

Université Cheikh Anta Diop de DAKAR

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT GENIE ELECTROMECHANIQUE



Gm, 0130

PROJET DE FIN D'ETUDES

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

Sujet :

***Conception de systèmes d'alimentation en appoint au
sein du campus universitaire UCAD₂ :
volet ENERGIES.***

Auteurs :

***Sény BODIAN
Cheikh Jeylani DIOP***

Directeurs :

***M. Mamadou SARR
M. Séni TAMBA***

Juillet 2001

DEDICACES

Ce travail est dédié à :

- Mon père, ma mère
- Mes frères et sœurs, surtout à ma sœur jumelle **Adama BODIAN**
- Mes amis
- Tous mes promotionnaires de classe
- A tous ceux qui m'ont soutenu moralement
- A tous ceux qui ont contribué positivement par n'importe quels moyens dans mon itinéraire scolaire et universitaire.

Sény BODIAN

Ce travail est dédié à :

- Mon défunt Père et à ma mère
- Mes oncles qui m'ont toujours soutenu
- Mes sœurs, frères, cousins et cousines
- Mes camarades de promotions
- A toi aussi

A vous tous, je vous dis merci.

Cheikh Jeylani DIOP

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier au terme de ce projet tous ceux qui ont eu à contribuer dans l'accomplissement de cette tâche. Il s'agit de :

❖ M. Moustapha SOURANG, Ministre de l'éducation nationale qui a initié ce projet.

❖ M. Ibrahima CISSE, professeur à l'E.S.P. de Thiès, coordinateur du projet.

❖ M. Mamadou SARR, Professeur à l'E.S.P. de Thiès, notre encadreur dans ce projet pour le volet énergie.

❖ M. Séni TAMBA, Professeur à l'E.S.P. de Thiès, notre encadreur dans ce projet pour le volet hydraulique.

❖ M. BALDE à AFRIWATT.

❖ M. Assane NDIAYE, ingénieur à ABB.

❖ M. Ibrahima DIENG, ingénieur au Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat.

❖ M. Jérôme NZALLY, architecte au Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat.

Nous remercions aussi nos camarades de classe.

SOMMAIRE

Le projet U.C.A.D.2 est né de la volonté des autorités universitaires de résoudre une grande partie des problèmes qui minent aujourd'hui l'université de DAKAR aussi bien sur le plan pédagogique que sur le plan social afin de faire de l'U.C.A.D.2 une vitrine. Dans ce grand ouvrage est intégré un projet de conception visant d'une part à régler en partie les problèmes de crise d'énergie et d'autre part à utiliser l'expertise locale

Ce projet de conception comporte deux grands volets :

- 1) Approvisionnement d'appoint en eau en cas de pénurie.
- 2) Alimentation en énergie renouvelable pour des besoins d'éclairage.

Le travail que nous allons mener portera sur le deuxième volet (énergie) et sur le système d'asservissement des pompes utilisées dans le forage que nos partenaires du génie civil auront dimensionné.

Vu l'ampleur de la tâche, nous avons choisi d'adopter le plan suivant. Dans le premier chapitre nous parlerons de généralités sur l'énergie solaire ; de l'inventaire des besoins en puissance électrique et du dimensionnement des générateurs photovoltaïques dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre sera consacré aux choix de la batterie, de l'onduleur et du régulateur. Le quatrième chapitre traitera de la conception des supports des panneaux et de l'installation électrique. Dans le cinquième chapitre nous parlerons de l'asservissement des pompes du forage. Le sixième chapitre traitera du plan de maintenance de l'installation. Enfin le dernier chapitre sera consacré à l'évaluation financière du projet. Nous dégagerons par la suite les conclusions et recommandations liées à l'étude.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES-----	I
REMERCIEMENTS-----	II
SOMMAIRE-----	III
TABLE DES MATIERES-----	IV
LISTE DES FIGURES -----	VII
LISTE DES TABLEAUX -----	VIII
INTRODUCTION -----	1
CHAPITRE I : Généralités sur l'énergie solaire -----	3
I-1 L'effet photovoltaïque-----	3
I-2 Production et technologie des photopiles, modules et panneaux -----	7
I-3 Protection électrique des modules et photopiles-----	11
I-3-1 Protection des photopiles et des modules contre les surtensions par des diodes en parallèle-----	11
I-3-2 Protection par des diodes placées en série avec les photopiles-----	13
CHAPITRE II : Inventaire des besoins en puissance électrique	
Dimensionnement des panneaux photovoltaïques-----	15
II-1 Inventaire des besoins en puissance électrique-----	15
II-1-1 Eclairage des salles de TD et TP-----	15
II-1-2 Eclairage des amphithéâtres-----	19
II-1-2-1 Notes introductives-----	19
II-1-2-1 Calcul de l'éclairage-----	20
CHAPITRE III : Dimensionnement des batteries, onduleurs, régulateurs-----	25
III-1 Batteries-----	25
III-1-1 Introduction-----	25
III-1-2 Caractéristiques générales d'un accumulateur électrique-----	27
III-1-3 Les différents types d'accumulateurs-----	28
III-1-4 Choix des batteries pour le projet-----	29

III-2 Régulateur-----	30
III-2-1 Introduction-----	30
III-2-2 Régulation de la décharge-----	31
III-2-3 Régulation de la charge-----	34
III-3 Onduleur-----	37
III-3-1 Les critères de choix d'un onduleur-----	38
III-3-2 Le dimensionnement de l'onduleur-----	40
CHAPITRE IV : Conception des supports et de l'installation électrique---	42
IV-1 Fixation des modules et dimensionnement des supports-----	42
IV-1-1 Fonction assurée par la fixation-----	42
IV-1-2 Réalisation des supports-----	42
IV-1-3 Dimensionnement des supports-----	43
IV-1-3 -1 Diagramme du corps libre-----	44
IV-1-3 -2 Étude du chargement uni axial-----	44
IV-1-3 -2 Étude de la flexion-----	45
IV-2 Dimensionnement des câbles de raccordement-----	49
IV-2-1 Généralités-----	49
IV-2-2 Dimensionnement des câbles-----	49
IV-2-1 Calcul de Si-----	49
IV-2-2 Calcul de Su-----	53
CHAPITRE V : Alimentation et asservissement	
du système de pompage-----	57
V-1 Fonctionnement du système-----	57
V-2 Etude du matériel-----	59
V-2-1 Pompe et groupe électrogène-----	59
V-2-2 Les capteurs-----	60
V-2-2-1 Principe-----	60
V-2-2-2 Application-----	60
V-2-2-3 Construction-----	60
V-2-2-4 Caractéristiques techniques-----	60
V-2-2-5 Dimensions-----	61
V-2-2-6 Code et références-----	61
CHAPITRE VI : Plan de maintenance de l'installation-----	62
VI-1 Nettoyage des modules-----	62
VI-2 Vérification du câble électrique-----	62
VI-3 Vérification des caractéristiques des modules-----	62

VI-4 Entretien des accumulateurs-----	63
VI-5 Entretien de l'onduleur et du régulateur-----	63
CHAPITRE VII : Evaluation financière du projet-----	64
VII-1 Coût de l'investissement initial pour les salles de TD et TP-----	64
VII-2 Coût de l'investissement initial pour les amphithéâtres-----	65
VII-3 Coût à supporter en cas de fourniture par la SENELEC-----	66
CONCLUSION-----	67
RECOMMANDATIONS-----	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES-----	69

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig 1	Structure du silicium dopé par un donneur-----4
2	Structure du silicium dopé par un accepteur-----5
3	Schéma électrique équivalent d'une photopile-----6
4	Constitution d'un module photovoltaïque-----8
5	Tension nominale d'un module photovoltaïque-----8
6	Schéma d'une série de cellules non protégées-----11
7	Schéma d'une série de cellules protégées par des diodes en parallèles12
8	Schéma d'un groupe de modules en parallèle non protégés-----13
9	Schéma d'un groupe de modules protégés par des diodes placées en série-----13
10	Tension aux bornes d'un accumulateur au plomb et d'un accumulateur au cadmium-nickel en fonction du taux de charge-----26
11	Schéma de principe de régulation de la charge et de la décharge d'une batterie-----31
12	Schéma de régulation de la décharge d'une batterie-----32
13	Exemple de procédure de charge d'une batterie au plomb-----34
14	Schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage-----35

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
1 Gamme des régulateurs disponibles à AFRIWATT.....	36
2 Gamme des onduleurs disponibles à AFRIWATT.....	41
3 Choix du facteur fl.....	51
4 Choix du n° de colonne.....	52
5 Choix de la section en fonction du n° de colonne et du courant admissible.....	53
6 Température admissible en fonction de l'isolant.....	55
7 Choix du niveau d'éclairage.....	83
8 Choix des sources lumineuses.....	84
9 Choix du type de tubes.....	85
10 Rendu des couleurs Ra et diagramme de KRUIHOF.....	86
11 Choix des types de réflecteurs.....	87
12 Répartitions des luminaires.....	88
13 Facteurs d'utilisation U.....	89

INTRODUCTION

De nos jours la principale source d'énergie utilisée partout dans le monde demeure le pétrole. Ce dernier du fait de son intense utilisation se raréfie donc de plus en plus et manquera probablement à long terme. D'autre part son utilisation n'est pas sans incidence sur les problèmes liés à la pollution de l'environnement et de la destruction de la couche d'ozone.

C'est dans le souci de remédier à ces problèmes que des techniques nouvelles ont été développées pour mettre à profit le rayonnement solaire qui constitue de nos jours une source d'énergie universelle, intarissable et disponible pour tous.

Les applications sont multiples :

- Télécommunication (relais T.V., relais radio-téléphone)
- Electrification rurale (éclairage, réfrigérateur...).
- Signalisation (routière, aérienne, maritime...).
- Sélection et protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme...).
- Station de mesures (station automatique météorologiques, mesure de débit, de niveau, comptage de trafic...).

Ainsi pour les pays émergents comme le SENEGAL, la maîtrise de ces techniques de production d'énergie peut contribuer à la diminution des dépenses vis à vis de l'Occident.

En intégrant l'utilisation du rayonnement solaire dans le projet U.C.A.D₂, les autorités visent donc la continuité du service en matière d'éclairage en palliant aux éventuelles coupures intempestives de la S.E.N.E.L.E.C. pour ainsi faire de l'université un cadre technologique exemplaire dans les pays de la sous région.

L'autre objectif visé étant l'utilisation de l'expertise locale, ceci justifie notre participation dans l'élaboration de ce projet.

Chapitre I Généralités sur l'énergie solaire

I-1 L'effet photovoltaïque

L'énergie solaire a pour origine les réactions de fusion thermonucléaires qui se produisent à l'intérieur du soleil. Ces réactions confèrent au soleil une puissance de $3.9 \cdot 10^{26}$ W. En effet la couche extérieure émet un rayonnement à une température équivalente à un corps noir à 5780 K. Le flux énergétique correspondant est de 63 MW/m^2 et la constante solaire est de 1.37 kW/m^2 .

La lumière solaire est composée de particules élémentaires appelées photons. ces derniers véhiculent une énergie unitaire E dépendant de leur longueur d'onde $E = h\nu = (h \cdot C) / \lambda$

$h =$ constante de Planck = $6.62 \cdot 10^{-34}$ J.s

$C =$ vitesse de la lumière dans le vide $C = 3 \cdot 10^8$ m/s

$\lambda =$ longueur d'onde du rayonnement.

La répartition spectrale du rayonnement étant proche de celle d'un corps noir à 5780K, on a donc :

8% de la puissance qui se situe dans l'Ultraviolet [$0.2\mu\text{m}$; $0.4\mu\text{m}$]

48% de la puissance qui se situe dans le visible [$0.4\mu\text{m}$; $08\mu\text{m}$]

44% de la puissance qui se situe dans l'Infrarouge $\lambda > 0.8\mu\text{m}$

L'effet photovoltaïque qui est la transformation directe d'un rayonnement électromagnétique en énergie électrique de type continu directement utilisable est connu depuis le 20^{ième} siècle ,mais a été utilisé pour la première fois dans les années 50 pour alimenter les satellites en énergies et dans les années 70 pour alimenter les besoins terrestres .

Dans le processus de la conversion photovoltaïque l'élément de base est la cellule photovoltaïque ou photopile. Cette dernière est faite à base de silicium qui est un semi-conducteur. A l'état pur le silicium a une très faible conductivité

($\sigma = 4.58.10^{-6}$ S/cm) ; par exemple pour avoir un courant de $1 \mu\text{A}$ sur un morceau de silicium de longueur 3 mm et une section transversale de $50 \times 100 \mu\text{m}$ à la température ambiante de 300 K, il faut une tension de 1310 V qui est très grande.

Pour rendre le silicium utilisable en augmentant sa conductivité, on utilise la technique du dopage .

Le silicium pur (intrinsèque) est un élément chimique de quatrième valence et qui a une structure cristalline. En introduisant des impuretés de 5^{ème} valence (phosphore par exemple) on obtient un semi-conducteur de type N appelé donneur et on obtient une configuration comme ci-dessous :

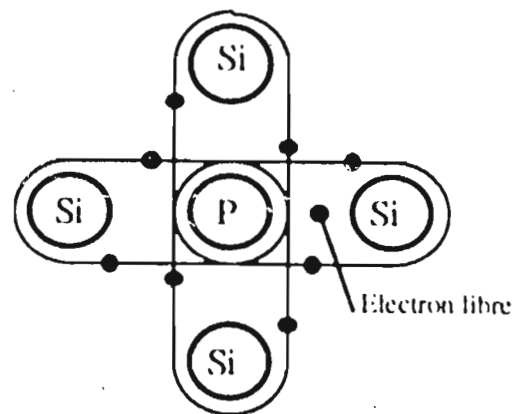


Figure 1 : structure du silicium dopé par un donneur

De même on obtient un semi-conducteur de type P appelé accepteur en introduisant un atome de 3^{ème} valence comme le bore

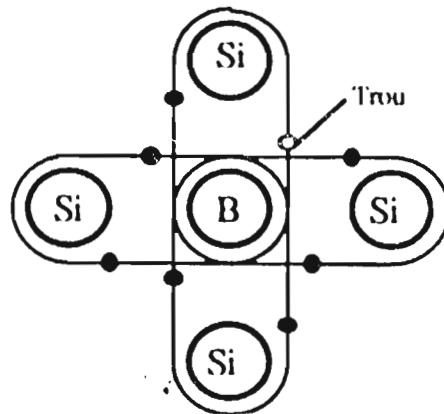


Figure 2 : structure du silicium dopé par un accepteur

La mise en contact des deux semi-conducteurs de type P et N constitue une jonction PN. Ainsi apparaît à l'interface un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives. Par conséquent une tension prend naissance entre les deux cotés N et P.

La bande de conduction des semi-conducteurs est séparée de la bande de valence par une zone interdite et la largeur de cette bande interdite est de Δw telle que $\Delta w \in [0.5 ; 3 \text{ eV}]$. Lorsque la cellule est exposée aux rayons lumineux, les photons dont l'énergie est supérieure à Δw créent un photo-courant (apparition de paires électrons-trous). La différence $(h\nu - \Delta w)$ est transformée sous forme de chaleur. Si l'on relie les électrodes à un circuit extérieur, un courant peut circuler.

Electriquement une photopile se comporte comme un générateur de courant, en parallèle avec une diode et une résistance shunt R_{sh} , en série avec une autre résistance R_s suivant le schéma ci-dessous.

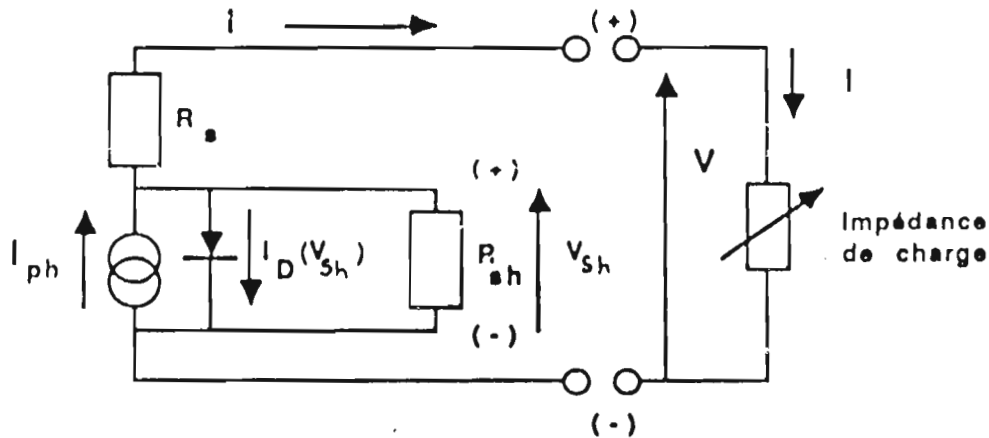


Figure 3 : Schéma électrique équivalent d'une photopile

R_s : représente les pertes résistives dans la cellule et dans les contacts ohmiques(électrodes).

R_{sh} : représente une résistance de fuites entre les deux zones de jonctions.

Le rendement η de conversion de la cellule est le rapport entre la puissance électrique maximale pouvant être extraite et l'énergie incidente.

$$\eta = \frac{V_m \cdot I_m}{E \cdot S}$$

E : énergie incidente par unité de surface

S : surface de la cellule

V_m : tension nominale correspondant à la puissance maximale.

I_m : intensité nominale correspondant à la puissance maximale.

I-2 Productions et technologies des photopiles, modules et panneaux

Le matériau de base utilisé pour la production des photopiles est du silicium extrêmement pur. Le choix porté sur le silicium se justifie par le fait qu'il est le plus abondant parmi les matériaux semi-conducteurs comme le germanium, le sulfure de cadmium, l'arséniure de silicium. Le sable est essentiellement composé d'un oxyde de silicium.

La productions des cellules photovoltaïques est aujourd'hui bien maîtrisée puisque la plupart des composants électroniques modernes (diodes ,transistors microprocesseurs et autres circuits intégrés) sont réalisés sur des plaquettes de silicium pur. On peut avoir trois modes de productions de photopiles:

- le silicium monocristallin
- le silicium polycristallin
- le silicium amorphe

Les deux derniers types représentent plus de 90% de la production de photopiles.

La structure monocristalline est obtenue à partir de silice ou de sable par transformations chimiques et/ou métallurgiques tandis que celle polycristalline est composée de gros cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Le processus est illustré à *l'annexe A*

Notons que le rendement des photopiles courantes en silicium monocristallin est de 10 à 14% alors que celui en silicium polycristallin est de 9 à 11%.

Les cellules photovoltaïques ne sont jamais employées seules mais sont groupées et encapsulées en *modules* pour leur insertion dans des générateurs photovoltaïques (*annexe B1 et B2*).

Le module photovoltaïque assure sept fonctions essentielles.

- Connexions électriques des photopiles entre elles et isolations électriques.

- Exposition au rayonnement et orientation.
- Protections des intempéries.
- Protection mécanique
- Fixation du module, assemblage de modules entre eux
- Evacuation de la chaleur produite dans les cellules
- Connections électriques vers l'extérieur.

Un exemple de constitution de modules est montré sur les figures ci-après.

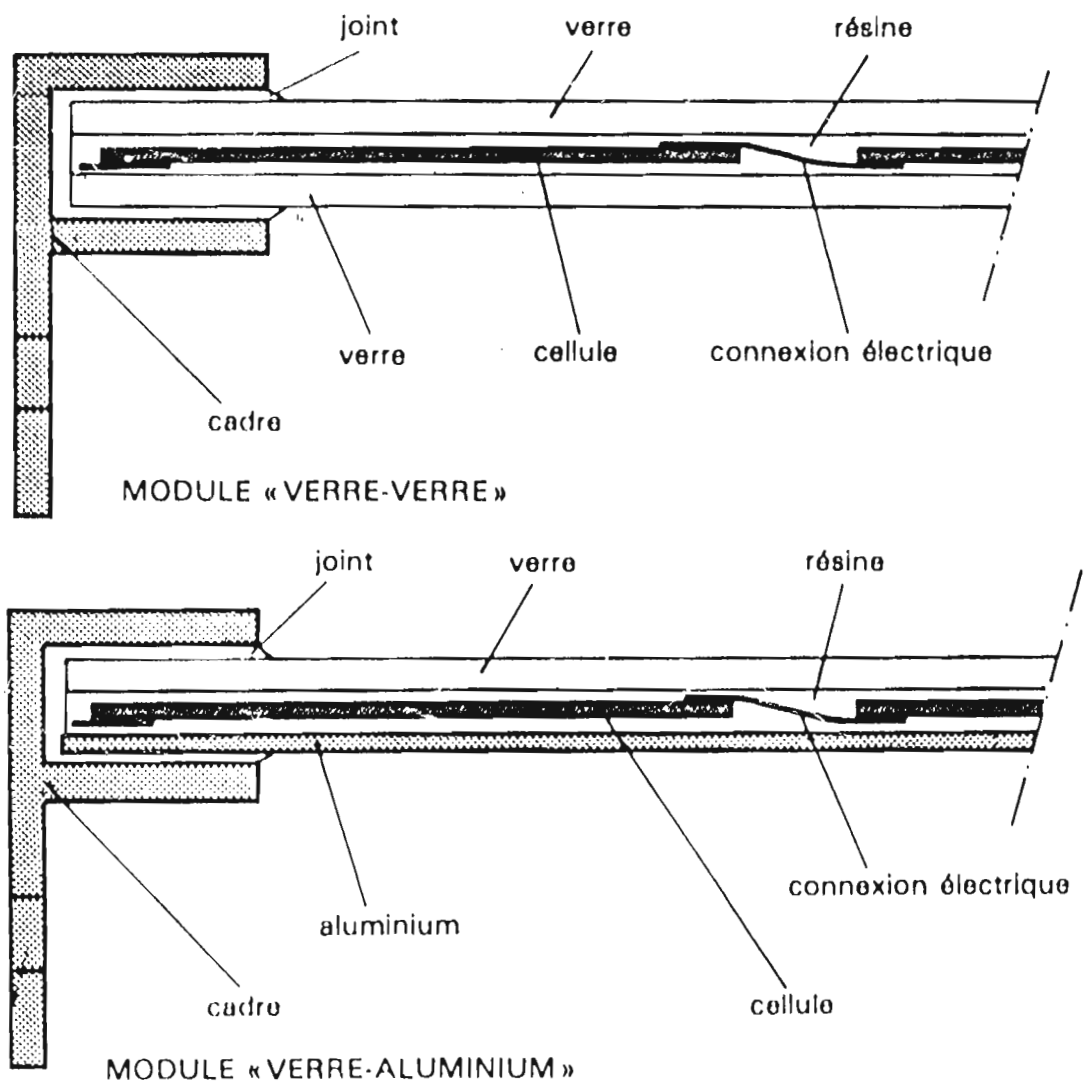


Figure 4 : Constitution d'un module photovoltaïque

➤ **La face avant** généralement en verre trempé ou en plastique assure l'exposition des photopiles au rayonnement solaire et elle participe aux fonctions suivantes :

- rigidité mécanique du module
- protections des photopiles des intempéries et agressions mécaniques
- Orientations des cellules photovoltaïques dans un même plan face au rayonnement.

➤ **Les connections entre cellules** sont réalisées en bandes métalliques soudées.

➤ **La face arrière** est réalisée soit en verre soit en aluminium, soit en feuilles de plastiques (Tedlar , polyester...) de forte résistance mécanique. Elle assure le passage des connections vers l'extérieur et elle participe de plus aux fonctions suivantes:

- rigidité mécanique du module
- protections des photopiles
- évacuations des calories.

➤ **La boîte de connections** est collée sur la face arrière. Elle est en métal ou en PVC étanche (à joint) et munie de passages de câbles en métal (vissés) ou en PVC (enclipsés); elle contient un bornier à vis ou à pattes ou, plus rarement, les fils de sortie directement. Elle reçoit aussi des diodes de protection.

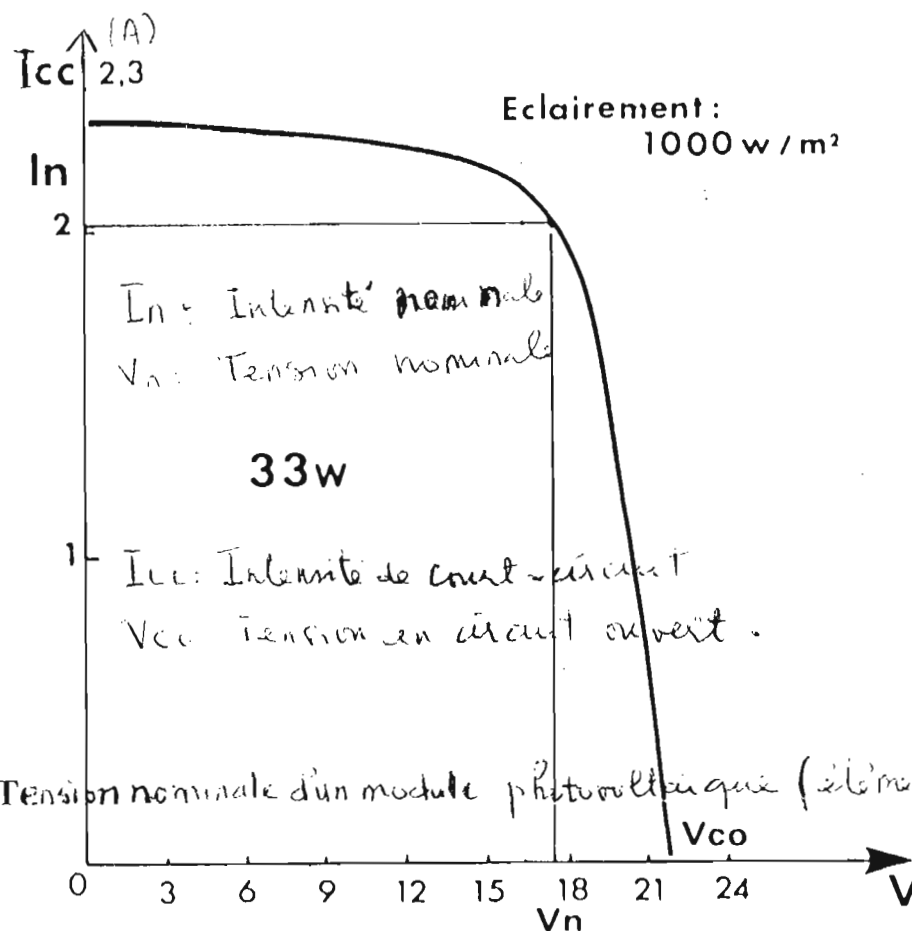
➤ **Le cadre du module** est réalisé en profilés d'aluminium assemblés par cornières vissées ou bloquées ou en profilés de bois ou de plastiques. Il assure la fixation du module, généralement par deux ou quatre cornières percées ,et il protège le joint entre les faces avant et arrière. En outre il contribue à la rigidité et à l'orientation du module.

➤ *Le matériau intermédiaire* entre la face avant et la face arrière est fait soit d'une résine aux silicones transparente (en technologie d'encapsulation coulée), soit de feuilles de plastiques (en technologie d'encapsulation feuilletée). Il isole les photopiles et les connexions des agents extérieurs et contribue à la résistance mécanique de l'ensemble.

➤ *Le joint entre cadre et plaques* (avant et arrière) assure l'étanchéité vis à vis de la surface de résines entre les plaques. Il est généralement en néoprène.

Le module photovoltaïque est l'élément de base du générateur. Par assemblage de modules on obtient l'énergie nécessaire avec des *panneaux*. Un module photovoltaïque est caractérisé par deux grandeurs principales :

- la puissance électrique maximale qu'il peut fournir
- la tension maximale qui peut être obtenue à ses bornes et la tension nominale.



I-3 Protections électriques des photopiles et des modules

Lorsque les cellules photovoltaïques sont connectées en série et en parallèle sans précautions particulières certaines circonstances peuvent y provoquer la dégradation de cellules.

- Eclairage inégal :certaines cellules sont moins éclairées ,
- Court-circuit accidentel
- Cellules défectueuses
- Batterie trop déchargée, en début de charge

Il peut donc en résulter des dégradations irréversibles des cellules qui sont souvent cumulatives et ont donc tendance à se propager. Pour éliminer ces inconvénients, on utilise les techniques de protection par des diodes.

I-3-1 Protections des photopiles et des modules contre les tensions inverses trop importantes par des diodes en parallèle

Considérons le schéma suivant où la cellule n^oi est mal éclairée sur un ensemble de n cellules en séries :

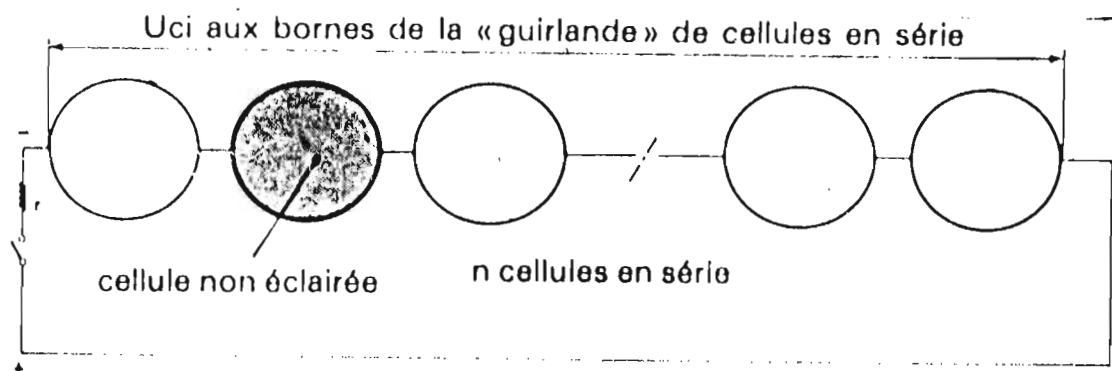


Figure 6 : Schéma d'une série de cellules non protégées

Pour une résistance r très faible et en circuit fermé, la cellule $n^{\circ}i$ est non éclairée, elle est soumise à une tension inverse U_{ci} égale à n fois la tension d'une cellule. Pour 18 cellules par exemple U_{ci} peut dépasser 9 V et endommager la cellule qui ne débite pas. Pour protéger donc les photopiles contre ces types de surtensions, on utilise un montage comme celui ci-dessous avec des diodes.

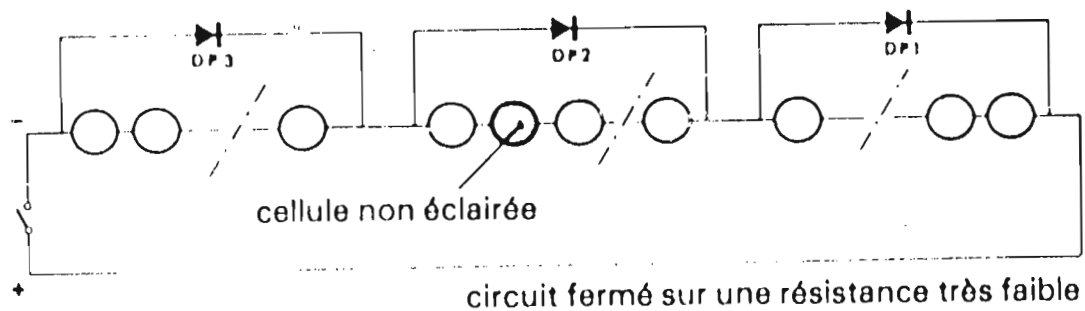


Figure 7 : Schéma d'une série de cellules protégées par des diodes en parallèle

Dans ce cas, lorsque la série comportant la diode moins éclairée devient réceptrice, ce courant inverse sera dérivé par la diode, ce qui a pour effet de protéger les cellules. L'idéal serait de protéger chaque photopile par une diode, mais le coût de diodes et des branchements serait tout à fait déraisonnable. Dans la pratique on fait des protections par groupements en série de six à dix-huit cellules.

N.B Ces diodes de connexions DP sont généralement logées dans la boîte de connexion du module.

I-3-2 Protections par des diodes placées en série avec les photopiles.

Soit G_i $\{i = 1 \text{ à } n\}$ un groupe de photopiles suivant le montage ci-après:

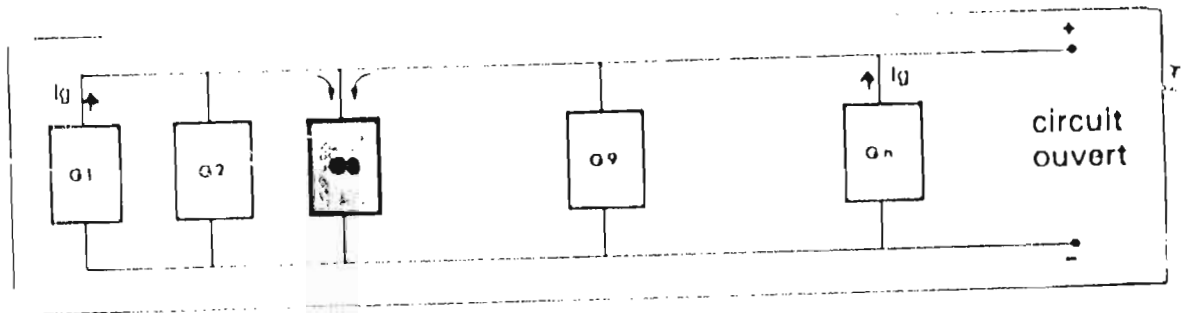


Figure 8 : Schéma d'un groupe de modules en parallèle non protégés

Le groupe G_3 étant moins éclairé débite moins. Il devient donc récepteur et il est traversé par un courant $n \cdot I_g$ qui peut l'endommager. Pour pallier à cela, on utilise le montage ci-dessous avec des diodes D_{s_i} $\{i = 1 \text{ à } n\}$.

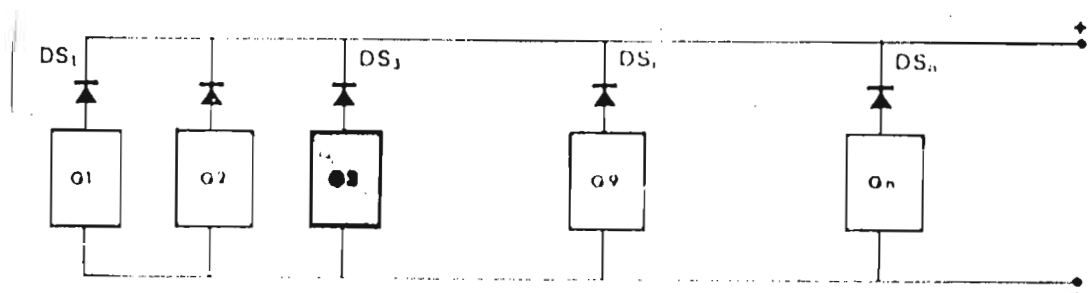


Figure 9 : Schéma d'un groupe de modules en parallèle protégés par des diodes série

Grâce à la diode D_{s_3} , le groupement G_3 ne peut plus être traversé par le courant $n \cdot I_g$.

N.B

1) Du fait qu'une diode introduit une chute de tension de l'ordre de 0.6 à 1 V, on choisit donc de protéger des groupements G_i de cellules délivrant au moins 12 V pour amortir cette chute de tension.

2) Les diodes D_{si} sont généralement montées dans les boîtes de jonction qui regroupent plusieurs modules.

Chapitre II Inventaire des besoins en puissance électrique et dimensionnement des générateurs photovoltaïques

II-1 Inventaire des besoins en puissance électrique

II-1-1 Eclairage des salles de TD, TP, bureaux et toilettes

A partir du schéma du plan des bâtiments situé en **annexe C**, nous avons pu évaluer cette puissance en la calculant seulement au rez-de-chaussée vu la symétrie et la disposition des bâtiments.

Signification des lettres

A = Zone.

B = Nombre de pièces dans une zone.

C = Nombre de lampes.

D = Puissance d'une lampe.

E = Puissance des lampes.

A	B	C	D	E
Bureaux	1	6	36	216
	1	5	36	180
Salles de T.D.	1	6	36	216
	1	6	36	216
	1	15	36	540
	1	15	36	540
Couloir	1	16	36	576
Toilettes	1	4	60	240
		2	18	36
	1	8	60	480
		7	36	252
		12	18	216
Puissance totale pour une moitié du rez-de-chaussée:				3708
Puissance totale des bâtiments TP et TD :				15kW

A partir des tables d'ensoleillement mises en **annexes D1, D2, D3** pour la région de DAKAR, nous pouvons dresser le tableau suivant qui résume les apports en kWh/m².j en énergie.

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept
Igm	157.5	170.6	209.9	208.6	212.6	191.2	173.7	166.9	163.9
NRJ	5.25	5.69	6.99	6.95	7.09	6.37	5.79	5.56	5.46

Mois	Oct	Nov	Déc
Igm	175.7	154.4	144.4
NRJ	5.86	5.15	4.81

Signification des lettres

Igm = Irradiation globale mensuelle à DAKAR en kWh/m². Ces valeurs de Igm sont données à l'**annexe D1**. Ce sont des valeurs moyennes prises entre 1967 et 1982. Nous les considérons comme valables jusqu'à nos jours.

NRJ = Apport journalier en kWh/m²*j

NRJ = (Igm / nombre de jours du mois considéré)

En considérant que l'éclairage dure de 17h à 20h (3 heures de temps) ; ce qui donne un besoin de : $15kw * 3h = 45 kWh/j$

Maintenant, il faut faire la transformation en Wc.

Pour cela, on applique la formule suivante :

$$\text{Apport (kWh)} * P.C. (Wc) * 0.7 = 1.20 * 1.45 * 1.035 * \text{Besoin (Wh)}$$

0.7 -----→ 30% de pertes au niveau des capteurs.

1.2 -----→ pour tenir compte des pertes dans la batterie.

1.45-----→ pour compenser les pertes dues à l'onduleur.

1.035----→ diminution due à la température de 0.35% par degré.

Cette formule s'applique pour les conditions suivantes:

$$I = 1000 \text{ W/m}^2.\text{j}$$

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Septe
P.C.	17489	16135	13136	13212	12950	13986	15858	16514	16816

Mois	Octob	Nove	Décem
P.C.	15670	17830	19090

P.C. = Puissance en Wc.

Maintenant on corrige en tenant compte des conditions réelles (IRDM = irradiation solaire du mois considéré) ; en effet cette puissance crête est définie pour une irradiation de $1000 \text{ W /m}^2.\text{j}$ et nous allons chercher les valeurs correspondantes de cette puissance pour les irradiances réelles de tous les mois.

mois	DMI	NRJ	IRDM	PCM	I	P.E
janvier	6,8	5250	772,06	17489	1000	13502,54
février	7,6	5690	748,68	16135	1000	12080,02
mars	8,6	6990	812,79	13136	1000	10676,82
avril	8,8	6950	789,77	13212	1000	10434,48
mai	8,4	7090	844,05	12950	1000	10930,42
juin	7,8	6370	816,67	13986	1000	11421,9
juillet	7,2	5790	804,17	15858	1000	12752,48
août	7	5560	794,29	16514	1000	13116,83
septembre	7,2	5460	758,33	16816	1000	12752,13
octobre	8	5860	732,5	15670	1000	11478,28
novembre	7,8	5150	660,26	17830	1000	11772,37
décembre	7,1	4810	677,46	19090	1000	12932,8

Nous présentons ci-après les significations et détails de calculs du tableau ci-dessus.

-**DMI**: durée moyenne d'insolation mensuelle (heures) (**annexe D2**)

-**NRJ** : Apports journaliers en Wh/m²*j (I / nombre de jours du mois).

-**IRDM** : Irradiation réelle du mois considéré (en W/ m².j)

-**PCM** : Puissance-crete pour le mois considéré (en WC)

-**I** : Irradiation pour les conditions du watt-crete (en W/ m².j)

-**PE** : Puissance "équivalente" pour le mois considéré. (en W)

-**IRDM** = (NRJ /DMI)

-**PE** = PCM* (IRDM / I)

-**NRJ** : déjà calculé

I=1000 W /m².j

Nous rappelons que la consommation totale prévisionnelle au niveau des salles de travaux dirigés est de 45000 Wh/ jour.

Ainsi pour deux valeurs différentes de la tension du générateur solaire, nous dressons le tableau de comparaison suivant des générateurs à choisir :

<u>Tension générateur = 12 Volts</u>	<u>Tension générateur = 24 Volts</u>
Puissance totale : 19120 Wc	Puissance totale : 19200 Wc
Type de modules : 80 Wc	Type de modules : 80 Wc
Quantité : 239 Modules	Quantité : 240 Modules

Pour une puissance aussi élevée, il est préférable de travailler sous une tension relativement grande afin de diminuer les courants, donc les pertes en ligne. Nous travaillons donc sous 24 V. Du fait que la société AFRIWATT ne dispose que des panneaux de 12 V, le montage sera constitué de 120 groupes de

deux panneaux 12 V (en série deux à deux.). Ces 120 groupes seront montés en parallèle.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des modules photovoltaïques pour une irradiation de 1000 W/ m^2 sous A.M. 1.5 et une température de 25° .

Puissance Maximale	80 Wc
Tension à vide	17 Volts
Courant débité	5 A

NB : Nous avons mis en annexe E, les résultats des calculs du logiciel EOS (Etude et Optimisation du système Solaire) de la société AFRIWATT. Leurs résultats sont effectivement comparables à ceux que nous avons effectués plus haut.

II-1-2 Eclairage de l'amphithéâtre

II-1-2 -1) Notes introductives.

Dans ce chapitre, nous étudions seulement l'éclairage de l'amphithéâtre de l'aile pédagogique. La méthode de calcul peut être utilisée pour celui des autres locaux (salles de TD, TP, amphithéâtre de l'aile d'innovation ...). Il s'agira donc de choisir les types de lampes appropriées pour l'éclairage et d'évaluer la puissance requise. Avant d'entrer au fond donnons quelques définitions utiles :

✓ L'intensité lumineuse(dans une direction donnée)

L'unité d'intensité lumineuse est le **candela (cd)**. Le candela est l'intensité lumineuse dans la direction perpendiculaire, d'une surface de $1/600.000$ de mètre carré d'un corps noir à la température de congélation du platine sous la pression de $101\,325 \text{ N / m}^2$. Elle permet de tracer les courbes photométriques des appareils.

✓ **Le flux lumineux**

L'unité de flux lumineux est le **lumen (lm)**. Le lumen est le flux lumineux émis dans un stéradian par une source ponctuelle située au sommet de l'angle solide et ayant une intensité de 1 cd. Le flux lumineux indique la quantité de lumière émise par seconde, par une source, indépendamment de sa répartition dans l'espace.

✓ **Le niveau d'éclairement**

Son unité est le **lux (lx)**. C'est l'éclairement d'une surface qui reçoit normalement, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré : $1 \text{ lux} = (1 \text{ lumen} / \text{m}^2)$

✓ **Le facteur de réflexion (fr)**

Selon sa couleur et son état superficiel, une surface réfléchit plus ou moins de lumière. Le rapport entre le flux réfléchi et le flux incident définit le facteur de réflexion.

✓ **L'efficacité lumineuse**

Elle s'exprime en lumens par watts ; c'est le rendement de la source lumineuse. La quantité de lumière est très variable pour une même quantité d'électricité absorbée, selon le type de source.

II-1-2 -2) **Calcul de l'éclairage.**

Il s'agit d'un éclairage de type général avec mode mixte (semi -direct) c'est à dire que 10 à 40% du flux sera dirigé vers le plafond et que 90 à 60% sera directement émis vers le plan utile. Ceci afin d'avoir une répartition uniforme de la lumière. Schématiquement, on peut représenter l'amphi comme ci-dessous.

Signification des lettres :

L : longueur de l'amphithéâtre

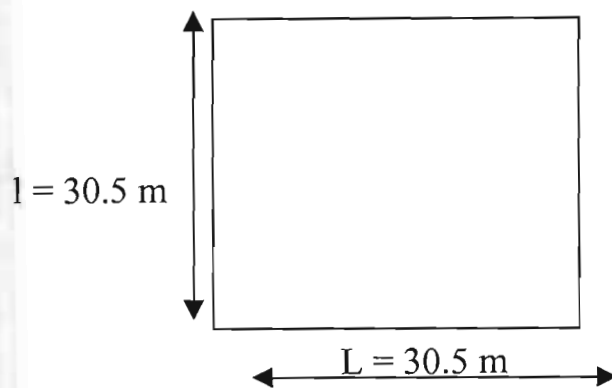
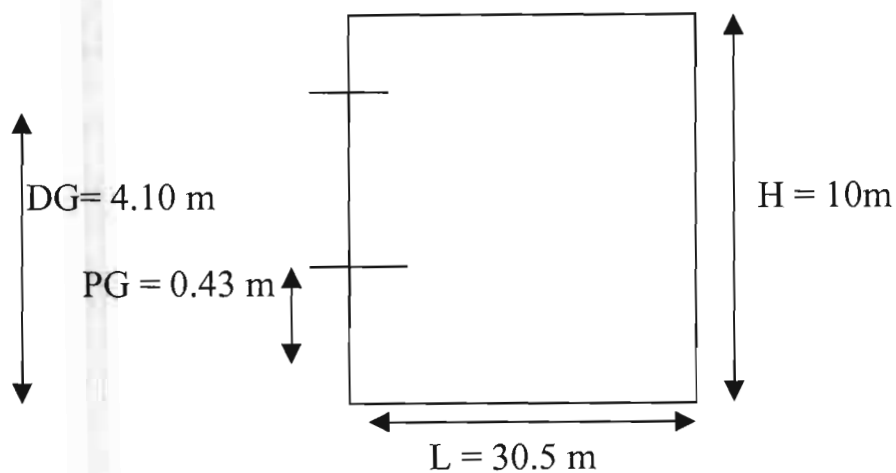
l : largeur de l'amphithéâtre

H : hauteur de l'amphithéâtre

DG : hauteur du dernier gradin

PG : hauteur du premier gradin

Vue de face schématique



Vue de dessus schématique

Le niveau d'éclairage choisi pour l'amphithéâtre conformément à l'Association française de l'éclairage est de $E = 300$ lux (**tableau n° 7**). Le plan utile n'est pas uniforme pour l'amphithéâtre. Nous supposons pour le

$$0.43 + 4.1$$

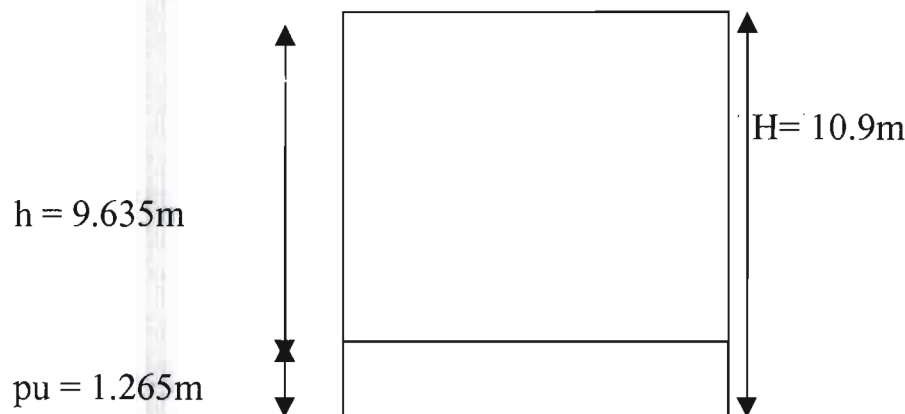
calcul un plan utile de
$$pu = \frac{0.43 + 4.1}{2} - 1 = 1.265m$$

✓ Choix de la source de lumière

Du fait que $E = 300$ lux $>$ 150 lux, on choisit les lampes par éclairage fluorescent. (**tableau n° 8**). Ce tableau indique que les tubes fluorescents fournissent une température de couleur de 3000 à 6000 ° K.

On retient donc par l'intermédiaire du **tableau n° 9** le type « blanc soleil de luxe » 3000 ° K et son rendu des couleurs est $Ra = 85$, il confirme que le $Ra = 85$ est supérieur à 80 qui est le minimum recommandé pour l'éclairage d'un amphithéâtre.

(**tableau n°10**).



$$h = H - 1.265 = 10.9 - 1.265 = 9.635 \text{ m}$$

✓ **Choix des luminaires**

D'après le **tableau n° 11**, on opte pour des luminaires semi-encastés à répartition semi-directe de la lumière. Ce tableau permet de choisir des réflecteurs du type D: c'est donc un plafonnier à vasque prismatique avec pour rendement $\eta = 0.58$.

✓ **Confort de l'ambiance**

La courbe de KRUIHOF (**tableau n° 10**) donne pour un éclairage de 300 lux, une température de couleur de 3000 ° K. Ces valeurs permettent de respecter le confort visuel.

✓ **implantation des luminaires**

Pour des raisons d'esthétique, on adopte le système des chemins lumineux. La hauteur h des sources est de $h = 9.635$ m ; le **tableau n° 12** indique pour une classe D une inter distance maximale de $e = 1.2 \cdot h = 1.20 \cdot 9.635 \text{ m} = 11.56$ m.. Si l'on choisit **10 rangées de luminaires**, la distance x qui sépare les différentes rangées est calculée à partir de l'équation $30.5 = x/2 + x/2 + 9 \cdot x$. d'où l'on tire la valeur de $x = 3.05$ m

Et $x/2 = 1$ ce cas, on calcule le nombre n de réflecteurs par rangée à l'aide de la formule suivante : $3.05 + n \cdot 1.5 + 3.05 \cdot (n - 1) = 30.5$

la longueur de chaque réflecteur choisi est de 1.5 m (**tableau 9**)

D'où $n = 6$ réflecteurs. Le nombre total de réflecteurs est de $10 \cdot 6 = 60$ réflecteurs.

✓ **Détermination du flux lumineux**

Il est donné par la formule
$$F = \frac{E \cdot S \cdot d}{\eta \cdot U}$$

$E = 300$ lx

S : surface de l'amphi. = 930 m^2

d : facteur de dépréciation. En général $d = 1.3$. Ce coefficient tient compte de la dépréciation due au vieillissement et à l'empoussièrement.

$\eta = 0.48$: rendement du réflecteur

U : facteur d'utilisation. Physiquement il représente le pourcentage du flux direct qui tombe et couvre un plan de travail horizontal situé généralement à 0.85m. Pour calculer F, il faut déterminer le rapport de suspension J, l'indice K du local et les facteurs de réflexion des plafonds et murs (frp et frm)

✓ **Détermination du rapport de suspension J**

$$J = \frac{H - h}{H} \Rightarrow J = (10.9 - 9.635) / 10.9 = 0.11$$

on choisit donc $J \cong 0$

✓ **Détermination de l'indice du local K**

$$K = \frac{L * l}{h * (L + l)} \Rightarrow K \cong 2$$

En choisissant un plafond de couleur blanche mat et des murs clairs, on a respectivement frp = 70 % et frm = 50%.

Les valeurs du **tableau n° 13** indiquent pour la classe D et avec ce qui vient d'être calculé (pour K = 2), un facteur d'utilisation U = 0.85

U = 0.85.

L'application numérique donne **F = 735897 lm**

Le flux lumineux par source se calcule par la formule suivante

$$f = \frac{F}{\text{nombre de sources (réflecteurs)}} \Rightarrow f = 12265 \text{ lumens par sources. Du fait que}$$

les tubes choisis (65 W ; 1.5 m) ont un flux lumineux unitaire de 3250 lumens (**tableau n° 9**), on déduit le nombre de tubes par réflecteurs par le rapport $12265 / 3250 = 3$ tubes. La puissance tirée par les lampes est $60 * 3 * 65 = 11700$ W

✓ **Conclusion**

L'amphi comporte **60 points lumineux**, pour une puissance totale de $11700 \text{ W} \cong 12000 \text{ W}$

Chapitre III Dimensionnement des batteries, onduleurs et des

régulateurs (salles de TP, TD... sans les amphithéâtres)

III-1 Batterie (ou accumulateur)

III-1-1 Introduction

Le soleil en tant que énergie qui n'existe pas 24 h/ 24 oblige l'utilisation d'un stockage de l'énergie électrique dans les installations.

De nos jours le stockage ne peut être réalisé qu'à l'aide d'accumulateurs chimiques où l'énergie électrique est convertie et stockée par des réactions chimiques réversibles. En effet cette réaction obéit à la chaîne suivante :

Energie électrique $\xrightarrow{1}$ réactions chimiques $\xrightarrow{2}$ énergie électrique

La phase 1 est la charge de la batterie tandis que celle de 2 est la décharge.

On a donc les réactions suivantes:

Charge



Décharge



NB

- pendant la charge l'acide se concentre
- pendant la décharge l'acide se dilue
- pendant la décharge, les plaques augmentent de volume

La charge est le moment pendant lequel les batteries reçoivent de l'énergie des modules ; la décharge correspond à la restitution de cette énergie au niveau des charges. (cf. figure 10 page suivante).

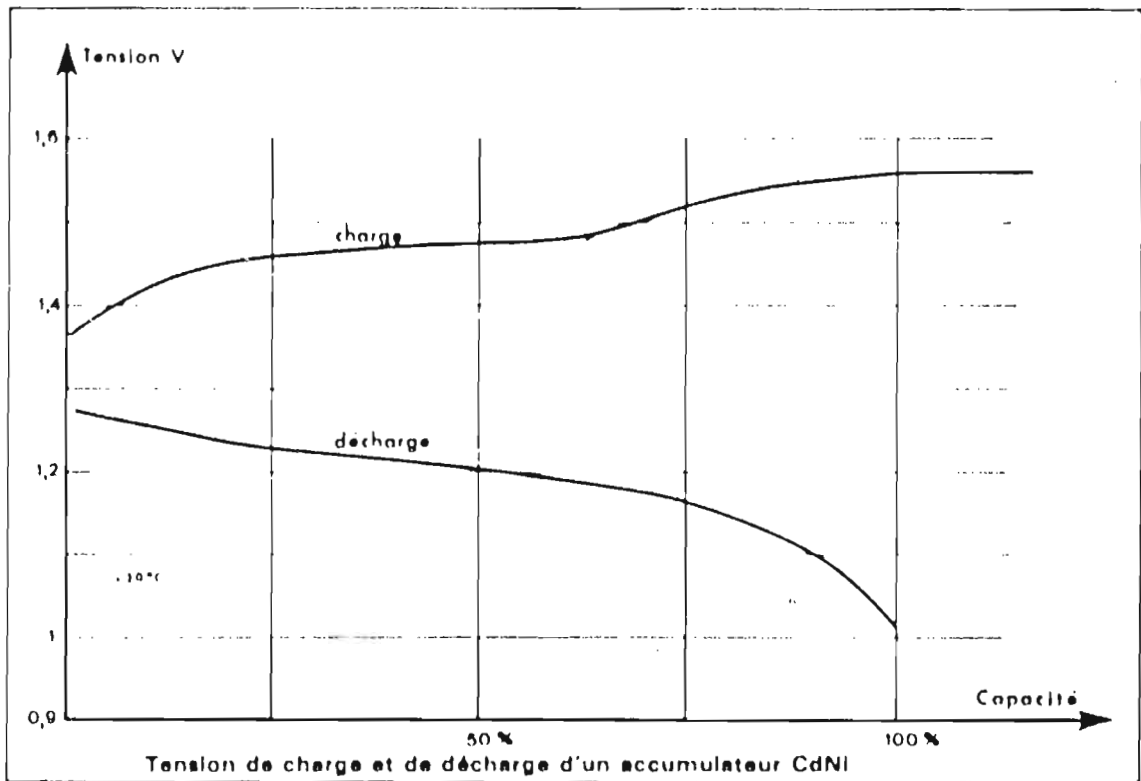
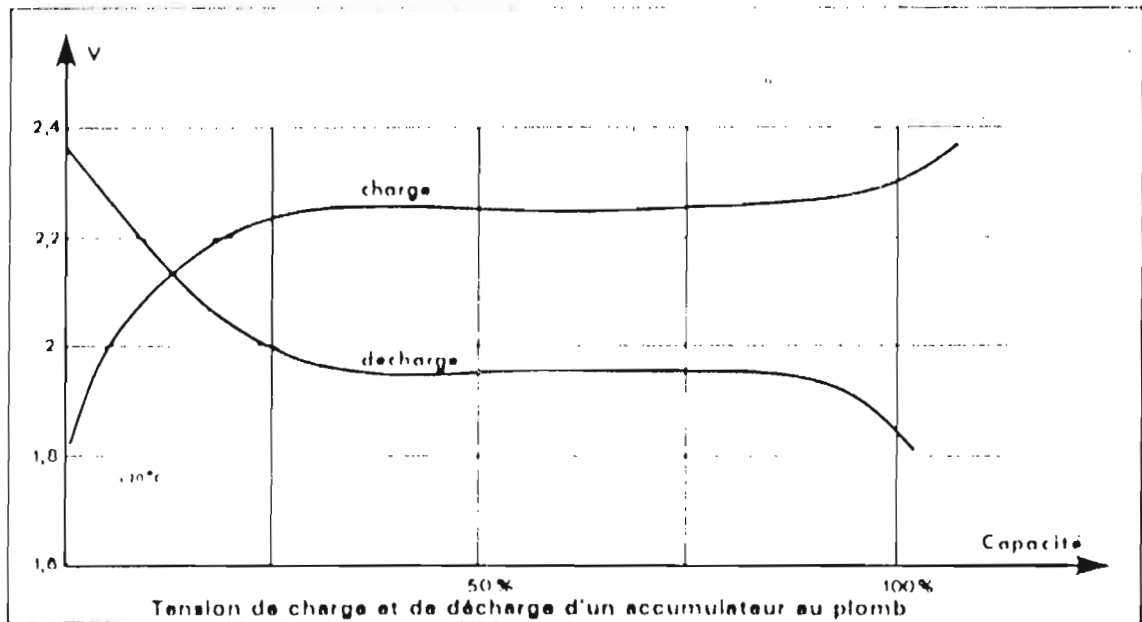


Figure 10 : Tension aux bornes d'un accumulateur au plomb et d'un accumulateur au cadmium-nickel en fonction du taux de décharge.

III-1-2 Caractéristiques principales d'un accumulateur d'énergie électrique

Les accumulateurs d'énergie sont conçus avec plusieurs caractéristiques que sont : la tension d'alimentation, la capacité, le rendement, la durée de vie et le taux d'auto décharge.

➤ **La tension d'alimentation**

C'est la tension à laquelle l'énergie est restituée normalement.

➤ **La capacité de l'accumulateur**

C'est la quantité maximale d'énergie électrique restituable par l'accumulateur. Celle-ci s'exprime en Ah (ampères-heures) ou en Wh (wattheures). Elle s'obtient par la formule suivante :

$$C = (E * N) / (\eta * U)$$

E = consommation en Wh

N = nombre de jours d'autonomie

η = rendement de la batterie

C = capacité de la batterie en Ah

U = tension de travail de la batterie

Exemple d'application

Soit un local où le besoin journalier est de 820 Wh et nous devons utiliser une batterie dont la tension d'utilisation est de 24 V et de rendement 0.9. Au Sénégal nous admettons un nombre de jours maximal d'autonomie de 3 jours.

Application numérique : E = 820Wh ; n = 3 ; η = 0.9 ; U = 24 V

$$C = 114 \text{ Ah}$$

Donc nous choisirons une batterie pouvant fournir 120 Ah.

➤ **Rendement d'un accumulateur**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie électrique fournie à l'accumulateur.

➤ **La durée de vie d'un accumulateur**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ses caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur il a une durée de vie limitée.

➤ **Le taux d'auto décharge**

C'est le taux " fuite" du réservoir d'électricité. Il se définit comme étant le rapport entre la quantité d'énergie perdue sans utilisation et la quantité d'énergie stockée. Ce rapport s'exprime en %. En effet l'accumulateur use un peu d'énergie même si l'on ne s'en sert pas.

III-1-3 **Les différents types d'accumulateurs**

D'une manière générale on distingue deux principaux types d'accumulateurs pratiquement utilisables que sont:

- les accumulateurs au plomb
- les accumulateurs au cadmium-nickel (CdNi)

Nous étudierons ici les premiers types (au plomb) puisque ce sont eux qui conviennent mieux pour les systèmes photovoltaïques.

Ces accumulateurs au plomb sont constitués de quatre parties : le bac, les électrodes, l'électrolyte et le couvercle.

- **Le bac** est en matière isolante, généralement en polymère translucide ou transparent.
- **Les électrodes** sont généralement des plaques, formées de grilles qui supportent les oxydes actifs.
- **L'électrolyte** est une solution d'acide sulfurique
- **Le couvercle** du bac porte deux ou quatre bornes de connexions et un bouchon d'évacuation des gaz ou une soupape de sécurité.

En moyenne, le poids d'un accumulateur est de 1 kg pour 30 Wh.

Les batteries au plomb sont classées suivant trois catégories :

1) **Les batteries classiques** destinées à fournir un courant très élevé pendant quelques secondes ou un courant très faible pendant quelques heures. Ces batteries ont comme principaux inconvénients de présenter un rendement de conversion faible et un taux d'autodécharge très important. Elles sont le plus souvent utilisées dans les voitures.

2) **Les batteries à usage cyclique** : ces dernières diffèrent des précédentes par la constitution des électrodes ; leur durée de vie est plus grande mais présente les mêmes inconvénients que les batteries classiques.

3) **Les batteries à usage flottant** : ce sont celles qui conviennent mieux pour les systèmes photovoltaïques. Leurs principaux avantages est de présenter un faible taux d'auto décharge. On trouve deux sous-catégories : les batteries à plomb-calcium et les batteries à plomb pur (doux).

III-1-4 Choix des batteries pour le projet pour les salles de TP etTD

La batterie fonctionne sous une tension de travail qui est soit 12 Volts soit 24 Volts. Maintenant en fonction de la tension nous allons choisir la batterie en fonction de la capacité.

Le tableau ci dessous donne les performances des batteries à 20 °C.

<u>Tension batterie = 24 Volts</u>	<u>Tension batterie = 12 Volts</u>
Capacité totale = 9919 Ah	Capacité totale = 18839 Ah
Autonomie souhaitée = 72 Heures	Autonomie souhaitée = 72 Heures
Décharge maxi souhaitée = 60 %	Décharge maxi souhaitée = 60 %

En définitive, nous choisissons des batteries et des modules fonctionnant sous 24 Volts.

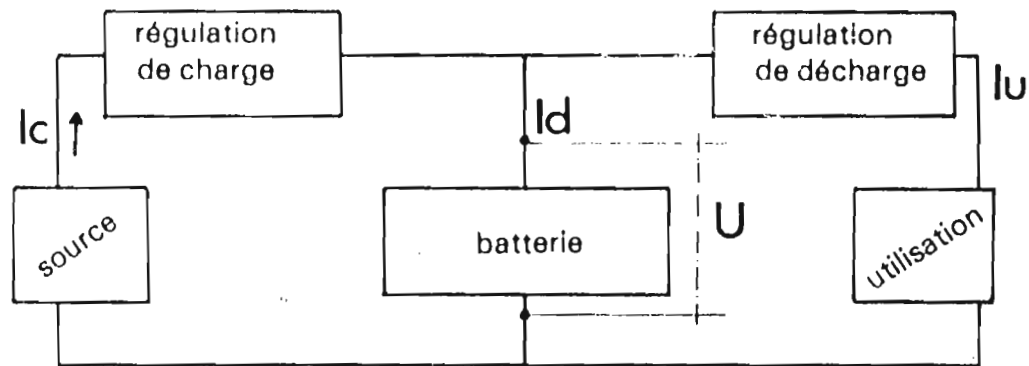
La capacité totale calculée par le logiciel EOS est de 9919 Ah C_{100} . Les batteries actuellement disponibles à AFRIWATT sont des batteries 100 Ah et 12 V. Pour avoir la tension de sortie de 24 V, ces accumulateurs seront disposés en série deux à deux ; l'ensemble sera monté en parallèle. Le nombre de batteries (100 Ah ; 12 V) sera donc de $2 * \frac{9919}{100} = 199$ batteries. Le prix unitaire est de 75 000 FCFA. Ce qui coûte au total 14.925.000 FCFA. Il existe d'autres types de batteries (210 Ah ; 12 V). Dans ce cas il faut 95 batteries. Leur prix unitaire est de 260.000 FCFA ; ce qui donne un coût global de 24.700.000 FCFA. **Le choix sera donc porté sur les accumulateurs du type (100 Ah ; 12 V).**

III-2 Régulateur

III-2-1 Introduction

D'une manière générale les systèmes photovoltaïques destinés à l'habitat doivent tous comporter une régulation soignée de la charge et de la décharge de la batterie. En effet la batterie est l'un des éléments les plus fragiles d'un système photovoltaïque ; sa durée de vie est étroitement liée à la façon dont elle est chargée et déchargée : une longévité raisonnable n'est atteinte que par une protection soignée contre la surcharge ou la décharge trop profonde.

Ces deux fonctions sont assurées par des dispositifs électroniques généralement logés dans un même boîtier: le régulateur. Le schéma de régulation du fonctionnement de la batterie est illustré ci- après : (**page suivante**).



- I_c = courant de charge
- I_u = courant utilisé
- I_d = courant de décharge
- E = force électromotrice de la batterie : tension à vide
- U = tension aux bornes de la batterie
- R_i = résistance interne
- $U = E - R_i I_d$
- $I_u = I_d + I_c$

**Figure 11 : Schéma de principe de régulation de la charge et décharge
d'une batterie**

III-2-2 Régulation de la décharge

Le but est de protéger la batterie contre une décharge excessive. Cette régulation fonctionne de façon différente selon que le panneau est la seule source d'énergie électrique ou non. En effet il existe des systèmes à deux sources (mixtes); mais notre étude portera uniquement sur la régulation des systèmes purement photovoltaïques.

✓ Informations sur l'état de charge de la batterie

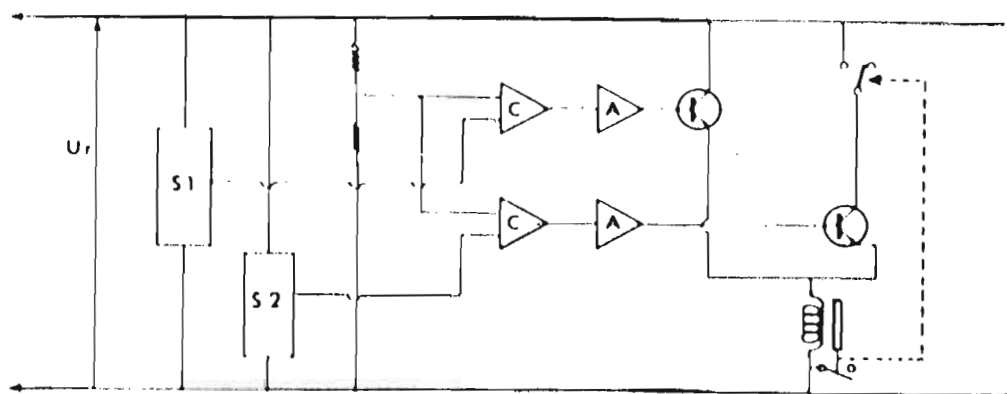
Ce point est important car il nous indique l'état de charge de l'accumulateur; ainsi nous devons disposer d'un certain nombre d'indicateurs qui peuvent nous permettre d'identifier cet état.

Le meilleur indicateur de l'état de charge d'une batterie serait une paire de compteurs électriques, mesurant directement les quantités d'électricité y entrant et en sortant; un tel dispositif est envisageable mais exclus sur le plan pratique : trop cher et délicat à étalonner .

Le degré d'acidité ou plutôt la densité d'électrolyte est, théoriquement un excellent indicateur de l'état de charge ; mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après la charge: il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure, ceci constitue un système difficile à automatiser. Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. (figure 10 page 26).

✓ Principe de la régulation de la décharge

Il s'agit d'éviter que la batterie ne se décharge pas trop. Pratiquement il faut interrompre la décharge lorsque la tension (par élément de 2 V) atteint le seuil bas de 1.8 V, et le permettre à nouveau lorsque la tension est supérieure à ce seuil. Le schéma du principe est illustré sur la figure ci-dessous.



S_1, S_2 : diviseurs de tension. — C : comparateurs. — A : amplificateurs opérationnels

Figure 12: Régulation de décharge

Ce dispositif de régulation comprend donc:

- un comparateur, qui compare la tension aux bornes de la batterie à un seuil bas SB
- un circuit de commande,
- un interrupteur qui déconnecte la charge.

N.B On interrompt la décharge lorsqu'on a : $I_c < I_u$;

donc $I_d > 0$ et $E - R_i * I_d < E$. Ceci veut dire qu'après interruption la tension aux bornes de la batterie augmente de U à E.

Ainsi si aucune disposition n'est prévue, le dispositif de contrôle va enregistrer une tension supérieure à 1.8V, donc reconnecter l'utilisation, alors qu'aucune charge n'a été faite, suite à quoi la tension va retomber en dessous de 1.8V / élément, etc. Cette oscillation néfaste doit être évidemment évitée.

Ceci nous amène à effectuer la régulation avec deux seuils :

- seuil d'interruption de décharge : SB
- seuil de reconnexion de l'utilisation : $SU > SB$

III-2-3 Régulation de la charge

En effet le dispositif de contrôle doit charger la batterie à partir du panneau photovoltaïque de façon optimale : le plus complètement possible, le plus vite possible, avec le meilleur rendement possible.

Si le panneau photovoltaïque fournit plus d'énergie qu'il n'est pas nécessaire pour charger la batterie, il faut que l'excédent soit réduit au minimum et dissipée. La procédure de charge d'une batterie est montrée à la page suivante.

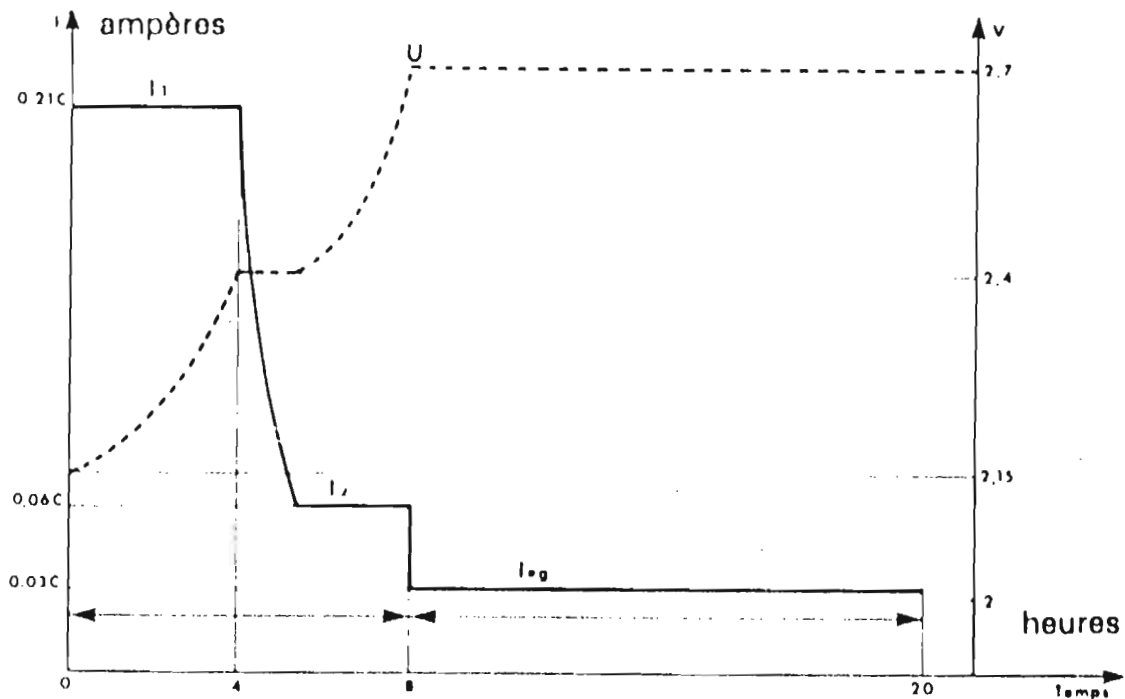


Figure 13 : Exemple de procédure de charge d'une batterie au plomb

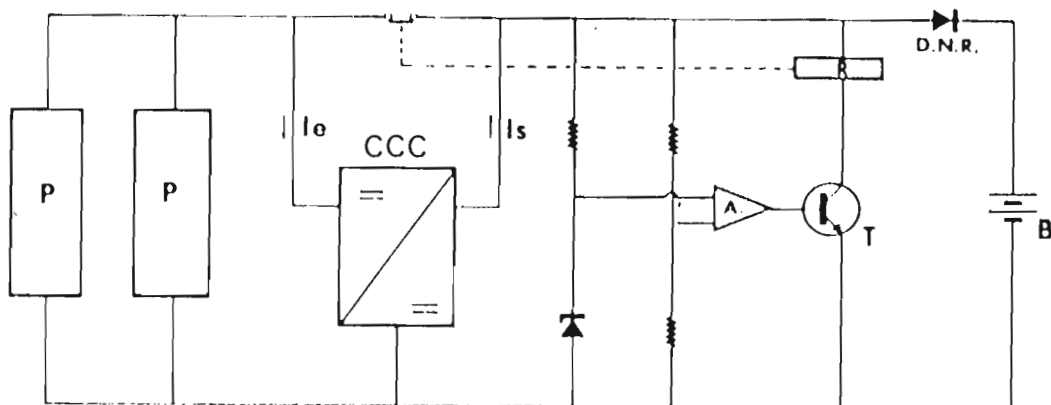
Le régulateur doit donc en cas d'énergie excédentaire, placer le point de fonctionnement à forte tension et courant faible.

Les différents types de régulateurs de charges sont :

- le régulateur de charge "série"
- le régulateur de charge à coupure
- le régulateur de charge "shunt"
- le régulateur de charge à découpage

Ce dernier est celui que nous choisirons puisque répondant le mieux aux exigences mentionnées plus haut. Son schéma de principe est illustré au paragraphe suivant

✓ Principe de la régulation de la charge



CCC : convertisseur continu-continu : transforme le courant délivré par les photopiles pour l'adapter à la batterie.

Figure 14 : schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage

Tant que la batterie n'est pas chargée, tout le courant de P y est débité. Lorsque la tension de la batterie atteint $U_2 = 2.35V$ à $2.4V$ par élément, le relais R coupe la liaison directe de P à B et met en fonctionnement un convertisseur continu-continu (un hacheur) ; celui-ci est asservi pour délivrer à B sa tension qui est de l'ordre de $2.25V$ par élément; le courant I_s est faible et la batterie se charge ainsi complètement.

Ce courant est aussi faible et donc le panneau P fonctionne à tension élevée et à courant faible: il n'y a pas d'énergie excédentaire à dissiper.

Son principal inconvénient est sa complexité et son coût surtout avec l'existence du hacheur. Ce type de régulateur convient pour les panneaux de puissance crête supérieure à $1000 Wc$.

Le choix d'un régulateur tient compte du courant délivré par les panneaux. Les 240 panneaux ($80 Wc$; $12 V$) fournissent un courant de $5A$ par panneau. Conformément au montage adopté (voir paragraphe traitant du panneau), le courant total délivré par ces 120 groupes de panneaux est de

120*5= 600 A. S'il faut utiliser les régulateurs de 30A/24 V disponibles à AFRIWATT (tableau 1 ci- dessous), il y aura donc au total $\frac{600}{30} = 20$ régulateurs.

		état	filtre	12V		24V	
				Pbo	Pbo	Pbo	Fbo
EGL	Charge d'égalisation	PWM	40min	14,8	14,5	29,6	29,0
	- Floating d'égalisations(*)			40min	40min	40min	40min
FLT	Charge normale	PWM		14,5	14,2	29,0	28,4
	- Floating de charge(*)						
ATB	Alarme Tension Basse	OFF	5 s	>13,8	>13,8	>27,6	>27,6
		ON	10 s	<11,6	<11,6	<23,2	<23,2
DTB	Détectage Tension Basse	OFF	5 s	>13,8	>13,8	>27,6	>27,6
		ON	30 s	<11,3	<11,3	<22,6	<22,6

Tableau 1 : Gamme des régulateurs disponibles à AFRIWATT

Il est toujours plus pratique de réduire ce nombre de régulateurs. De ce fait la société AFRIWATT nous a proposé de commander des régulateurs de 100 A. Dans ce cas nous aurons à installer $600/100 = 6$ régulateurs. (si le prix est relativement comparable à ceux déjà disponibles)

III-3 Le convertisseur d'énergie électrique

Il existe deux types de convertisseurs d'énergie électrique: le convertisseur tournant et le convertisseur statique ou onduleur.

➤ Le convertisseur tournant

Il est constitué d'un moteur à courant continu couplé avec un alternateur. La stabilité en fréquence (proportionnelle à la vitesse de l'ensemble) et en tension (aux bornes de l'alternateur) est assurée par un dispositif électronique pilotant un bobinage inducteur du moteur à courant continu. Du fait que ce

convertisseur utilise une technologie ancienne et du fait que sa consommation à vide est relativement élevée, il est de plus en plus supplanté par le convertisseur statique.

➤ Le convertisseur statique

Il est souvent appelé onduleur. Ces convertisseurs transforment le courant continu en signal carré ou sinusoïdal, grâce à la fermeture /ouverture d'interrupteurs électroniques qui sont selon la technologie ou la puissance, des transistors ou des thyristors.

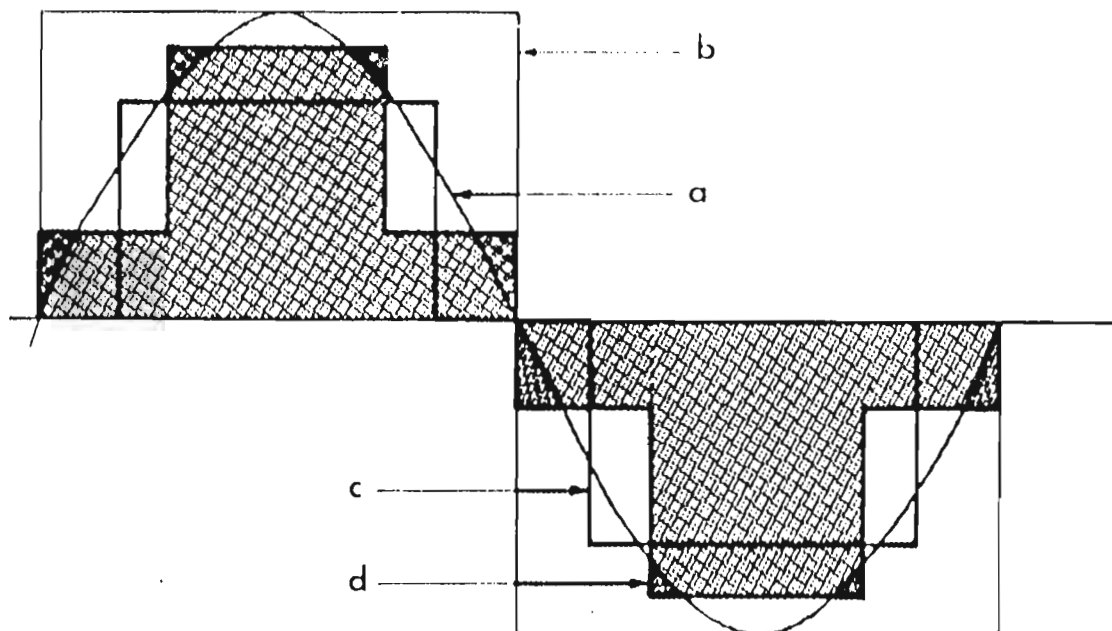


Figure 15 : Schéma de décomposition du courant continu en courant alternatif

a : courant sinusoïdal

b : courant carré

c : courant pseudo-carré

d : courant en escalier pseudo-sinusoïdal

III-3-1 Les critères de choix d'un onduleur

➤ La puissance nominale

C'est la puissance exprimée en VA (volt-ampère) que l'onduleur est capable de délivrer en fonctionnement permanent. Elle se calcule en faisant la somme des puissances de tous les appareils susceptibles d'être installés c'est à dire ici les lampes servant à l'éclairage.

➤ Le rendement

C'est un facteur important du point de vue économique. Le rendement à pleine charge n'est pas un facteur pertinent car la puissance appelée sera largement inférieure à la puissance nominale. Il importe que le rendement soit le plus élevé possible sur une plage de puissance la plus large possible. Nous donnons ci-dessous deux courbes caractéristiques des onduleurs. (page suivante).

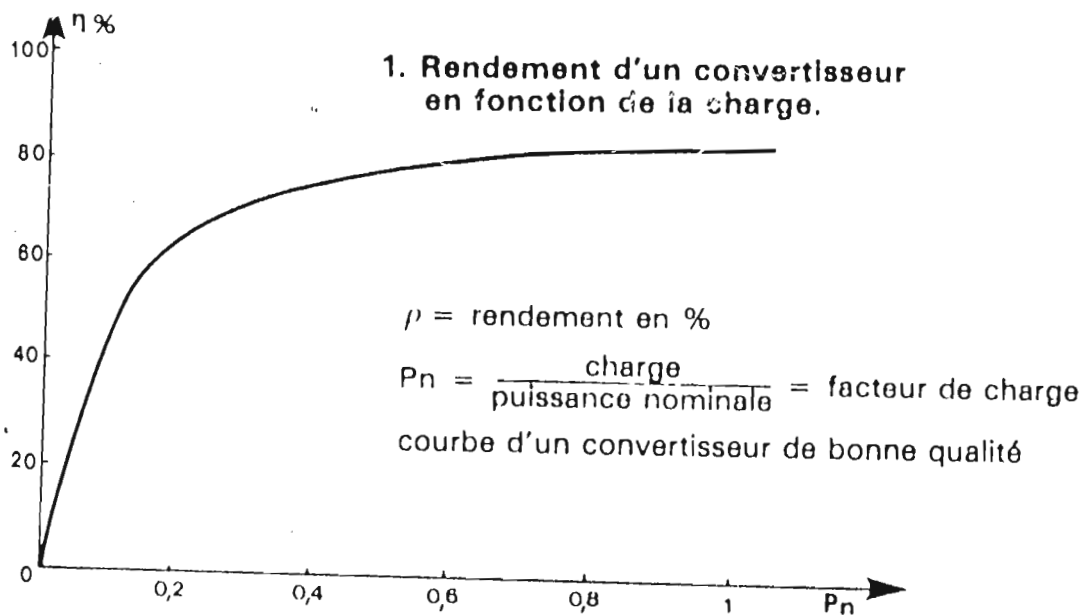


Figure 16 : Rendement d'un convertisseur en fonction de la charge

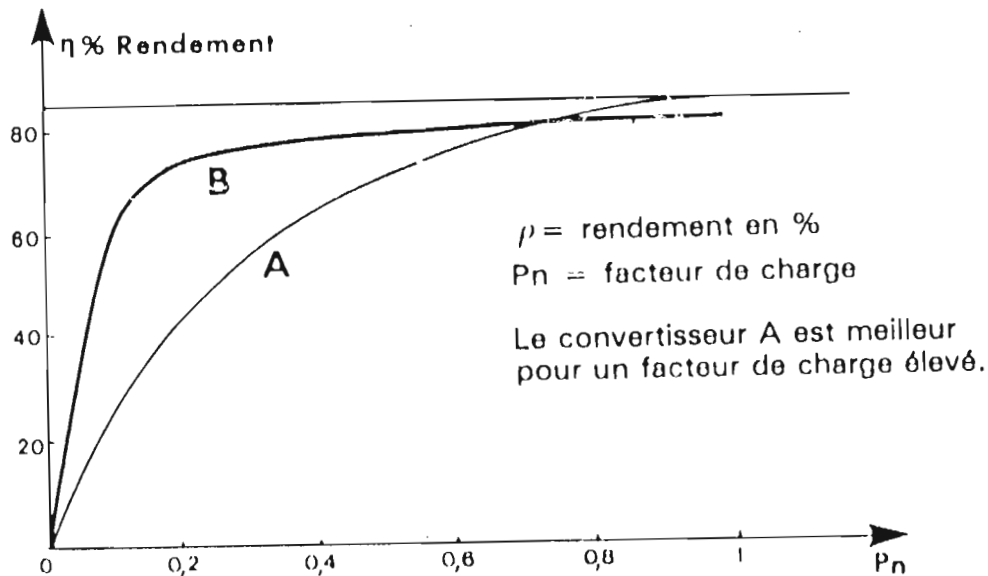


Figure 17 : Courbe de rendement comparé de deux convertisseurs

➤ La consommation à vide

Ce critère rejoint celui du rendement car la consommation à vide va prélever sur l'énergie fournie par la batterie. Pour une même gamme d'onduleurs cette consommation à vide est en général proportionnelle à la puissance nominale. Un onduleur bien soigné présente une consommation à vide comprise entre 1 et 5 % de la puissance nominale.

➤ Forme de la tension de sortie par rapport à une tension sinusoïdale

La plus ou moins grande pureté de la tension de sortie est obtenue :

- grâce à un système de régulation qui tend à maintenir la tension et la fréquence aux valeurs nominales, quelles que soient

la tension d'entrée (variable en fonction de l'état de charge de la batterie) et la puissance appelée.

- grâce à un filtrage en sortie de l'onduleur qui tend à " lisser " la forme de la tension, donc à réduire le taux d'harmoniques.

Il convient de signaler à ce niveau que l'onde alternative créée par un onduleur est rarement idéale (sinusoïdale) (**figure 15**). Ce taux d'harmonique mesure la différence de forme avec la forme sinusoïdale. Il est d'autant plus élevé que cette différence de forme est importante. Ces harmoniques indésirables vont provoquer un gaspillage énergétique sous forme de chaleur. Pour le récepteur concerné cet échauffement peut provoquer à terme la destruction de l'appareil. Le coût de ces systèmes augmente avec la qualité de la tension exigée.

III-3-2 Le dimensionnement des onduleurs

Le rendement réel, moyen, d'un onduleur bien conçu, de bonne qualité dépend de son facteur de charge comme mentionné plus haut..

La gamme d'onduleurs disponible à la société AFRIWATT nous permet de choisir le type **SI2324** (**tableau 2 ci- dessous**).Cet onduleur est caractérisé par une puissance nominale de 2300 VA, une tension d'entrée de 24V et une consommation à vide inférieure à 0.6 W. Cette consommation à vide est bien inférieure à 115 W (5% de 2300 VA).

Type	SI 412 51424	SI 612 51624 51648	SI 812 51824	SI (TP)* 1212 1224 1248	SI (TP)* 2324 2348	SI (TP) 3548
Tension d'entrée (Unom)	12-24 V	12-24-48 V	12-24 V	12-24-48 V	24-48 V	48V
Puissance nominale	400 VA	600 VA	800 VA	1200 VA	2300 VA	3500VA
Consommation "ON" à vide pour syst. Twinpower	-	-	-	< 0,5 W	< 0,6 W	< 0,8 W
Rendement max	-	91 %	92%	93 - 95%	95%	95%
Longueur L	206 mm	206 mm	276 mm	391 mm	591 mm	791 mm
Largeur l	215 mm	215 mm	215 mm	215 mm	215 mm	215 mm
Hauteur H	124 mm	124 mm	124 mm	124 mm	124 mm	124 mm
Poids sans câble (kg)	5,8	6,9	10,4	13,2	22,8	33,5

Tableau 2 : Gamme des onduleurs disponibles à AFRIWATT

La puissance tirée par l'éclairage étant de 15000 W, nous installerons dans ce cas $\frac{15000}{2300} = 6$ onduleurs.

NB :

1. Ce calcul de dimensionnement à été mené seulement au niveau des salles de TD, TP, toilettes... exceptés les amphis. Pour ces derniers un raisonnement analogue doit être mené avec cette fois la puissance de l'amphi qui est de 12000 W. Il conduit donc, en se basant sur le de dimensionnement du logiciel EOS aux résultats suivants : (**annexe E2**)

- 192 modules (80 Wc ; 12 V)
- 158 batteries (100 Ah ; 12 V)
- 16 régulateurs (30 A ; 24.V)
- 5 onduleurs (2300 VA ; 24 V)

2. Les deux amphis ayant même dimensions et nécessitant le même niveau d'éclairage (300 lux pour salles de conférences) ; on conclut que l'amphi de l'aile d'innovation exige le même nombre d'éléments précités.

Chapitre IV Conception des supports et de l'installation électrique

IV-1 Fixations des modules

IV-1 1 Fonctions assurées par la fixation

La fixation des modules doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation (contre le vent et les autres intempéries, contre les agressions mécaniques).
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol ;
- Ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement ; les performances des modules diminuent quand la température moyenne des cellules augmente ;
- Rigidité de l'ensemble des modules.

IV-1 2 Réalisations des supports

✓ structure

Il est en général préférable d'acheter les supports chez le fabricant de modules, en fonction du nombre de modules désirés. Néanmoins nous essayerons dans cette rubrique de les concevoir afin de comparer nos résultats avec le matériel qui sera fourni à cet effet.

Pour tout type de générateur (petite et grande puissance) , la structure classique consiste en un châssis avec une base plane pouvant recevoir des écrous de fixations eux-mêmes liés à une armature rigide (chape de béton, socle en bois...). L'angle d'inclinaison est fixe ou réglable. Nous la considérons fixe dans notre cas et égal à 15° .

✓ matériaux constitutifs

Les supports sont en général réalisés en aluminium anodisé ou en acier inoxydable. Toute la boulonnerie de fixation est en général en acier inoxydable.

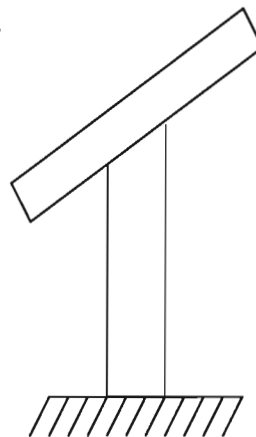
Ces différents matériaux permettent de prémunir les supports contre la corrosion.

✓ fixations des supports

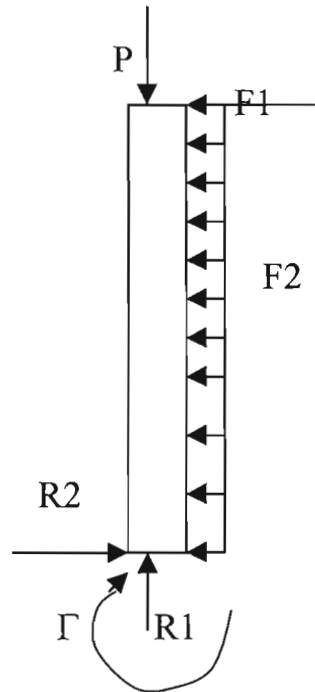
La structure recevant les supports doit :

- Pouvoir résister aux conditions climatiques, en particulier aux vents ;
- Permettre une bonne ventilation des panneaux : l'arrière des panneaux doit donc être suffisamment dégagé pour permettre la circulation de l'air. Un espace suffisant (**20 cm au moins**) doit être ménagé entre le bas des modules et le plan de la structure pour permettre le passage de l'air ;
- Isoler les modules du sol. Il est conseillé d'adopter une distance minimale de **0.6 à 0.8 m** entre le sol et le bas des modules ; ceci permet d'éviter les salissures et la végétation sur les modules.

IV-1 3 Dimensionnement des supports



IV 1-3-1 Diagramme du corps libre



Système : Poteau

Bilan des forces : P (poids du module), F (forces dues au vent)
R et Γ (réactions)

IV 1-3-2 Etude du chargement uni axial

Dans la direction axiale le poteau n'est soumis qu'à l'action du poids du module.

Donc on a : $R = P = m \cdot g = 95 \text{ N}$

Détermination de la section :

D'après la loi de HOOKE on a :

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{P}{E \cdot S_c} \quad \rightarrow \quad S_c = \frac{L_0 \cdot P}{\Delta L \cdot E} \quad \text{ou } S_c \geq P / \sigma_{\max}$$

Application numérique:

$$\Delta L = 0.0005 \text{ m} \quad L_0 = 0.8 \text{ m} \quad E = 70.3 \text{ GPa} \quad \sigma_{\max} = 108 \text{ MPa}$$

$$S_c = (95 * 0.8) / (0.0005 * 70.3 * 10^9) = 2.2 * 10^{-6} \text{ m}$$

$$D_{\text{mini}} = 2 * (S_c / \pi)^{1/2} = 0.0017 \text{ m}$$

IV 1-3-3 Etude de la flexion

Ici, on est présence d'une poutre constituant un système isostatique. Nous utilisons la méthode des fonctions de singularité pour résoudre le problème.

En effet, les fonctions de singularité permettent d'exprimer analytiquement une discontinuité. Dans le cas des poutres, cette discontinuité est spatiale, c'est à dire qu'elle se produit à une certaine distance « a » selon la longueur de la poutre généralement associée à l'axe des « x ». On définit comme suit la fonction de singularité d'ordre « n » :

$$F_n(x) = \langle x - a \rangle^n$$

Dans cette définition, on utilise les crochets < > au lieu des parenthèses, pour bien distinguer la fonction de singularité d'une fonction ordinaire. Les propriétés de la fonction de singularité sont les suivantes :

- * Si $n < 0$ alors $F_n(x) = :$
 - lorsque $x = a$
 - $F_n(x) = 0$ lorsque $x \neq a$
- * Si $n \geq 0$ alors $F_n(x) = (x - a)^n$
 - lorsque $x \geq a$
 - $F_n(x) = 0$ lorsque $x < a$

On remarque que, pour $n \geq 0$, la fonction existe et devient équivalente à une fonction ordinaire, lorsque $x \geq a$.

Cette méthode est aussi utilisée pour calculer des flèches dues à l'effort du vent.

La procédure est la suivante :

- En intégrant $q(x)$, on obtient l'expression de l'effort tranchant

$$V(x) = \int -q(x) dx$$

- L'intégration de l'effort tranchant donne l'expression du moment fléchissant :

$$M(x) = \int -V(x) dx$$

- Enfin, on obtient l'expression de la pente et celle de la flèche à partir des équations

$$dv / dx = \int (M / EI) dx + C_1 \quad \text{et} \quad v(x) = \iint (M / EI) dx + C_1 x + C_2$$

à condition que la rigidité de flexion soit constante ; on a ainsi

$$EI\Phi = \int M dx \quad \text{et} \quad EI v = \int EI\Phi dx$$

On constate donc qu'en intégrant quatre fois l'expression du chargement de la flèche de la poutre en tout point.

Application de la méthode au support

$$(\Sigma F)_y = 0 \implies R_2 - F_1 - F_2 = 0 \quad \text{donc} \quad R_2 = F_1 + F_2$$

$$(\Sigma M)_A = 0 \implies \frac{1}{2} L F_1 + L F_2 - \Gamma = 0 \text{ donc } \frac{1}{2} L F_1 + L F_2 = \Gamma$$

$$q(x) = R_2 \langle x \rangle_{-1} - \Gamma \langle x \rangle_{-2} - F_1 \langle x - \frac{1}{2} L \rangle_{-1} \\ = (F_1 + F_2) \langle x \rangle_{-1} - L(\frac{1}{2} F_1 + F_2) \langle x \rangle_{-2} - F_1 \langle x - \frac{1}{2} L \rangle_{-1}$$

$$V(x) = -(F_1 + F_2) \langle x \rangle_0 - L(\frac{1}{2} F_1 + F_2) \langle x \rangle_{-1} + F_1 \langle x - \frac{1}{2} L \rangle_0$$

$$M(x) = (F_1 + F_2) \langle x \rangle_1 + L(\frac{1}{2} F_1 + F_2) \langle x \rangle_0 - F_1 \langle x - \frac{1}{2} L \rangle_1$$

$$EI\Phi(x) = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) x^2 + L(F_2 + \frac{1}{2} F_1) x - \frac{1}{2} F_1 (x - \frac{1}{2} L)^2 + C_1$$

$$EI v(x) = \frac{1}{6} (F_1 + F_2) x^3 + \frac{1}{2} L (F_2 + \frac{1}{2} F_1) x^2 - \frac{1}{6} F_1 (x - \frac{1}{2} L)^3 + C_1 x + C_2$$

Or à $x = 0$ on a $v(0) = 0 \implies C_2 = 0$

Aussi à $x = 0$ on a un encastrement rigide donc $\Phi(0) = 0 \implies C_1 = \frac{1}{8} F_1 L^2$

$$EI v(x) = \frac{1}{6} (F_1 + F_2) x^3 + \frac{1}{2} L (F_2 + \frac{1}{2} F_1) x^2 - \frac{1}{6} F_1 (x - \frac{1}{2} L)^3 + \frac{1}{8} F_1 L^2 x$$

La flèche est maximale à $x = L$

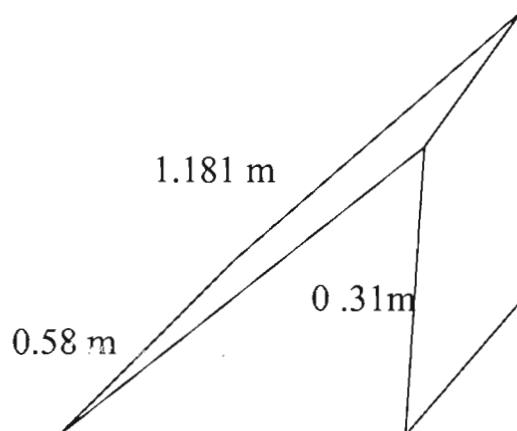
Détermination de la flèche :

F_1 et F_2 sont des forces dues au vent :

F_1 : sur le module

La surface utile sur laquelle s'applique cette force est celle qui est perpendiculaire à la direction du vent.

Cette surface est égale à :



En oblique, on a le module incliné de 15° par rapport à l'horizontal et ses dimensions.

En vertical, sa projection suivant la direction perpendiculaire à celle du vent.

$$\sin 15^\circ = L / 1.181 \text{ donc Largeur} = 0.31 \text{ m}$$

La longueur est de 0.58 m

La section = 0.18 m^2

Nous avons les valeurs suivantes des pressions concernant le vent [5]:

Vent normal : $90 \text{ daN} / \text{m}^2$ avec une pondération de 1.5 soit $35 \text{ daN} / \text{m}^2$

Vent extrême : $157.5 \text{ daN} / \text{m}^2$ avec une pondération de 1.35
soit $212.6 \text{ daN} / \text{m}^2$

Pour nos régions, nous prenons $135 \text{ daN} / \text{m}^2$

$$\text{Donc } F_1 = 24.3 \text{ daN} = 243 \text{ N}$$

F_2 est la force uniformément répartie sur le poteau.

$$F_2 = 1080 * d$$

Application numérique :

$$70.3 \cdot 10^9 * (3.14 * D^4 / 32) * v = 368.6 D + 63.371$$

Ce qui donne un diamètre de : 1.10^{-3} mm

Donc pour les supports des modules, nous choisissons un poteau de 30 mm de diamètre.

IV-2 Dimensionnement des câbles de raccordements

IV -2-1) Généralités

La plupart des éléments composants une installation solaire sont livrés avec leurs câblages. De ce fait les câbles électriques des liaisons panneau-batterie, batterie-régulateur et régulateur-onduleur ne seront pas dimensionnés ici.

La liaison entre la sortie des onduleurs et le départ du circuit de l'éclairage de l'installation se fera avec un câble dont nous exposons dans les lignes suivantes le principe de dimensionnement. Sans nuire à la méthodologie de calcul nous ferons ce travail en supposant un seul onduleur livrant la puissance tirée par les lampes à savoir 15000W.

D'autre part la jonction entre ce câble et le réseau existant de la SENELEC se fera à l'aide d'un *inverseur automatique*. Son rôle est d'annuler en temps normal la fourniture du courant par la SENELEC en faveur de celui délivré par les panneaux. En cas de défaillance de ces derniers l'inverseur doit être capable d'assurer la continuité de l'alimentation par le réseau de la SENELEC.

IV 2-2) Dimensionnement du câble

Le choix d'une section de câble nécessite le calcul de trois sections S_i , S_u , S_c qui sont respectivement la section due à l'intensité du courant, la section due à la chute de tension et celle due au courant de court-circuit. Le choix final sera le maximum entre ces trois sections. En basse tension (car $220\text{ V} < 1000\text{ V}$ en courant alternatif), les disjoncteurs sont suffisamment rapides pour que le calcul de S_c ne soit pas nécessaire. On se contentera donc de calculer S_i et S_u .

IV 2-2-1 Calcul de S_i

C'est la section minimum telle que connaissant la plus grande intensité que doit transiter le câble, la température interne de celui-ci ne dépasse pas un certain maximum. Ce calcul tient compte de :

- de la nature du conducteur (cuivre ou aluminium)
- de la nature de l'isolant
- du mode de refroidissement du câble (nombre de conducteurs dans le câble, température ambiante et mode de pose).

Le câble sera du type **U 1000 RO 2V** selon la norme française. Ce choix se justifie par le fait que ce câble peut être utilisé dans toute installation de basse tension. Nous disposons des renseignements suivants concernant l'installation.

- câble monophasé devant transiter $P = 15000 \text{ W}$ sous une tension $U = 220 \text{ V}$.
- âme en cuivre
- isolant PRC (polyéthylène réticulé)
- mode de pose : câble dans l'air
- $\cos \varphi = 1$ (nous le supposons pour les lampes)
- chute de tension admissible $x = 3.5\%$ suivant la norme française
- longueur du câble = 800 m
- calcul de l'intensité à transiter I_b

La formule donnant I_b est
$$I_b = \frac{P}{U} \Rightarrow I_b = 68.18 \text{ A}$$

- calcul de la section S_i

on calcule d'abord le courant
$$I_{z'} = \frac{K * I_b}{f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5}$$

Le facteur $f = f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5$ s'appelle facteur de déclassement. Il est lié à l'environnement lié au câble et à la température ambiante.

f_1 : est fonction de la température ambiante $T = 25^\circ \Rightarrow f_1 = 1.04$ (voir page suivante)

Température ambiante (°C)	isolation		
	caoutchouc	PVC	PRC
10	1.2	1.22	1.17
15	1.22	1.17	1.13
25	1.07	1.07	1.04
30	1	1	1
50	0.58	0.71	0.8

Tableau 3 : choix du facteur f1 [2]

f2 et f3 : sont liés aux chemins de câbles et tablettes. Dans ce cas $f2=f3=1$ puisque le câble est à l'air libre

f4 : lié à la pose sous conduite $f4 = 1$

f5 : lié à la pose sous caniveau $f5 = 1$

K est un facteur lié à la nature du disjoncteur. On peut prendre $K=1$ pour un disjoncteur modulaire.

Ainsi donc $Iz' = 65.55 \text{ A}$

Le tableau ci-dessus donne la colonne n° 5 (fonction de PRC, du mode de pose, conduites apparentes et type monophasé)

Mode de pose	isolation	Colonnes du tableau suivant 12			
		PVC, caoutchouc		Polyéthylène réticulé (PRC)	
	Nombre d'âmes du circuit	3 âmes	2 âmes	3 âmes	2 âmes
Conduits apparents		2	3	4	5
Fixations aux parois		4	5	6	7
Goulottes		2	3	4	5
Caniveaux ouverts		2	3	4	5
Sur isolateurs		5	6	7	8

Tableau 4 : choix du n° de colonne [2]

Ainsi donc le n° de colonne choisi est le n° 5 (isolant : PRC ; mode de pose : conduits apparents ; nombre de conducteurs : 2).

Le tableau suivant permettra de faire le choix de la section en fonction du n° de colonne et du courant admissible

	Section nominale des âmes (mm ³)	N° de colonnes							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Ame en cuivre	2.5	19	21	24	26	30	33	37	40
	10	44	50	57	63	71	80	88	97
	150		275	309	344	390	435	481	527
Ames en aluminium	35	76	88	97	108	125	138	151	166
	120		186	210	236	269	299	327	357

Tableau 5 : choix de la section en fonction du n° de colonne et du courant admissible [2]

Le tableau ci-dessus fournit $S_i = 10 \text{ mm}^2$ (ce choix est fonction du n° de colonne, du matériau cuivre et du courant admissible $I_z > 65.55 \text{ A}$)

Donc $S_i = 10 \text{ mm}^2$

IV 2-2 2 Calcul de Su

Le passage du courant dans un conducteur crée une chute de tension. Si celle-ci est importante la tension d'alimentation des appareils d'utilisation risque d'être inférieure à la tension minimale permise pour ces derniers ; ceci peut compromettre leur fonctionnement. La norme C15-100 limite, pour l'éclairage et pour la basse tension la chute de tension à 3.5% de la tension nominale.

- Première estimation de Su : calcul de Su'

La chute de tension en $V/ A \cdot km$ est donnée par la formule suivante

$$U * x$$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{U * x}{100 * l * Ib} \Rightarrow \Delta U = 0.14V / A * km$$

exprimé en volt la valeur de ΔU est de $0.14 * 0.8 * 68.18 = 7.64V$

cherchons la section correspondant à cette chute de tension. On sait que

$$\Delta U = 2 * [Rt * \cos \varphi + X * \sin \varphi] * Ib$$

Dans notre cas $\cos \varphi = 1$ et $\sin \varphi = 0 \Rightarrow \Delta U = 2 * Rt * Ib$ or $Rt = \rho t$. Par

substitution on tire la valeur de $S : S = \frac{2 * Ib * \rho * l}{\Delta U}$. Nous sommes à $25^\circ C$ et l'on

connaît seulement ρ_{20} . Mais la variation de Rt en fonction de ρt est de

$$Rt = R_{20} * [1 + (t - 20) * 0.004]$$

$$\Rightarrow \rho t = \rho_{20} * [1 + (t - 20) * 0.004]$$

$$\Rightarrow \rho_{25} = \rho_{20} * [1 + (25 - 20) * 0.004]$$

$$\rho_{20} = 1.8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$\Rightarrow \rho_{25} = 1.836 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$. l'application numérique pour S est de :

$$S = 262 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow Su'' = 262 \text{ mm}^2$$

- Calcul de Su''

Le câble n'étant pas utilisé dans ses conditions limites, nous essayerons une section inférieure ; prenons donc la section $Su'' = 10 \text{ mm}^2$ et vérifions si la chute de tension sera respectée.

Calcul de la température réelle atteinte θ_e

La formule donnant θ_e est la suivante :

$$\theta_e = (Ib / Ia)^2 * (\theta_m - \theta_a) + \theta_a : \text{avec}$$

$\theta_a =$ température ambiante = $25^\circ C$

$\theta_m =$ température admissible $85^\circ C$ en fonction de l'isolant PRC (voir ci-dessous.

Température admissible (θ_m)	Nature de l'isolant
60 ° C	caoutchouc
70° C	Polychlorure de vinyle (PCV)
85 ° C	Polyéthylène réticulé (PRC)

Tableau 6 : températures admissibles en fonction de l'isolant [2]

I_b : intensité réelle à transiter $I_b = 68.18A$

I_a : intensité admissible pour $Su''=10 \text{ mm}^2$ dans les conditions réelles.

I : intensité admissible pour $Su''=10 \text{ mm}^2$: $I = 71 A$ (**tableau 5**)

$I_a = I * f$ ($f = 1.04$) $\Rightarrow I_a = 73.84 A$

L'application numérique donne : $\theta_e = 76.15^\circ C$

Calcul de la chute de tension réelle atteinte à $\theta_e = 76.15^\circ C$

En monophasé $\Delta U = 2 * R_t * I_b$

$R_t = R_{20} * [1 + (t-20) * 0.004]$

$R_{20} = \rho_{20} * (l/s) \Rightarrow R_{20} = 1.4410^{-3} \Omega$

$R_{20} = 1.4410^{-3} \Omega$

$R_{76.15} = R_{20} * [1 + (76.15-20) * 0.004] = 1.76 \cdot 10^{-3} \Omega$

$\Rightarrow R_{76.15} = 1.76 \cdot 10^{-3} \Omega$

$$\Delta U = 2 * 1.76 \cdot 10^{-3} * 68.18 = 0.24 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta u * 100}{U} = (0.24 * 100) / 220 = 0.11 \%$$

$$\frac{\Delta u * 100}{U} < x \% = 3.5\%. \text{ Dans ce cas } Su = Su'' = 10 \text{ mm}^2$$

En définitive la section S du câble est $S = 10 \text{ mm}^2$

Chapitre V Asservissement et alimentation du système de pompage

Généralités

Le but de cette partie est d'asservir le fonctionnement des pompes du forage.

En effet, une fois l'eau de la S.D.E. est disponible, il va falloir le stocker quelque part pour l'utiliser en cas de pénurie.

Le rôle des pompes est alors de remplir les baches à eau du forage. Cependant, il faut nécessairement contrôler ce remplissage au moyen d'un système automatisé. En effet, il existe deux niveaux :

- Niveau bas du réservoir
- Niveau haut du réservoir

Dans le fonctionnement normal, chaque niveau doit être détecté par des capteurs puis transmis à un système de régulation qui se chargera de commander le fonctionnement des pompes.

V-1) Fonctionnement du système

L'alimentation du forage se fait via des pompes qui tirent l'eau à partir d'une bache à eau souterraine. Cette bache à eau souterraine est directement liée aux conduites de la S.D.E. Ce remplissage est contrôlé par une électrovanne commandée par un flotteur qui détecte le niveau de remplissage. Ainsi les pompes vont tirer l'eau à partir de la bache souterraine et remplir le réservoir du forage. Ces pompes sont au nombre de deux et sont couplées en parallèle. Celles ci ne fonctionnent pas en même temps de telle sorte que si l'une tombe en panne l'autre prend le relais.

Lorsque le niveau d'eau baisse dans le réservoir et atteint le niveau du relais mono-sensible (A) celui-ci passe de l'état 1 à l'état 0.

A = 0 la moto pompe se met en marche si le niveau d'eau dans la bache à eau souterraine est suffisant donc si C = 1.

L'eau monte dans le réservoir, A passe de 0 à 1.

L'eau continue de monter et atteint le niveau B ; B = 1, à ce moment la motopompe doit s'arrêter.

Si la bache à eau souterraine est vide ou insuffisamment plein, la motopompe doit s'arrêter de fonctionner, ou ne pas se mettre en marche sinon il tournerait sans arrêter et pomperait dans le vide.

Détermination de l'équation logique du fonctionnement du moteur :

A	B	C	POMPE
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

$$\text{Moteur} = \bar{a} \bar{b} c + a \bar{b} c = \bar{b} c (\bar{a} + a) = \bar{b} c$$

Schéma logique du système

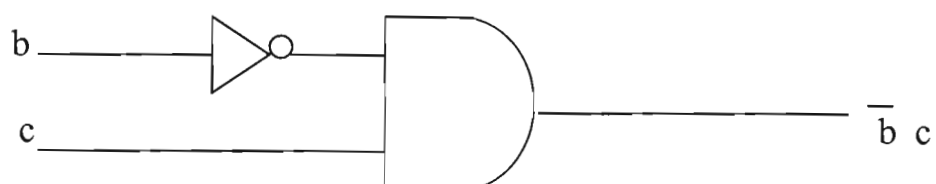
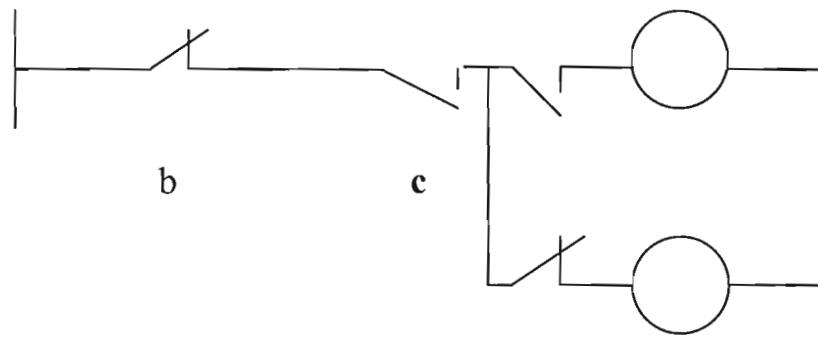


Schéma électrique du système



V-2) Etude du matériel

V-2-1) Les pompes et groupe électrogène

L'alimentation de la pompe par un groupe électrogène se justifie pour deux raisons.

- 1- D'abord, le nombre de panneaux déjà existant pour l'alimentation des bâtiments (salles de TD, TP..., amphis.) est très grand. Il se poserait même un problème d'espace si l'on prend en compte l'alimentation de la pompe par le solaire.
- 2- La durée de vie de l'onduleur serait réduite suite aux forts courants tirés par la pompe au démarrage. En effet l'onduleur est un appareil très sensible à ces pics de courants.

La plupart des moteurs ont un facteur de puissance de 0.85. Le moteur qui entraîne la pompe a une puissance de 3.5kW et fonctionne pendant 8heures par jour. La puissance apparente est $(3.5 / 0.85)$ kVA. Si nous supposons un facteur de surcharge de 120%, nous aurons une puissance apparente totale de 4.94 kVA.

La société AFRIWATT dispose d'un groupe électrogène qui peut couvrir nos besoins ; ses caractéristiques sont les suivantes :

- série : S 5000 THEPI

- puissance : 5 k VA
- tension : triphasé (400 V) ; couplage étoile
- fréquence 50Hz
- le moteur est à démarrage électrique
- capacité du réservoir : 18 litres
- autonomie : 12 heures

V 2-2) Les capteurs

V 2-2-1) PRINCIPE

Un faible courant est envoyé dans une électrode dite de référence. Lorsque le liquide est en contact avec cette électrode et une autre positionnée à un niveau désiré, le courant passe par le liquide conducteur. Ce court-circuit est détecté par un relais résistif de type ES 2001 qui donne l'alarme.

Les électrodes EF 12 et EF 16 sont des électrodes mono-contact.

L'électrode EFC 16 est une électrode bi-contact, car la jupe sert ici de référence.

V 2-2-2) APPLICATIONS

De par leur conception, très faible encombrement, les électrodes de niveau EF sont parfaites pour des contrôles de présence de fluide dans des puits de forage pour une protection de pompe. Mais aussi pour des contrôles de niveau dans des grands réservoirs, des barrages... etc.

V 2-2-3) CONSTRUCTION

Toutes les électrodes ainsi que les jupes sont en Inox 316 L. Les pièces isolantes sont en Delrin. Le câble est livré à la longueur demandée. Pour les électrodes EFC 16, c'est un câble coaxial gainé PVC.

V 2-2-4) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Jupe : Inox 316 L

Electrode : Inox 316 L

Isolant : Delrin (Polyacetal)

Température maxi : 100 °C

Fixation : Suspendu par le câble

Boite à borne : Possibilité Aluminium ou ABS.

V 2-2-5) DIMENSIONS

Type	Ø électrode	Longueur
EF 12	12 mm	110 mm
EF 16	16 mm	127 mm
EFC 16	16 mm	157 mm

V 2-2-6) CODES ET REFERENCES

Code	Références	Références
542 012	EF 12 (HE 12)	Electrode étroite de forage Ø12
542 016	EF 16	Electrode Ø16
542 018	EFC 16	Electrode coaxiale Ø16
542 112	CNEF	Câble pour électrode EF 12 et EF 16
542 118	CVEFC	Câble coaxial pour électrode EFC 16

Pour le grafctet et le schéma global du système de pompage, voir respectivement annexes M et N.(pages 91 ;92).

Chapitre VI **Plan de maintenance de l'installation**

Les modules photovoltaïques sont des éléments simples et robustes qui nécessitent un entretien minutieux. Il faut s'assurer à intervalle de temps régulier que leur surface est propre et que le câblage électrique est en bon état. Les performances électriques du panneau doivent être testées afin d'identifier les éventuels modules défectueux.

VI 1) **Nettoyage des modules**

Il s'agit de maintenir la transparence de la couverture des cellules qui peut être altérée par la poussière, les débris végétaux... En général un nettoyage une fois ou deux par trimestre est suffisant. Un rinçage de la surface des modules à l'eau est généralement suffisant. Après le rinçage, la surface peut éventuellement être essuyée avec un chiffon. Il est préférable de nettoyer les modules sous faible éclairage (le matin tôt ou tard le soir).

VI 2 **Vérification du câblage électrique**

Le couvercle des boîtes de jonction doit être retiré. On vérifie alors :

- le serrage des vis des bornes,
- l'état du câblage,
- l'étanchéité de la boîte.

VI 3 **Vérifications des caractéristiques des modules**

A l'inverse des essais précédents, cette vérification doit être effectuée sous rayonnement maximal.

Instruments de mesure et interprétations des résultats

IL faut d'une part disposer d'un voltmètre capable de mesurer la tension en circuit ouvert du module. Cette tension mesurée sur le voltmètre doit être

égale à la tension de circuit ouvert du module, soit par exemple de l'ordre de 18 V pour un module de 12 V soumis à un éclairage maximal.

D'autre part, il faut disposer d'un ampèremètre capable de mesurer le courant de court circuit du module. Ce courant mesuré doit être égal au courant de court circuit d'un module. Il est légèrement supérieur (d'environ 20%) du module lorsqu'il débite sur une batterie d'accumulateurs. Dans le cas des modules (80wc,12 V), ce courant est de l'ordre de 6 A (5A * 1.2).

NB L'essai doit être mené avec beaucoup de soins et de précautions : le panneau est capable de fournir sa puissance maximale ; la mise en court circuit doit être aussi brève que possible.

VI 4 Entretien des accumulateurs

L'entretien de la batterie est simple. Une fois vérifiée la bonne aération du local et l'état du support des accumulateurs (propreté et absence d'humidité), une inspection visuelle permet de vérifier le niveau de l'électrolyte et l'état des connexions électriques. Le cas échéant :

- l'électrolyte doit être remis à niveau par addition d'eau distillée exclusivement ;
- les connexions peuvent être nettoyées. Ce nettoyage doit être effectué avec précaution. De préférence la batterie est déconnectée de l'utilisation et du panneau photovoltaïque pendant cette opération.

VI 5 Entretien de l'onduleur, du régulateur

Il s'agit d'équipements électroniques et électromécaniques qui ne nécessitent aucun entretien particulier sauf à s'assurer de la propreté des composants et du bon état du boîtier.

Cependant la maintenance préventive de ces éléments doit comporter, au moins une fois par an, une vérification du fonctionnement :

- fonctionnement des relais ;
- valeur du seuil de régulation
- courant de sortie de l'onduleur : tension, intensité, forme.

chap. VII **Evaluation financière du projet**

Dans ce chapitre nous étudierons dans un premier temps le coût lié à l'investissement initial. Il s'agira de donner les prix des panneaux, des batteries, des régulateurs, des onduleurs, de l'inverseur, du câble reliant le système

photovoltaïque au réseau de la SENELEC. Dans un deuxième temps nous évaluerons le prix qui serait payé à la SENELEC sans l'utilisation du solaire. Nous ferons par la suite les comparaisons qui s'imposeront.

VII-1) **Coût de l'investissement initial pour les salles de****TD ; TP ; toilettes...**

Ce coût est résumé dans les tableaux ci-après

Eléments	Caractéristiques			
	Nombre	Prix unitaire (CFA)	Prix total (CFA)	Fournisseur
Modules	240 (19200Wc)	3400 le Wc	65.280.000	AFRIWATT
Régulateurs	20 (30A ;24)	115.000	2.300.000	AFRIWATT
Batteries	199 (100 Ah;12 V)	75.000	14.925.000	AFRIWATT
Câbles	1(10 mm ² ;70 A)	12.250 le km	9800	Commerce
Inverseur	1	120.944	120.944	CGE
Onduleurs	6 (2300 VA ;24 V)	1.440.000	8.640.000	AFRIWATT
<u>Prix total : 91.275.744 FCFA</u>				

VII-1) Coût de l'investissement initial pour les
amphithéâtres

Par rapport à ce qui a été dit plus haut on calculera le coût pour l'amphi. pédagogique. Ce coût sera ensuite multiplié par deux (2) pour les deux amphis. Ce coût est résumé dans les tableaux ci-après

Eléments	Caractéristiques			
	Nombre	Prix unitaire (CFA)	Prix total (CFA)	Fournisseur
Modules	192 (15360Wc)	3400 le Wc	52.224.000	AFRIWATT
Régulateurs	16 (30A ;24)	115.000	1.840.000	AFRIWATT
Batteries	158 (100 Ah;12 V)	75.000	11.850.000	AFRIWATT
Câbles	1(10 mm ² ;70 A)	12.250 le km	9800	Commerce
Inverseur	1	120.944	120.944	CGE
Onduleurs	5 (2300 VA ;24 V)	1.440.000	7.200.000	AFRIWATT
<u>Prix total : 73.244.744F CFA *2 =146.489.488 FCFA</u>				

Récapitulation : l'investissement initial total du projet (volet énergie) est de

$$It = 91.275.744 + 146.489.488 = 237.765.232 \text{ FCFA.}$$

VII-3 Coût à supporter en cas de fourniture par la SENELEC

Prix du kWh (Usage Domestique Général) au SENEGAL durant la deuxième tranche est 83.13 FCFA avec une TVA de 10% ce qui fait une somme totale de 91,443 F/kWh..

Salles TD et TP

Consommation : 45 kWh par jour

Ce qui correspond à 4115 F par jour

Amphithéâtres

Consommation : $36 * 2 = 72$ kWh par jour

Ce qui correspond à 6584 FCFA par jour

Facture journalière

$$C_j = 4115 + 6584 = 10700 \text{ FCFA}$$

Facture mensuelle

$$C_m = 30 * C_j = 321.000 \text{ FCFA F}$$

Facture annuelle

$$C_a = 12 * C_m = 3.852.000 \text{ FCFA}$$

Délai de récupération du capital(DL)

Il se calcule par la formule $DL = (I_t / C_a) = 237.765.232 / 3.852.000 = 61$ ans.

CONCLUSION

Ce projet a pour but d'expérimenter l'installation d'un système d'énergie solaire au sein du campus universitaire UCAD₂.

L'évaluation du besoin en puissance qui a constitué la partie la plus importante du projet a été menée en deux phases :

Dans la première, nous avons trouvé les luminaires déjà installés au niveau des salles de TP et de TD ; la puissance utilisée dans les calculs est donc celle que nous avons trouvée sur place.

Dans la deuxième phase, nous avons exposé une méthode de calcul de l'éclairage des deux amphithéâtres; ce qui nous a donné la puissance à ce niveau.

Par la suite nous avons pu dimensionner l'ensemble du système photovoltaïque. Nos résultats ont été comparés à ceux du logiciel **EOS** (Etude et Optimisation du système Solaire) de la société AFRIWATT qui fournira le matériel nécessaire en cas de réalisation de ce projet.

Pourtant beaucoup d'installations solaires à petite échelle marchent bien au Sénégal. Ce constat nous amène à dire qu'il existe une certaine puissance qui donne une rentabilité maximale pour toute installation solaire.

RECOMMANDATIONS

L'étude qui a été menée montre qu'il existe une puissance P qui donne une rentabilité maximale R_{max} pour toute installation solaire.

Nous recommandons de mener une étude pour déterminer la valeur de P qui donne R_{max} . Cette étude peut être menée en fonction des données historiques.

D'autre part, nous recommandons de distribuer cette puissance aux locaux prioritaires comme les salles de TP, TD.

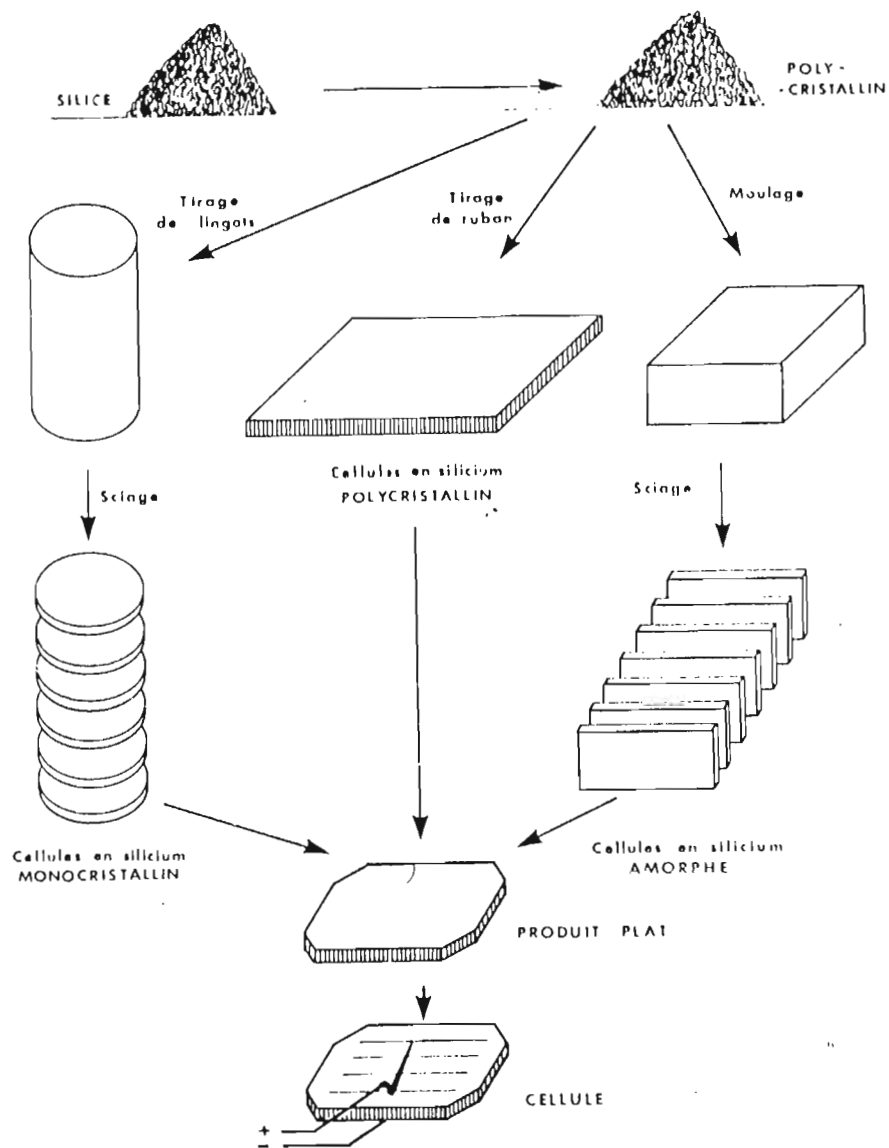
Enfin on peut tester l'utilisation d'accumulateurs chargés par le réseau de la SENELEC et qui vont restituer cette énergie en cas de coupure.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Théodore FCGELMAN / Régis MONTLOIN : installations photovoltaïques dans l'habitat isolé. Mai 1983 (édisud)
- [2] M. Ibrahima NDIAYE cours d'installations électriques : (Ecole Supérieure Polytechnique de THIES 2000/20001)
- [3] Catalogues et logiciels de la société AFRIWATT
- [4] Documents tirés d'Internet
- [5] Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes : édité en Janvier 1978
- [6] Résistance des matériaux : BAZERGUI

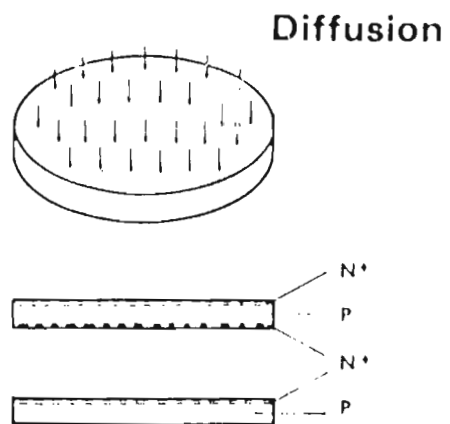
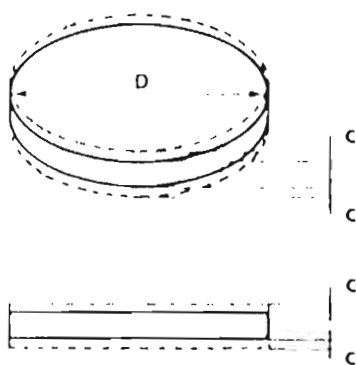
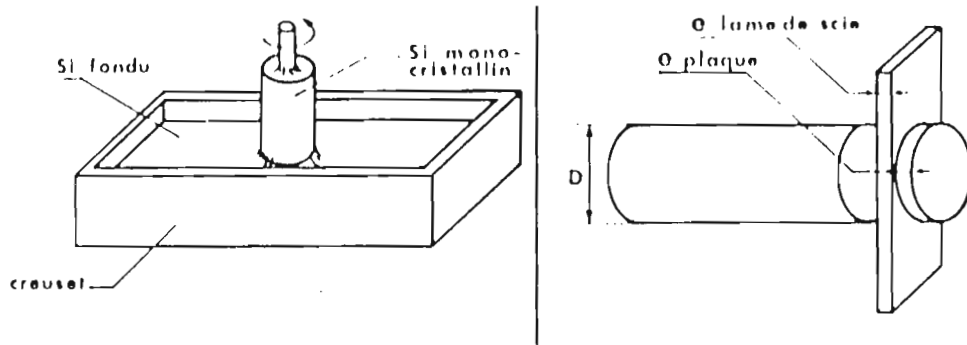
ANNEXE A

Processus de productions des cellules



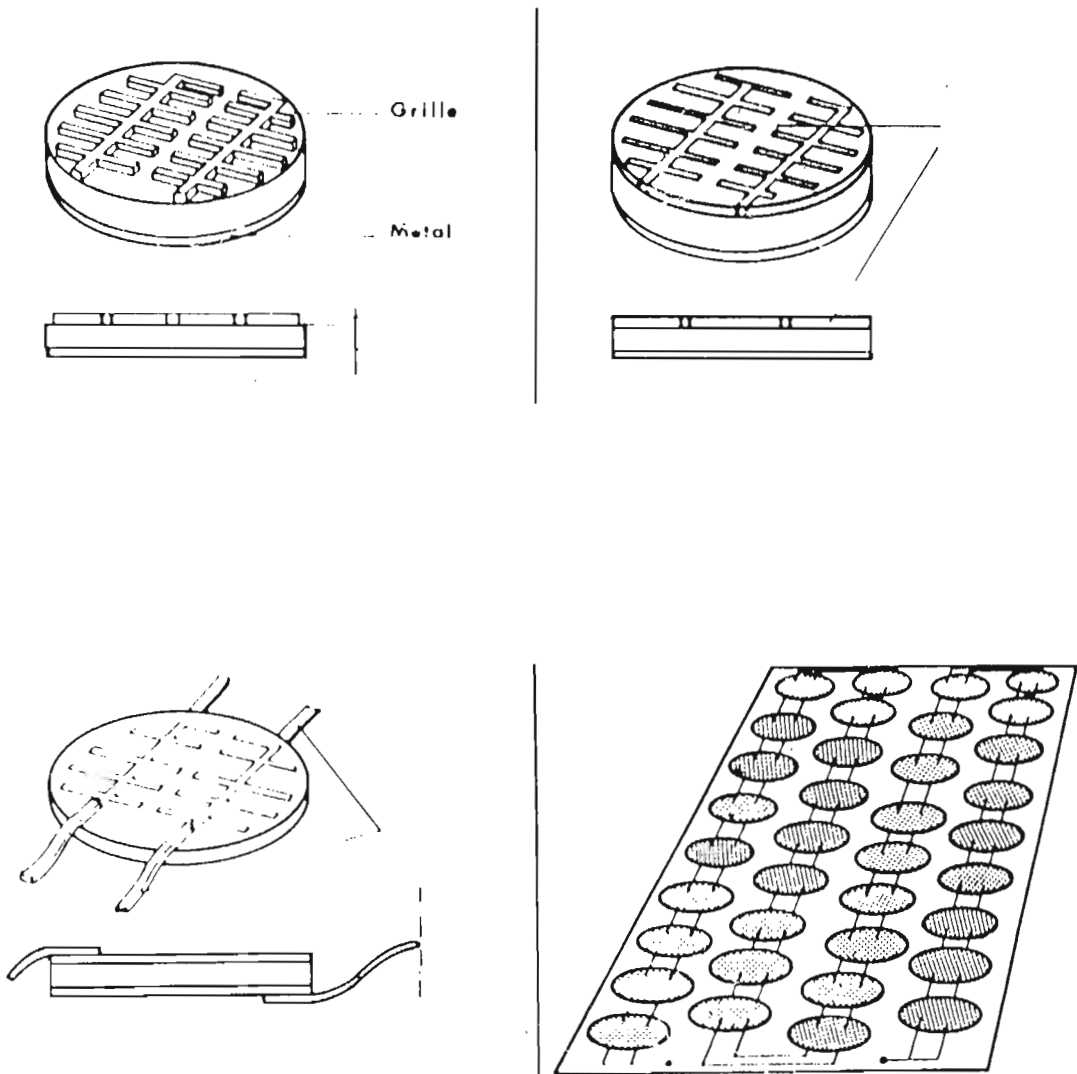
ANNEXE B1

Processus de productions des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin



ANNEXE B2

Processus de productions des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin (suite)



ANNEXE C 1

Plan des bâtiments (aile pédagogique RDC)

ANNEXE C 2

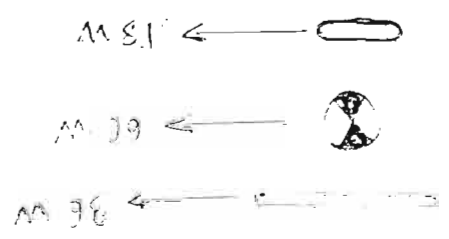
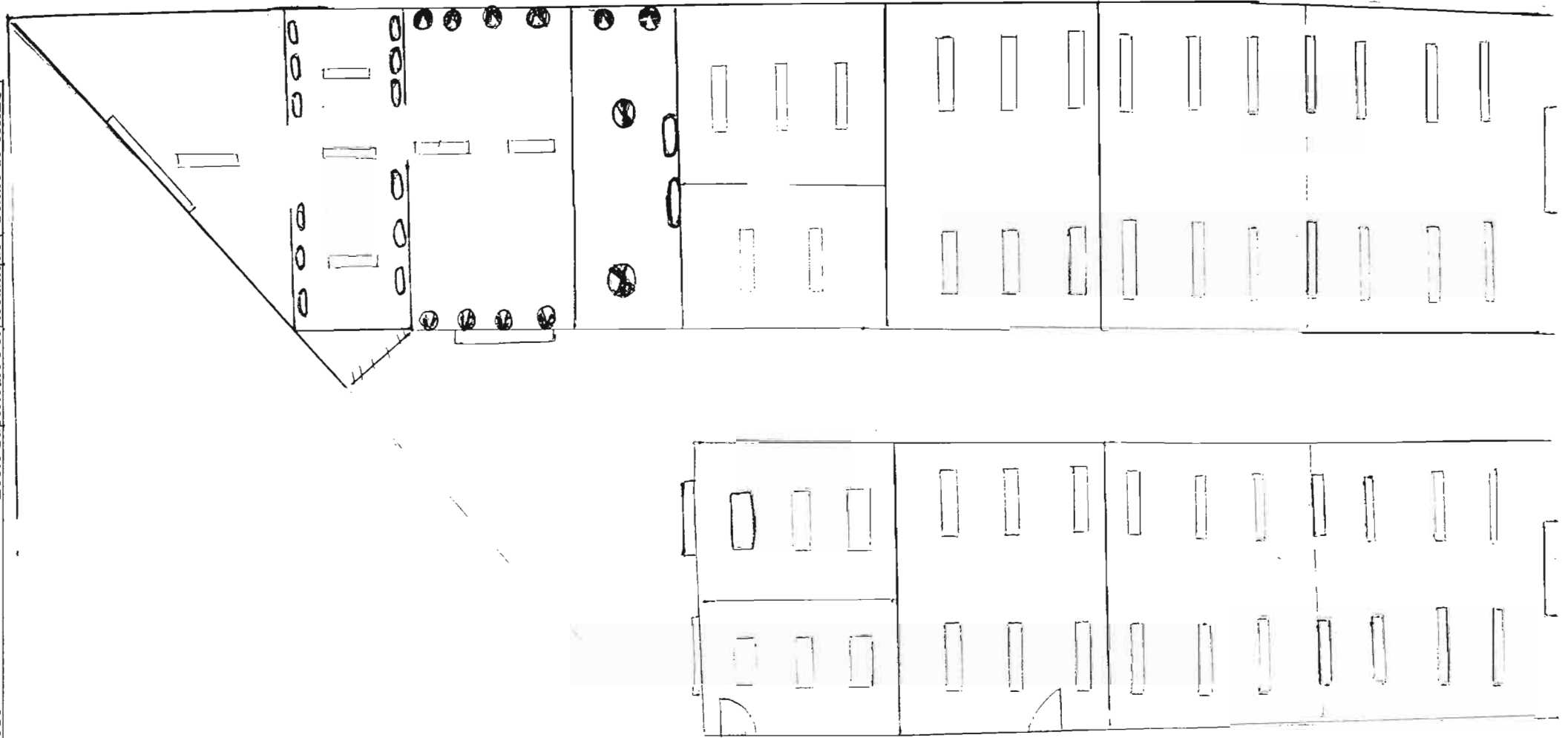
Plan des bâtiments (aile pédagogique premier étage)

ANNEXE C 3

Plan des bâtiments (aile innovation RDC)

ANNEXE C 4

Plan des bâtiments (aile innovation premier étage)



Annexe C5

Répartition des points lumineux de l'annexe C1

ANNEXE D1

Tableau de l'irradiation globale mensuelle à Dakar

Mois \ Années	Années															
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
Janvier	147,8	153,6	163,2	190,6	168,2	150,9	157,5	176,6	156,7	152,5	157,0	151,6	139,3	163,5	123,0	167,8
Février	162,0	175,4	179,2	161,5	170,2	174,9	170,6	173,0	182,0	173,6	167,6	176,6	177,6	166,1	154,9	164,3
Mars	214,6	233,9	237,4	235,9	201,4	193,0	221,3	203,6	214,1	200,9	184,8	205,9	187,2	206,0	212,2	203,6
Avril	193,4	225,4	223,3	206,2	205,5	205,0	203,8	215,9	212,0	208,1	205,1	215,1	197,9	199,1	206,0	215,3
Mai	215,5	236,4	222,3	205,4	217,5	217,0	195,3	218,8	226,5	224,3	207,4	202,5	187,6	205,2	199,9	219,9
Juin	185,3	226,7	204,7	195,3	196,4	192,0	168,4	190,4	193,7	203,2	178,0	172,1	166,1	179,3	206,1	201,8
Juillet	174,2	190,8	172,9	184,6	179,5	196,0	170,0	170,9	149,2	174,2	172,9	152,0	165,3	169,0	174,1	183,9
Août	159,7	183,5	159,0	153,4	147,3	198,2	155,1	175,5	153,6	171,6	182,9	164,3	165,1	168,2	187,3	145,8
Sept.	145,0	176,6	165,2	158,6	169,3	195,8	171,2	165,6	143,8	148,5	163,2	164,6	158,9	162,7	178,4	155,2
Octobre	162,5	177,7	165,0	174,7	174,2	* 175,7	175,8	188,2	172,3	176,5	182,9	173,7	173,7	177,1	189,5	171,2
Novembre	143,9	174,3	174,0	146,7	151,2	* 154,4	145,1	154,6	157,1	156,1	164,4	135,9	158,4	156,2	153,2	144,2
Décembre	157,8	150,4	150,3	138,7	150,4	* 144,4	167,4	133,3	155,4	138,4	130,1	135,6	134,8	140,3	145,1	138,2
TOTAUX	2061,7	2304,7	2216,5	2151,6	2131,1	2187,3	2104,5	2172,4	2116,4	2127,9	2093,3	2049,9	2011,9	2092,7	2129,7	2111,2

ANNEXE D2

Tableau de la durée moyenne d'insolation

Durée moyenne mensuelle d'insolation (heures)

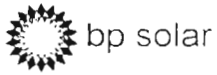
Station	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Louga	7.5	7.8	8.3	8.8	8.1	7.9	8.1	8.3	7.6	8.6	8.4	7.7
Bambey	7.2	7.6	8.2	8.3	7.7	7.1	7.2	7.0	7.6	7.9	7.9	7.2
Tamba	8.6	8.8	9.1	9.3	8.9	8.6	8.0	7.9	8.3	8.8	9.3	3.4
Podor	6.9	7.4	7.7	8.6	8.1	7.6	8.2	8.4	7.7	8.2	8.0	7.6
Ziguinchor	8.3	8.6	9.1	9.3	9.0	7.9	6.4	5.8	6.7	8.0	8.7	8.1
Linguère	7.9	8.2	8.8	9.1	8.8	8.6	8.7	8.5	8.2	8.9	8.7	8.0
Matam	8.0	8.2	8.9	9.1	8.8	8.4	8.7	8.4	8.3	8.9	8.9	8.4
Dakar - Yoff	6.8	7.6	8.6	8.8	8.4	7.8	7.2	7.0	7.2	8.0	7.8	7.1
Nioro du Rip	7.5	7.9	8.4	8.6	8.1	7.4	7.5	6.8	6.9	8.0	8.0	7.2

ANNEXE D3**Tableau de la température minimale mensuelle**

<i>Station</i>	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Louga	16.4	17.8	18.9	19.1	20.6	22.6	24.4	23.5	24.2	23.1	20.3	17.7
Bambey	17.3	17.9	19.0	19.5	21.0	22.9	24.3	23.8	23.5	22.5	19.4	17.3
Tamba	17.7	20.2	22.9	25.7	26.8	25.5	23.5	23.0	22.6	22.7	19.5	17.4
Podor	15.9	18.3	20.3	22.2	24.9	25.2	25.3	25.3	25.5	24.6	20.8	17.1
Ziguinchor	16.6	17.7	19.4	20.3	22.0	23.7	23.6	23.6	23.5	23.2	20.6	17.2
Linguère	16.7	18.9	18.9	22.3	24.2	24.6	24.6	24.5	24.2	23.3	20.1	17.4
Matam	16.4	19.2	22.2	25.3	28.4	28.0	26.3	25.5	24.9	24.9	20.8	17.1
Dakar - Yoff	17.2	17.4	18.3	19.0	20.6	23.3	24.5	25.0	25.0	25.0	22.8	19.9
Nioro du Rip	15.5	17.0	19.2	20.8	22.5	23.8	23.9	23.9	23.0	22.7	18.1	14.9

ANNEXE E1

Résultats de calcul par le logiciel EOS de AFRIWATT(salles de TD ;TP ...)



Logiciel EOS

BILAN de CONSOMMATION

Apex BP Solar

DATE: 30.5.01

Etude réalisée pour Monsieur DIOP POLYTECHNIQUE THIES
Alimentation pour Eclairage solaire
Version STD

OPERATEUR: BALDE

Ces données sont calculées à partir des éléments fournis par le client

Appareil à alimenter	Nb ou état	Puissance (W)	Tension (V)	Temps (h)	Consommation (Wh)
Matériel solaire	1	15000	24	3	45000.00

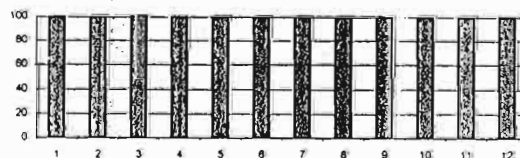
45 000.00 Wh/jour

Consommation totale prévisionnelle : 45 000,00 Wh/jour
soit : 1 875,00 Ah/jour
Tension du générateur solaire : 24 Volts

Variation mensuelle

	%	Ah / j moyen
JAN	100	45000,00
FEV	100	45000,00
MAR	100	45000,00
AVR	100	45000,00
MAI	100	45000,00
JUIN	100	45000,00
JUL	100	45000,00
AOUT	100	45000,00
SEP	100	45000,00
OCT	100	45000,00
NOV	100	45000,00
DEC	100	45000,00

Prévision d'utilisation annuelle pour générateur (en pourcentage)





bp solar

Logiciel EOS

ETUDE et OPTIMISATION de SYSTEME SOLAIRE

DATE: 30.5.01
OPERATEUR: BALDE

GENERALITE CLIENT

CLIENT: M. Mosieur DIOP POLYTECHNIQUE THIES
LIAISON: BALDE
UTILISATION: Eclairage solaire
VERSION: STD

GENERATEUR OPTIMISE

PRODUCTION	STOCKAGE
PUISSANCE TOTALE: 19200 Wc	TENSION: 24 Vdc
TYPE DE MODULE: 80 Wc	CAPACITE: 9919 Ah c100
QUANTITE: 240 Modules	AUTONOMIE: 72 h
CONFIGURATION: 2 S x 120 P	3 jours

PARAMETRES AYANT PERMIS L'OPTIMISATION

ENERGETIQUES	GEOGRAPHIQUES	METEOROLOGIQUES
ONSO MOY. QUOTIDIENNE: 1875 Ah/j SOIT: 45000 Wh/j	SITE: DAKAR PAYS: Sénégal HEMISPHERE: Nord LATITUDE: 14,73	CODE METEO: NSN2675 TEMP. AMB. MAXI: 35 °C TEMP. AMB. MINI: 0 °C VENT MAXI: 200 km/h
ONSO MAXI. QUOTIDIENNE: 1875 Ah/j		

SERVICE ADMISSIBLE PAR LE GENERATEUR

Période	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY. AN.
Energie reçue à 40° / horiz.	6457	6998	6675	5879	5049	4456	4134	4296	4905	6033	6219	6088	5599 Wh/m2/j
Production (Wh/j) du générateur	70663	76588	73053	64340	55262	48769	45240	47015	53678	66021	68058	66631	61276 Wh/j
Production (Ah/j) du générateur	2944	3191	3044	2681	2303	2032	1885	1959	2237	2751	2836	2776	2553,2 Ah/j
Profil d'utilisation du générateur	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100 %
Consommation (Wh/j) Moyenne / jour	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000 Wh/j
Consommation (Ah/j) Moyenne / jour	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875	1875,0 Ah/j
Balance énergétique Prod/Conso	57%	70%	62%	43%	23%	8%	1%	4%	19%	47%	51%	48%	+70 % max +36 % moy +1 % min
Capacité batterie en fin de mois	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100 %

DETAILS TECHNIQUES GENERATEUR

MODULE PHOVOLTAIQUE

Valeurs suivant normes: 1000W/m2, A.M. 1,5 et TJ: 25°C

PUISSANCE MAXIMALE: 80 Wc
TENSION A Pmax: 17 V
INTENSITE A Pmax: 5 A

REGULATION

Type donné à titre indicatif suivant configuration du générateur

TYPE: Electronique
MODE DE GESTION: Seuils de tension

STOCKAGE

TYPE D'ELEMENT: Spécial solaire
TECHNOLOGIE: Pb ouvert

PERFORMANCES:	à 20°C	20 °C	
CAPACITE TOTALE:	9919	9919	Ah c100
AUTONOMIE SOUHAITEE:	72	72	heures
AUTONOMIE OBTENUE:	72	0	heures
DECHARGE MAXI SOUHAITEE:	60	60	%
DECHARGE MAXI OBTENUE:	60	60	%



bp solar

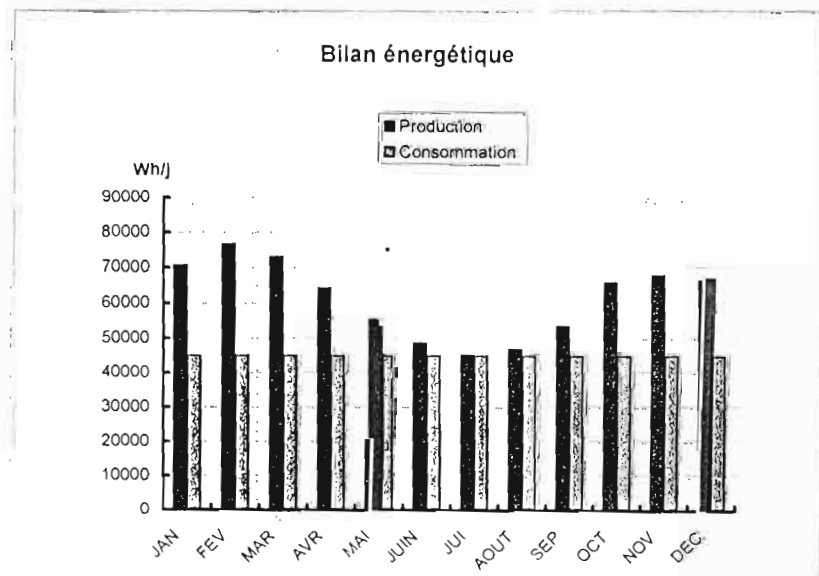
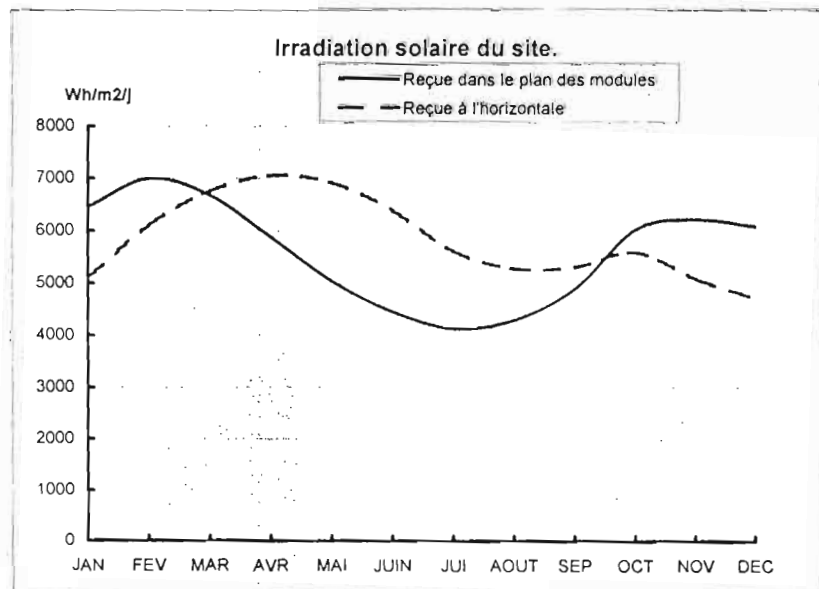
Logiciel EOS

ETUDE et OPTIMISATION de SYSTEME SOLAIRE

L'énergie
de la situation

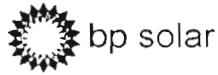
Etude réalisée pour Mosieur DIOP POLYTECHNIQUE THIES
Alimentation pour Eclairage solaire
Version STD
Site d'installation DAKAK - Senegal

Générateur de 240 module(s) de 80Wc soit 19200Wc
Batterie 24Vdc - 9919Ahc100



ANNEXE E2

Résultats de calcul par le logiciel EOS de AFRIWATT (amphithéâtre)



Logiciel EOS
BILAN de CONSOMMATION

Apex BP Solar

Etude réalisée pour Sény BODIAN
Alimentation pour Eclairage solaire
Version STD

DATE: 28.6.01
OPERATEUR: Foula BALDE

Ces données sont calculées à partir des éléments fournis par le client

Appareil à alimenter	Nb ou état	Puissance (W)	Tension (V)	Temps (h)	Consommation (Wh)
Materiels solaires	1	12000	24	3	36000.00

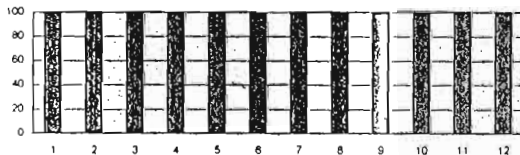
36 000,00 Wh/jour

Consommation totale prévisionnelle : 36 000,00 Wh/jour
soit : 1 500,00 Ah/jour
Tension du générateur solaire : 24 Volts

Variation mensuelle

	%	Ah / j moyen
JAN	100	36000,00
FEV	100	36000,00
MAR	100	36000,00
AVR	100	36000,00
MAI	100	36000,00
JUIN	100	36000,00
JUI	100	36000,00
AOUT	100	36000,00
SEP	100	36000,00
OCT	100	36000,00
NOV	100	36000,00
DEC	100	36000,00

Prévision d'utilisation annuelle pour générateur (en pourcentage)





bp solar

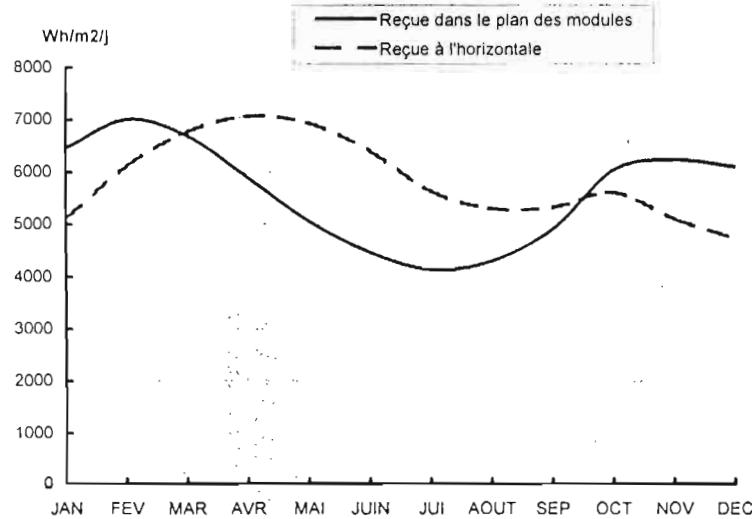
Logiciel E O S
ETUDE et OPTIMISATION de SYSTEME SOLAIRE

*L'énergie
de la situation*

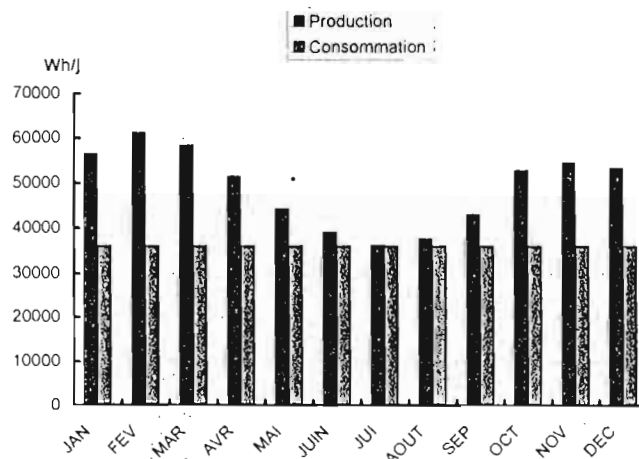
Etude réalisée pour Sény BODIAN
Alimentation pour Eclairage solaire
Version STD
Site d'installation DAKAR - Senegal

Générateur de 192 module(s) de 80Wc soit 15360Wc
Batterie 24Vdc - 7935Ahc100

Irradiation solaire du site.



Bilan énergétique



ANNEXE F

Tableau 7 : choix du niveau d'éclairément

CATÉGORIES	EXEMPLES	LUX	CATÉGORIES	EXEMPLES	LUX
BÂTIMENTS AGRICOLÉS	Poulaillers	50	MÉCANIQUE GÉNÉRALE	Machines outils et Ateliers, soudure	300
	-- Couloirs d'alimentation	150		-- Travail de pièces moyennes	500
	-- Préparation des aliments du bétail	150		-- Travail de petites pièces	750
	Laiterie	300		-- Travail très délicat ou de très petites pièces	1 000 à 2 000
INDUSTRIES ALIMENTAIRES	-- Brassage	300	INDUSTRIES TEXTILES	Cardage, étirage	300
	-- Préparation chocolat brut	150		Bobinage	300
	-- Conditionnement bouchées confiserie	500		-- Filage	500
	-- Conserveries, mise en boîte	500		-- Tissage gros ou clair	500
	-- Laiteries	300		-- Tissage fin ou foncé	750
	-- Cuisson	300		-- Comparaison de couleurs	1 000
INDUSTRIES DU BOIS	-- Sciages	150	INDUSTRIE DU VERRE	-- Chaufferie	150
	-- Travail à l'établi	300		-- Composition	150
	-- Travail aux machines	500		-- Soufflage ou moulage	300
	-- finition, polissage	500		-- Décoration	500
	-- Contrôle final	750		Gravure	500
INDUSTRIES CÉRAMIQUES	-- Tours	150	INDUSTRIE DU LIVRE	-- Typographie	500
	-- Moulage, presses	300		-- Pupitre de composition	750
	-- Vernissage	500		-- Lithographie	1 000
	-- Décoration	500		-- Reliure de livres	500
INDUSTRIES CHIMIQUES	-- Éclairage de circulation	200	BUREAUX ET LOCAUX ADMINISTRATIFS	-- Bureaux de travaux généraux	500
	-- Broyeurs, malaxeurs	300		-- Dactylographe	500
	-- Calandrage, injection	500		-- Salle des ordinateurs	500
	-- Fabrication des pneus	250		-- Salle de dessin, tables	1 000
	-- Salles de contrôle	500		-- Bureaux paysagés	750 à 1 000
	-- Laboratoires	500			
INDUSTRIE DU CUIR	-- Vernissage	500	INDUSTRIE DU VÊTEMENT	-- Piqûre	1 000
	-- Couture	1 000		-- Contrôle final	1 000
	-- Comparaison de couleurs	1 000			
CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES	-- Montage (appareils de radio)	750	ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT	-- Salles de classe	300
	-- Travail de pièces moyennes	500		-- Tableaux	500
	-- Travail de petites pièces	750		-- Amphithéâtres	300
	-- Travail très délicat ou de très petites pièces	1 500 à 2 000		-- Laboratoires	500
				-- Salles de dessin d'art	500
FONDERIE	-- Nettoyage	200	SALLES DE SPECTACLE	-- Bibliothèques, tables	500
	-- Modelage grossier	200		-- Foyers	150
	-- Modelage fin	500		-- Amphithéâtres	100
	-- Sablage	300		-- Salles de cinéma	50
	-- Fabrication des noyaux	500		-- Salles des fêtes	300
CIRCULATION	-- Couloirs, escaliers selon les locaux desservis	100 à 300	ESPACES DÉCOUVERTS	-- Entrées, cours, allées	30
				-- Docks, quais	75
SALLES D'EXPOSITION	-- Salles publiques	500	EXPOSITIONS SENSIBLES A LA LUMIÈRE	-- Stations service	300
				-- Éclairage général	150
EXPOSITIONS INSENSIBLES A LA LUMIÈRE	-- Éclairage général	300	EXPOSITIONS PARTICULIÈREMENT SENSIBLES A LA LUMIÈRE	-- Éclairage général	50

ANNEXE G

Tableau 8 : choix des sources lumineuses

CARACTÉRISTIQUES PROCÉDÉS	GRANDEURS ELECTRIQUES							
	P	FLUX LUMINEUX Lumens	RENDU DES COULEURS R_e	TEMPÉRATURE DES COULEURS		FORMES ET ASPECT	EFFICACITÉ LUMINEUSE ET DURÉE DE VIE CONFORT VISUEL ET UTILISATION	
				°K				
INCANDESCENCE	50 à 2000 W	350 à 37 000	Bon rendu des couleurs	2 800 à 3 000		Très diverses Claires Dépolies Opalisées	10 à 20 lm/W 1 000 h à 2 000 h	Éclairage doux Les plus utilisées pour l'éclairage domestique. Éclairage énergétique élevé (lampes aux halogènes). Chauffage (lampes infrarouges).
A DÉCHARGE A BALLON FLUORESCENT	50 à 2000 W	1 700 à 125 000	Moyen Acceptable en industrie	3 300 à 4 300		Revêtement fluorescent	30 à 60 lm/W 6 000 h	Cours et abords d'usines. Aires de stockage. Halls, hangars, ateliers de grande hauteur.
A DÉCHARGE A IODURES MÉTALLIQUES	400 à 2000 W	30 000 à 190 000	Bon	4 000 à 6 000		Tubulaires Ovoïdes satinées	75 à 100 lm/W 4 000 h à 6 000 h	Spectre très riche dans les blancs. Prises de vues télévision. Terrains de sport, tennis, parkings. Éclairage industriel et public.
MIXTES A MERCURE ET INCANDESCENCE	160 à 500 W	3 000 à 12 500	Rendu des couleurs peu fidèle	4 000 à 4 500		Revêtement fluorescent	20 lm/W 6 000 h	Grands ateliers, entrepôts, hangars. Permet d'augmenter l'éclairage par substitution des lampes à incan- descence.
TUBES FLUORESCENTS	20 à 105 W	850 à 8 000	Moyen ou acceptable suivant les types de tubes	3 000 à 6 000		Tubulaires Tubulaires miniatures Circulaires	25 à 75 lm/W > 4 000 h	Possibilité de choisir la température de couleur la mieux adaptée. Ne sont utilisées pratiquement que dans les domaines industriels (bureaux, ateliers, ...).
VAPEUR DE SODIUM	35 à 400 W	4 600 à 40 000	Acceptable ou très mauvais rendu des couleurs	2 200		Tubulaires Ovoïdes satinées	55 à 185 lm/W 8 000 h	Éclairage des grands espaces publics et industriels. Autoroute, parkings, chantiers.

ANNEXE H

Tableau 9 : choix des types de tubes

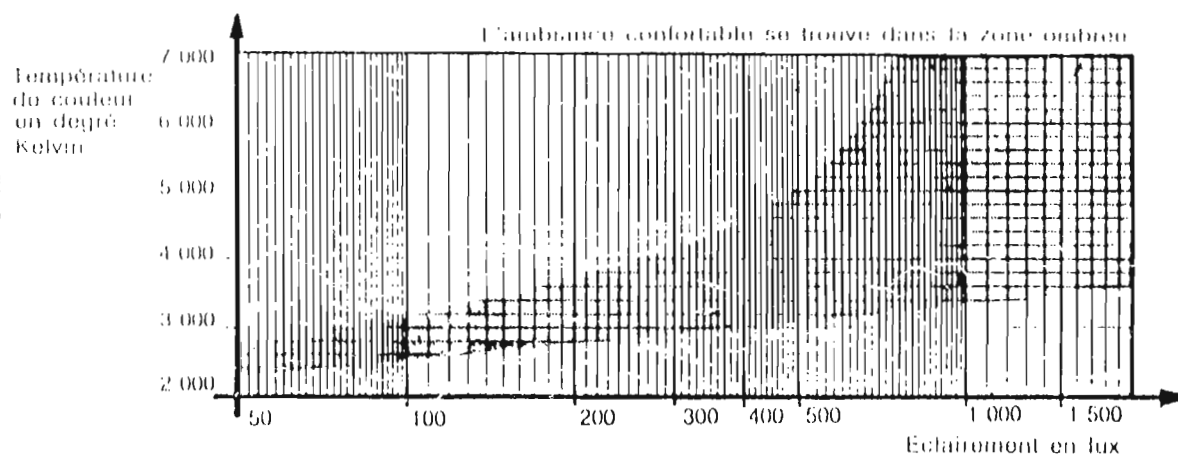
TYPE DE TUBE	PUISSANCE W	DIMENSIONS		CULOT	R ₂	°K			FLUX LUMINEUX					
		∅ mm	L mm			1	2	3	CHROMA CONFORT 82	CHROMA SOLEIL 83	CHROMA BRILLANT 84	BLANC SOLEIL 32	BLANC BRILLANT 34	LUMIÈRE DU JOUR 55
Lampes fluorescentes chroma- tiques, haut rendement, allu- mage par starter	18	26	590	G 13	35	2 700	3 000	4 300	1 300 (1)	1 450 (2)	1 450 (3)			
	30	26	594	G 13	35	2 700			2 300 (1)					
	36	26	200	G 13	35	2 700	3 000	4 300	3 250 (1)	3 450 (2)	3 450 (3)			
	58	26	500	G 13	35	2 700	3 000	4 300	5 250 (1)	5 400 (2)	5 400 (3)			
Lampes fluorescentes chroma- tiques, haut rendement, allu- mage par starter, miniature	8	15	288	G 5	35	2 700			450 (1)					
	13	15	517	G 5	35	2 700			1 000 (1)					
Gamme chromatique, standard, allumage par starter	20	38	590	G 12	35-32*	3 000	4 000	6 500				350 (1)	350 (2)	300 (3)*
	30	38	594	G 12	35	3 000	4 000					2 100 (1)	1 400 (2)	
	40	38	200	G 13	35-32*		4 000	6 500					2 100 (2)	2 000 (3)*
	65	38	500	G 13	35-32*	3 000	4 000	6 500				3 250 (1)	3 300 (2)	3 300 (3)*
Gamme chromatique standard, circulaire, allumage par starter	32	305			35			4 000						1 400 (3)
	40	410			35			4 000						1 350 (3)
Gamme chromatique standard, allumage instantané	20	38	590	G 13	35			4 000						300 (2)
	40	38	200	G 13	35	3 000	4 000					2 100 (1)	2 100 (2)	
	65	38	500	G 13	35	3 000	4 000					3 200 (1)	3 200 (2)	
Gamme chromatique standard, allumage instantané	20	38	590	R 18 S	35			4 000						720 (2)
	40	38	200	R 18 S	35			4 000						1 300 (2)
Gamme chromatique haut ren- dement, allumage instantané	20	38	590	G 13	36			4 000						720 (3)
	40	38	200	G 13	36			4 000						2 900 (3)
	65	38	500	G 13	36			4 000						4 900 (3)
Gamme industrielle, allumage par starter	14/16	26	360	G 13	36			4 200						
	18	26	590	G 13	36			4 200						
	36	26	200	G 13	36			4 200						
	58	26	500	G 13	36			4 200						
Gamme industrielle, allumage instantané	20	38	590	G 13	36			4 200						
	40	38	200	G 13	36			4 200						
	65	38	500	G 13	36			4 200						
Gamme industrielle, allumage instantané	20	38	590	R 18 S	36			4 200						
	40	38	200	R 18 S	36			4 200						
Gamme industrielle, lampe miniature, allumage par starter	5	15	212	G 5	36			4 200						
	8	15	288	G 5	36			4 200						
	13	15	517	G 5	36			4 200						
Gamme industrielle, allumage instantané	20	38	590	F a 8	36			4 200						
	40	38	200	F a 8	36			4 200						
Gamme industrielle, circulaire,	32	305			36			4 200						

ANNEXE I

Tableau 10 :Rendu des couleurs Ra et diagramme de KRUTHOF

QUALITÉ DÉSIRÉE	VALEURS LIMITES DE R_a	EXEMPLES D'APPLICATIONS
Appréciation aussi exacte que possible des couleurs primordiales Excellent rendu des couleurs	$R_a > 90$	Contrôle, sélection, examen... Laboratoires Industrie textile Imprimerie Produits agricoles ..
Rendu des couleurs de bonne qualité Éclairage agréable recherché	$R_a > 80$	Certains ateliers Bureaux Écoles
Rendu des couleurs acceptable	$R_a > 70$	Magasins de vente
Rendu des couleurs médiocre mais secondaire	$60 < R_a < 70$	Industrie : ateliers, mécanique
Aucune exigence de rendu des couleurs	$R_a < 60$	Industrie : fonderies - grosse mécanique - Magasins de stockage

CHOIX DE LA TEMPÉRATURE DE COULEUR



Confort visuel, niveaux d'éclairément et température de couleur sont liés.

* Abaque permettant de déterminer la température de couleur (choix de la source lumineuse) suivant l'éclairément un respectant le confort visuel.

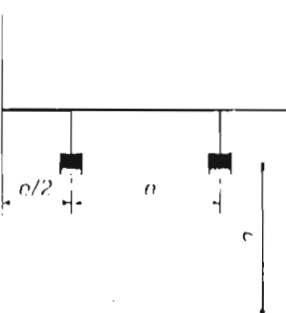
ANNEXE J

Tableau 11 : choix du type de réflecteurs et de sa classe

TYPE DE RÉFLECTEURS	CLASSE	RENDEMENT (direct)	I.P.
Tôle laquée blanc cuit au four sans grille	E	0,71	300
Tôle laquée blanc cuit au four avec grille	D	0,54	305
Tôle émaillée pour lampes ballon $P < 125$ W	D	0,70	20
(intensif) pour lampes ballon $125 < P \leq 400$ W	C	0,76	20
(extensif) pour lampes ballon $125 < P \leq 400$ W	D	0,71	20
Plafonnier diffuseur opale	H	0,48	403
-- diffuseur polystyrène stabilisé à fond prismatique clair et côtés opale	E	0,53	403
-- avec grille et vé central	D	0,53	205
-- paralume à vé central et grille laquée	D	0,47	205
Plafonnier -- à optique en aluminium haut rendement	D	0,65	403
-- à grille crantée en aluminium de maille $20 \times 20 \times 20$	C	0,43	20
Plafonnier -- encastré avec diffuseur opale	E	0,52	303
-- à vasque prismatique	D	0,58	303
-- à grille aluminium 30×30	D	0,53	207
Plafonnier encastré à lame opale de forme ronde	E	0,42	203
Projecteur étanche	C	0,32	655
Plafonnier encastré à lame grille laquée	C	0,34	203

ANNEXE K

Tableau 12 : Répartition des luminaires : inter distance maximale entre les luminaires



Classe du luminaire	Interdistance maximale entre deux luminaires
A	$e = 0,90 h$
B	$e = 1,00 h$
C	$e = 1,10 h$
D	$e = 1,20 h$
E	$e = 1,30 h$
F	$e = 1,40 h$
G	$e = 1,45 h$
H	$e = 1,50 h$
I	$e = 1,50 h$
J	$e = 1,50 h$

ANNEXE L

Tableau 13 : facteur d'utilisation U

$J = 0$

$J = 1/3$

		K = 1									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,92	0,88	0,84	0,81	0,87	0,83	0,81	0,83	0,81	0,79
	B	0,86	0,80	0,76	0,72	0,79	0,75	0,72	0,74	0,72	0,70
	C	0,81	0,73	0,67	0,63	0,71	0,66	0,62	0,65	0,62	0,60
	D	0,76	0,67	0,60	0,55	0,65	0,59	0,55	0,59	0,55	0,52
	E	0,71	0,61	0,53	0,48	0,59	0,53	0,47	0,52	0,47	0,45
	F	0,71	0,60	0,53	0,47	0,59	0,52	0,47	0,51	0,46	0,44
	G	0,68	0,56	0,48	0,42	0,54	0,47	0,41	0,46	0,41	0,39
	H	0,65	0,53	0,45	0,38	0,52	0,44	0,38	0,43	0,38	0,35
	I	0,64	0,51	0,42	0,35	0,49	0,41	0,35	0,40	0,35	0,32
	J	0,60	0,47	0,37	0,29	0,45	0,36	0,29	0,35	0,29	0,26

		K = 1									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,91	0,86	0,83	0,81	0,86	0,83	0,81	0,83	0,80	0,79
	B	0,85	0,79	0,75	0,72	0,78	0,74	0,71	0,74	0,71	0,70
	C	0,78	0,71	0,66	0,62	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60
	D	0,74	0,65	0,59	0,55	0,64	0,58	0,54	0,58	0,54	0,52
	E	0,69	0,59	0,52	0,47	0,58	0,52	0,47	0,51	0,47	0,45
	F	0,68	0,58	0,51	0,46	0,57	0,51	0,46	0,51	0,46	0,44
	G	0,65	0,54	0,46	0,41	0,53	0,46	0,41	0,46	0,41	0,39
	H	0,63	0,51	0,43	0,38	0,50	0,43	0,37	0,42	0,37	0,35
	I	0,61	0,49	0,41	0,35	0,48	0,40	0,34	0,40	0,34	0,32
	J	0,57	0,44	0,35	0,29	0,43	0,35	0,29	0,35	0,29	0,26

		K = 1,25									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,95	0,92	0,88	0,86	0,90	0,88	0,85	0,87	0,85	0,84
	B	0,91	0,85	0,81	0,78	0,84	0,80	0,78	0,80	0,77	0,75
	C	0,86	0,79	0,74	0,70	0,78	0,73	0,69	0,72	0,69	0,67
	D	0,82	0,74	0,68	0,63	0,72	0,67	0,62	0,66	0,62	0,60
	E	0,78	0,68	0,61	0,56	0,67	0,60	0,55	0,60	0,55	0,53
	F	0,78	0,69	0,62	0,57	0,67	0,61	0,56	0,60	0,56	0,54
	G	0,74	0,63	0,55	0,49	0,61	0,54	0,49	0,53	0,48	0,46
	H	0,71	0,60	0,52	0,45	0,58	0,51	0,45	0,50	0,44	0,42
	I	0,71	0,60	0,51	0,44	0,58	0,50	0,44	0,49	0,43	0,41
	J	0,66	0,53	0,44	0,38	0,51	0,43	0,36	0,42	0,36	0,33

		K = 1,25									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,94	0,90	0,87	0,85	0,90	0,87	0,85	0,87	0,85	0,84
	B	0,89	0,84	0,80	0,77	0,83	0,80	0,77	0,79	0,77	0,75
	C	0,84	0,77	0,72	0,69	0,76	0,72	0,69	0,72	0,68	0,67
	D	0,80	0,72	0,66	0,62	0,71	0,66	0,62	0,65	0,62	0,60
	E	0,76	0,66	0,60	0,55	0,65	0,59	0,55	0,59	0,55	0,53
	F	0,76	0,67	0,61	0,56	0,66	0,60	0,56	0,60	0,56	0,54
	G	0,71	0,61	0,54	0,48	0,60	0,53	0,48	0,53	0,48	0,46
	H	0,69	0,58	0,50	0,44	0,57	0,50	0,44	0,49	0,44	0,42
	I	0,68	0,57	0,49	0,43	0,56	0,49	0,43	0,48	0,43	0,41
	J	0,63	0,51	0,42	0,36	0,50	0,42	0,35	0,41	0,35	0,33

		K = 1,5									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,97	0,93	0,90	0,88	0,92	0,90	0,87	0,89	0,87	0,85
	B	0,93	0,89	0,84	0,81	0,87	0,83	0,81	0,82	0,80	0,78
	C	0,89	0,83	0,78	0,74	0,81	0,77	0,73	0,76	0,73	0,71
	D	0,85	0,78	0,72	0,68	0,75	0,71	0,67	0,70	0,66	0,64
	E	0,82	0,73	0,67	0,61	0,71	0,66	0,61	0,65	0,60	0,58
	F	0,83	0,75	0,69	0,63	0,73	0,67	0,63	0,66	0,62	0,60
	G	0,78	0,68	0,61	0,55	0,66	0,60	0,54	0,58	0,54	0,51
	H	0,75	0,65	0,57	0,50	0,63	0,55	0,50	0,54	0,49	0,46
	I	0,76	0,65	0,57	0,51	0,63	0,56	0,50	0,55	0,50	0,47
	J	0,70	0,58	0,49	0,41	0,56	0,47	0,41	0,46	0,40	0,37

		K = 1,50									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,96	0,92	0,89	0,87	0,91	0,89	0,87	0,88	0,86	0,85
	B	0,92	0,87	0,83	0,80	0,86	0,83	0,80	0,82	0,80	0,78
	C	0,87	0,81	0,76	0,73	0,80	0,76	0,73	0,75	0,72	0,71
	D	0,84	0,76	0,71	0,67	0,75	0,70	0,66	0,70	0,66	0,64
	E	0,80	0,72	0,65	0,61	0,70	0,65	0,60	0,64	0,60	0,58
	F	0,81	0,73	0,67	0,63	0,72	0,67	0,62	0,66	0,62	0,60
	G	0,76	0,66	0,59	0,54	0,65	0,59	0,54	0,58	0,53	0,51
	H	0,73	0,63	0,55	0,49	0,61	0,54	0,49	0,54	0,49	0,46
	I	0,74	0,63	0,56	0,50	0,62	0,55	0,50	0,54	0,49	0,47
	J	0,68	0,56	0,47	0,40	0,54	0,46	0,40	0,45	0,40	0,37

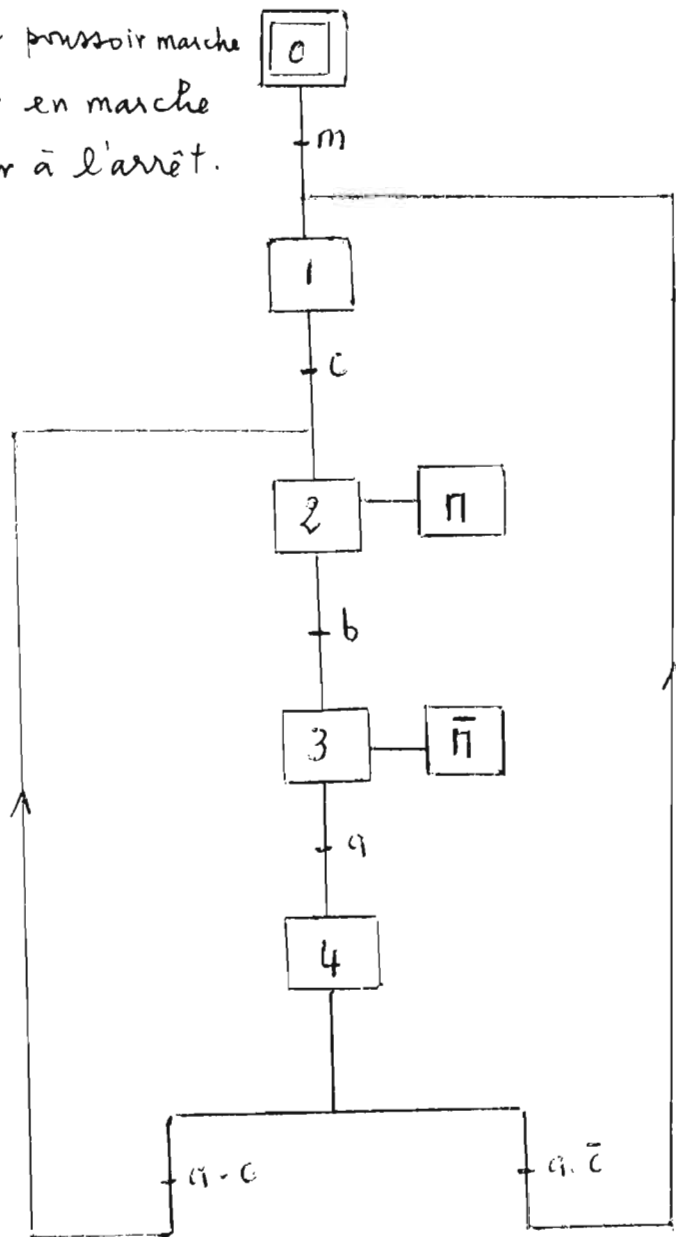
		K = 2									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	1,00	0,97	0,94	0,92	0,95	0,93	0,91	0,92	0,90	0,87
	B	0,97	0,93	0,90	0,87	0,91	0,88	0,86	0,87	0,85	0,83
	C	0,93	0,88	0,84	0,81	0,86	0,83	0,80	0,82	0,79	0,77
	D	0,91	0,85	0,80	0,75	0,83	0,78	0,75	0,77	0,74	0,71
	E	0,88	0,81	0,75	0,70	0,79	0,74	0,70	0,73	0,69	0,66
	F	0,89	0,83	0,77	0,73	0,81	0,76	0,72	0,75	0,72	0,69
	G	0,84	0,76	0,69	0,64	0,74	0,68	0,63	0,65	0,62	0,59
	H	0,81	0,72	0,65	0,58	0,70	0,63	0,58	0,62	0,57	0,54
	I	0,83	0,74	0,67	0,61	0,72	0,66	0,61	0,64	0,60	0,57
	J	0,76	0,65	0,57	0,49	0,63	0,55	0,48	0,53	0,48	0,45

		K = 2									
Facteur réflexion (%)	plaf. murs	70	70	70	70	50	50	50	30	30	00
		70	50	30	10	50	30	10	30	10	00
Classes des luminaires	A	0,99	0,95	0,93	0,91	0,94	0,92	0,90	0,91	0,90	0,89
	B	0,96	0,92	0,88	0,86	0,90	0,88	0,85	0,87	0,85	0,83
	C	0,92	0,87	0,83	0,79	0,86	0,82	0,79	0,81	0,78	0,77
	D	0,89	0,83	0,78	0,74	0,82	0,77	0,74	0,77	0,73	0,71
	E	0,86	0,79	0,74	0,69	0,78	0,73	0,69	0,72	0,68	0,66
	F	0,88	0,81	0,76	0,72	0,80	0,75	0,72	0,74	0,71	0,69
	G	0,82	0,74	0,68	0,63	0,73	0,67	0,62	0,66	0,62	0,59
	H	0,80	0,70	0,63	0,57	0,69	0,62	0,57	0,61	0,57	0,54
	I	0,81	0,72	0,66	0,60	0,71	0,65	0,60	0,64	0,59	0,57
	J	0,74	0,63	0,55	0,48	0,62	0,54	0,48	0,53	0,47	0,45

ANNEXE M

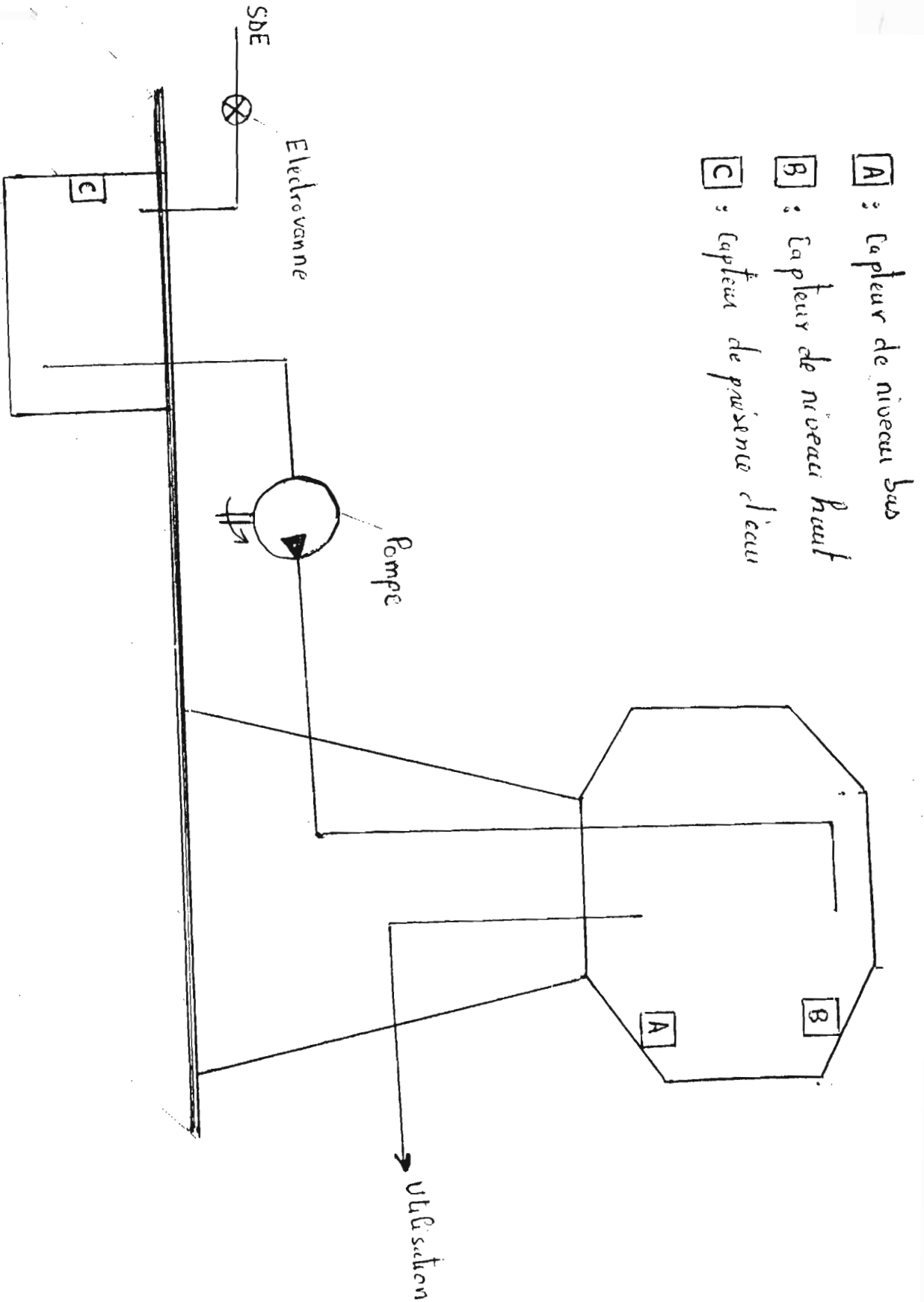
Grafset du système de pompage

m : Bouton poussoir marche
 M : moteur en marche
 \bar{M} : moteur à l'arrêt.

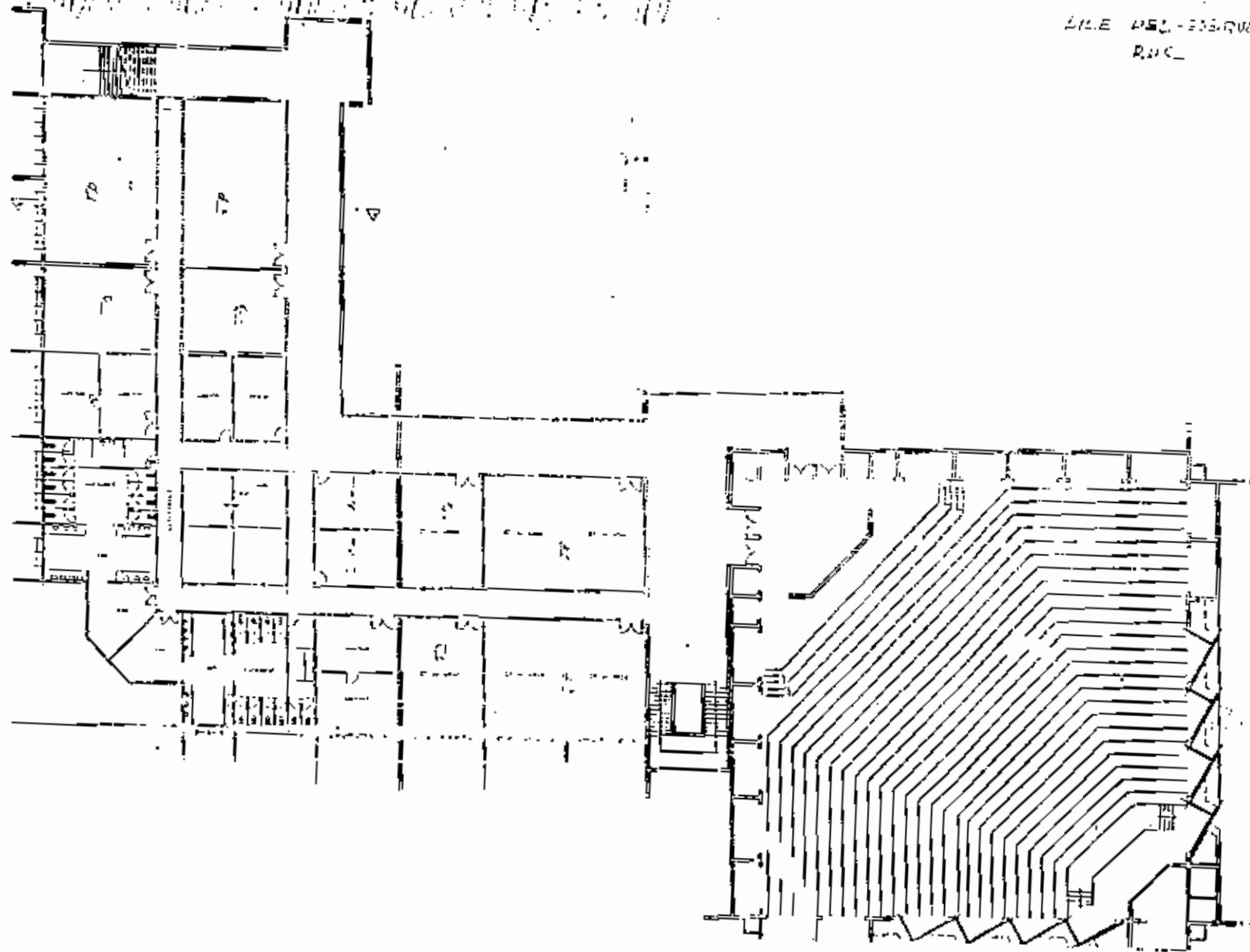


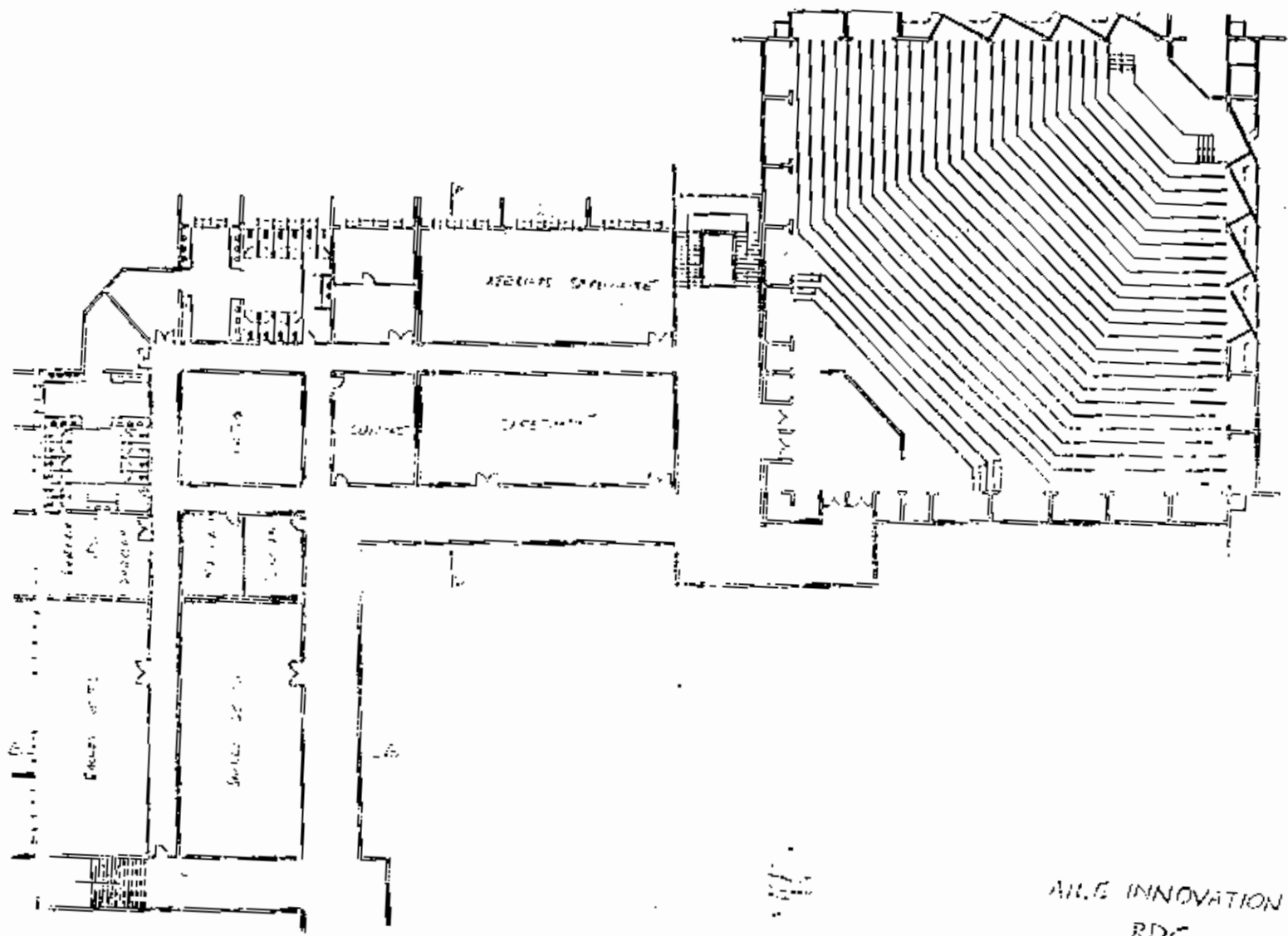
ANNEXE N

Schéma global du système de pompage

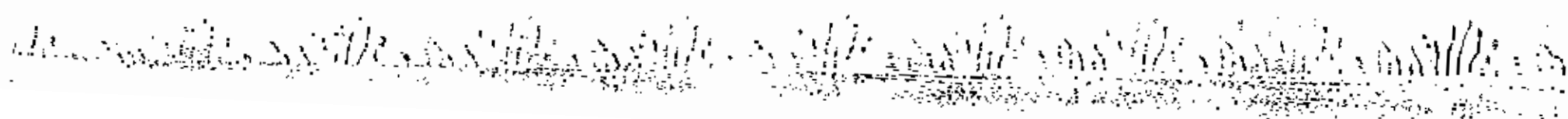


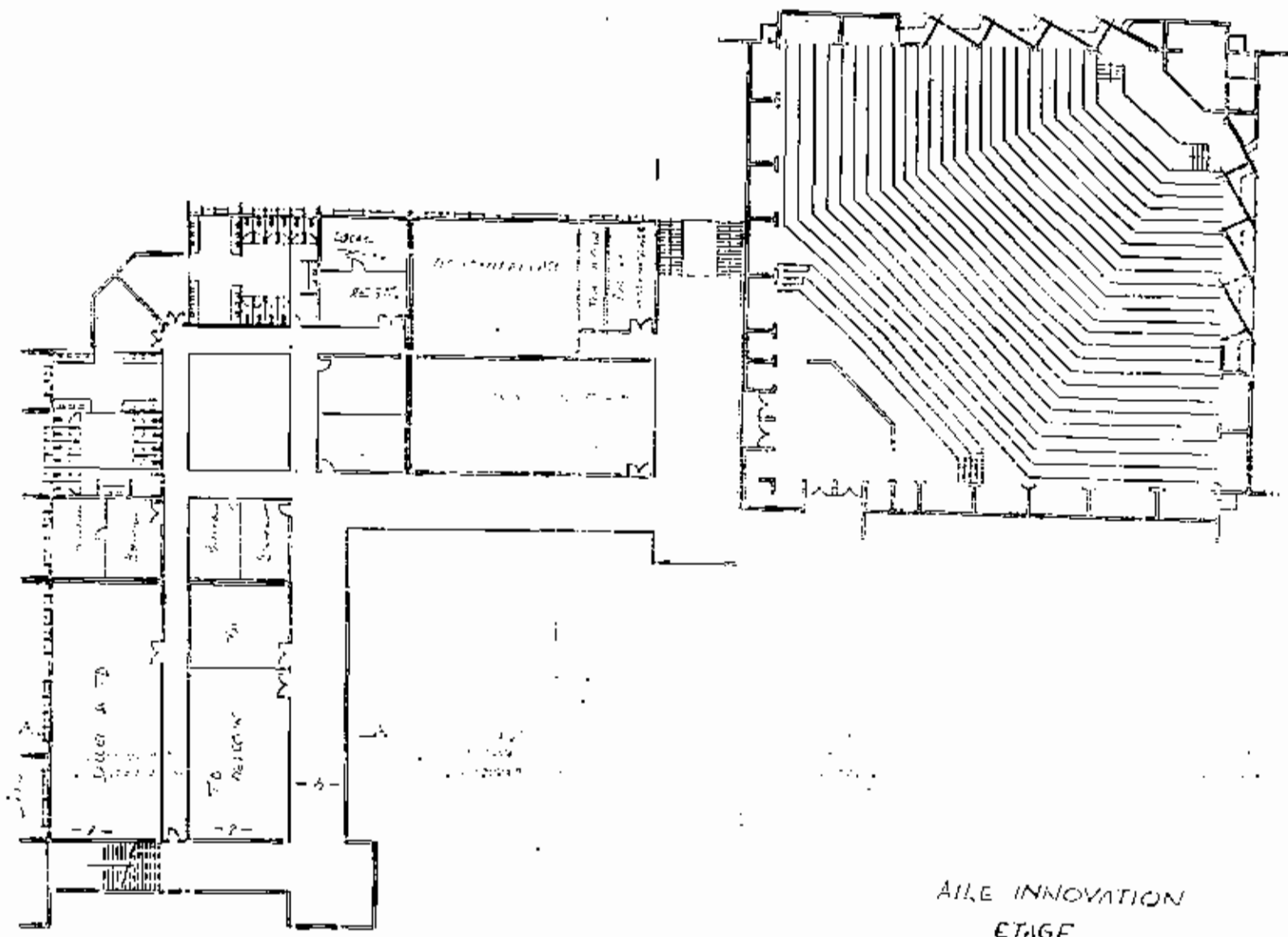
FILE 152-228100
RUC





ALTE INNOVATION
RDC





AILE INNOVATION
ETAGE

Architectural drawing showing the floor plan of the Aile Innovation Etage, featuring a large central hall and a large auditorium with many rows of seats.

A LE PEDAGOGIQUE
ETAGE

