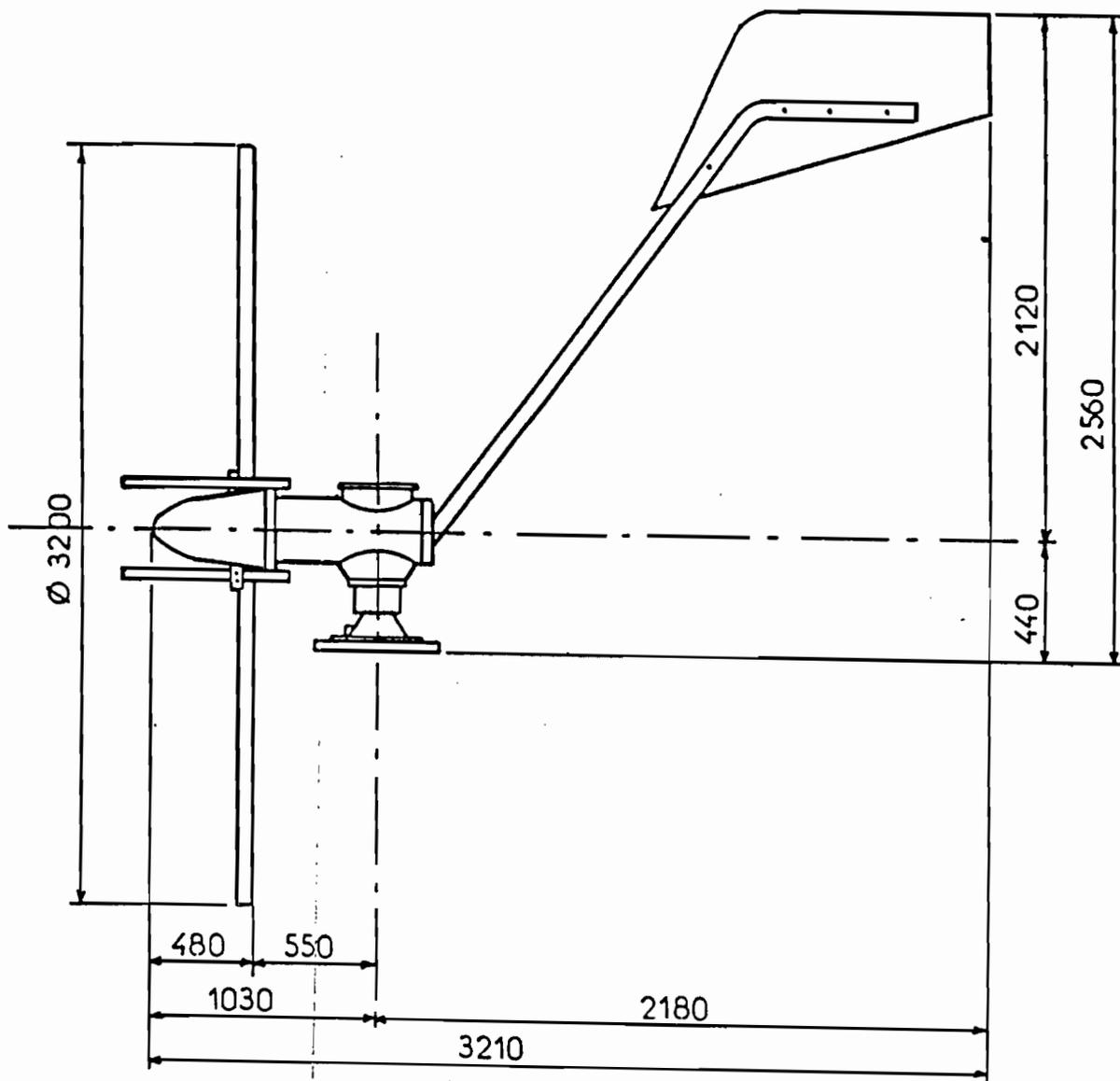
Puissance en fonction des vitesses de vent:

| Vitesse moyenne du vent: | 3 m/s | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Puissance moyenne estimée (Watts): | 38 | 50 | 63 | 71 |

Tension: 12, 24, 36, ou 48 Volts

Tableaux de contrôle utilisés: modèles AW 100 RP 12, 24, 36 ou 48

100 FP 5 G



AEROGENERATEUR 24 FP 7 G

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

Vitesse de vent nominale: 7 m/s
Vitesse démarrage: 2 m/s
Vitesse destructrice: 90 m/s
Vitesse nominale de rotation en charge: 1150 tpm

DIMENSIONS

Diamètre de l'hélice: 1200 mm
Corde du profil: 125 mm
Longueur hors-tout: 1530 mm
Poids net: 22 kg

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance nominale: 30 Watts à la vitesse de rotation nominale

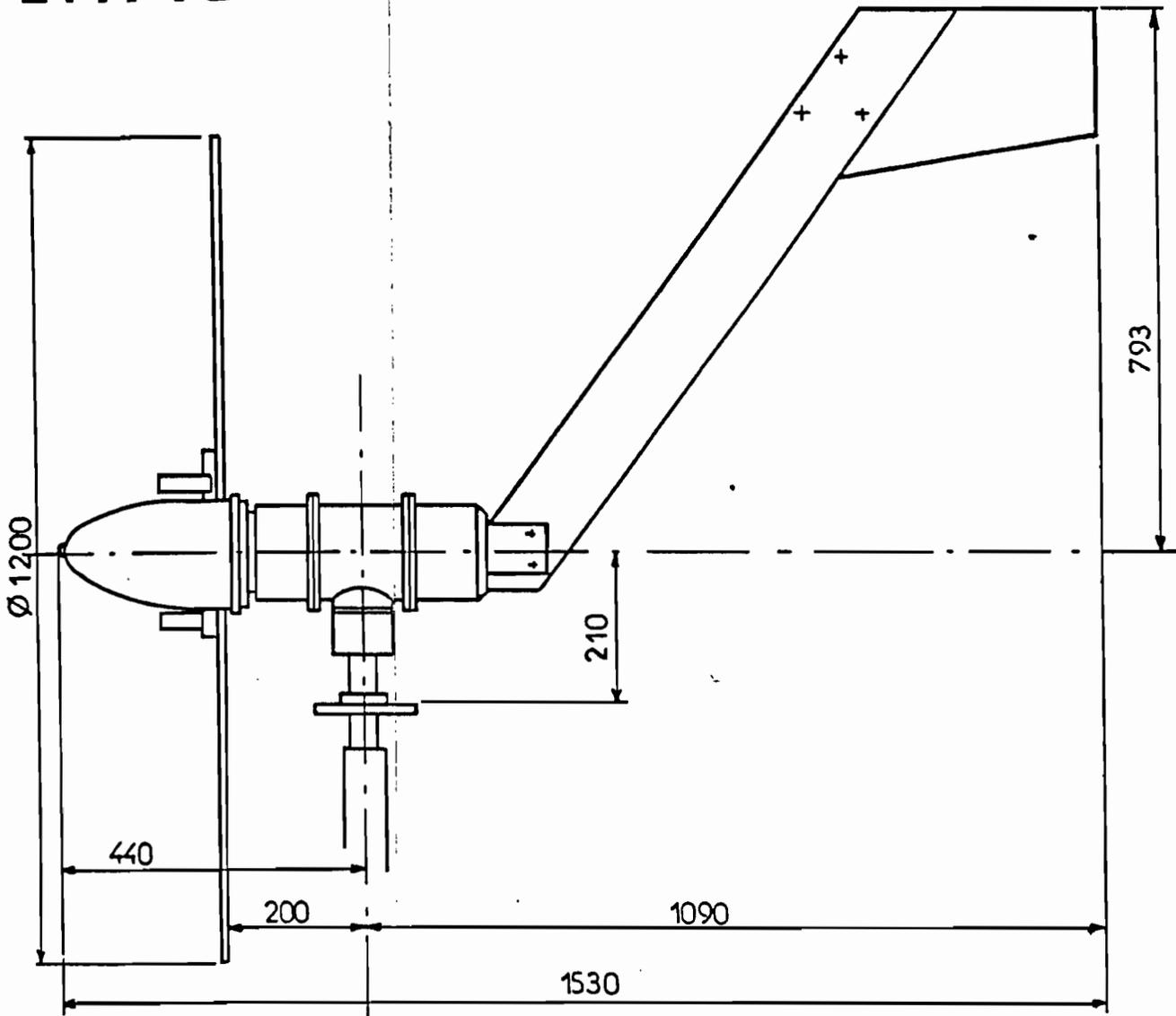
Puissance en fonction des vitesses de vent:

| Vitesse moyenne du vent: | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Puissance moyenne estimée (Watts): | 10 | 13 | 17 | 20 |

Tensions: 12 ou 24 Volts

Tableaux de contrôle utilisés: modèles AW 24 RP 12 ou 24

24 FP 7G



AEROGENERATEUR 60 FP 7 G

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

Vitesse de vent nominale: 7 m/s

Vitesse de démarrage: 2 m/s

Vitesse destructrice: 90 m/s

Vitesse nominale de

rotation en charge: 860 tpm

DIMENSIONS

Diamètre de l'hélice: 1340 mm

Corde du profil: 125 mm

Longueur hors-tout: 1745 mm

Poids net: 22 kg

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance: 60 Watts à la vitesse de rotation nominale

Puissance en fonction des vitesses de vent:

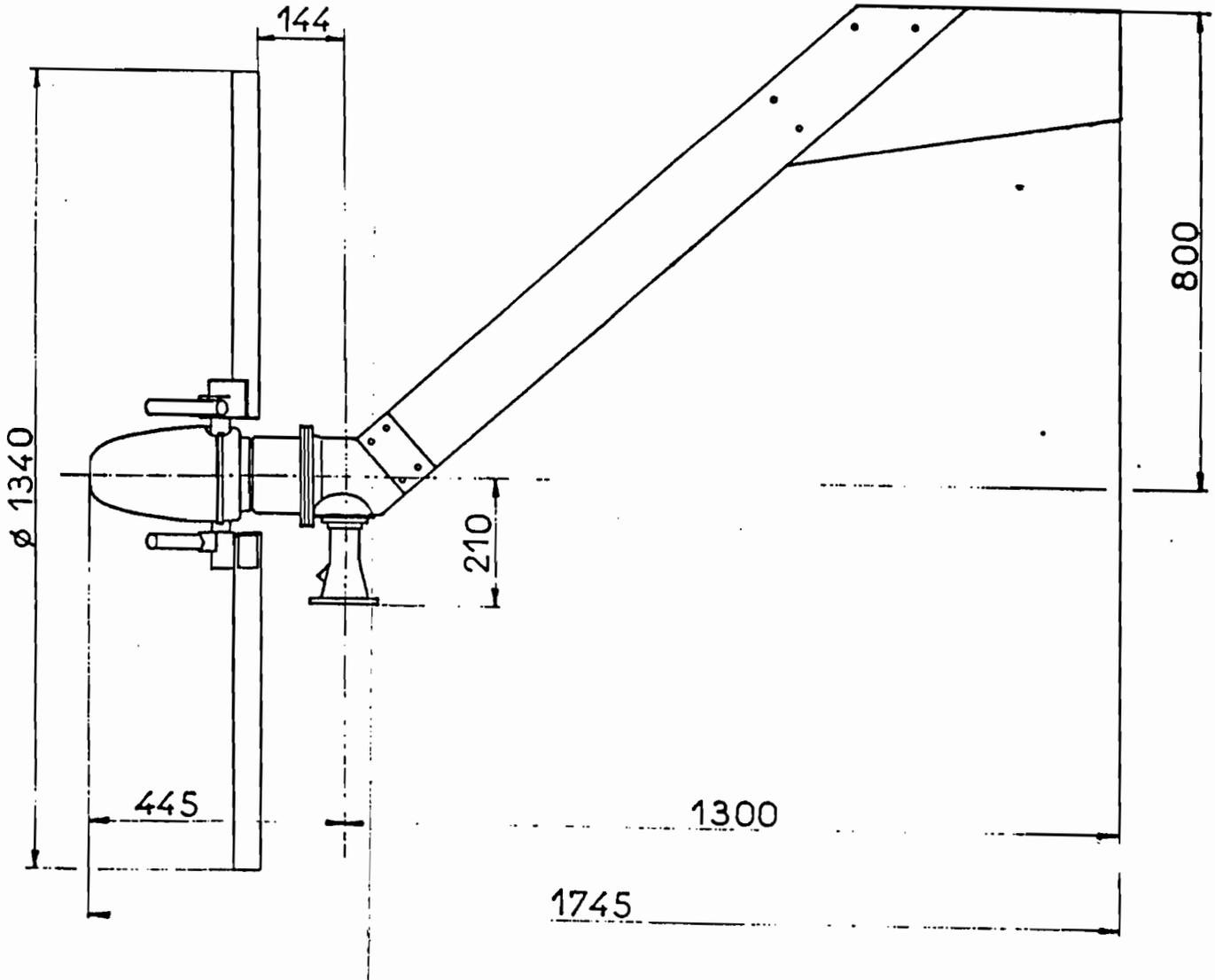
| | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Vitesse moyenne du vent: | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|

| | | | | |
|------------------------------------|----|----|----|----|
| Puissance moyenne estimée (Watts): | 20 | 26 | 34 | 40 |
|------------------------------------|----|----|----|----|

Tension: 12, 24, 36, ou 48 Volts

Tableaux de contrôle utilisés: modèles AW 60 RP 12, 24, 36 ou 48

60 FP 7 G



AEROGENERATEUR 150 FP 7 G

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

Vitesse de vent nominale: 7 m/s
Vitesse de démarrage: 2 m/s
Vitesse destructrice: 60 m/s
Vitesse nominale de
rotation en charge: 550 tpm

DIMENSIONS

Diamètre de l'hélice: 2000 mm
Corde du profil: 125 mm
Longueur hors-tout: 2680 mm
Poids net: 80 kg

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance nominale: 150 Watts à la vitesse de rotation nominale

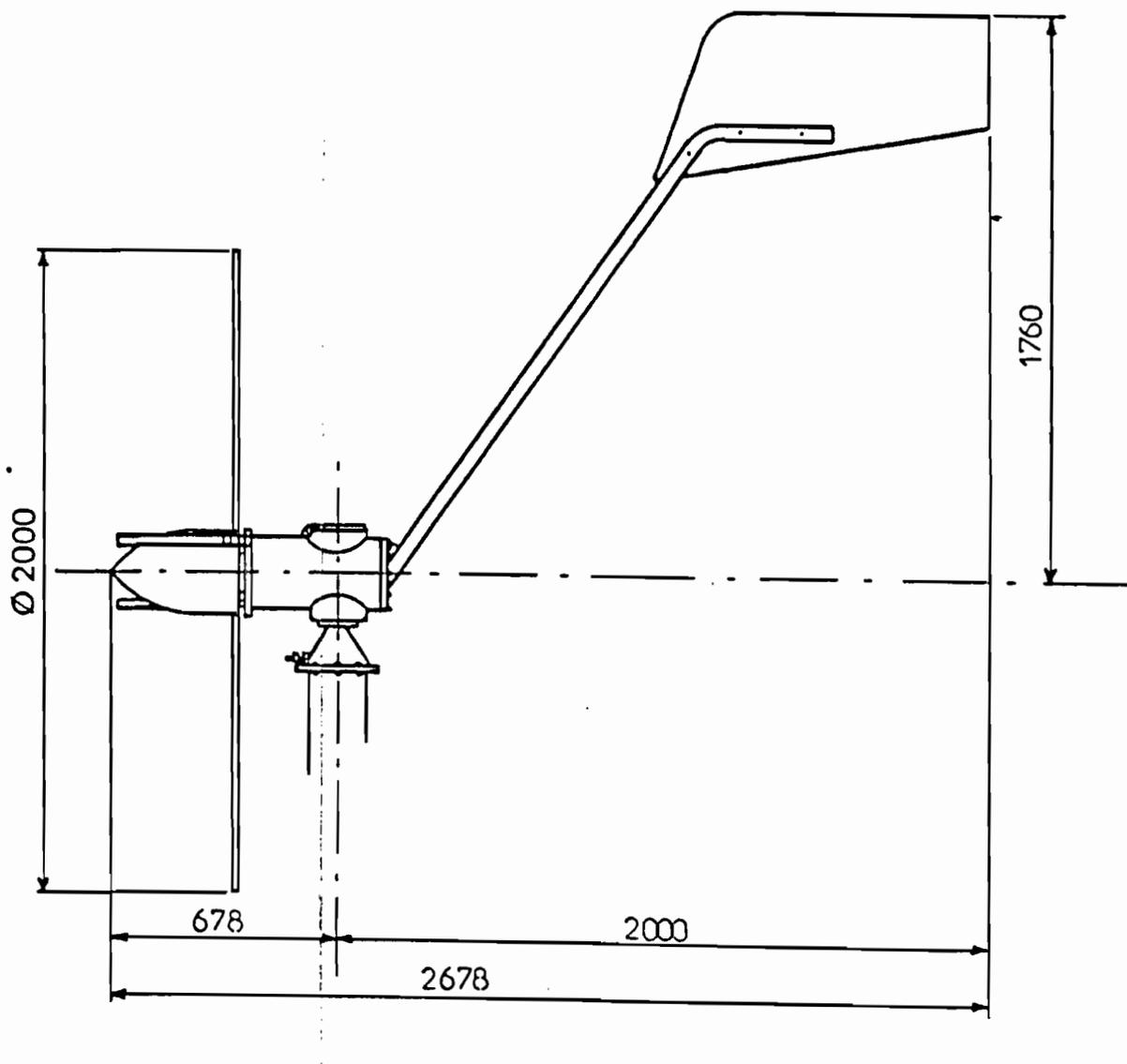
Puissance en fonction des vitesses de vent:

| Vitesse moyenne du vent: | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Puissance moyenne estimée (Watts): | 52 | 70 | 85 | 98 |

Tension: 12, 24, 36 ou 48 Volts

Tableaux de contrôle utilisés: modèles AW 150 RP 12, 24, 36 ou 48

150 FP 7 G



AEROGENERATEUR 300 FP 7 G

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

Vitesse de vent nominale: 7 m/s
Vitesse de démarrage: 2 m/s
Vitesse destructrice: 60 m/s
Vitesse nominale de rotation en charge: 420 tpm

DIMENSIONS

Diamètre de l'hélice: 3200 mm
Corde du profil: 125 mm
Longueur hors-tout: 4250 mm
Poids net: 176 kg

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance nominale: 300 Watts à la vitesse de rotation nominale

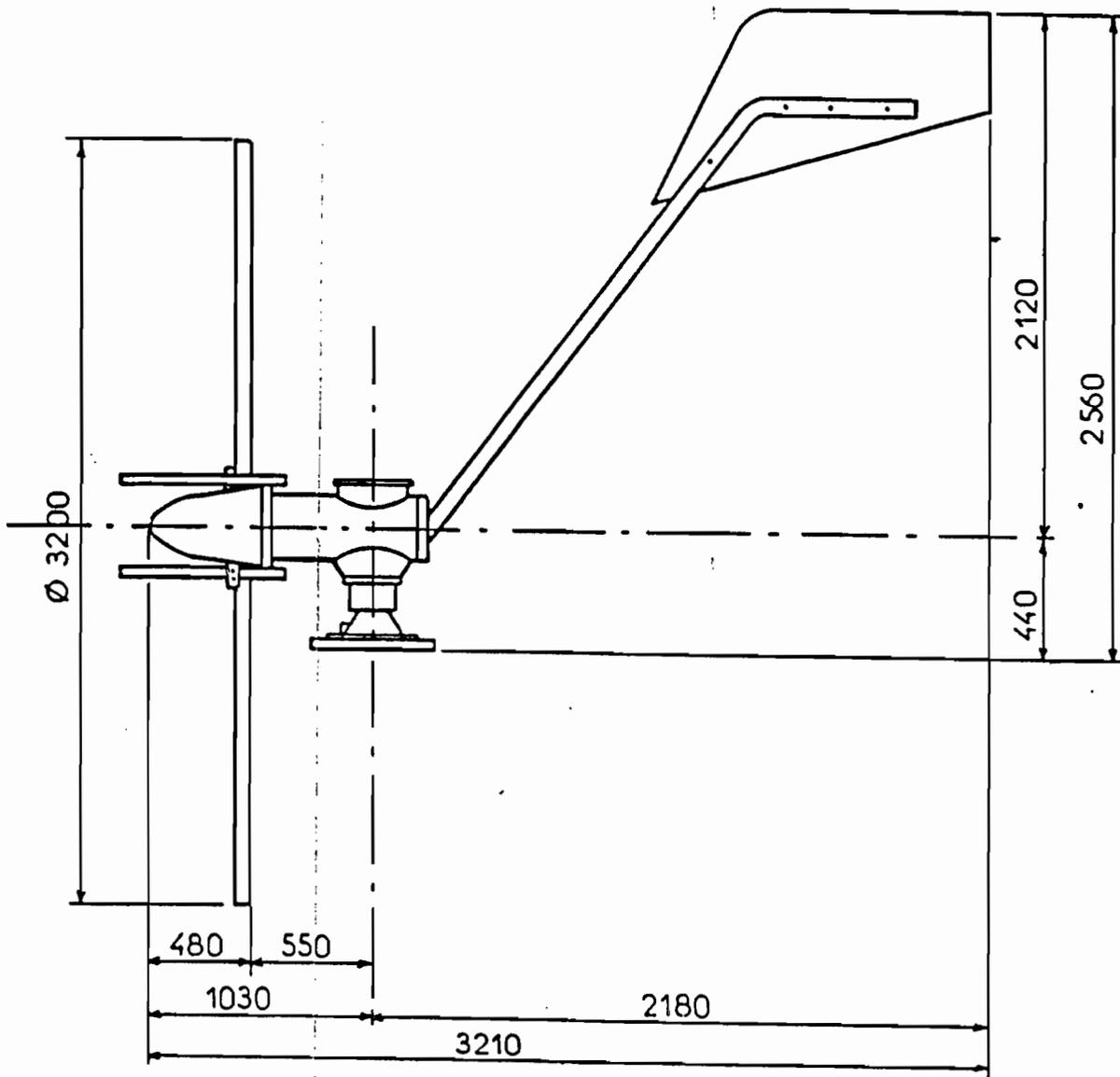
Puissance en fonction des vitesses de vent:

| Vitesse moyenne du vent: | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Puissance moyenne estimée (Watts): | 75 | 100 | 123 | 140 |

Tension: 12, 24, 36 ou 48 Volts

Tableaux de contrôle utilisés: modèles AW 300 RP 12, 24, 36 ou 48

300 FP 7 G



Annexe 6: Luminaires électriques et brûleurs à gaz:

Une gamme de lampes électriques a été spécialement développée ou adaptée aux besoins de la signalisation maritime :

1.- Lampes à incandescence :

Ces lampes présentent un filament vertical qui permet d'assurer parfaitement les caractéristiques nautiques d'un projecteur, quel que soit l'angle d'observation.

Un judicieux compromis entre le rendement lumineux et la durée de vie permet d'obtenir pour chaque puissance de lampe une bonne luminance capable d'assurer une portée lumineuse importante au regard de leur consommation électrique.

De plus, ces lampes, grâce à leur cycle de fonctionnement à halogène, assurent un flux lumineux constant durant toute leur durée de vie.

2.- Lampes à décharge :

2.1. Ces lampes aux halogénures métalliques présentent un rendement lumineux exceptionnel avec une dimension de source importante qui autorise une bonne divergence des projecteurs qui en sont équipés.

2.2. Les lampes à décharge dans le xénon délivrent une très haute luminance et permettent ainsi de réaliser des projecteurs de très grande portée lumineuse.

Le tableau ci-après donne les principales caractéristiques des différentes lampes de la gamme :

| Reptre | Puissance | Tension ou intensité nominale | Culot | Flux | Luminance | Forme et dimension de la source lumineuse | Durée de vie | Dispositif d'alimentation | |
|-----------------|-----------|-------------------------------|--------------|----------------------------|-----------|---|---|---------------------------|---|
| à incandescence | 1 | 2 W | 7 V → ou ← | P 30 S | 16 lm | 20 cd/cm ² | filament vertical h=0,4mm ϕ=0,2mm | 300 h | sans |
| | 2 | 10 W | 12 V → ou ← | A 2114 | 150 lm | 150 cd/cm ² | filament vertical h=3,0mm ϕ=1mm | 2000 h | sans |
| | 3 | 20 W | 12 V → ou ← | A 2114 | 360 lm | 380 cd/cm ² | filament vertical h=4mm ϕ=1mm | 2000 h | sans |
| | 4 | 40 W | 12 V → ou ← | A 2114 | 810 lm | 800 cd/cm ² | filament vertical h=4,5mm ϕ=1mm | 2000 h | sans |
| | 5 | 80 W | 24 V → ou ← | A 2114 | 1920 lm | 1400 cd/cm ² | filament vertical h=5mm ϕ=2mm | 500 h | sans |
| | 6 | 180 W | 24 V → ou ← | A 2614 | 3800 lm | 1600 cd/cm ² | filament vertical h=5,5mm ϕ=4mm | 2000 h | sans |
| | 7 | 650 W | 220 V → ou ← | G 9,5 | 12000 lm | 425 cd/cm ² | filament vertical L=1,5mm l=15mm | 750 h | sans |
| | 8 | 1000 W | 220 V → ou ← | G 9,5 | 20500 lm | 605 cd/cm ² | filament vertical L=17mm l=17mm | 750 h | sans |
| à décharge | 9 | 250 W | 220 V → | E 40 | 19000 lm | 1000 cd/cm ² | arc h = 20 mm ϕ = 8 mm | 3000 h | ballast |
| | 10 | 1000 W | 220 V → | E 40 | 84000 lm | 1200 cd/cm ² | arc h = 35 mm ϕ = 12 mm | 3000 h | ballast |
| | 11 | 450 W | 25 A → | anode)PSF cathode)a 20 | 13000 lm | 35000 cd/cm ² | arc h = 2,7 mm ϕ = 0,9 mm | 2000 h | amorçeur + source à cou- rant continu |
| | 12 | 1600 W | 65 A → | anode)PSF cathode)a 27 | 68000 lm | 65000 cd/cm ² | arc h = 3,3 mm ϕ = 1,5 mm | 2000 h | amorçeur + source à cou- rant continu |

BRULEURS A GAZ: (*)

| Type | Diamètre éjecteur (mm) | Consommation horaire du brûleur en fonction continue (grammes) | Consommation horaire de la veilleuse du brûleur (grammes) | Flux lumineux (lumen) | Intensité lumineuse (candela) |
|--------|------------------------|--|---|-----------------------|-------------------------------|
| 30 l/h | 0.34 | 72 | 10 | 2300 | 180 |
| 32 l/h | 0.29 | 77 | 10 | 3150 | 230 |

(*): Les caractéristiques ci-dessus résumées résultent d'un recoupements de la Documentation Technique des Phares et Balises et du Recueil des Caractéristiques des Projecteurs du Service des Phares et Balises et de la Navigation.

Annexe 7:

Batteries d'accumulateurs:

BATTERIES PLOMB ETANCHE

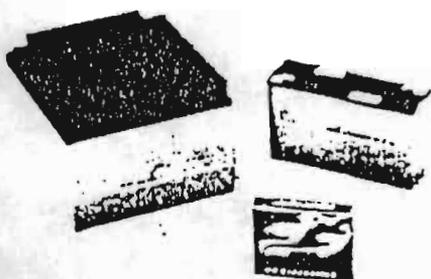
- Pas d'entretien
- Souplesse d'utilisation
- Sécurité d'emploi
- Haute énergie volumique
- Puissance massique élevée
- Simplicité des systèmes de charge

BATTERIES MONOBLOC

- Batterie monobloc 12 V en bacs plastiques
- Grilles au plomb à faible teneur d'antimoine
- Faible auto-décharge
- Très faible courant d'entretien
- Cyclage important
- Entretien très faible

BATTERIES STATIONNAIRES

- Eléments de 2 V à bacs transparents
- Cyclage important
- Très faible courant d'entretien
- Grande réserve d'électrolyte permettant d'espacer les additions d'eau
- Livraison avec connexions et bouchons paracide antidéflagrant.

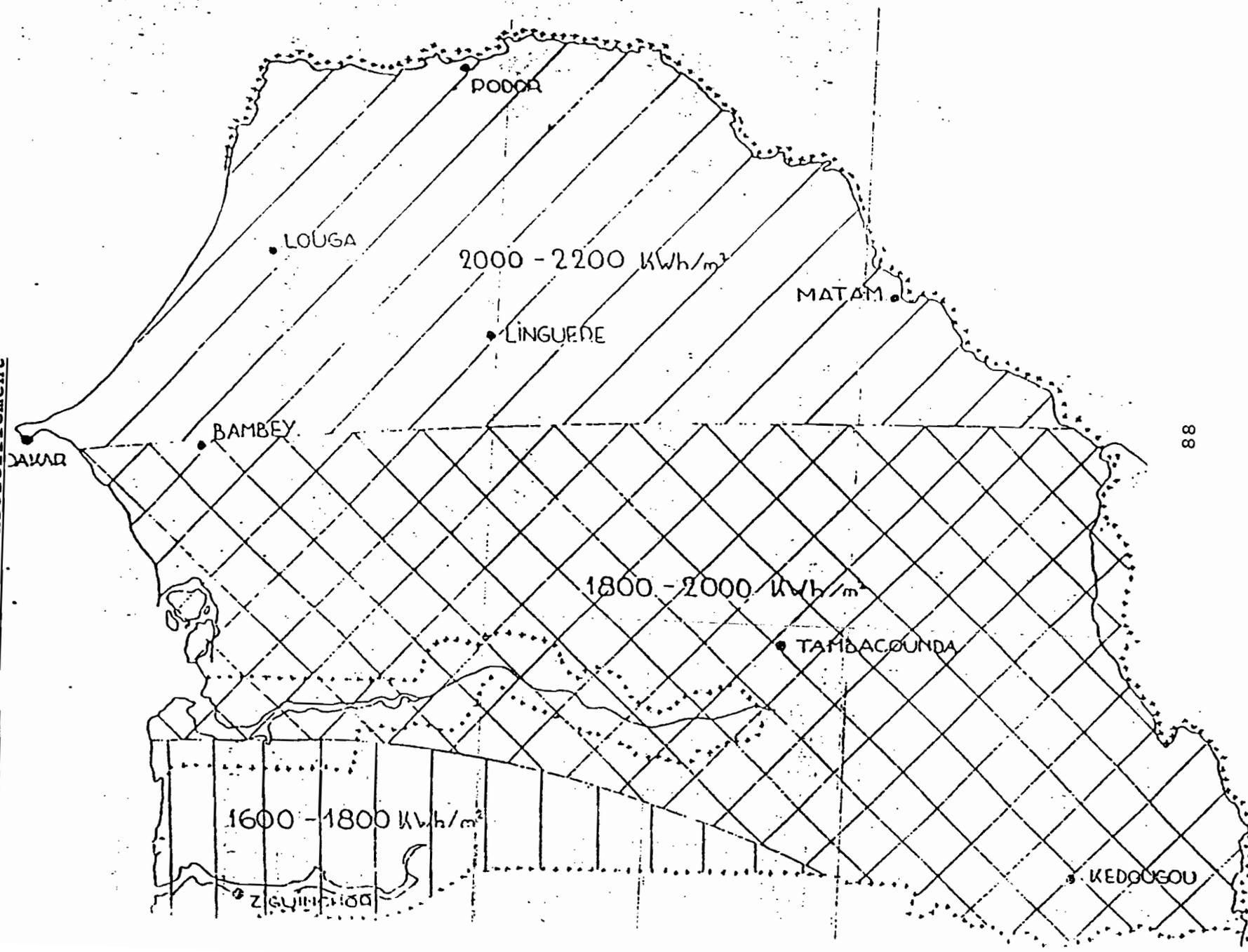


| Capacité en Ah au régime de | BATTERIES PLOMB ETANCHE | | BATTERIES MONOBLOC | | BATTERIES STATIONNAIRES | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|------|--------------------|------|-------------------------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 10 h | 20 h | 70* | 96* | 50 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 | 1250 |
| 20 h | 22.2 | 36 | | | 56 | 84 | 112 | 168 | 224 | 280 | 336 | 448 | 560 | 672 | 896 | 1120 | 1400 |
| 100 h | 24* | 38 | 75 | 105 | 70 | 105 | 140 | 210 | 280 | 350 | 420 | 560 | 760 | 860 | 1150 | 1140 | 1730 |
| Tension unitaire | 12 | 12 | 12 | 12 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Dimensions en mm longueur | 175 | 199 | 269 | 350 | 69 | 69 | 125 | 125 | 156 | 194 | 226 | 219 | 219 | 198 | 198 | 210 | 210 |
| largeur | 166 | 172 | 173 | 173 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 190 | 209 | 250 | 137 | 173 | 233 | 275 |
| hauteur | 125 | 167 | 222 | 233 | 357 | 357 | 395 | 395 | 395 | 395 | 383 | 385 | 385 | 675 | 675 | 680 | 680 |
| Poids en kg Elément plein | 7.7 | 13.8 | 20.7 | 28.8 | 6.7 | 8 | 12.2 | 15 | 19 | 24.6 | 30 | 37.7 | 45 | 44.5 | 36.9 | 78.5 | 92.2 |
| Elément vide | | | 15.3 | 19.8 | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 10 | 12 | 16 | 20 | 27 | 32 | 31.6 | 42.2 | 57.3 | 67.2 |
| Quantité d'électrolyte en litre | | | 4.3 | 7.2 | 1.9 | 2 | 3.8 | 4.2 | 5.6 | 6.9 | 7.9 | 8.7 | 10.5 | 10.2 | 11.7 | 16.8 | 20.4 |

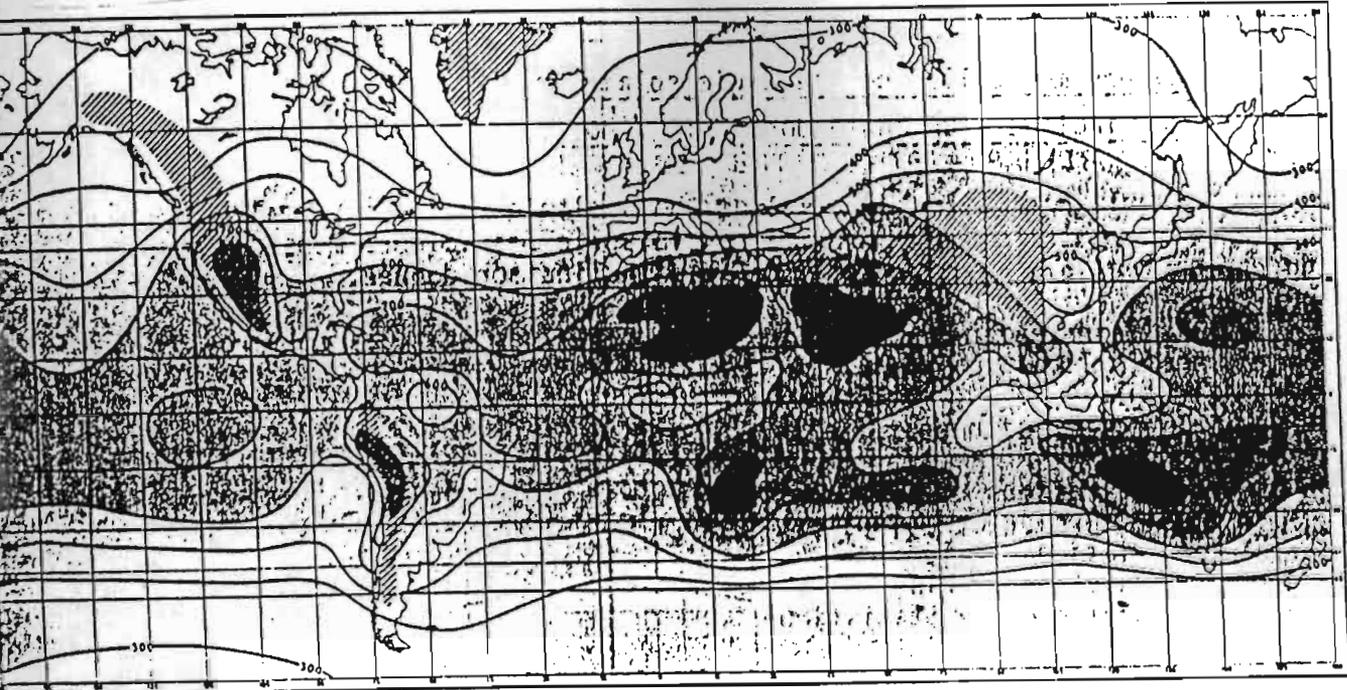
* Produit de stock PHOTOWATT - Réf. PWB - 24/70/96

II.13 - Esquisse de carte d'ensoleillement du Sénégal

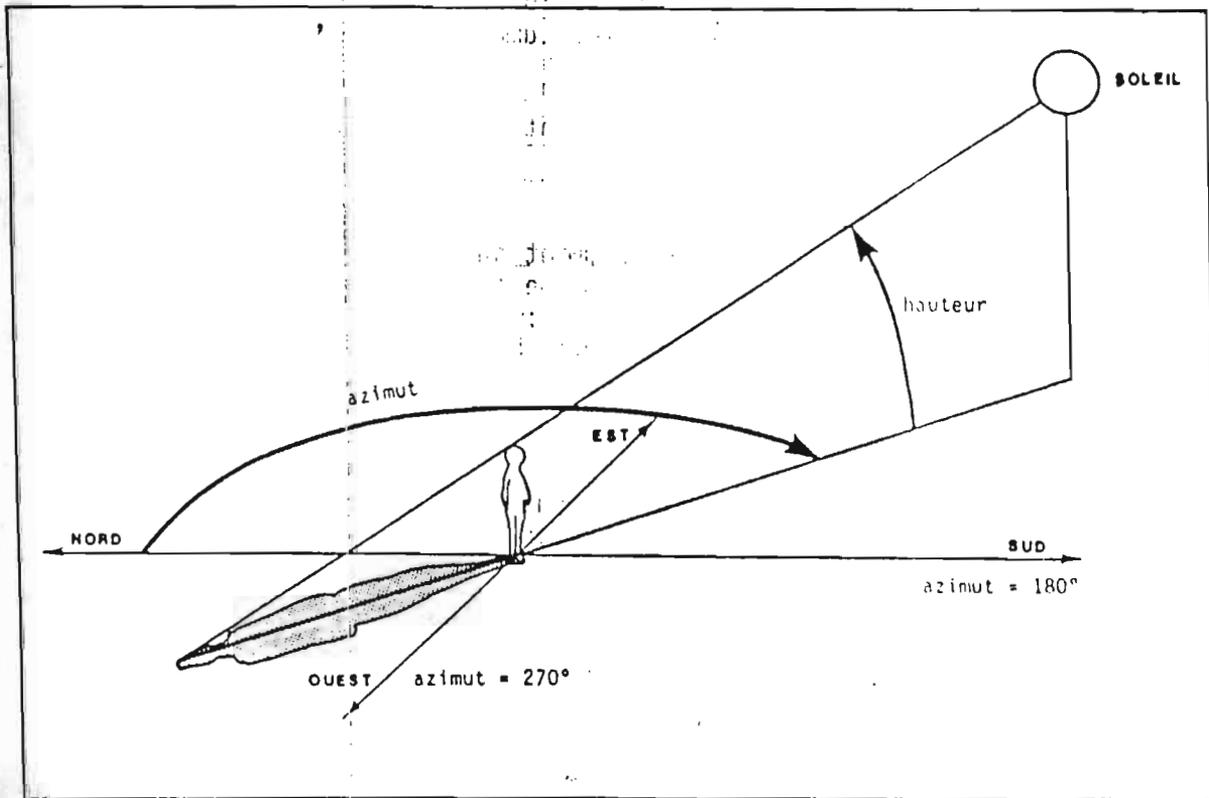
Annexe 8.1: Cartes d'ensoleillement



Variation du rayonnement solaire suivant la localisation géographique



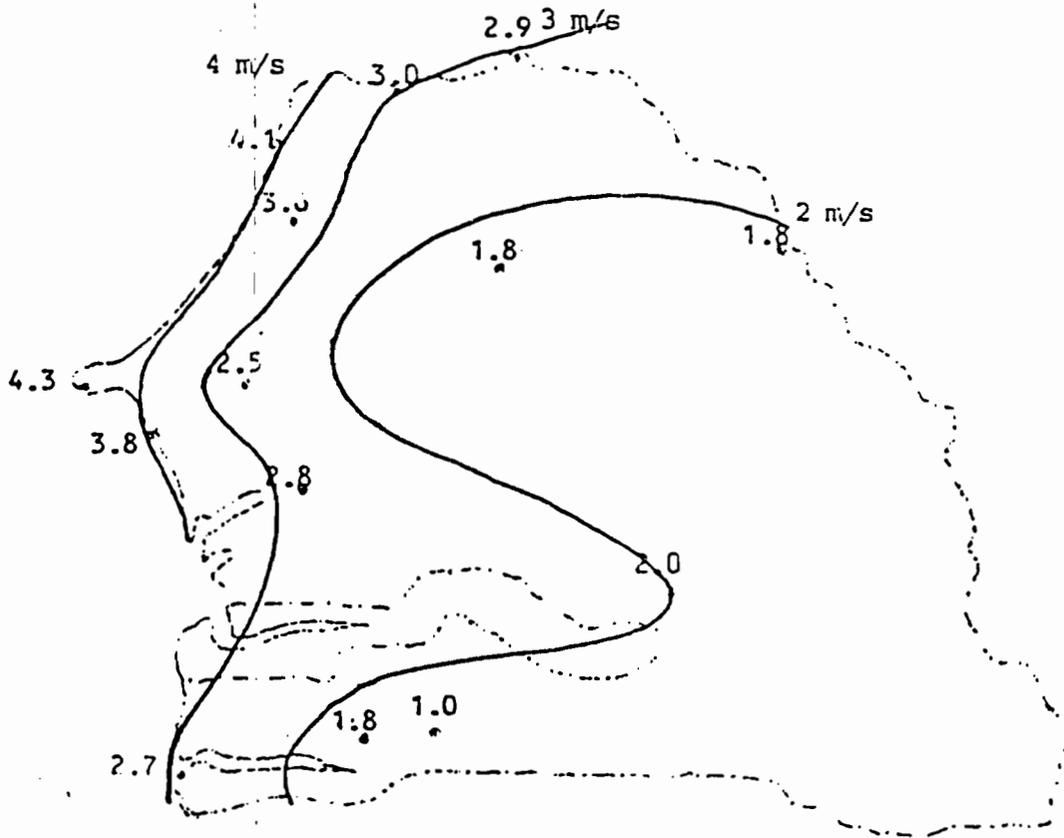
La position du Soleil est repérée par deux angles azimut et hauteur



Annexe 8.2:

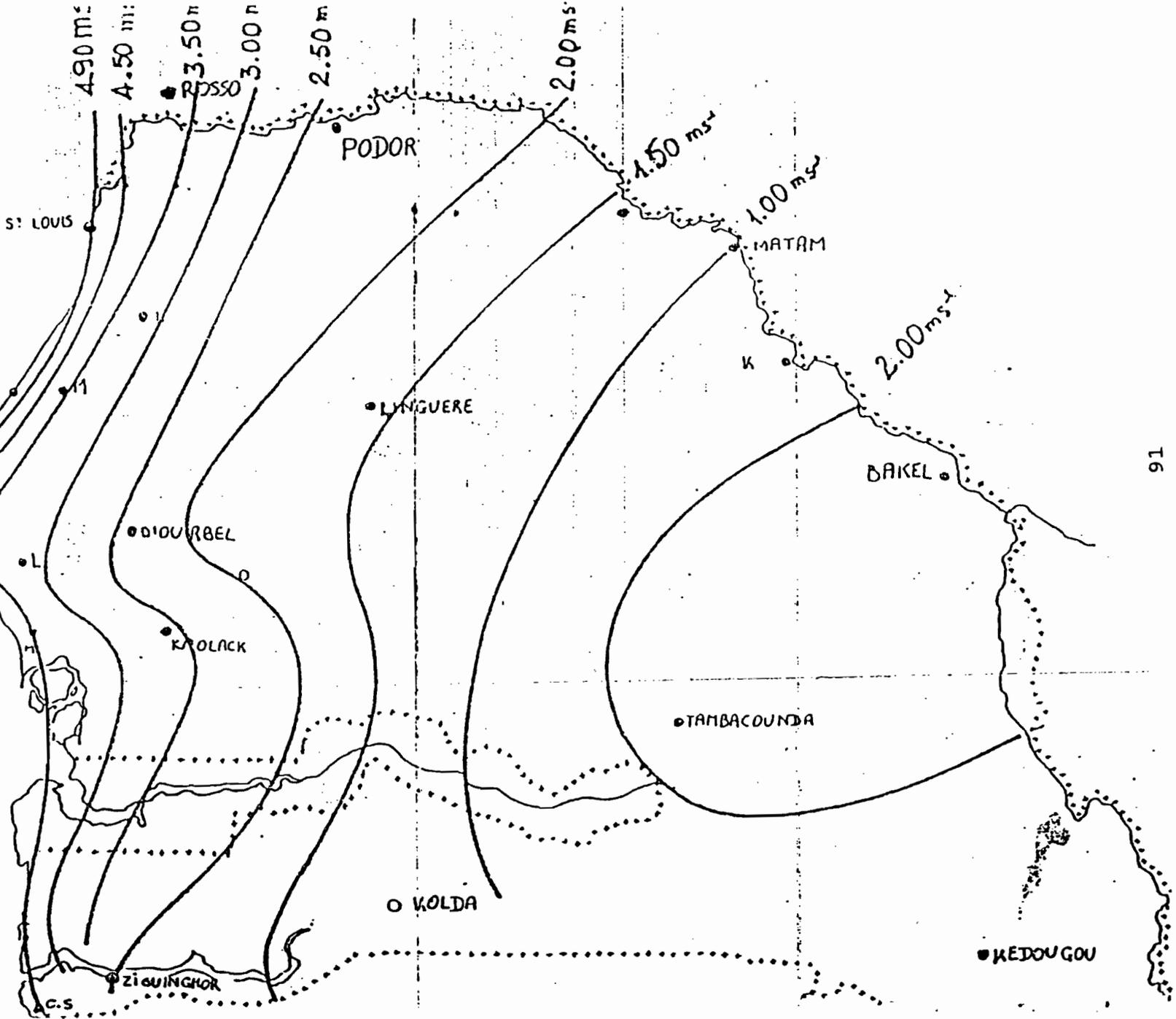
Régime des vents et courbes de vents classés:

VITESSE MOYENNE ANNUELLE DU VENT (1979-1982)
ET COURBES D ISOVALEUR

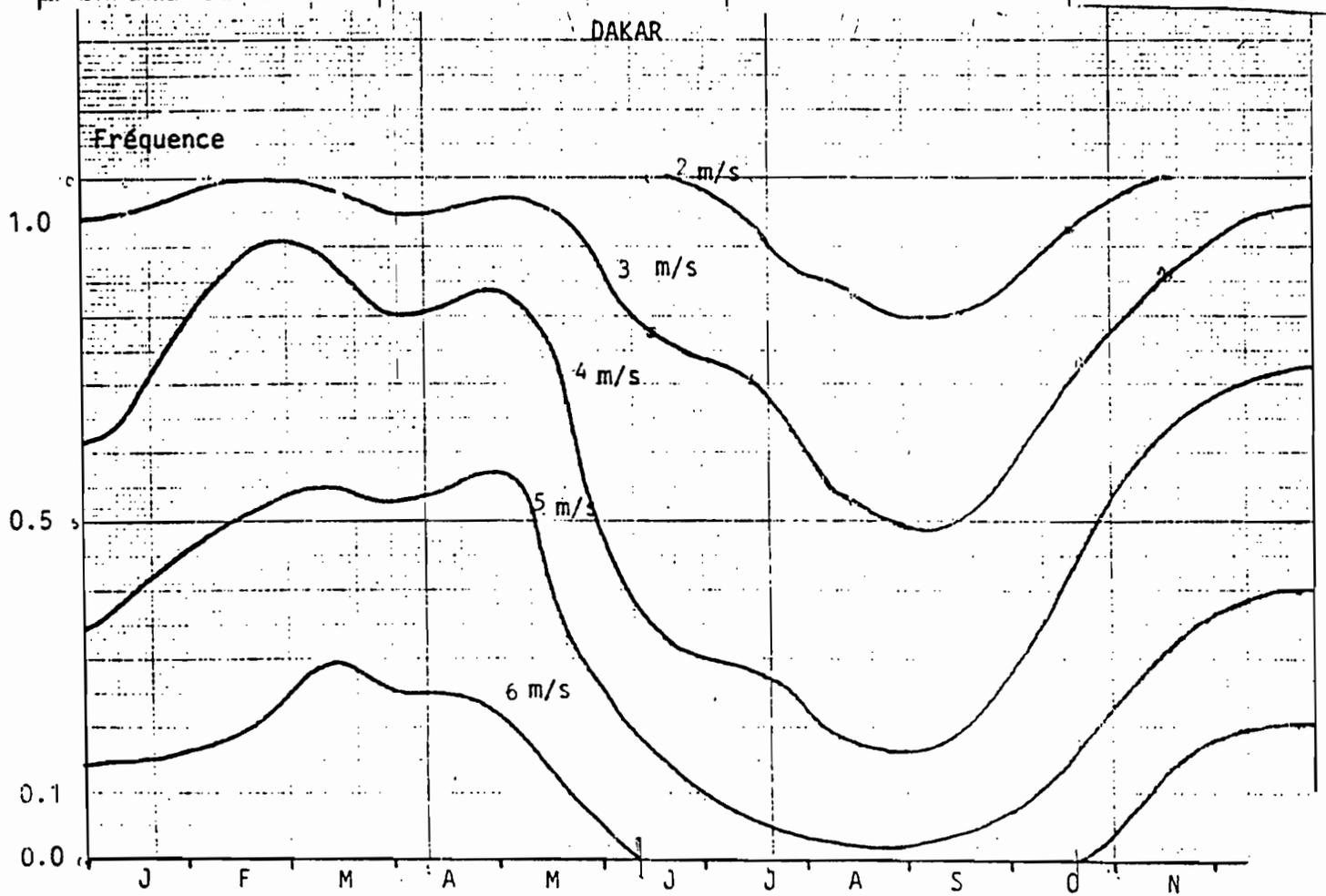
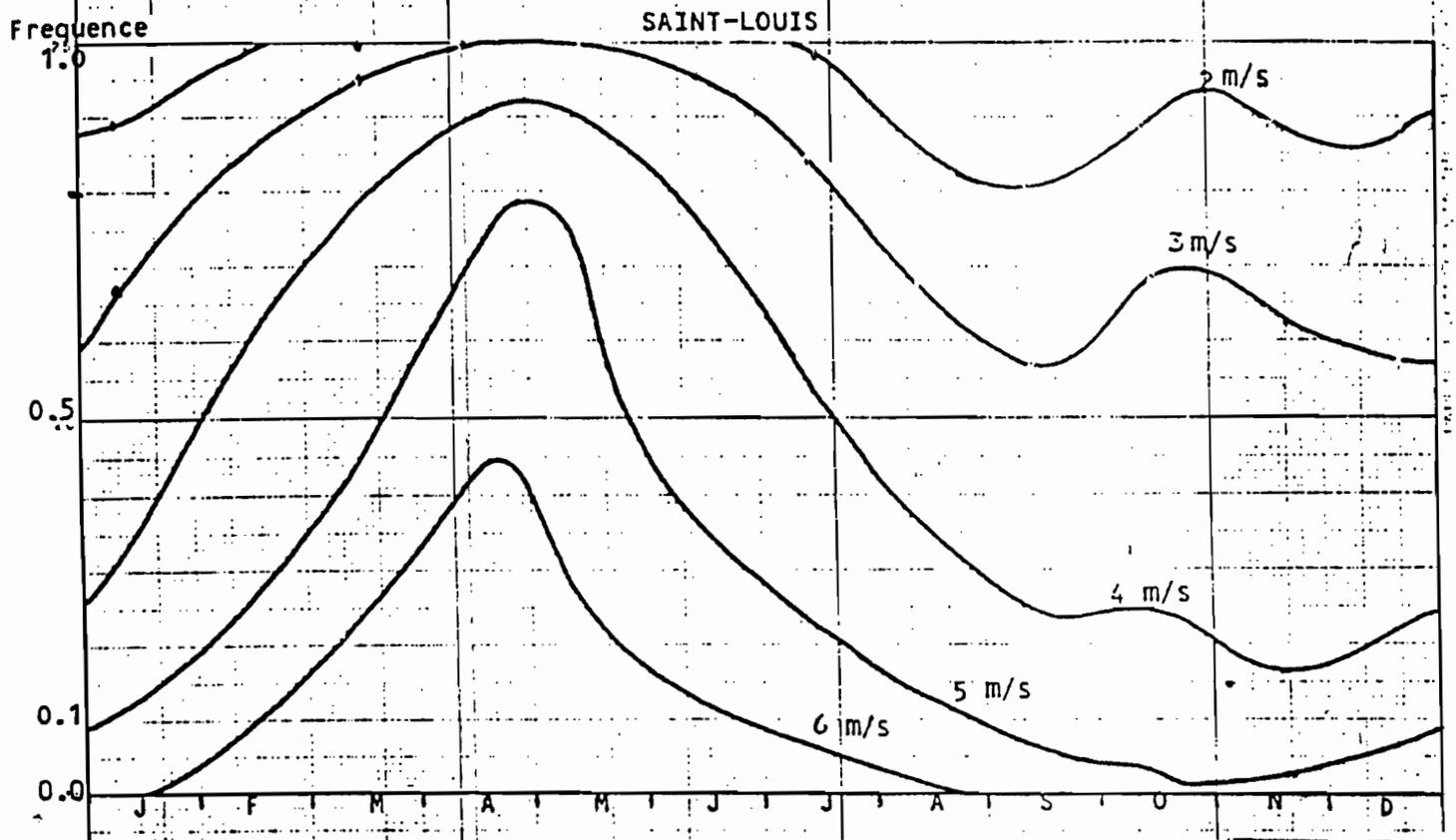


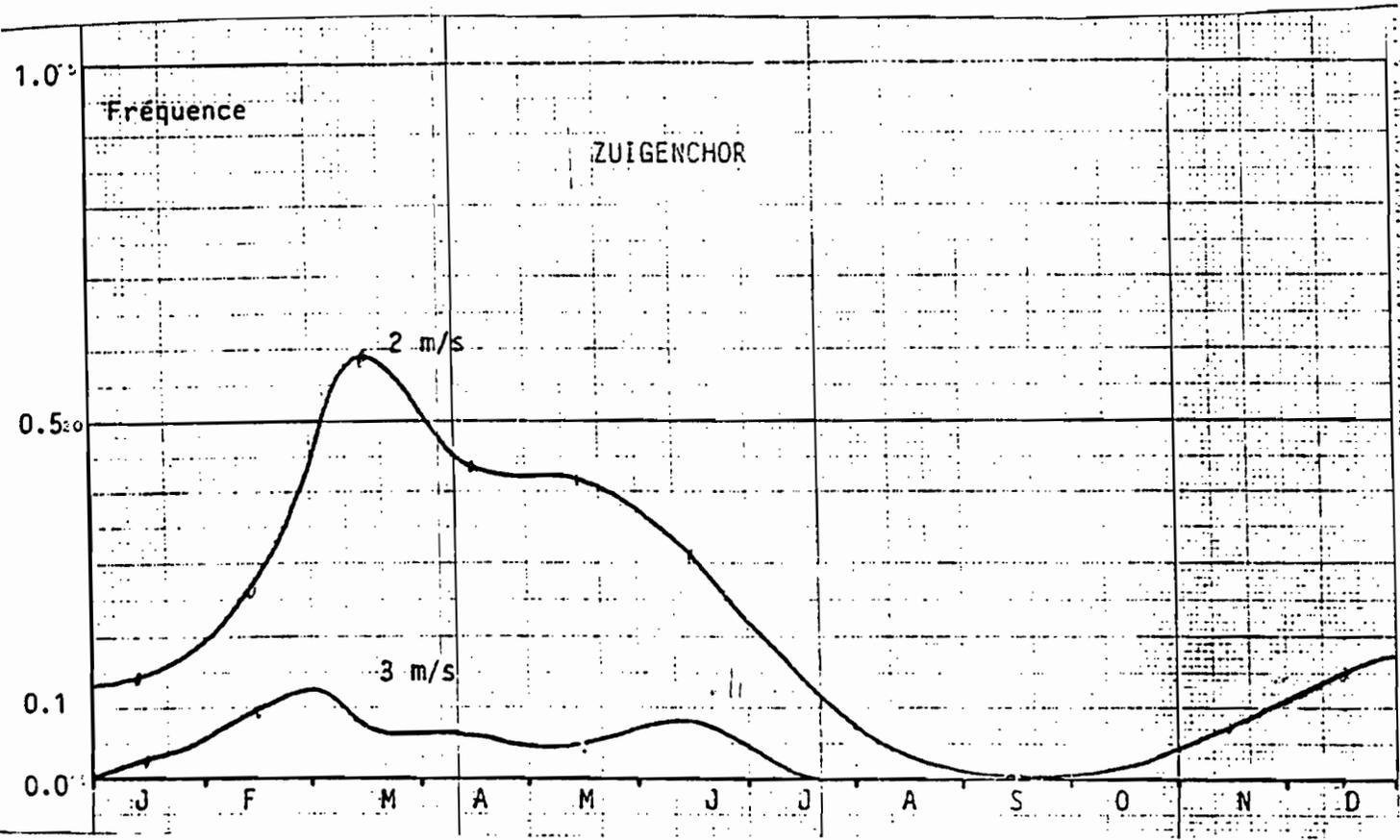
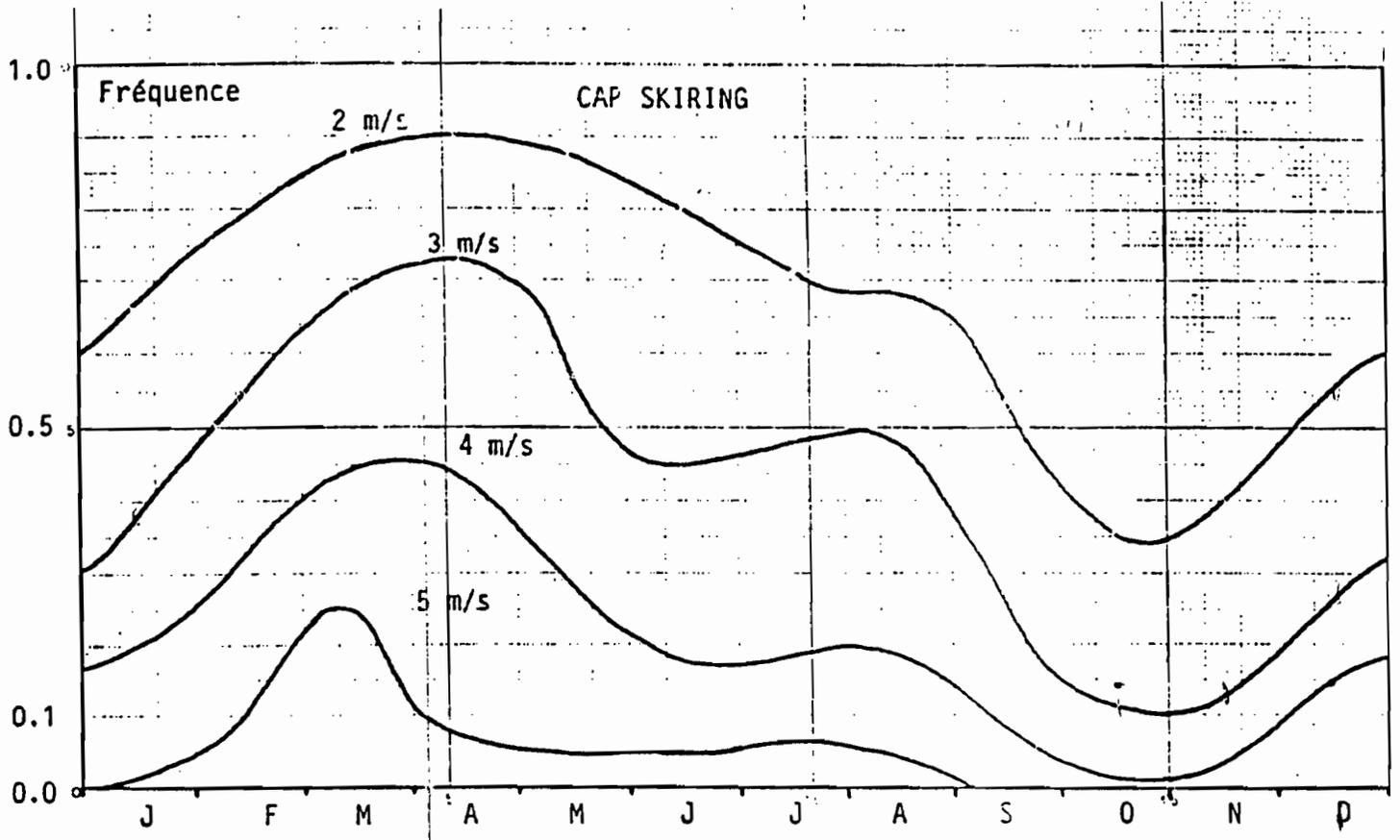
CRIV DK D

VITESSES MOYENNES ANNUELLES
PERIODE 70 - 75 A 40 M



REQUENCE DE DEPASSEMENT, A DIFFERENTS SEUILS DE
VITESSE DU VENT, OBSERVEE A 10 METRES





Annexe 8.3: Détermination des calmes les plus longs

F_n min : fréquence minimale de dépassement de la vitesse n m/s, lue sur les courbes de vents classées.

V1: vitesse de démarrage, = 2m/s pour FP5 etFP7

V2: vitesse nominale de vent. = 5 m/s pour FP5 et 7 m/s pour FP7

N1: nombre de jours (sur une periode d'un an) où la vitesse du vent est inférieure à V1

N2: nombre de jours où la vitesse du vent est inférieure à V1 ou comprise entre V1et V2.

$$N1 = 365*(1-FV1)$$

$$N2 = 365*(1-FV2)$$

On obtient les valeurs suivantes:

| | F2min | F5min | F7min | N1 | N25 | N27 |
|--------------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| <u>Saint-Louis</u> | 0.8 | 0.01 | 0 | 73 | 362 | 365 |
| <u>Dakar</u> | 0.8 | 0.01 | 0 | 73 | 362 | 365 |
| <u>Mbour</u> | 0.8 | 0.08 | 0 | 73 | 336 | 365 |
| <u>Kaolack</u> | 0.3 | 0.0 | 0 | 256 | 365 | 365 |
| <u>Cap-Skiring</u> | 0.35 | 0.0 | 0 | 238 | 365 | 365 |
| <u>Ziguinchor</u> | 0.01 | 0.0 | 0 | 362 | 365 | 365 |