

16/82

2ca

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET :

PROTECTION CATHODIQUE

Par

ENERGIE SOLAIRE

PROPOSE PAR :

M<sup>E</sup> Ahmed Zergueras

REALISE PAR :

M<sup>E</sup> Ali Benouhiba

et

M<sup>E</sup> Tahar Ramdani

Janvier 82





## Dedicace :

- /A mes parents
- /A mes freres et sœurs
- /A mes amis
- /A tous ceux qui me sont chers

/A. /Benouhiba.

## Dedicaces

- A Richard.
- Nek az en szerelem.
- Dla moja kochana.
- A mon docteur Saâdi Arezki.

T. Ramdani.

## Remerciements

- Nos sincères remerciements vont en premier lieu à M<sup>r</sup> Ahmed Zergueras, pour le choix du sujet, l'intérêt et l'aide précieuse qu'il n'a pas hésité à nous donner tout au long de ce modeste travail .

- Nous remercions également : M<sup>r</sup> BOUDIDA, chef du département corrosion à la Sonatrach; Mrs Bouchakpur et OUALI, ingénieurs à la Sonatrach; M<sup>elle</sup> GACEM, secrétaire à la Sonatrach; Mr A. SALAOUATCHI , directeur au ministère des P.T.T.; Mr B. Ahmed-Bey, ancien Polytechnicien, pour la documentation et pour l'aide constante que nous avons toujours trouvé auprès d'eux .

- Notre profonde gratitude va à tous ceux qui ont contribué à notre formation .

- Nous remercions enfin tous ceux qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce travail.

A. Benouhiba et T. Ramdani .

## Plan de travail

### Première Partie

- I Introduction
- II Rappels d'électrochimie
- III Differentes causes de corrosion
- IV Methodes de Protection contre la corrosion
  - Protection passive
  - Protection active
  - Autres méthodes de protection .
- V La Protection cathodique .
  - Importance de l'intensité
  - Importance du potentiel
  - Differentes techniques de protection cathodique .
- VI Methodes de calculs

---

### Deuxième Partie

- I Introduction
- II Cellule Photovoltaïque
  - Influence de l'éclairement et de la temperature
  - Module solaire Photovoltaïque
  - Association des modules en panneaux
- III Calcul du nombre de panneaux et determination de la capacité de stockage dans les conditions d'adaptation locale.
  - Introduction
  - Calcul du nombre de panneaux
  - Calcul de la capacité des batteries .

- Regulation de charge-décharge (Etude du régulateur).
- Recharge d'accumulateurs

IV Application

V Etude Economique :

- Calcul du cout optimal du Wh installé ,
- Les anodes,
- Anodes et cables,
- Dissipation de puissance dans les câbles,
- Caracteristiques des stations,
- Choix des accumulateurs .

VI Protection contre les agents atmospheriques

VII Comparaison des systemes

VIII Conclusion

ANNEXE I Cas des milieux immergés

ANNEXE II Contrôle de la protection cathodique .

Bibliographie .

Première partie

## INTRODUCTION

La corrosion est un phénomène naturel qui enlaidit notre environnement et entraîne de lourdes conséquences économiques .

C'est donc un phénomène que l'on doit combattre , et il importe de développer notre connaissance en matière de lutte contre la corrosion.

La corrosion d'un métal placé dans un environnement peut avoir plusieurs causes ( l'agressivité du milieu, l'érosion, mais elle n'a qu'une seule conséquence : la destruction du métal .

Parmi les différentes formes de corrosion, on peut distinguer :

- La corrosion par érosion
- La corrosion chimique
- La corrosion électrochimique .

La corrosion électrochimique est pratiquement toujours présente

En matière de lutte, la protection cathodique est peut être le plus important moyen , permettant de contre-carrer la corrosion . La surface d'un métal peut être maintenue dans un milieu sans aucune altération pendant un temps infini .

Nous remarquons ainsi qu'il y a plusieurs moyens de produire le courant électrique nécessaire à la protection cathodique .

Parmi tous ces moyens, nous avons choisi les générateurs photovoltaïques et ce pour plusieurs raisons-parmi-celles-ci, on peut citer :

- Non polluante - Absence de pièces mécaniques-tient compte de la décroissance exponentielle du voltage en fonction de l'éloignement - très économique -Permet une adaptation aux problèmes climatiques .

## II Rappels d'Electrochimie ( voir P<sub>1</sub> )

### 1<sup>er</sup> Structure de l'atome :

Pour un corps donné, c'est la plus petite partie que l'on puisse isoler sans en modifier les propriétés .

### 2°) Ions - cations - Anions .

Un ion positif est dit cation .



Un ion négatif est dit Anion.



### 3°) Electrolyte

Les electrolytes se dissocient en ions .

### 4°) Exposant d'hydrogène ou PH .

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_e .$$

Un milieu est acide si  $[H^+] > 10^{-7}$

Un milieu est basique si  $[H^+] < 10^{-7}$

$$PH = - \log_{10} [H^+] = \text{Colog} [H^+]$$

Un milieu est neutre si  $[H^+] = 10^{-7}$  .

### 5°) Oxydo- Reduction :

L'oxydation d'un element correspond pour lui à une perte d' $e^-$  , tandis que la reduction correspond à un gain .

### 6°) Electrolyse :

Les atomes des corps en solution se transforment en ions positifs et négatifs .



Les ions positifs se dirigent vers la cathode .

Les ions négatifs se dirigent vers l'anode .

On aura alors dans le cas du NaCl formation de Na et dégagement de chlore .

Loi de Faraday .

$$M = \frac{A}{n} \cdot \frac{I \cdot t}{96500}$$

7°) Loi de Nerst :

$$W = \left( \frac{RT}{n} \right) \text{Log} \left[ A^a \cdot B^b \cdot C^c \right] = F \cdot (E - E_0).$$

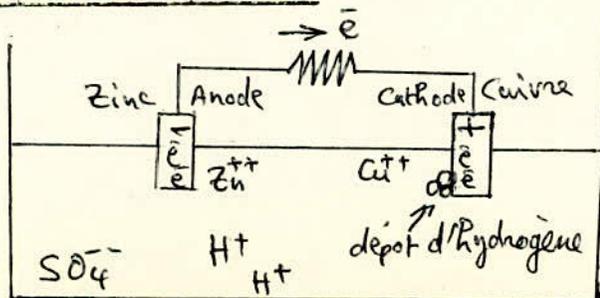
$$E = E_0 + \frac{RT}{m \cdot F} \cdot \text{Lu} \left[ \text{Fe}^{++} \right] \text{ Dans le cas du Fer .}$$

$$\text{à } t = 25^\circ\text{C. } E = E_0 + \frac{0,059}{n} \text{Lu} \left[ \text{Fe}^{++} \right] \text{ avec } E_0 = -0,441$$

Metal	ion	E <sub>0</sub> (V)
OR	Au <sup>+++</sup>	+ 1,42
cuivre	CU <sup>++</sup>	+ 0,345
hydrogene	H <sup>+</sup>	Q par convention
PLOMB	Pb <sup>++</sup>	- 0,126
FER	Fe <sup>++</sup>	- 0,441
ZINC	Zu <sup>++</sup>	- 0,762
ALUMINIUM	Al <sup>+++</sup>	- 1,67
MAGNESIUM	Mg <sup>++</sup>	- 2,34

Les elements nobles sont en haut du Tableau .

8°) Principe de la pile :



.../...

Quand on relie exterieurement deux electrodes(de métaux différents) plondées dans un electrolyte, il y a un courant électrique qui se crée . On remarque que l'une des electrodes (Anode) se corrode, par contre on a seulement polarisation au niveau de la cathode .

### III ! Differentes causes de corrosion . !

La corrosion d'un métal on d'un alliage peut se developper suivant differents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion .

- Corrosion chimique,
- Corrosion Biochimique,
- Corrosion accompagné d'érasion,
- Corrosion électrochimique .

La corrosion electrochimique est presque toujours impliquée; Elle peut se presenter sous differentes formes :

- par hétérogénéité du métal ,
- par hétérogénéité de l'électrolyte,
- par courants vagabardo .

### IV ! Méthodes de Protection contre la corrosion !

Nous venons d'énumérer les différentes causes de corrosion. connaissant celles-ci , il sera maintenant relativement facile d'y remédier. L'ensemble causes et remèdes constituent la protection cathodique .

#### 1°) Protection passive :

##### a Revêtements :

Il est possible d'éliminer l'électrolyte, qui est le sol, ou les electrodes(tuyau). Le principe consiste à isoler la conduite de l'électrolyte en plaçant le tuyau dans un Fourreau isolant .

### b Joints isolants :

Deux éléments de conduites différentes placées dans le sol sont le siège d'une pile. Pour éviter la circulation du courant, il suffit de couper électriquement la conduite en y plaçant un joint isolant; l'air le joint est nu, dans le sol, il est enrobé de la résine ou du brai .

### 2°) Protection active :

En étudiant le diagramme de Pourbaix, ci-dessous (Dans le cas du fer) on remarque qu'il est possible de protéger le fer par trois méthodes :

a Elever le potentiel pour se trouver dans la zone de passivation.

C'est la protection anodique. Mais cette méthode n'est pas toujours possible à cause des variations éventuelles du PH .

b Rendre le milieu alcalin de manière à dépasser  
PH = 10

Ceci aussi n'est pas toujours possible .

c Abaisser le potentiel pour se trouver dans le domaine d'immunité. Ce procédé, beaucoup plus utilisé que les précédents, est connu sous le nom de : Protection CATHODIQUE .

### 3°) Autres méthodes de protection :

#### a Protection par anode réactive :

Pour abaisser le potentiel d'un métal par rapport au sol, on peut le réunir à un métal plus électro-négatif que lui dans le milieu considéré. On crée ainsi une pile dont la structure à protéger est la cathode .

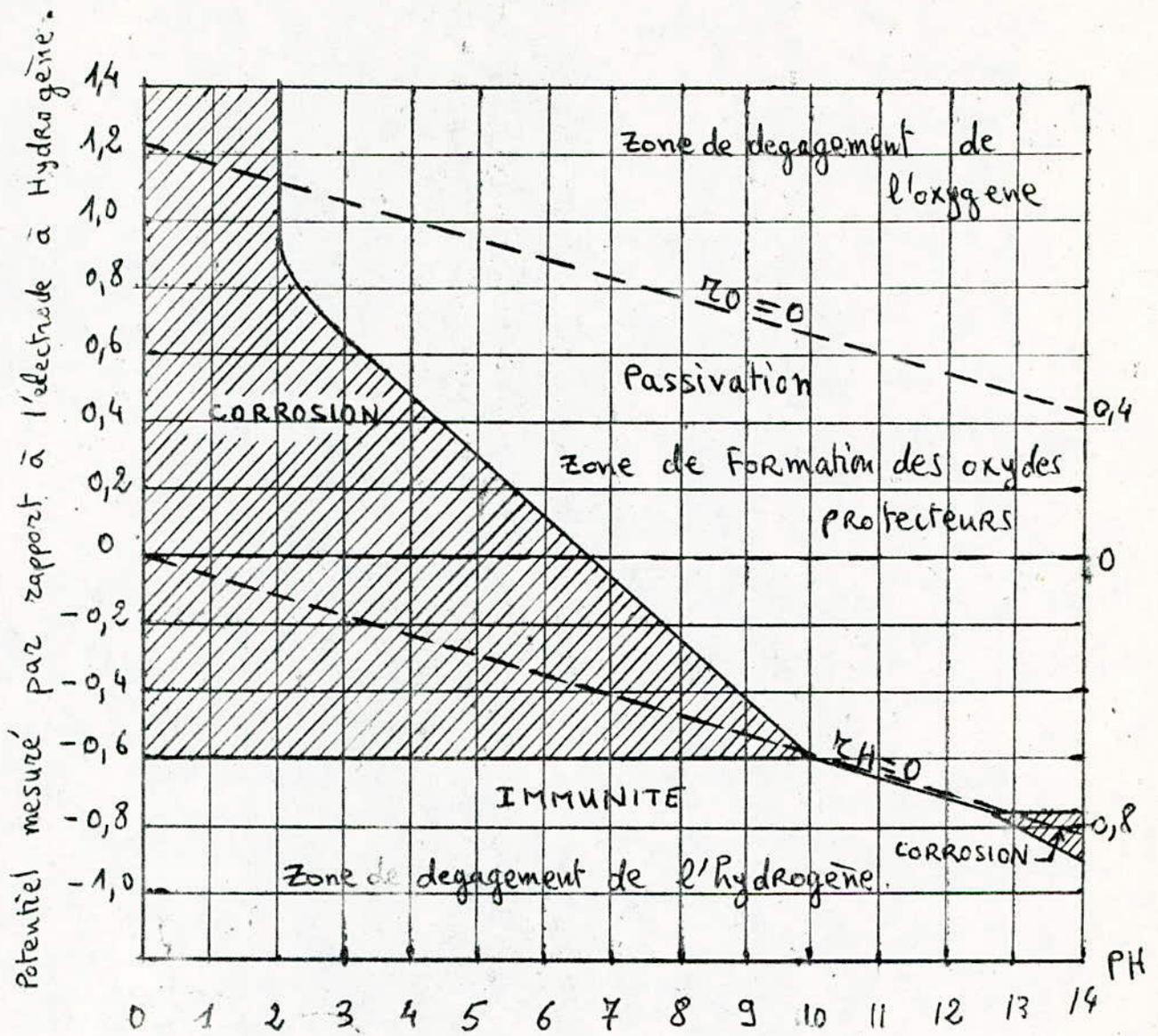


Diagramme de POURBAIX pour le fer.

b Protection par drainage des courants vagabond :

La protection par drainage consiste à diriger les courants vagabonds, et à les ramener à leur source par un chemin préférentiel, de la plus faible résistance possible, en créant une liaison entre les deux structures, on évite ainsi la sortie des courants de la structure vers le sol.

c Protection par soutirage de courant :

Le potentiel d'une structure peut être abaissé par rapport au milieu en le connectant au pôle négatif d'une source de courant continu dont le pôle positif est relié à une anode deversoir. Cette anode devra présenter une masse suffisamment importante, si elle est métallique, pour avoir une durée de vie acceptable.

V | La Protection cathodique |

La protection cathodique a pour but d'amener à l'interface métal-électrolyte un excès d' $e^-$ , c'est à dire un excès de charges négatives, d'où abaissement du potentiel du métal par rapport à l'électrolyte pour éviter le départ des ions métalliques positifs dans la solution; on empêche ainsi toute réaction d'oxydation. En pratique, on atteint ce but par circulation d'un courant entre deux structures: celle à protéger constituant la cathode d'où le nom de protection cathodique, et celle qui est sacrifiée, l'anode.

La protection cathodique est caractérisée par le potentiel pris par la structure protégée, l'intensité du courant de protection, la résistance électrique des éléments du circuit.

1°) Importance de l'intensité :

Le potentiel d'une structure protégée est lié à l'intensité du courant de protection.

L'intensité du courant de protection doit donc être telle que la structure soit protégée en tous points, cependant, il est important que sa valeur ne dépasse pas de beaucoup la valeur minimale de façon à ne pas consommer une puissance inutile .

Une intensité trop forte de protection cathodique, risque d'être plus nuisible qu'utile à la (conduite) structure, et également risque de perturber les structures métalliques voisines .

Le courant peut être limité en fractionnant la protection .

### 2°) Importance du potentiel :

Pour qu'une structure soit protégée, on admet que son potentiel par rapport au milieu ambiant doit s'abaisser à une valeur négative (-0,85v pour l'acier par rapport à l'électrode de référence cuivre-sulfate de cuivre: valeur fixée d'après le diagramme de Pourbaix) au-delà de laquelle il n'y a plus corrosion de l'acier. En pratique, on choisit - 1v.

Le potentiel en un point représente le critère de protection indiscutable .

On appelle ainsi le potentiel au-dessous duquel le métal considéré, plongé dans un électrolyte donné ne peut se corroder

### 3°) Différentes techniques de protection cathodique :

Parmi ces techniques nous ne détaillerons que la protection cathodique par soutirage de courant .

#### a Principe :

Ce système consiste à soutirer, par l'intermédiaire d'une source électrique de courant continu, la quantité de courant négatif. La source débite dans un circuit comprenant :

- La conduite à protéger;
- Le sol ;
- Une anode déversoir

Le pôle négatif de la source est relié à la conduite, le pôle positif à l'anode déversoir sur laquelle la corrosion sera reportée .

Les rentrées de courants diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du poste de soutirage donc il faut qu'aux points extrêmes (Par rapport au poste de soutirage) on obtient le potentiel minimal de protection du métal considéré .

b Champ d'application du soutirage :

Le soutirage de courant s'emploie chaque fois que l'intensité nécessaire à la protection est importante .

c Choix de l'emplacement du poste de soutirage :

Le meilleur emplacement du poste est celui qui permet d'assurer la protection la plus efficace sur la plus grande portée pour une puissance minimale , en tenant compte des paramètres suivants:

- La forme générale de la structure et sa longueur;
- L'ensoleillement (car la source sera un générateur photovoltaïque).
- Le degré d'agressivité des sols où les conduites sont posées .
- Le ou les points les plus favorables à l'installation de la prise de terre .
- L'encombrement du sol en structures diverses .

Il est bon donc d'examiner tout d'abord le plan d'ensemble du réseau afin de déduire les emplacements les plus indiqués .

#### d Etablissement des soutirages :

La protection cathodique par soutirage de courant se définit par deux paramètres :

- La densité de courant nécessaire à la protection;

Ce paramètre est fonction des caractéristiques d'isolement de la structure à protéger (Qualité du revêtement, resistivité du milieu environnant).

Le débit de l'appareil de protection;

Celui-ci est uniquement fonction des caractéristiques de l'installation.

$$I = \frac{V}{R}$$

V: tension de la source decourant

R: Résistance du circuit continu.

La resistance du circuit en général est contionnée par la resistance de l'anode déversoir .

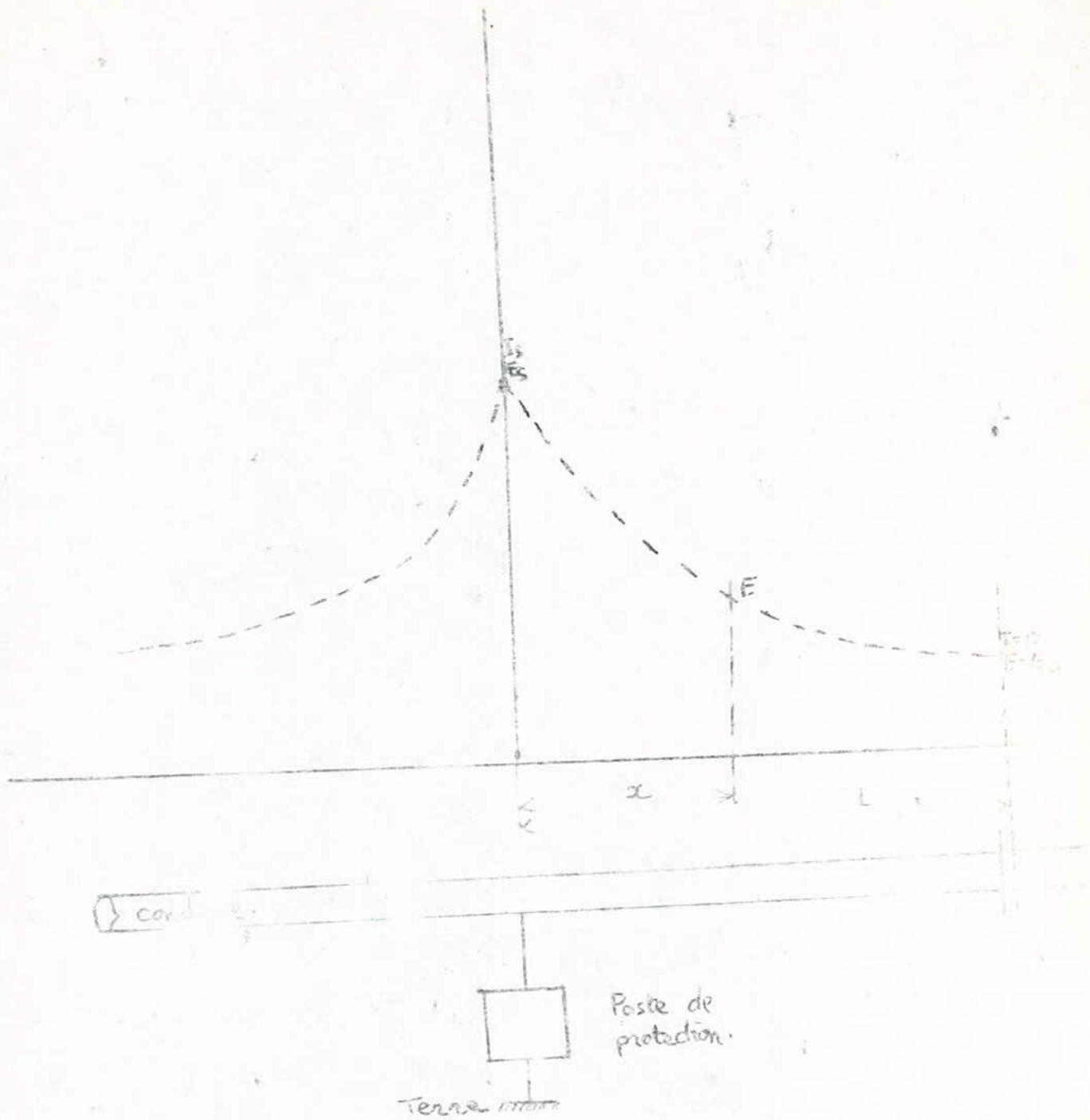
Le courant nécessaire à la protection d'une structure, devra être déterminé par un essai de soutirage .

#### e Méthode à suivre pour la protection d'une conduite par soutirage :

- Faire un ou plusieurs essais de soutirage pour determiner le nombre et le débit des appareils à poser . Il vaut mieux avoir plusieurs appareils à débit moyen et peu espacés que peu d'appareils éloignés à gros débit .

- Rechercher sur le tracé de la conduite les zones où les impératifs suivants sont réunis .

- . Terrain de faible resistivité pour l'anode deversoir;
- . Proximité d'énergie électrique basse tension ;
- . Facilité d'accès pour les vehicules .



Determination du courant de protection.

- Choisir parmi ces zones celles répondant à l'espacement désiré entre les postes .

f Sources de courant :

N'importe quelle source de courant continu conviendra à condition que son débit se maintient dans le temps. Dans notre cas on utilisera des générateurs photovoltaïques, en prévoyant des accumulateurs (pour la nuit) et des régulateurs.

g Pour les différents types d'anodes à courant imposé ou deversoirs; (consulter P<sub>1</sub>).

\* Pour le choix de l'emplacement on doit :

- Prévoir en général une résistance de prise de terre la plus faible possible pour éviter des tensions de soutirage trop importantes .

- Déterminer, par une étude préalable du terrain et de la structure à protéger, l'emplacement de l'anode .

- Avoir une distance suffisante entre l'anode et la structure à protéger . Un minimum de 50m est conseillé .

- Orienter l'anode, perpendiculairement à la direction du réseau à protéger .

\* Réalisation des anodes :

- Anode horizontale :

. Tranchée de 0,60m. de large et de 1 à 1,20 m de profondeur .

. Garnissage avec un lit de coke pour anode graphite de 0,10 à 0,20m d'épaisseur .

. Remplir la tranchée avec une bone de bentonite et de soude qui recouvrira l'anode .

- Anode verticale :

S'utilise grace au forage et tubage d'un puits .

- Liaison electrique :

La section doit être calculée en fonction de la chute de tension . La nature dépend de la resistance mécanique .

VI | Methodes de calculs : |

1°) Base de calculs pour une structure longiligne homogène :

Lorsqu'une source de courant continu est connectée, le pôle positif à une prise de terre et le pole négatif à une canalisation enterrée, il en résulte une circulation de courant .

Soit :  $E_0$  et  $I_0$  : chute de potentiel et d'intensité au point soutirage .

$E_x$  et  $I_x$  : chute de potentiel et d'intensité au point M d'abscisse  $x$  .

$r$  : resistance electrique longitudinale de la conduite en par metre lineaire .

$R$  : resistance transversale de la conduite en /m.

Hypotheses de Calculs :

- Nous admettrons que la prise de terre est très éloignée de la canalisation, donc les chutes de potentiel sont assurées en dehors du champ de celle-ci .

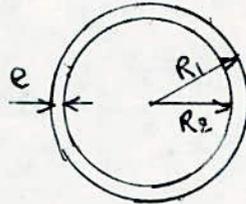
- Nous négligerons la resistance du sol . On admet que celle-ci est constante sur toute la longueur de la canalisation intere-sée par le calcul .

- La resistance transversale  $R$  de la conduite a une forte influence sur les resultats numériques, et est généralement très mal connue. Elle dépend : de la nature du sol, de la qualité d'éxecution de la pose, du temps depuis lequel la conduite est en  
.../...

service, de la qualité initiale du revêtement et de sa constance le long de la conduite.

2°) Calculs des résistances :

a Resistance longitudinale r :



$$r = \frac{\rho}{\pi R_1^2 - \pi (R_1 - e)^2} = \frac{\rho}{\pi e (\phi - e)}$$

b Resistance des electrodes enterrées :

$$R = \frac{\rho}{2 \pi C}$$

pour une tige mince de longueur  $2l$  et de rayon(a) on a la capacitance :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{l} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right) = \frac{2 \pi R}{\rho}$$

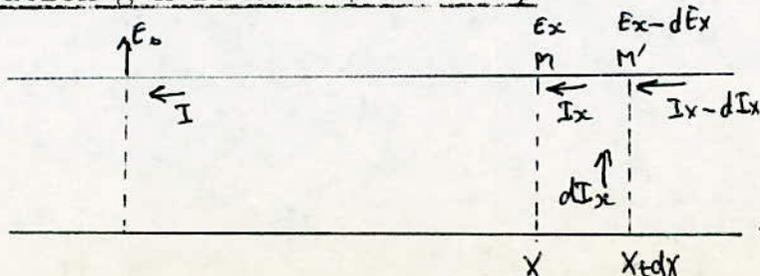
C'est une resistance lineaire donc

$$R = \frac{\rho}{2 \pi} \left( \ln \frac{8l}{\phi} - 1 \right) \text{ en } (\Omega / \text{m}).$$

En presence d'un revetement , la resistivité est multipliée par K, coefficient qui traduit le pouvoir d'isolement du revêtement .

$$R = \frac{K \cdot \rho}{2 \pi} \left( \ln \frac{8l}{\phi} - 1 \right)$$

3°) Résolution générale du problème



La resolution générale nous donne, en tenant compte des conditions aux limites et en posant

$$R_k = \sqrt{r \cdot R}$$

$$a = \sqrt{\frac{r}{R}}$$

$$E_x = E_0 \operatorname{ch} ax + R_k I_0 \operatorname{sch} ax$$

$$I_x = \frac{E_0}{R_k} \operatorname{sh} ax + I_0 \operatorname{ch} ax$$

si  $E_0 > R_k I_0$ .

$$x = -\frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{coth} \left( \frac{E_0}{R_k I_0} \right)$$

$$E_{xm} = \frac{E_0}{\operatorname{Ch} ax_m}, \quad I_x = 0 \text{ pour } x = x_m.$$

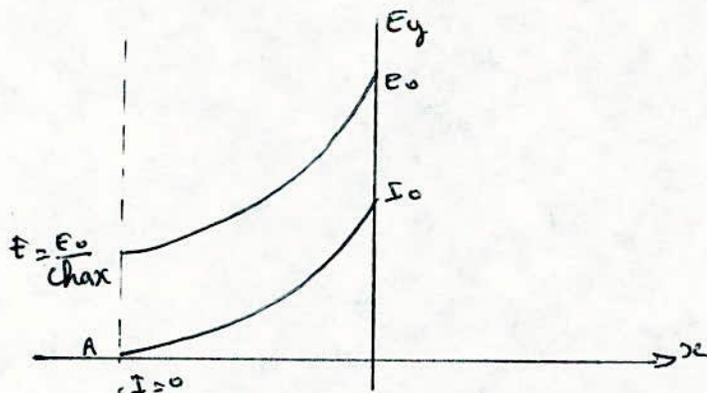
si  $E_0 < R_k I_0$

$$x = -\frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{th} \left( \frac{E_0}{R_k I_0} \right)$$

$$I_x \neq 0$$

$$E_{xm} = \frac{I_0}{\operatorname{ch} ax_m}.$$

On remarquera donc qu'on doit toujours avoir  $E_0 > R_k I_0$ .



$$x = \frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{Coth} \left( \frac{E_0}{R_k I_0} \right)$$

Resistance equivalente du circuit  $R_{eq} = \frac{E_0 + R_k I_0 \operatorname{th} ax}{I_0 + \frac{E_0}{R_k} \operatorname{th} ax}$

#### 4°) Determination de R et r ainsi que la distance x :

Il arrive frequemment que l'on procede sur une canalisation posée, à des "essais de soutirage" a fin de determiner les caracteristiques d'une installation de protection cathodique.

On connait alors :  $E_0, I_0, E_x, I_x$  et  $x$  ; donc on peut deduire  $R$  et  $r$  .

$$* \quad E_x = E_0 \operatorname{ch} ax + Rk I_0 \operatorname{sh} ax$$

$$S_1 = \int_0^x E_x \cdot dx .$$

$$R = \frac{S_1}{I_x - I_0}$$

$$* \quad I_x = \frac{E_0}{Rk} \operatorname{sh} ax + I_0 \operatorname{ch} ax$$

$$S_i = \int_0^x I_x \cdot dx$$

$$r = \frac{E_x - E_0}{S_i}$$

$$* \quad E_x = E_0 \operatorname{ch} ax$$

$$I_x = E_0 \frac{\operatorname{ch} ax}{Rk}$$

Quand on connait  $E_x$  et  $E_0$  on a :

$$x = \frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{ch} \left( \frac{E_x}{E_0} \right)$$

#### 5°) Equilibre entre deux points de soutirage consécutifs:

Le problème est la recherche du point où  $I_0=0$  entre deux points de soutirage .

$$E_1 = E_0 \operatorname{ch} ax_1$$

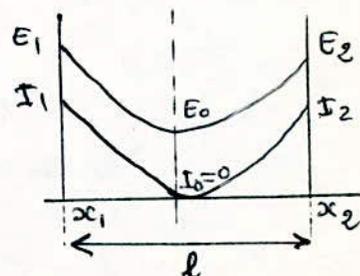
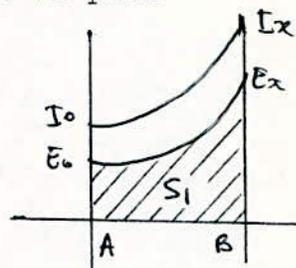
$$E_2 = E_0 \operatorname{ch} ax_2$$

$$x_1 + x_2 = l$$

$$x_1 = \frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{th} \left( \frac{E_1 \operatorname{chal} - E_2}{E_1 \operatorname{shal}} \right)$$

$$x_2 = \frac{1}{a} \operatorname{ARg} \operatorname{th} \left( \frac{E_2 \operatorname{chal} - E_1}{E_2 \operatorname{shal}} \right)$$

( voir exemple de calcul P<sub>1</sub> )



Deuxième partie

## Introduction :

L'énergie solaire a été la forme la plus ancienne d'énergie utilisée par l'homme, ce sera aussi celle qui s'imposent dans les siècles à venir.

L'énergie lumineuse, solaire semble inépuisable à notre échelle puisque sa densité récupérable sur terre est d'environ  $1 \text{ Kw/m}^2$ . Elle peut être donc, une source énergétique pouvant contribuer de manière significative au Sillon énergétique des pays relativement bien ensoleillés.

L'intérêt des photopiles, en dépit de leur prix élevé actuel, réside dans la simplicité d'emploi, la fiabilité, l'absence de pièces tournantes et bruyantes et surtout dans l'économie d'une ligne électrique, souvent bien plus coûteuse, même impossible à établir dans certains cas.

Toutefois l'avenir de la production d'énergie d'origine solaire est essentiellement lié à des problèmes de coûts.

Les équipements existent et c'est la baisse des coûts de fabrication qui arbitrera leur rapidité de pénétration dans l'industrie et plus spécialement dans les pays en voie d'industrialisation dotés d'importants gisements solaires.

Dans les conditions actuelles, le coût international des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 13 à 15 dollars par watt-crête et l'on vise vers les années 1985 des coûts de 1 dollar avec des productions pouvant atteindre plusieurs centaines de megowatts-crête par an au plan mondial. De tels coûts ne pourront vraisemblablement être obtenus que grâce à de nouvelles générations de cellules.

Il est donc temps, d'inclure dans le cadre des études sur la protection cathodique des pipes lines, un examen des possibilités d'emploi de cette énergie solaire qui n'a cessé de fuir surgir de nouveaux horizons; et ce par la mise au point de stations solaires immédiatement utilisables et bien adaptées aux besoins et aux conditions particulières des régions sahariennes.

Il est donc possible d'insérer dans le cadre des études sur la photovoltaïque, et plus particulièrement dans le cadre des études d'ensemble, des études de faisabilité de projets de centrales solaires photovoltaïques. Ces études de faisabilité sont réalisées en fonction des conditions locales de l'éclairage et de la température, et en fonction des conditions de l'installation.

## II) Cellule photovoltaïque :

### 1°) Influence de l'éclairement et de la température :

La tension fournie par une cellule élémentaire est approximativement comprise entre 0,4 et 0,5 V et pratiquement indépendante de la surface ou de l'éclairement. Ces deux paramètres influent, en effet, surtout sur le courant que l'on peut tirer. La variation de la caractéristique en fonction de l'éclairement à température constante est indiquée par la figure 1 :

Le comportement de la cellule en fonction de la température est plus complexe; le courant augmente d'environ  $0,025 \text{ mA/Cm}^2/\text{C}^\circ$  alors que la tension décroît de  $2,2 \text{ mV/C}^\circ / \text{ cellule}$

Pour le calcul d'une installation, il faut tenir compte du fait que l'éclairement et la température des cellules varient simultanément ce point est très souvent négligé lors des études d'ensembles solaires. ( $F_1$ )

### 2°) Module solaire photovoltaïque :

Le nombre de cellules que l'on connecte dépend de la tension d'utilisation ( 6,12 V ..). Les modules de 12V comportent de 32 à 36 cellules, suivant la température prévisible sur site. Compte tenu des marges de sécurité souhaitables, on utilisera en Algérie les modules constitués de 36 cellules pour obtenir 12V.

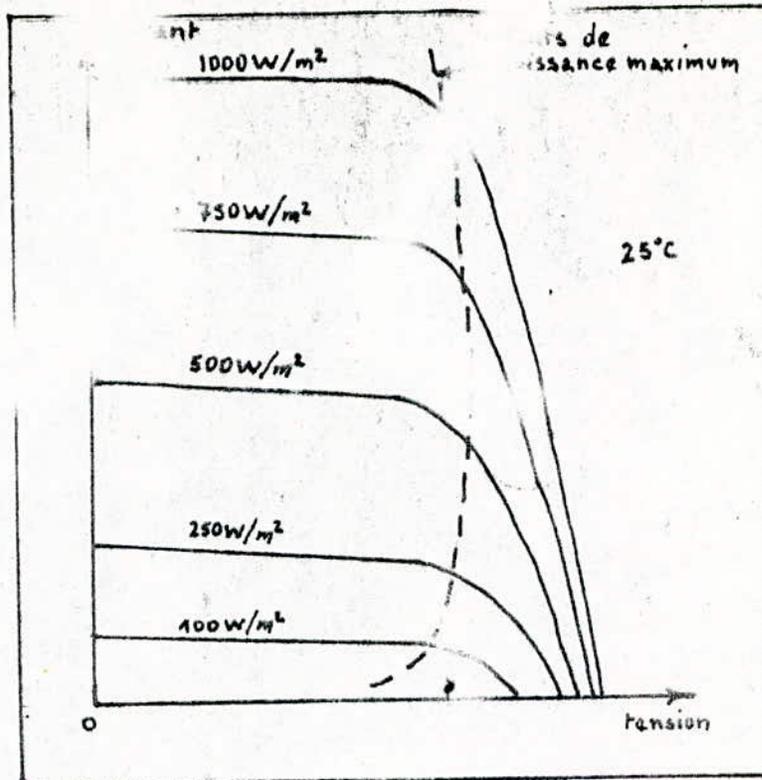


Fig 4: Caractéristique courant tension d'une cellule solaire en fonction de l'éclairement (température constante)

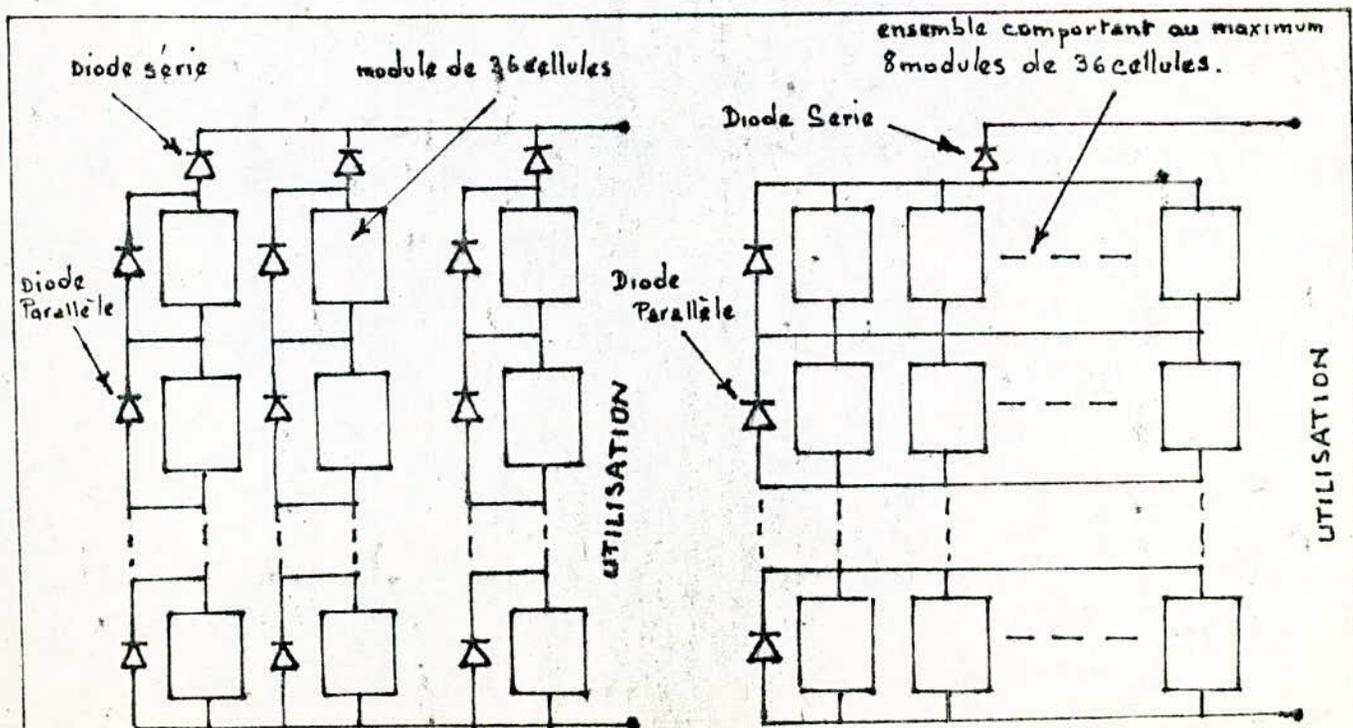


fig: 2

### 3°) Association des modules en Panneaux :

Pour obtenir des puissances importantes, on associe les modules en série parallèle pour former des panneaux. Des diodes série et parallèle jouent le rôle de dispositif de protection pour éviter le fonctionnement des cellules dans des conditions susceptibles de les détériorer ( $F_2$ )

### III) CALCUL DU NOMBRE DE PANNEAUX SOLAIRES ET DETERMINATION DE LA CAPACITE DE STOCKAGE DANS LES CONDITIONS D'ADPTION LOCALES

#### 1°) Introduction .

Par un beau temps, une surface plane, au niveau du sol reçoit un éclairage ayant pour expression analytique :

$$E = E_0 \left\{ \cos(1-\theta) \cos \delta \cos H + \sin(1-\theta) \sin \delta \right\}$$

$\theta$  : angle d'orientation du récepteur

$\delta$  : Déclinaison

$l$  : latitude

$H$  : angle horaire

( $P_2$ ).

$E_0 = 1 \text{ Kw/m}^2$  : intensité du rayonnement qui parvient au niveau du sol et des eaux .

La figure 3 donne la variation journalière de l'énergie reçue par une surface horizontale ( $\theta = 0$ ). ( $F_3$ )

L'énergie reçue quotidiennement sur un plan horizontal a ourgla est égale environ a  $7 \text{ Kw h/m}^2$

La quantité d'énergie reçue par jour et par unité de surface inclinée est :

$$W_p = 2E_0 \left\{ h_s^0 \sin(1-\theta) \sin \delta + \frac{12}{11} \cos(1-\theta) \cos \delta \sin - \frac{11 h_s^0}{12} \right\}$$

$h_s^0$  : Periode depuis midi jusqu'au coucher du soleil

La courbe A de la fig 4 represente la variation saisonniere de l'energie journaliere . Dans ce cas le maximum d'energie aura lieu le 21 juin et le minimum d'energie sera obtenu le 22 decembre

L'ecart entre le maximum et le minimum est trop important, ce qui rend difficile le stockage de l'energie par des accumulateurs.

Grâce à une orientation du panneau egale environ à la latitude du lieu par rapport à l'horizontal, cette difference se trouve reduite ( $p_2$ )

## 2°) CALCUL DU NOMBRE DE PANNEAUX SOLAIRES

L'optimum economique d'une installation de protection cathodique dun pipe line contre la corrosion, assuree en exploitant l'energie solaire, est lie au calcul du nombre de panneaux, ce sont les elements les plus chers et dont le prix est pratiquement proportionnel à la puissance installée, d'où une importance particuliere accordée à cette operation .

Soient S et  $n_p$  respectivement la surface et le rendement des panneaux

L'energie convertie chaque jour est de :

$$W_e(+)=n_p S E(+)$$

L'expression analytique de la courbe de la fig 5 s'écrit approximativement

$$E(+)=E' - E_m \cos \frac{4 \pi t}{T}$$

$E_m$ : amplitude de la fluctuation

$E'$ : valeur moyenne

T : Periode correspondant à une année comptée en jours.

Cette courbe à ondulation minimale a été obtenue en supposant qu'au cours de l'année les conditions météorologiques soient idéales et que les panneaux soient dirigés vers une orientation optimale entraînant la réduction de la fluctuation d'une saison à une autre ( $\theta = 1$ )

La protection cathodique consiste à maintenir la nuit comme le jour, la structure à une différence de potentiel négative par rapport à une électrode de référence.

Donc, pour la nuit, il faudrait stocker au moins les besoins en énergie dans des accumulateurs .

Si les batteries ne comportent pas de pertes par auto-décharge (accumulateur au plomb), il faudrait que l'énergie soit au moins égale à l'énergie consommée quotidiennement

$$W_a \leq n_p n_o SE'$$

où  $w_a$  : représente la moyenne de consommation journalière

$n_o$  : Rendement des accumulateurs

Ainsi la surface des panneaux sera donnée par :

$$S \geq \frac{w_a}{n_p n_o E'}$$

Connaissant la surface  $S_o$  d'un panneau, on peut en calculer le nombre  $N$

$$N \geq \frac{S}{S_o}$$

$S_o = 0,17 \text{ cm}^2$  pour les modules  $B^P \times 47 \text{ A}$

et  $S_o = 0,3675 \text{ cm}^2$  pour les modules solaires ARCO 162000

### 3°) CALCUL DE LA CAPACITE DES BATTERIES

Dans notre cas, stockage de l'énergie électrique jour et nuit comme les panneaux sont fixés une fois pour toute, vers une orientation  $\theta = 1$ , on a un excès d'énergie  $w_+$  au printemps ou en .../...

automne et un défaut  $\Delta W^-$  centre en été ou en hiver ( fig5).

L'emploi des batteries au plomb, permettrait de stocker l'excès d'énergie collecté au printemps et en automne pour compenser le manque d'énergie en été et en hiver .

Ainsi, l'excès d'énergie au printemps a pour expression

$$\Delta W^+ = \text{nonp} \int_{T/8}^{3T/8} (E(+)-E') dt = \text{nonp} 58 \text{ Em.}$$

Les accumulateurs doivent garder puis restituer

$$\begin{aligned} W_S &\geq W_a + DW \\ \Rightarrow W_S &\geq \text{nonp} (E' + 58Em) \end{aligned}$$

Si  $U$  est la tension nominale des accumulateurs leur capacité s'ecrira :

$$C \geq \frac{\text{nonp}}{U} (E' + 58Em)$$

#### 4°) Regulation de charge - decharge

Il existe deux types de regulation pour les accumulateurs au plomb.

- Limiteur de charge evite de surcharger la batterie(2,3v par element de 2 V)

- Un regulateur : met les batteries en charge permanente mais faible ( floating ) quand elles ont atteint le seuil de tension maximum et coupe en fin de décharge.(F<sub>3</sub>)

Pour un accumulateur au plomb de 12V les seuils typiques sont les suivants :

- fin de charge 14,1 V
- floating 13,1 V
- fin de decharge 11,25 V.

Irradiance  
au sol  
en  $W/m^2$

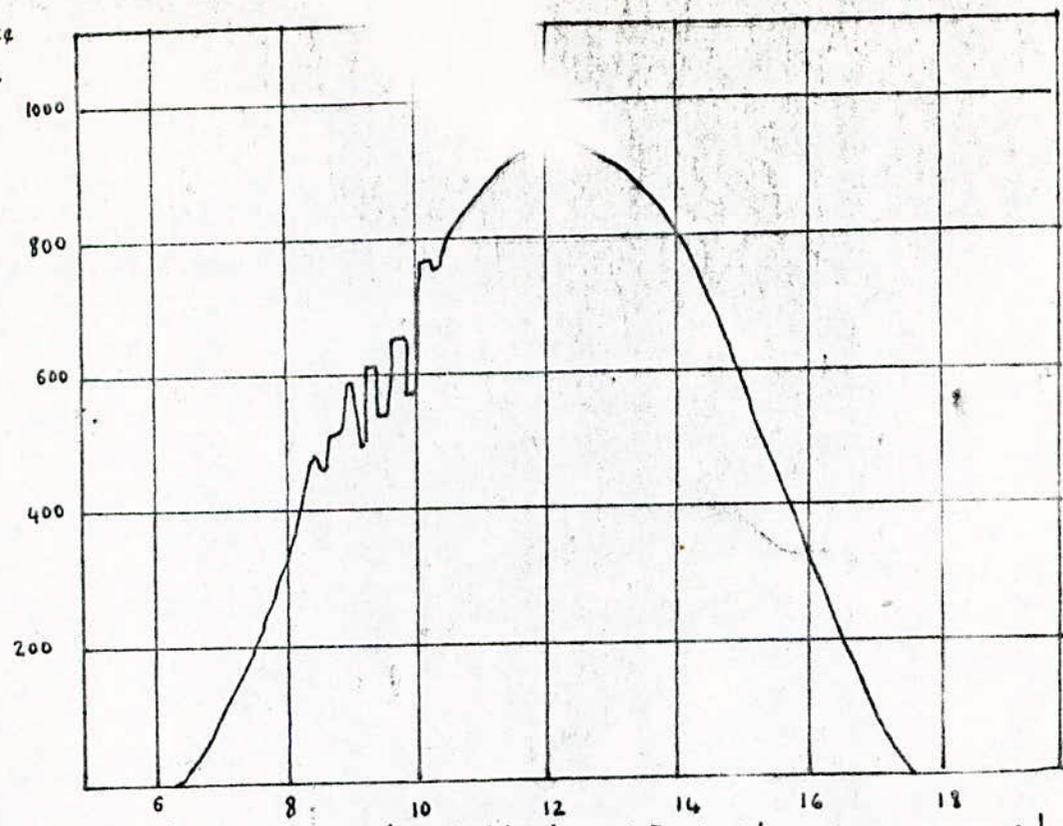


fig3: exemple de variation journalière de l'énergie reçue au sol.

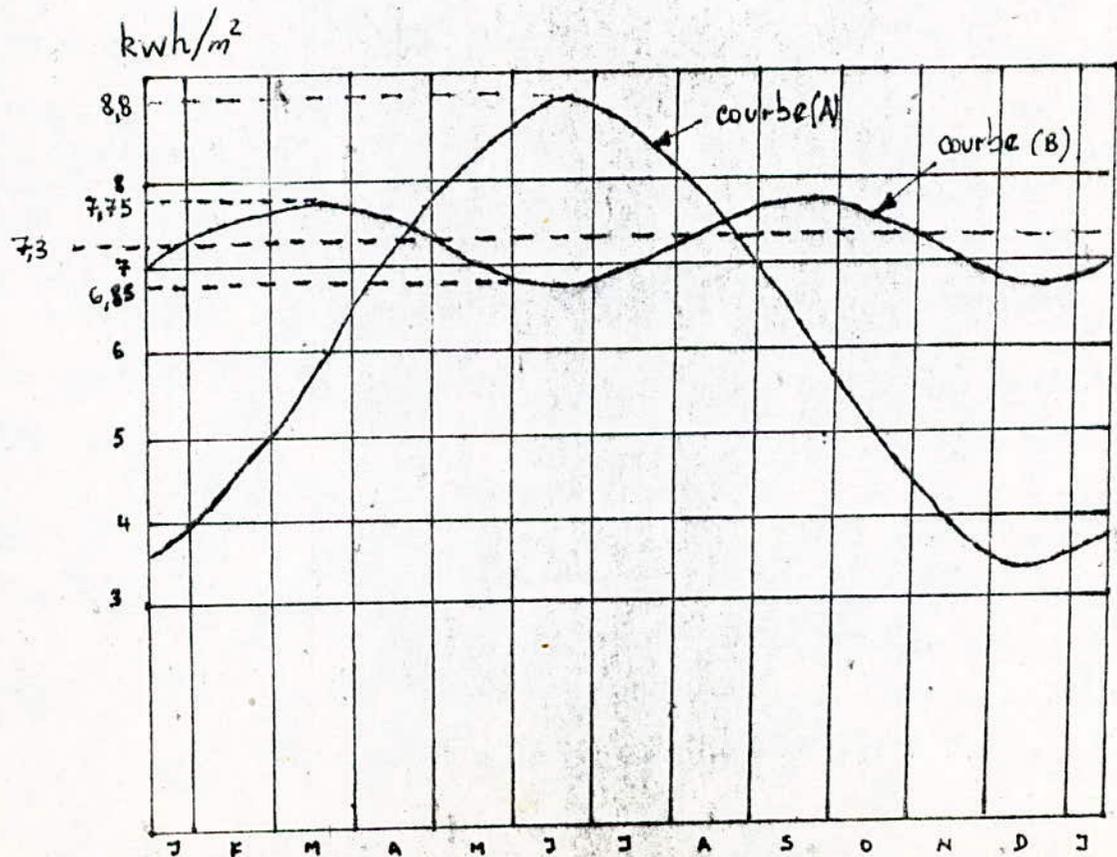


fig4: variation saisonnière de l'énergie journalière reçue par unite de surface

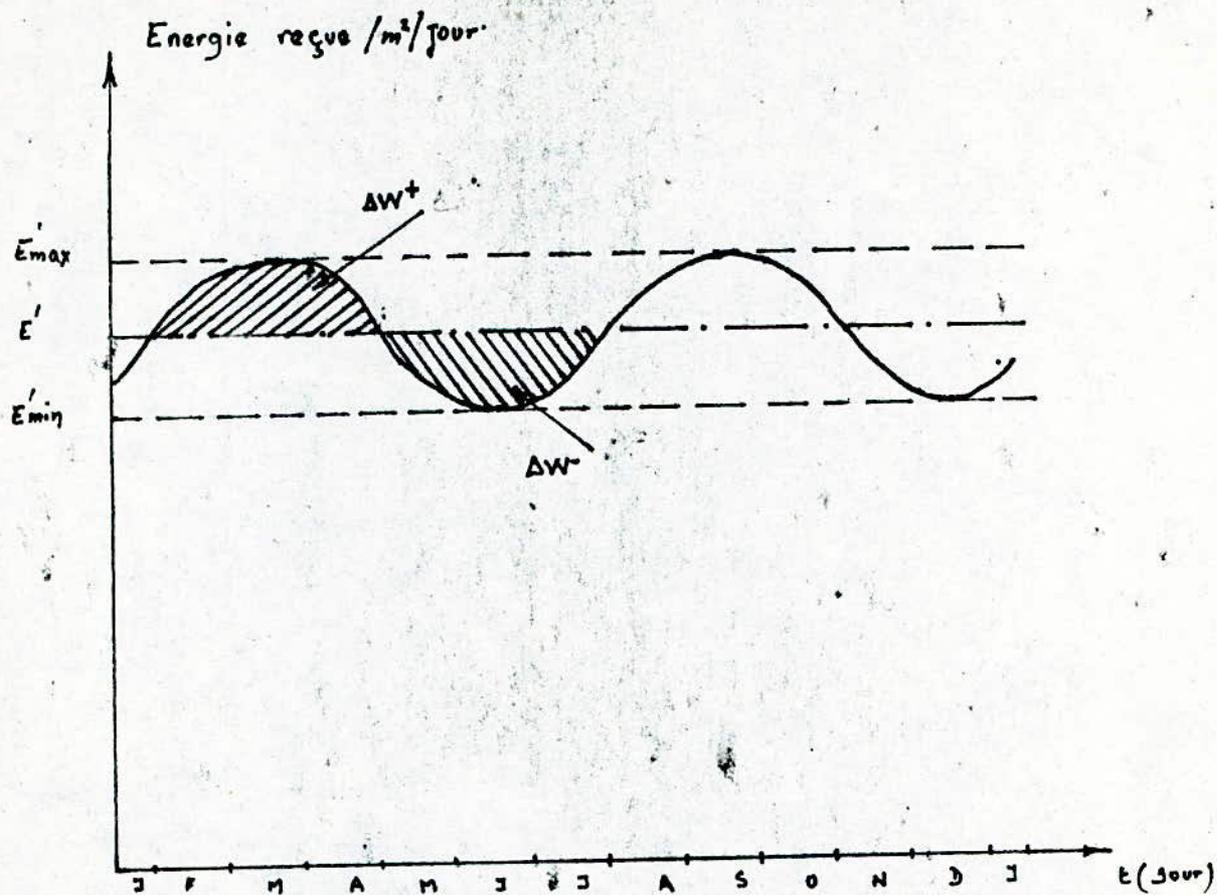


fig 5:

La durée de vie d'un accumulateur est très largement fonction de la régulation .

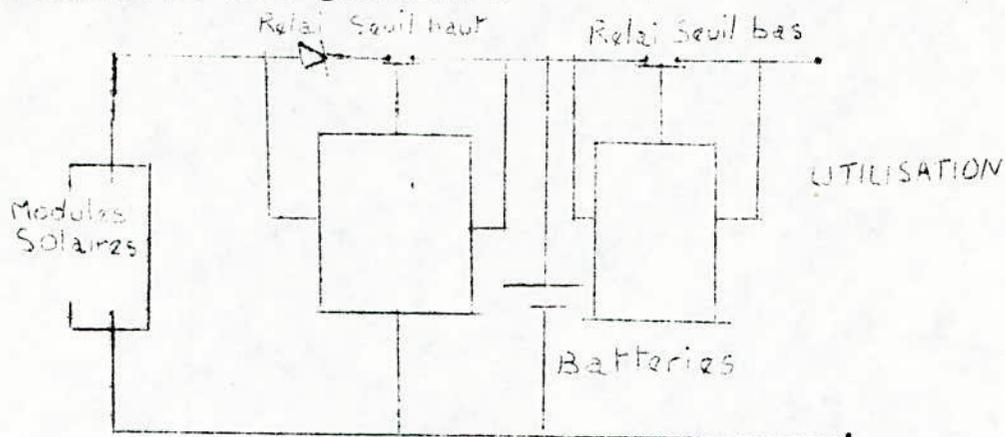


fig 6 : Schema de principe du regulateur LEROY-SOMER.

#### 5°) Recharge d'accumulateur :

Un accumulateur se charge sous une tension pratiquement fixe en dehors de courtes periodes en debut et fin décharge (fig 6) un accumulateur au plomb de 12V nominaux se charge sous :  $6 \times 2,25 \text{ V}$  soit en ajoutant  $0,8 \text{ V}$  pour les pertes diodes et câbles :  $14,3 \text{ V}$ .

La fig 7 montre l'adaptation dans le cas d'un module de 36 cellules. celle-ci est pratiquement parfaite puisque le rendement d'adaption du système est de  $97 \%$  environ .

D'autre part, derriere l'accumulateur, l'utilidation ne necessite aucune adaptation particulière .

Donc une installation comportant un generateur photovoltaïque, avec regulateur, accumulateur et utilisation, peut s'étudier en separant la partie utilisation et système solaire de charge d'accumulateurs .

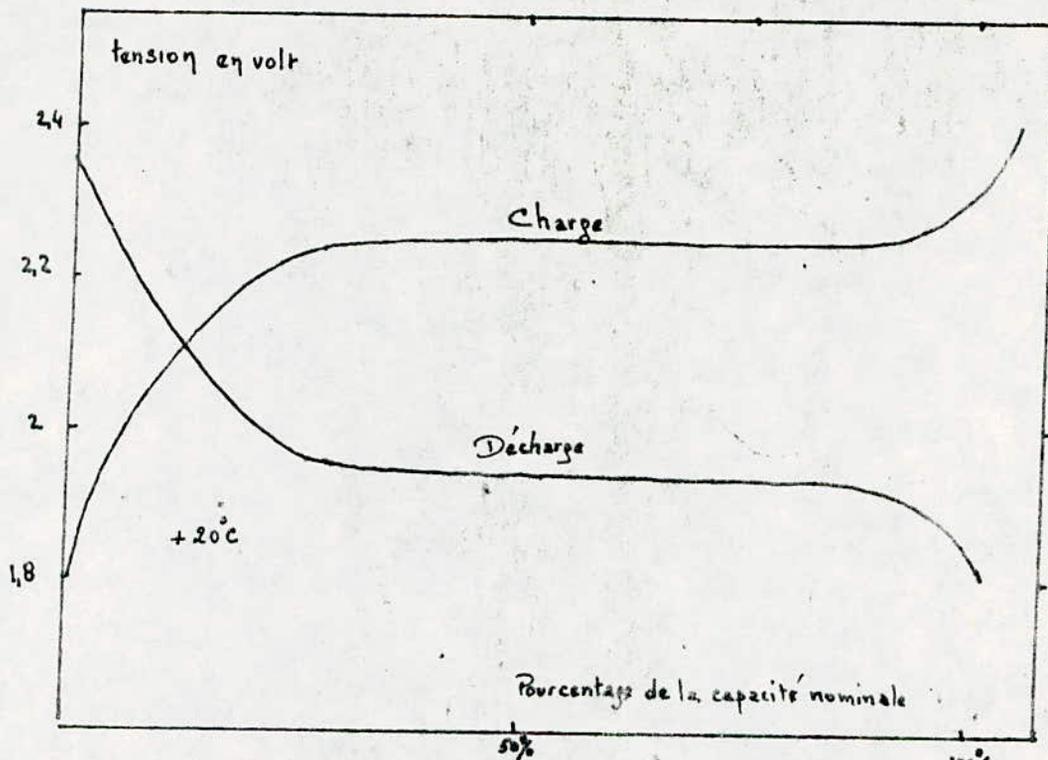


Fig 6: Tension de charge et décharge d'un accumulateur au Plomb

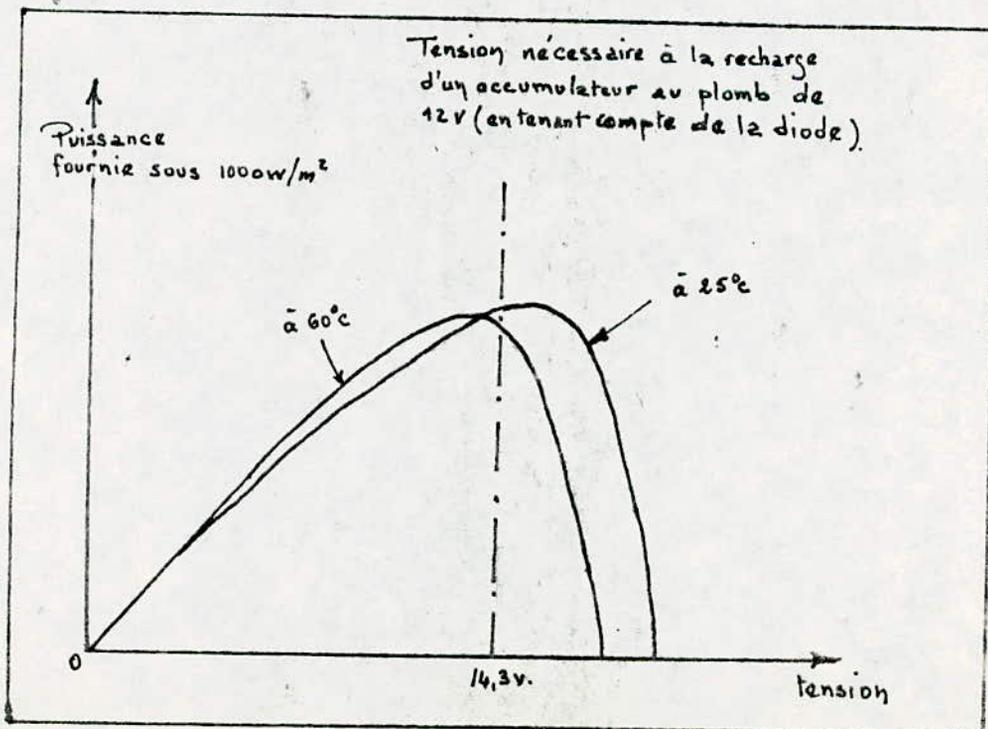


Fig 7: Adaptation d'un module solaire pour la recharge d'un accumulateur au plomb de 12V nominal.

## ETUDE DU REGULATEUR

Un transistor ( $T_{01}$ ) de puissances est monté en un interrupteur électronique, sa base reçoit deux information :

a) une information de courant de charge de batterie, ce courant crée une chute de tension dans la resistance  $R_8$ ,

Si le courant est trop fnt ( court-circuit), le transistor  $T_{02}$  bloque  $T_{01}$  .

b) une information de tension: si la batterie n'est pas bien chargée l'entrée(è) est à un potentiel inferieur à la tension de reference et à la sortie du comparateur est pratiquement au potentiel d'alimentation et  $T_{01}$  conduit.

Par contre si la tension de batterie atteint le seuil de tension maximum la fraction de tension ramenée sur l'entrée ( $e^-$ ) du comparateur est supérieure à celle de reference et le comparateur bascule, sa sortie en tombant à zéro volt bloque  $T_{01}$ . La charge est interrompue .

( fig 10)

$T_{01}$  : est un darlington constitué de  $T_1$  et  $T_2$

$R_8$  : 0,15 - 8W ( Resistance de puissance )

Nous avons inseré ' entre l'emetteur et le collecteur de  $T_{01}$  une resistance  $R_9$  quand le transistor  $T_{01}$  conduit ( VCE est - faible.) elle sera traversée par un courant très faible ( $I_{R_9} = \frac{VCE}{R_9}$  °

Si le transistor  $T_{01}$  est bloqué , la resistance  $R_9$  laissera passer un faible courant ayant pour expression  $\frac{VCE_{max}}{R_9}$ , ce der-

nier assure la charge permanente des batteries .

Le montage de la figure II est identique à celui de la figure 10 seulement l'interrupteur électronique ( $T_{01}$ ) est remplacé par un relai et la fraction de tension de ramené de la batterie est connecte sur l'entrée ( $e^+$ ) du comparateur

Si la batterie n'est pas bien chargée l'entrée ( $e^+$ ) est à un potentiel inférieure à la tension de reference et la sortie du comparateur est égale à 0V et le relai est alimenté .

Si la tension de batterie atteint le seuil de tension maximum .

L'entrée ( $e^+$ ) est a un potentiel superieur à celui de l'entrée ( $e^-$ ) et la sortie du comparateur est pratiquement au potentiel d'alimentation et le relai n'est pas alimenté .

Le deuxième montage a l'avantage de necessiter moins d'éléments actifs d'où d'1 diminution de risque d'éventuelles pannes .

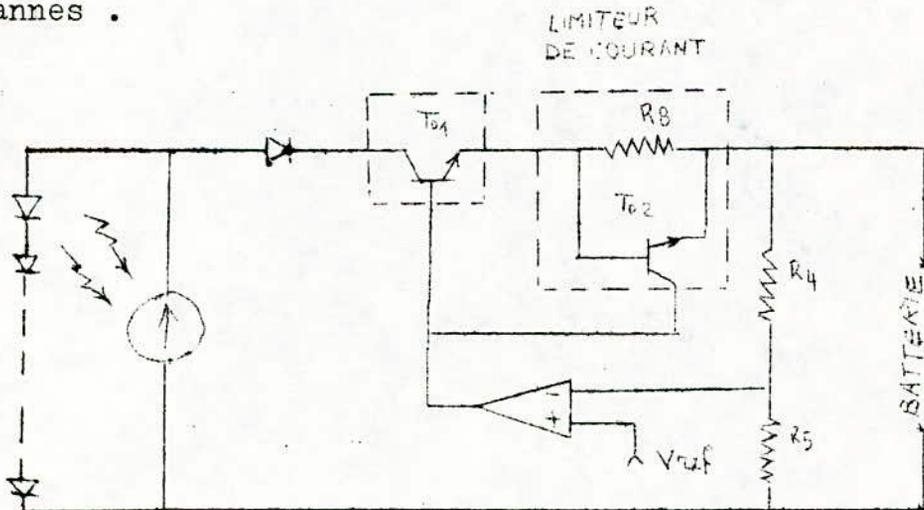
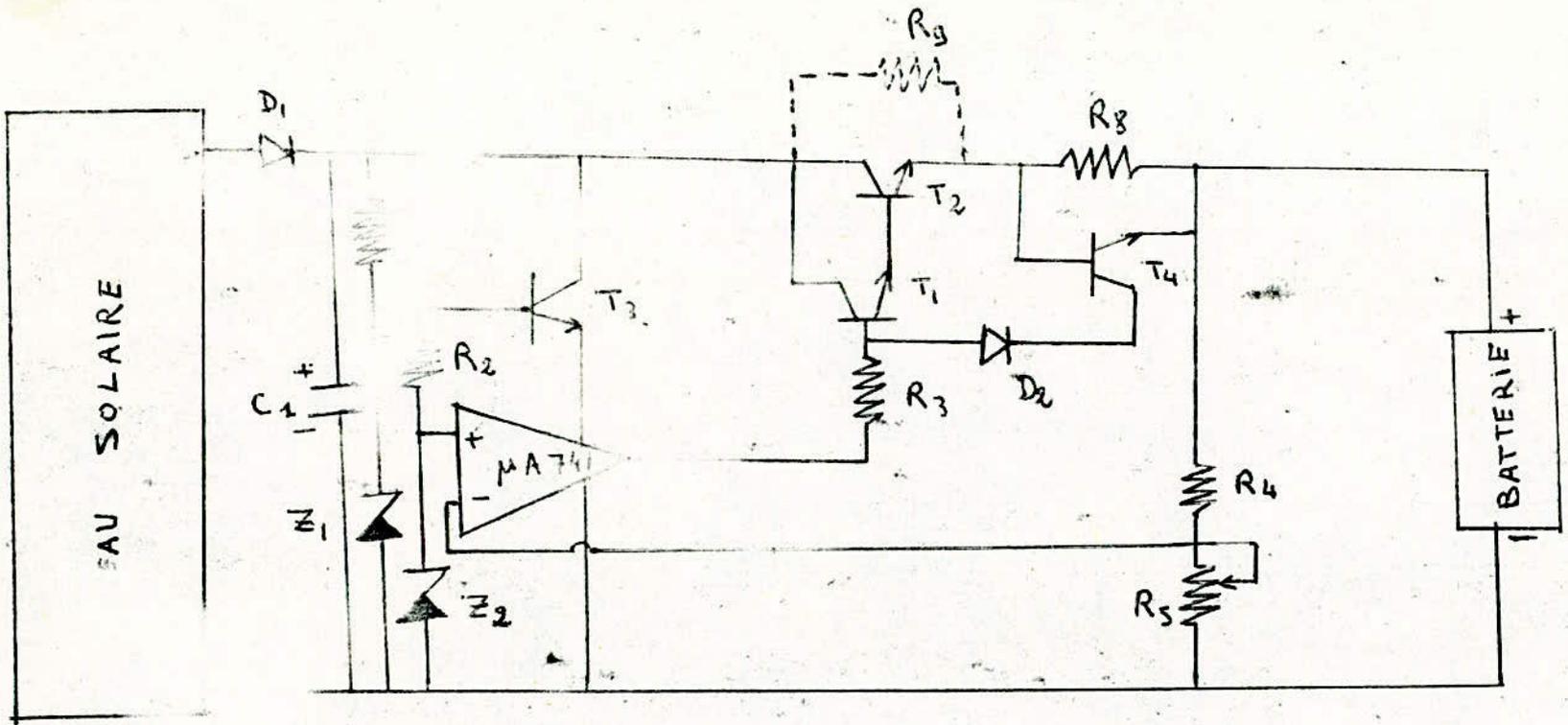
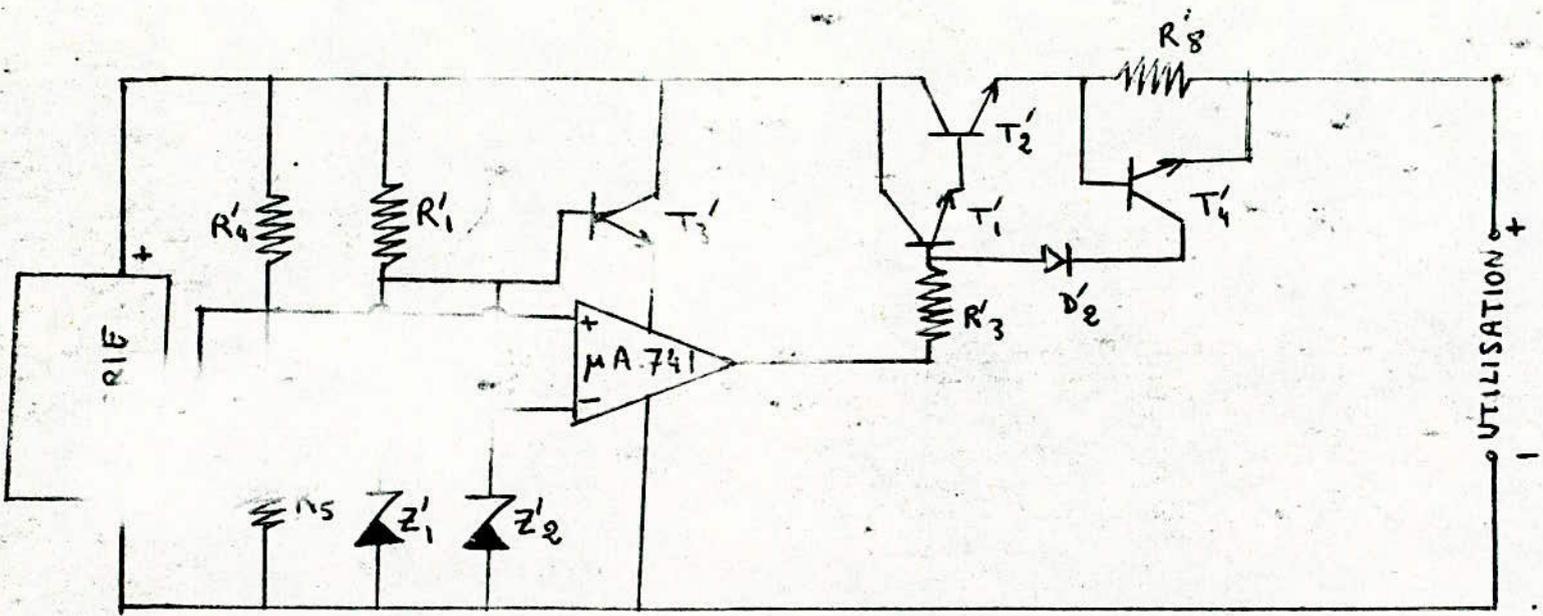
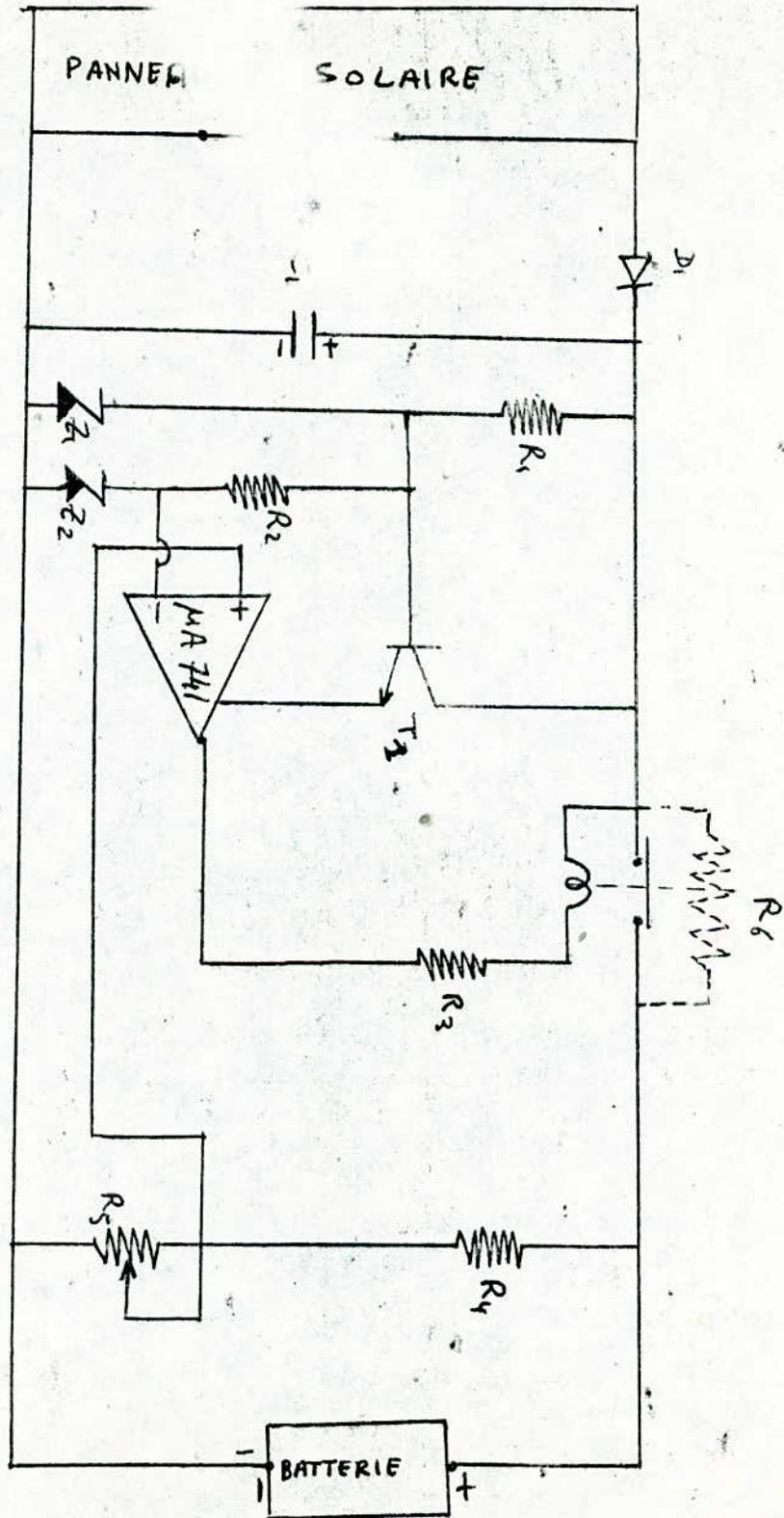
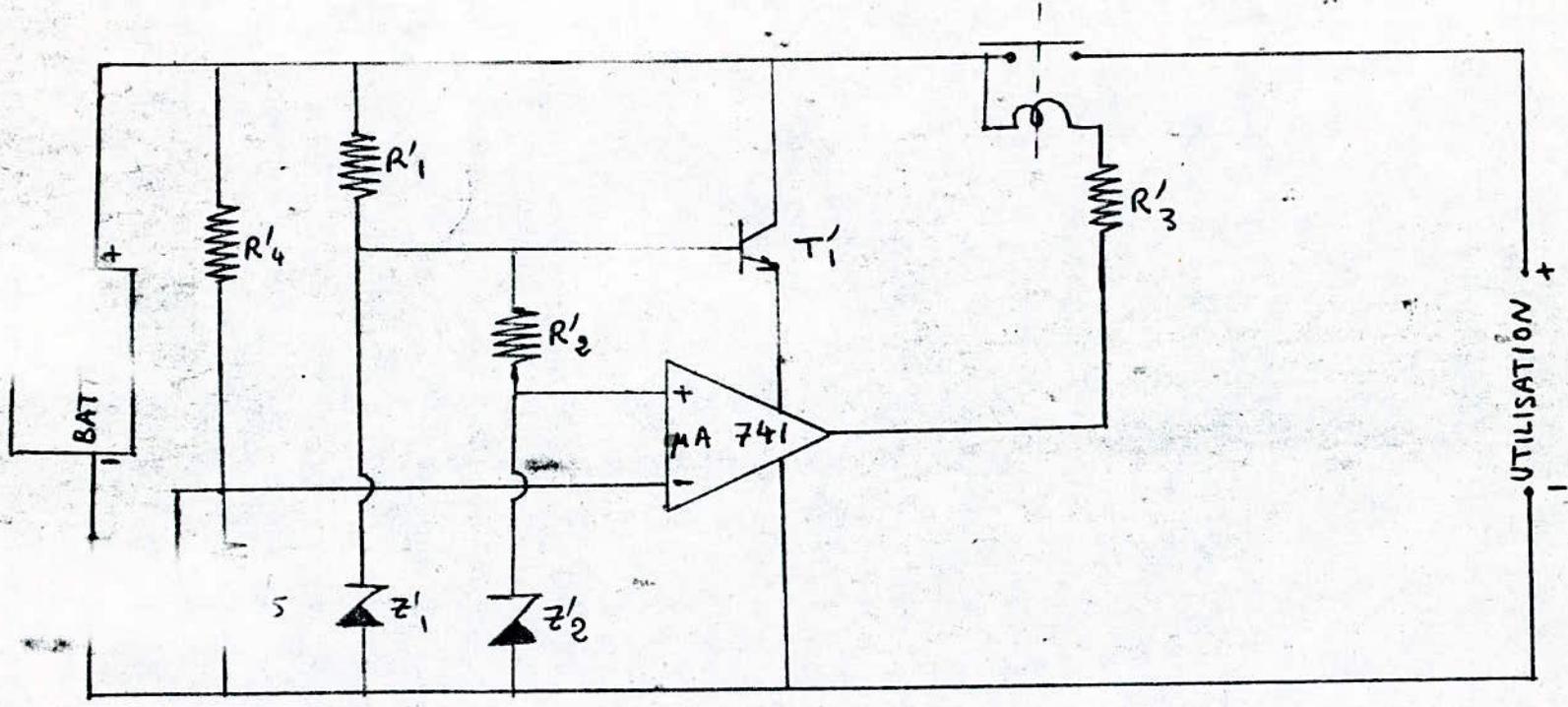


Fig. Schéma Synoptique des fonctions réalisées  
Par le montage



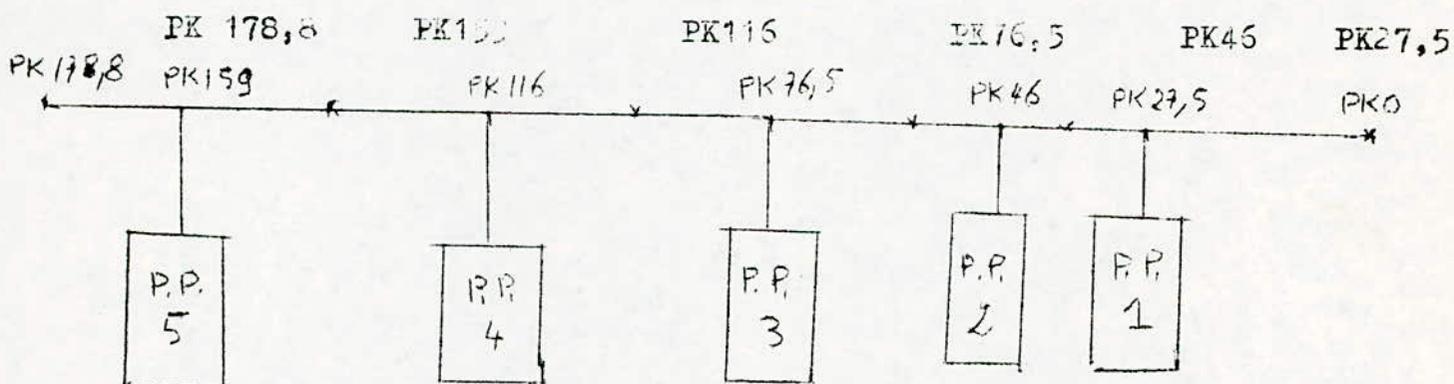






#### IV APPLICATION

Nous faisons ici l'étude de la protection cathodique par énergie solaire d'un tronçon (178Km) du gazoduc, constitué d'un seul pipe line de 48 pouces, reliant TIN FOUYE à HASSI-MESSAOUD. La partie à étudier est située entre HAOUZ EL HAMRA et GASSI TOUIL .



#### Caracteristiques du pipe :

\*  $\varnothing = 48$  pouces = 1219 mm

\* L = 178,8 Km.

\* e = 13,20mm.

L'acier est du type X.60.

Le revêtement est le Coltar, (épaisseur = 2,4 mm.)

La résistivité moyenne du sol sur la longueur à protéger est  
= 7740  $\Omega \cdot m$  ;

La résistance d'isolement est comprise entre 15000  $\Omega \cdot m^2$  et 60 000  $\Omega \cdot m^2$ . Pour notre choix on doit tenir compte du vieillissement du revêtement, c'est pour cela que, nous prendrons donc comme valeur d'isolement vers la terre des conduites :

$$R = 20.000 \Omega \cdot m^2.$$

Les installations réalisées assureront un état satisfaisant de la protection des conduites en tous points avec une ddp référée

.../...

à l'électrode de sulfate de cuivre négative et supérieure en valeur absolue à 0,85v.

Nous on prendra-0,95v, pour avoir une certaine marge de securité  
resistance longitudinale :

$$r = \frac{\rho}{\pi e (\phi - e)}$$

resistance transversale

$$R = \frac{R}{\pi \phi}$$

constante de propagation :

$$a = \sqrt{\frac{r}{R}}$$

resistance caracteristique

$$R_k = \sqrt{r \cdot R}$$

$e_{mm}$	$\phi_{mm}$	$\rho_{\Omega.m}$	$R_{\frac{\Omega.m^2}{m}}$	$r_{\frac{\Omega}{m}}$	$R_{\Omega.m}$	$a_{m^{-1}}$	$R_k_{\Omega}$
13,20	1219	$18 \cdot 10^{-8}$	20.000	$3,60 \cdot 10^{-6}$	5226	$26 \cdot 10^{-6}$	$137 \cdot 10^{-3}$

Nous avons vu precedemment que la tension et le courant en tout point <sup>sont</sup> donnés par :  $E_x = E_0 \text{Ch}ax + R_k I_0 \text{sh}ax$

$$I_x = I_0 \text{ch}ax + \frac{E_0}{R_k} \text{sh}ax.$$

d'où

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_0 = E_L \text{Ch}aL \\ E_x = E_L \text{ch} a(L-x) = \frac{E_0}{\text{Ch}aL} \text{ch} a(L-x) \\ I_0 = \frac{E_0}{R_k} \text{th} aL \quad \text{avec} \quad I_x = - \frac{E_0}{R_k} \frac{\text{sh} a(L-x)}{\text{Ch}aL} \end{array} \right.$$

Les potentiels canalisation - sol seront égaux aux différences calculées augmentés de  $-0,55$  v, (Potentiel naturel moyen vers la terre assumés par les conduites ).

PK km	P.P	x km	E v	Ex v	Io A
0	1	27,5	-0,40	-0,95	
27,5		0	-0,51	-1,06	3,1
38,5		11	-0,43	-0,98	
	2	7,5	-0,43	-0,98	
46		0	-0,44	-0,99	1,6
58		12	-0,42	-0,97	
	3	18,5	-0,42	-0,97	
76,5		0	-0,47	-1,02	3,1
95		18,5	-0,42	-0,97	
	4	20	-0,42	-0,97	
115		0	-0,48	-1,03	3,3
135		20	-0,42	-0,97	
	5	23	-0,42	-0,97	
158		0	-0,50	-1,05	3,2
178,8		20,8	-0,43	-0,98	

## V Etude Economique

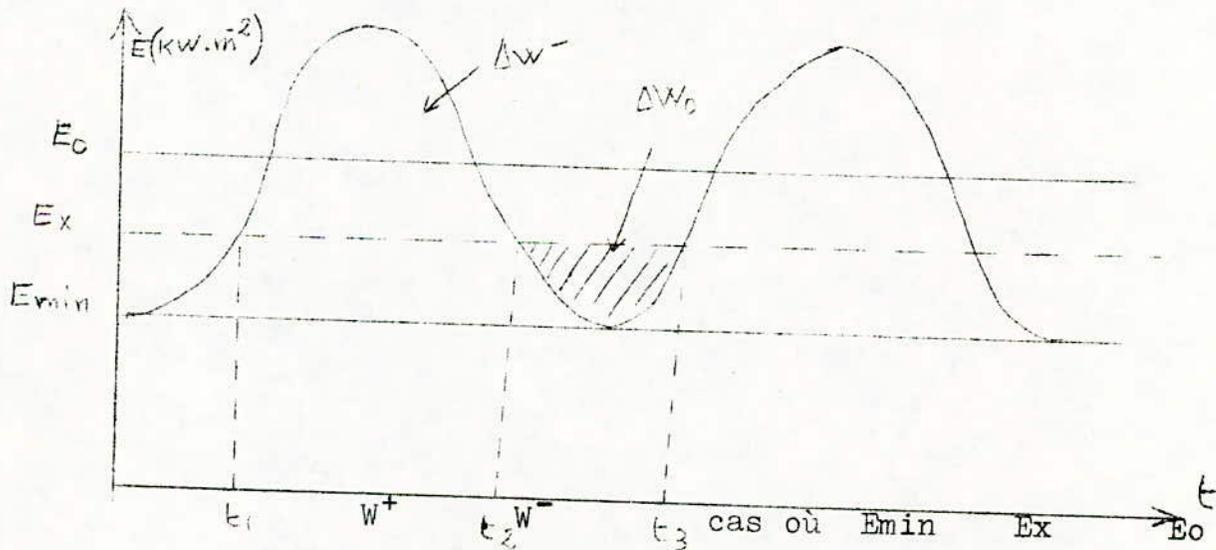
### 1°) Calcul du coût optimal du Wh installé

Pour évaluer le coût d'une installation, il faut tenir compte, dans les calculs des investissements, des variations du DA d'une année à l'autre. (Le dinar d'aujourd'hui est supérieur à celui de l'an prochain, à un facteur  $(1-K)$  près.

Il est facile de voir, qualitativement, que pour une courbe de charge et des données d'ensoleillement fixées, le nombre de panneaux et la capacité des batteries, dépendent du choix du point de fonctionnement sur la courbe d'ensoleillement.

Si par exemple les besoins en énergie égaux à  $W_a$ , on voit qu'il est possible de diminuer le nombre de panneaux. Mais ceci n'est plus possible lorsque l'énergie solaire est minimum. Nous sommes donc amenés à chercher un point de fonctionnement  $E_x$  tel que :

$$E_{min} \leq E_x \leq E_o \quad \text{avec} \quad \Delta W^+ \geq \Delta W^-$$



L'énergie annuelle convertie sera dans ce cas :

$$E_e = E_T - 2 (\Delta W^- - \Delta W_o)$$

$E_T$  = énergie totale reçue durant l'année .

$$E_T = E_o \cdot T \cdot n_o \cdot S .$$

$$\Delta W^- = E_o (1-K)(t_2 - t_1) + \frac{\tau \cdot T}{4\pi} \left( \sin \frac{4\pi t_2}{T} - \sin \frac{4\pi t_1}{T} \right) n_o \cdot S .$$

avec  $n_o = n \cdot n_p$

$E_x = K E_o$

$E_m = \zeta \cdot E_o$

$n =$  rendement des batteries et  $n_p =$  rendement des panneau

$$\Delta W_o = n \cdot S \cdot E_o \quad (K-1) (t_3 - t_2) + \frac{T}{4} \left( \sin \frac{4\pi t_3}{T} - \sin \frac{4\pi t_2}{T} \right)$$

Détermination des bornes  $t_1, t_2, t_3$  :

La droite  $E = E_x$  coupe la courbe  $E(t)$  en plusieurs points tels

que :

$$E_x = E_o - E_m \cos \frac{4\pi t_k}{T}$$

$$\frac{E_x - E_o}{E_m} = \frac{1-K}{\zeta} = - \cos \frac{4\pi t_k}{T}$$

$$\frac{4\pi t_k}{T} = \pm \text{ARcos} \left( \frac{1-K}{\zeta} \right) + 2k\pi$$

$$t_k = \frac{T}{4\pi} \left( \pm \text{ARcos} \left( \frac{1-K}{\zeta} \right) + 2k\pi \right)$$

passons  $\frac{1-K}{\zeta} = X$

$$t_k = \frac{T}{4\pi} \left( \pm \text{ARcos} X + 2k\pi \right)$$

$$t_1 = \frac{T}{4\pi} \text{ARcos} X \quad k=0$$

$$t_2 = \frac{T}{2} - \frac{T}{4\pi} \text{ARcos} X \quad k=1$$

$$t_3 = \frac{T}{2} + \frac{T}{4\pi} \text{ARcos} X \quad k=1$$

$$\begin{aligned} W_a + \Delta W_o &= n_o S \left[ K + (K-1)(t_3 - t_2) + \frac{\zeta T}{4\pi} \left( \sin \frac{4\pi t_3}{T} - \sin \frac{4\pi t_2}{T} \right) \right] \\ &= n_o \cdot S \left[ K + (K-1) \frac{T}{2\pi} \text{ARcos} X + \frac{\zeta T}{2\pi} \sin(\text{ARcos} X) \right] \end{aligned}$$

$$E_o = n_o \cdot S \cdot E_o \cdot K \cdot T$$

Coût du Kwh installé

Cp : coût du Watt - crête

Po : Puissance maximale par m<sup>2</sup>

Cb : Coût du Kwh de Stockage .

θ : Coefficient d'actualisation .

Le coût du wh est donné par la relation ci-après :

$$C = \frac{C_p \cdot P_o + C_b \cdot n_o \cdot E_o \left[ K + (K-1) \frac{T \text{ ARcos } X}{2\pi} + \frac{\tau T}{2\pi} \sin(\text{ARcos}X) \right]}{n_o \cdot E_o \cdot K \cdot T \cdot \theta_o}$$

on posera : A = Cp.Po ; B = Cb. n<sub>o</sub>. Eo. ; F = n<sub>o</sub>. Eo. T. θo

et X = cos y

ceci nous donnera :

$$C = \frac{A + B \left[ 1 - \tau \cos y - \frac{\tau \cdot T}{2\pi} y \cos y + \frac{\tau T \sin y}{2\pi} \right]}{F \left[ 1 - \tau \cos y \right]}$$

Calcul du coût optimum:

$$\frac{dc}{dy} = 0 \Rightarrow \frac{B \cdot T \cdot \tau}{2\pi} \cdot y \cdot \sin y - A \cdot \tau \cdot \sin y + \frac{B \tau^2 T}{2\pi} x$$

$$* \sin^2 y = 0$$

y = 0 est solution .

d'où le coût optimum est  $c = \frac{A+B(1-\tau)}{F(1-\tau)}$

On a :

$$\tau = 0,06 ; K = 0,94$$

En admettant un taux d'actualisation de 10 % et, que les batteries et les panneaux ont une durée de vie égale à 10 ans : θo = 6,25 .

En principe, les cellules solaires ont une durée de vie de 20ans  
Nous avons toutefois intentionnellement limité cette durée afin de pouvoir négliger les frais d'entretien de l'installation au cours

.../...

de cette periode .

on a :

$$n_p = 0,08$$

$$n = 0,8$$

$$P_o = 40 \text{ W crête/m}^2$$

$$E_o = 7300 \text{ wh}$$

$$C_p = 100 \text{ DA /w crête .}$$

$$C_b = 0,4 \text{ DA/wh}$$

On aura alors :

$$n_o = n_p \cdot n = 0,064.$$

$$B = 187$$

$$A = 4000$$

$$F = 1065800$$

$$C_{opt.} = 4,1 \text{ DA/Kwh}$$

## 2°) Les anodes :

Nous avons vu précédemment que dans les cas où la résistivité du sol est élevée, on doit choisir des anodes verticales, mais celles-ci sont très coûteuses et nécessitent des forages importants, ce qui explique qu'elles sont rarement utilisées. C'est donc une question purement économique qui a orienté notre choix vers les anodes horizontales .

La formule suivante nous donne approximativement la résistance des anodes isolées placées dans un lit de coke .

$$R_H = \frac{\rho}{2 \pi L} \ln \frac{L^2}{t \cdot d} \quad (\text{ en } \Omega).$$

$\rho$  : résistivité du sol .

L : longueur du lit de coke .  $L = n \cdot S$

t : profondeur des anodes .

.../...

d : diamètre des anodes .

S : espace entre deux anodes consécutives .

n : nombre d'anodes .

### 3°) Anodes et câbles

Si on installe un nombre restreint d'anodes isolées, les coûts de construction seront faibles, mais l'énergie électrique délivrée par les stations sera importante .

Si par contre , on installe un grand nombre d'anodes espacées, placées dans un lit de coke long et continu, l'énergie électrique nécessaire est faible, mais les frais de construction sont élevés.

Pour déterminer le nombre d'anodes optimal pour un courant protecteur et une résistivité du sol donnés, il faut d'abord calculer le coût annuel total .

Le coût d'installation d'une anode à courant imposé en fonte Silicium, comprenant une tranchée d'environ 5 m, un câble liant une anode à la suivante est estimé à  $K_A = 1400$  DA, on a pris un coefficient d'actualisation égal à 9, pour une utilisation sans maintenance pendant 20 ans .

Une durée d'utilisation  $t = 8766$  heures.(par an) .

La puissance  $P = R_g \cdot I_0^2$  est proportionnelle à la résistance  $R_g$  des anodes et donc à la résistivité  $\rho$  du sol .

$K(y)$  coût du wh installé.

Le nombre (n) optimal d'anodes déduit du graphique(fig: ) augmente avec le courant protecteur et la résistivité du sol.

Cette formule justifie bien la façon de procéder sur le terrain qui consiste à implanter les installations d'anodes dans le sol où la résistivité est faible .

La fonction du coût total est donc :

$$K(n, y) = a \cdot K_A \cdot n + \frac{\rho}{2\pi n \cdot S} \cdot \left[ \ln \frac{(n \cdot S)^2}{t \cdot d} \right] \cdot I^2 \cdot t \cdot K(y).$$

En annulant les dérivées  $\frac{\partial K}{\partial n}$  et  $\frac{\partial K}{\partial y}$ , on obtient le coût minimum pour un nombre optimal d'anodes .

$$\frac{\partial K}{\partial y} = 0 \quad \text{correspond au coût minimum du wh.}$$

$$\frac{\partial K}{\partial n} = K_A \cdot a + \frac{\rho}{\pi \cdot n^2 \cdot S} \left[ 1 - \ln(n \cdot S) + \frac{\ln td}{2} \right] I^2 \cdot t \cdot K_0 = 0$$

$$G(\rho, I) \quad G(\rho, I) = \frac{2\pi \cdot K_A \cdot S \cdot a}{\rho \cdot I^2 \cdot K_0 \cdot t} = \frac{1}{n^2} \left[ -2 + \frac{\ln(nS)^2}{td} \right] = f(n)$$

fig : : Nombre optimal(n) d'anodes pour la protection par courant imposé .

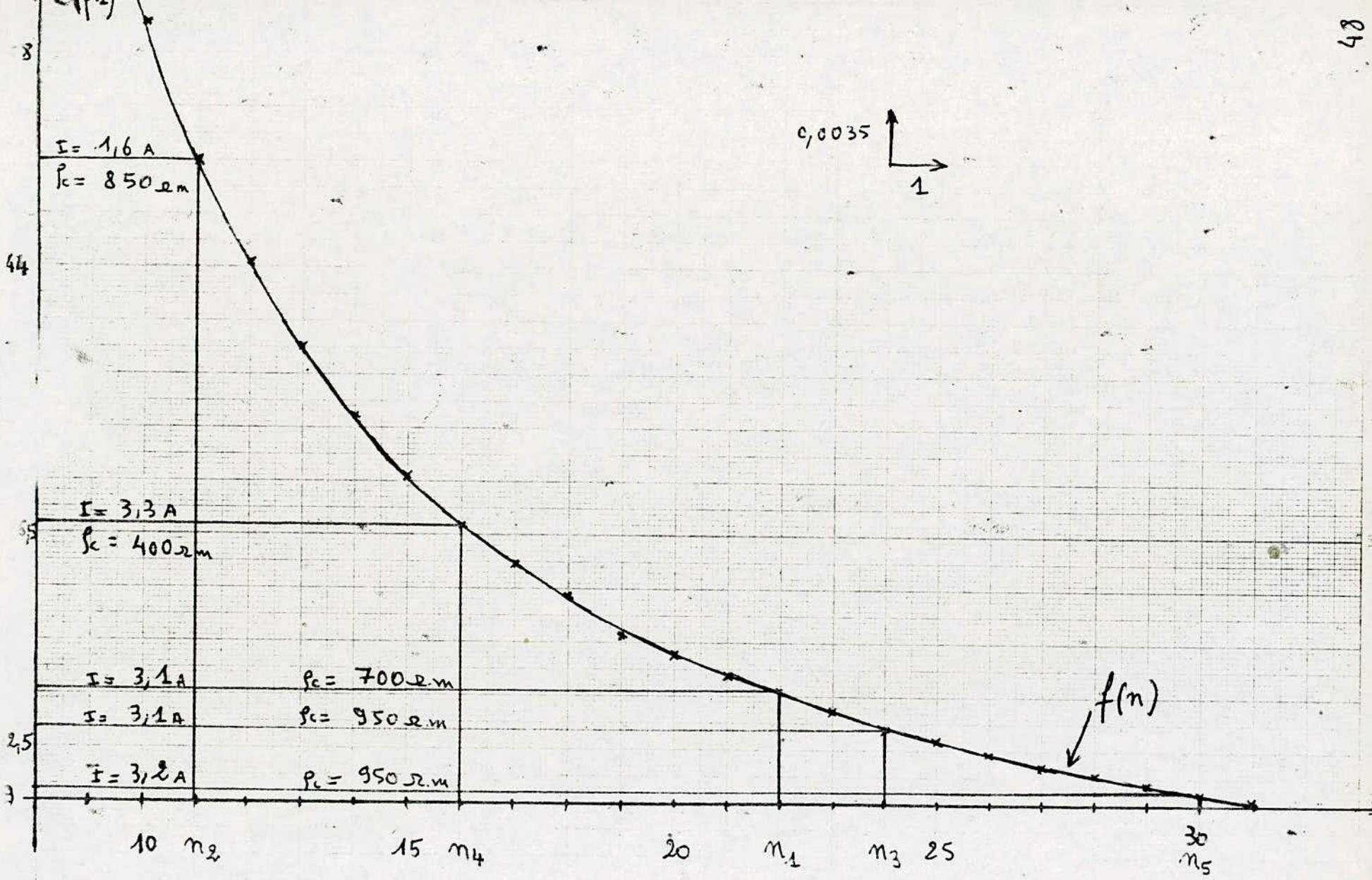
#### 4°) Dissipation de puissance dans les câbles

Connaissant le courant protecteur, on peut déterminer le minimum de pertes dans les câbles de connexion .

La figure suivante nous donne la section du câble pour diverses durées de fonctionnement de l'installation de protection cathodique. La résistance du câble est donnée par :

$$R_c = 0,017 \frac{l}{S} \quad \begin{array}{l} l: \text{en m} \\ S: \text{en mm}^2 \end{array}$$

On néglige la résistance dans la terre de l'ouvrage .



Durée de fonctionnement en heures

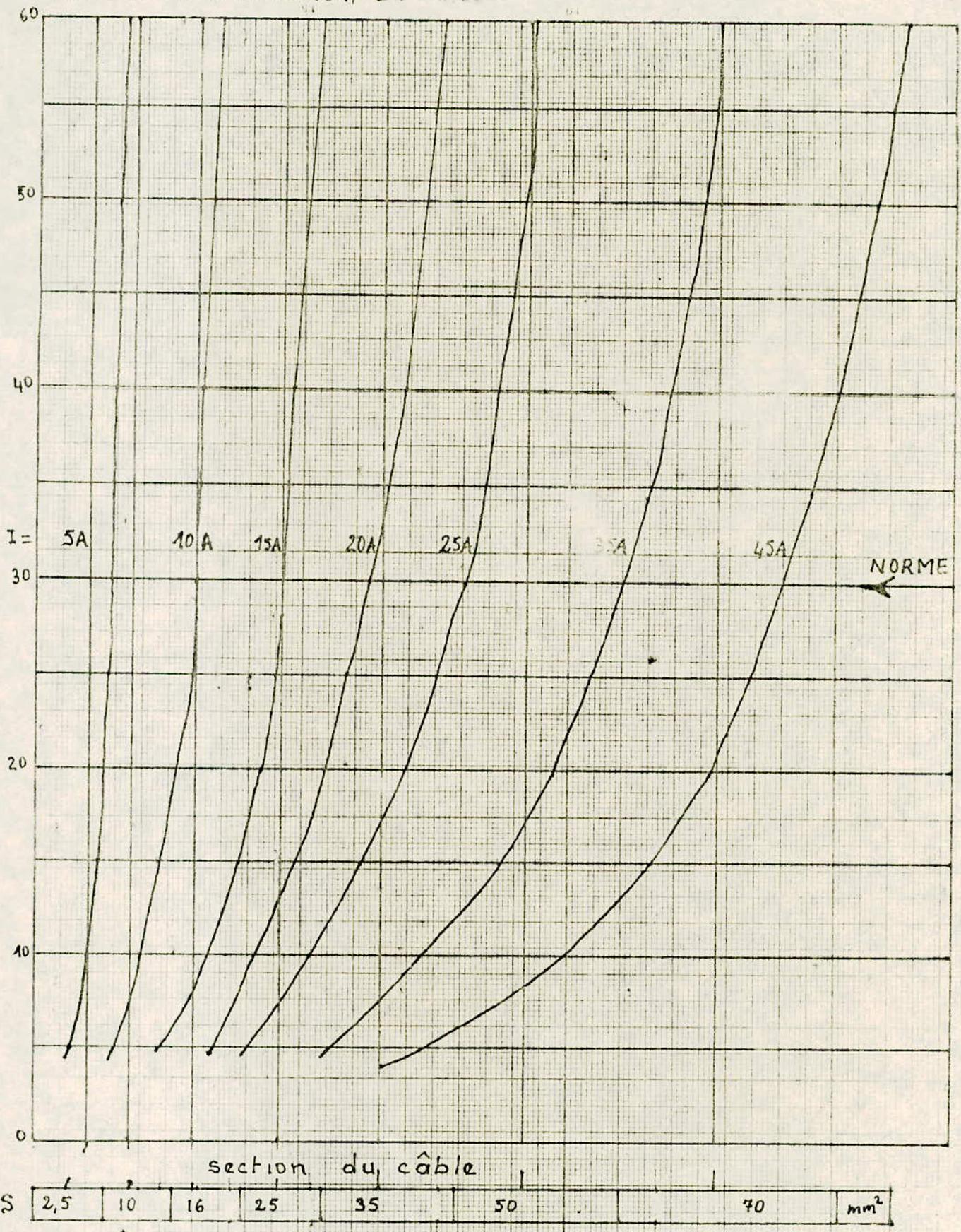


Fig : section optimale du câble d'anode

5°) Caracteristiques des stations

I	(A)	3,1	1,6	3	3,3	3,2
$\rho$	$\Omega \cdot m$	700	850	950	400	950
G	( $f, I$ )	0,017	0,062	0,015	0,029	0,009
n		22	11	24	16	30
$R_H$	$\Omega$	8,8	22	9,7	8	8,3
l	m	155	100	165	125	195
$R_c$	$\Omega$	1	0,7	1,1	0,9	1,3
$R_T = R_H + R_c$	$\Omega$	9,8	22,7	10,8	8,9	9,6
P	w	94,2	58,1	97,2	96,9	98,3

100000

10000

1000

GASNY COIN

PK 339

PK 386

PK 415

PK 451

PK 475

PK 485

D



Terminal BOARD 61 HAMPA Point located in P.O. Box 10000

## 6°) Choix des accumulateurs

Les batteries destinées à notre utilisation doivent être caractérisées par :

- Un grand nombre de cycles, charge-décharge,
- Une faible autodécharge,
- Un entretien restreint .

Quatres principaux types d'accumulateurs sont disponibles sur le marché :

- Batteries au cadmium-nickel (Cd-Ni),
- Batteries au plomb étanches (electrolyte-gélifié)
- Batteries au plomb ouvertes sans entretien(electrolyte) liquide mais ne necessitant pas d'apport régulier),
- Batteries au plomb ouvertes (electrolyte liquide devant être completé régulièrement).

Ceci nous permet donc de choisir les batteries au plomb ouvertes à grande reserve d'électrolyte qui se caracterisent par :

- Durée de vie importante
- Prix par Wh moyen.
- Necessite une recharge périodique de l'électrolyte (1 à 2 fois par an).

Comparaison de quatre familles de batteries aux données moyennes

	Plomb étanché	Plomb ouvert sans entretien	Plomb ouvert à grande réserve d'électrolyte	Cd-Ni
Rendement Faradique (1)	90%	90%	90%	75 à 80%
Rendement de tension (1)	87%	87%	87%	85%
Auto-décharge par mois à 20°C	3 à 4%	4 à 5%	3 à 4%	30%
Auto-décharge par mois à 40°C	6 à 8%	9%	7 à 10%	10%
Nombre de cycles à 40% de décharge maximum.	1000	1000	1000	500
Nombre de cycles à 80% de décharge maximum.	600	500	500	500
Autonomie sans entretien.	égale à la durée de vie	égale à la durée de vie	6 mois à 1 an	égale à la durée de vie.
Durée de vie	5 ans	2 à 4 ans	8 à 12 ans	3 à 5 ans
Capacité massique.	20 à 25 Wh/kg	40 à 50 Wh/kg	25 Wh/kg	30 Wh/kg
Fabricants (2)	DARY SONNENSCHN VARTA	DELCO	CIPEL FULMEN OLDHAM SAFT VARTA WONDER	AGLO SAFT VARTA WONDER.
Tailles disponibles	5 à 400 Ah	50 à 100 Ah (3)	20 à 9000 Ah	0,1 à 1500 Ah
Tension par élément unitaire.	2 à 12 V	12 V	2 V	1,2 à 12 V

(1) Sur un cycle réel

(2) cette liste n'est pas exhaustive

(3) Avec possibilité de couplage parallèle sans diminution de la garantie donnée par le constructeur

## VI Protection contre les agents atmospheriques :

Dans les régions desertiques où souvent, les conditions climatiques sont sevéres, les batteries doivent être protegées, pour ce on les place dans des bacs de climatisation enterrés .

De même les modules solaires doivent être bien encapsulés, car leur durée de vie en dépend. Les cellules ainsi que les connexions sont moulées dans une résine qui constitue une matière isolante du point de vue électrique et calorifique. Le tout est recouvert des deux côtés, par deux plaques de verre trempé qui résiste aux agents atmosphériques et aux variations de températures. Le panneau est encadré sur les quatre côtés latéraux, d'une première ceinture isolante et protectrice en caoutchouc puis autour de celle-ci, une seconde ceinture en Aluminium anodisé . Le poids total sera de 2,4Kg les dimensions extérieures sont :

- Longueur 468 mm
- Largeur 365 mm
- épaisseur 15mm

## VII Comparaison des systèmes :

Etant donnée la durée de vie assez longue des différentes installations , la seule méthode satisfaisante pour choisir entre deux solutions alternatives, est de comparer la somme en valeur actualisée des dépenses d'investissement et de fonctionnement de chaque technique. Les deux problèmes délicats sont d'évaluer correctement la durée de vie et surtout d'utiliser un taux d'actualisation correct.

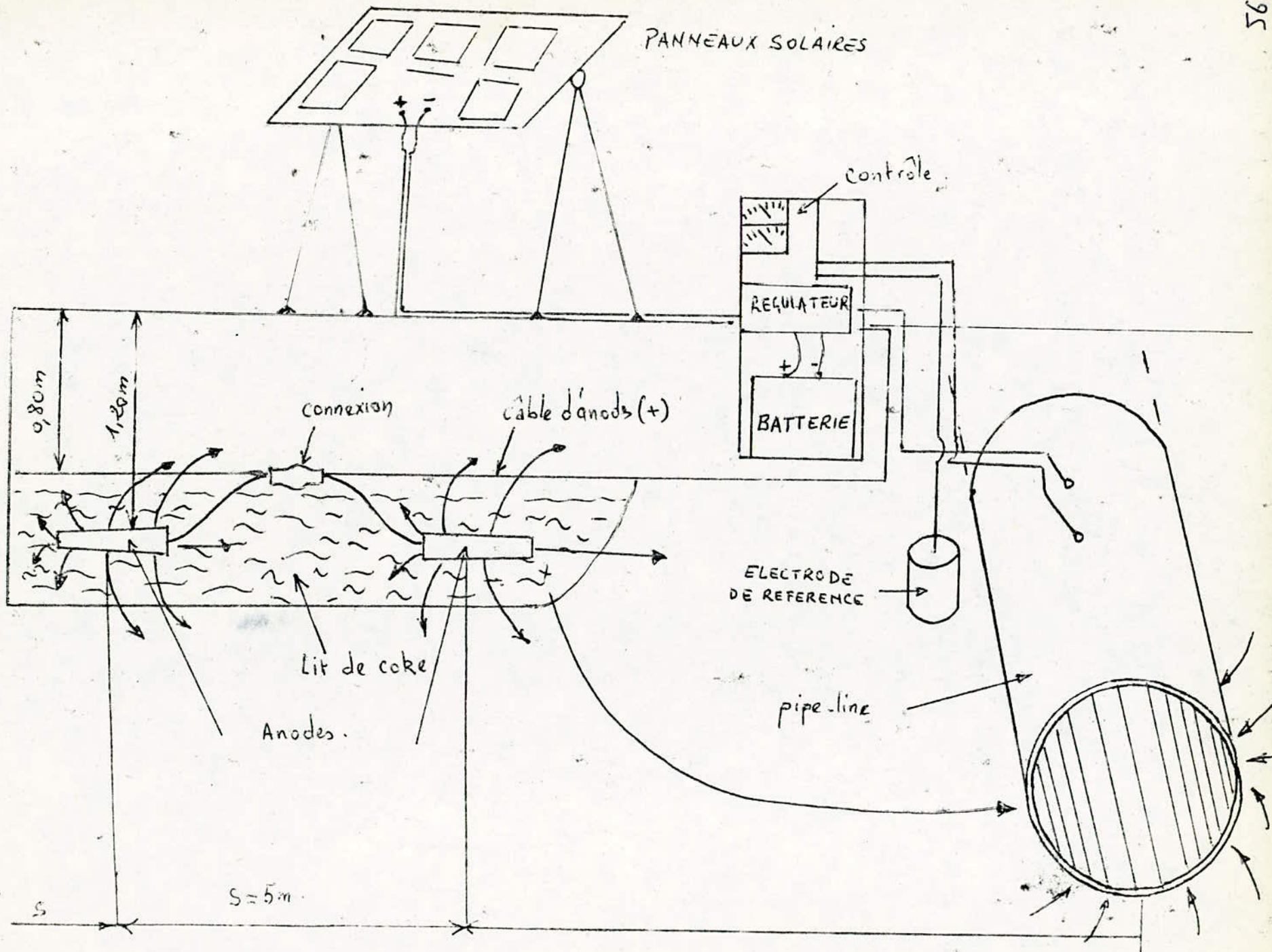
Le tableau suivant nous résume une telle comparaison entre diesels et photovoltaïques .

Nous remarquons d'après celui-ci que la solution photovoltaïque présente une économie très importante, et ce malgré le cas très pessimiste où la durée de vie des cellules est réduite à dix ans .

Taux d'actualisation 10%		Solution diesel deux stations puissantes	Solution photovoltaïque 5 petites stations
Puissance Permanente nécessaire		800 W	435 W
Puissance totale installée		4 diesels de 3Kw	3000 W crête
Générateur diesel (ou modules de vie Annuité éco. (A))	Investissement	160 000 DA.	180 000
	Durée de vie	5ans   8ans	10ans   20ans
		42 000DA   30 000 DA	30 000DA   21200 DA
Equipements  divers	Investissement	. Commutation automatique 60 000DA	. Chassis 21700 DA
		. Redresseurs 30 000DA	. Régulateurs 31000 DA
		. Citerne 20 000DA	. Limiteur d'intensité 7500 DA
		. Génie civil 30 000DA	. Cablage 18000 DA
		. Transport	. Transport
		Montage 120 000DA	Montage 62500 DA
		Total 260 000DA	Total 140 700 DA
Durée de vie	20ans	20ans	
Annuité éco (B)	30 600 DA	16 600 DA	
Batteries	Investissements	22 000 DA	67 500 DA
	Durée de vie	7 ans	7 ans
Annuité éco (C)		45 20 DA	13 900 DA
Frais Annuels  d'entretien(D)		. Carburant 2730 DA	. Entretien 2500 DA
		. Lubrifiant 5600 DA	(2visites/au)
		. Entretien 800 00DA	
		Total 88330 DA	Total 2500DA

.../...

Durée de vie du Générateur		Sans	8ans	10ans	20ans
Prix de	Installation				
revient	A +B + C	77 120 DA	65 120 DA	60 500 DA	51 700 DA
economique	Entretien(D)	88 330 DA	88 330 DA	2 500 DA	2 500 DA
Annuel	Total	165 450 DA	153 450 DA	630 00 DA	542 00 DA



schema d'une station de protection cathodique par énergie solaire

### VIII Conclusion :

L'importance de l'étude de la corrosion est double .La 1<sup>ère</sup> est économique ,elle concerne la réduction des pertes de matériels qui resultent de deterioration.La 2<sup>e</sup> est la conservation apliquée aux ressources de métal dont les reserves mondiales sont limitées.

Les frais de construction des ouvrages petroliers étant très importants,il convient de les préserver :

- en augmentant la durée de vie,
- en évitant les arrêts imprevue
- en réduisant les frais d'entretien .

D'après ce qui precede on remarque que la protection cathodique est presque un remède universel.Elle permet,lorsqu'elle est appliquée dans les règles de l'art,et par des gens compétants,de protéger ces ouvrages avec une efficacité égale à cent pour cent .

Ajoutée à ceci l'utilisation de l'énergie solaire nous offre une solution économique interessante par rapport aux générateurs diesels.Ces derniers bon marché à l'achat,demandent ensuite une fourniture régulière de carburant,et un entretien important, comme si on les payait à crédit.La station solaire,chère au départ ne coûte plus rien par la suite .La gratuité du soleil va de pair avec le lourd investissement qui ne peut être amortis qu'à long terme .

Seul un programme de recherche,de developpement et de promotion des technologies permettra des baisses du Kie/h photovoltaïque. Nous avons rassemblé ici les previsions de certains experts :

1980 - 1985	5 \$ : Wh crête .
1985 - 1990	1 \$ / Wh.crête .
1990 - 2000	0,5 \$/Wh.crête .
2000	0,1 \$ /Wh.crête .

Il s'agit du dollar U.S. constant 1980 .

## A N N E X E I

### Milieu Immergé

#### 1°) Généralités :

La mer est un milieu de grande agressivité et il est nécessaire d'assurer la protection des structures métalliques marines .

Le revêtement par peintures hydrocarbonées ou plastiques est un mode de protection. La protection cathodique en est un complément.

Les problèmes de corrosion par l'eau de mer sont plus importants qu'à terre du fait du milieu plus agressif mais toutefois identiques dans le principe. Ils sont toujours complexes car les causes sont diverses et locales .

#### 2°) Champ d'application :

La protection cathodique ne peut s'appliquer que sur des structures en contact avec un électrolyte. Elle permet donc une protection efficace sur :

- les sea-lines et les flow-lines immergés,
- les parties immergées des tubes guides, des plates-forme des estacades et rideaux de palplanches,
- les têtes de puits immergées,
- les oeuvres vives des navires, tendas , barges.-

Il faut remarquer que des limitations propres aux conditions in situ peuvent apparaître du fait du PH, de la vitesse du courant ou de la structure. Des problèmes particuliers peuvent se présenter du fait de la nature des métaux .

### 3°) Methode d'étude

Certaines données sont nécessaires à l'établissement du projet

Elles sont de deux ordres :

\* Données relatives au milieu :

- Nature de l'eau (de mer ou douce), des fonds et de leurs sédiments (Analyse, agressivité, PH, resistivité);

- Aération du milieu;

- Nature, regime, force et direction des courants;

- Nature de la faune et de la flore aquatique;

- Amplitude des marées;

- Hauteur de la houle .

\* Données relatives à la structure :

- Nature des matériaux employés;

- Etat de surface (Métal nu ou revêtu);

- Nature du revêtement ;

- Qualité du revêtement .

## A N N E X E II

### Contrôle de la protection cathodique

#### 1°) les éléments à contrôler :

La protection cathodique d'une structure est réalisée lorsque son potentiel par rapport à une électrode impolarisable au  $\text{Cu}/\text{SO}_4\text{Cu}$  est plus négatif que :

- 0,85 v pour l'acier,
- 0,70 v pour le plomb,
- 0,60 v pour le cuivre,
- entre - 0,90 et -1,2v pour l'aluminium

Nous avons vu que ces potentiels sont obtenus par des appareils de soutirage .

Le contrôle de la protection cathodique portera donc essentiellement sur les deux points suivants :

- le maintien du potentiel dans le temps à des valeurs acceptables sur toute la surface protégée,
- le bon fonctionnement des dispositifs produisant ces potentiels .

#### 2°) Opérations systématiques et indispensables :

\* Tous les 8 à 10 jours

Relevé des indications des instruments de mesure inclus dans les appareillages :

- Voltmètre (tension de sortie ),
- Amperemètre (Débit de protection ).

\* Deux fois par an :

Mesure des potentiels sur l'ensemble de la structure , à l'aide d'un voltmètre et d'une électrode impolarisable de référence .

Ces mesures sont la base du contrôle de la protection cathodique et sont imposées par les règlements .

3°) Opérations Souhaitables chaque semestre :

Elles requierent la présence d'agents spécialistes de la protection cathodique qui effectueront un entretien preventif des appareils de protection cathodique, c'est à dire la visite complète de l'installation :

- Appareils,
- Raccordements des câbles,
- Anodes.

4°) Opérations nécessaires, non systematiques :

Ce sont des opérations dont la nécessité s'est revelée à la suite d'un contrôle simple .

Elles ne peuvent être menées à bien que par un contrôleur qualifié de protection cathodique. Elles peuvent concerner :

- L'amélioration des potentiels par un nouveau réglage des appareils de protection, ou par l'adjonction de nouvelles installations,
- le contrôle et la mesure des joints isolants,
- la mesure de la resistance du revetement de conduite,
- la detection de masses ou de mises à la terre intempes- tives .

## Bibliographie

- \* MANUEL DE PROTECTION CATHODIQUE  
(Chambre syndicale de la recherche et de la production du  
petrole et du gaz naturel).
  - \* TASCHENBUCH FUR DEN KATHODISCHEN KORROSIONSSCHUTZ  
( Pipeline Engineering).
  - \* PROTECTION CATHODIQUE  
(cours condensé pour Formation en une année, Allemagne).
  - \* PROTECTION CONTRE LA CORROSION  
(Louis Lacourcelle).
  - \* CORROSION ET PROTECTION (H. H. UHLIG)
- 
- P<sub>1</sub> \* Methode de calcul pour la conception des systemes de protection  
cathodique des structures longilignes(Filali et Chaabi).
  - P<sub>2</sub> \* Etude et réalisation d'un régulateur panneau solaire-batterie  
dimensionnement d'une micro-centrale electro-solaire.  
(Douaidia et Khiari)
  - \* Analyse economique d'une pompe solaire à conversion photovoltai  
que.
  - \* Cours d'hyperfrequences (Par Ahmed Zergueras ).
  - F<sub>3</sub> \* France Photon (Mars 81).
  - \* Radio-plan (N° 380 Juillet 79).
  - \* S. Techniques de l'energie (N° 45 . Mars 81).