

## Sommaire

### Remerciements.

### Aperçu sur l'OFFICE NATIONAL D'ÉLECTRICITÉ.

### Aperçu sur le Service Technique Régional ERRACHIDIA.

### Introduction.

### Partie 1 : CHUTE DE TENSION.

1 - problématique.....	9
2 - Etude théorique : calcul théorique des chutes de tension en MT .....	11
3- Calcul à l'aide du logiciel (CYMDIST) .....	14
3-1- présentation du logiciel.....	14
3- 2- utilisation.....	16
3-3- application aux lignes MT du STR Errachidia .....	26

### Partie 2 : REGULATION DE TENSION.

1-Généralités : la régulation de tension.....	27
1-1-Description du fonctionnement.....	27
1-2-Description du matériel :.....	28
1-2-1-L'étage régulateur de tension (principe electro - mécanique).....	28
1-2-2-Régulateur à ferrorésonance (principe électrique).....	30
1-2-3-Régulateur à curseur asservi (principe automatique).....	32
2-Calcul et emplacement sur le départ de RICH-GOURAMA.....	36
3-Etude technico-économique.....	38

---

**Conclusion.**

**Annexes :**

Caractéristiques mécaniques et électriques d'Almélec et d'Alu acier.....45

## REMERCIEMENTS

Nous avons l'honneur d'exprimer nos vifs remerciements à tout le personnel du service technique régional (STR) d'Errachidia participant de loin ou de près à la réalisation de ce rapport, à cette occasion nous tenons à remercier :

**Mr : ABOUK KHALID, l'ingénieur chef du STR ERRACHIDIA,** pour son soutien énorme, disponibilité, et guidance durant la période de stage.

Nous remercions également **Mr : AGHACHOUI ABDELLAH** pour son aide précieuse.

## APERÇU SUR L'OFFICE NATIONAL D'ÉLECTRICITÉ :

L'office national de l'électricité est un établissement public à caractère commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière

Créé en vertu du dahir 1-63-225 du 5 août 1963, l'office dispose d'une concession d'organiser la production, le transport et de la distribution de l'énergie électrique au royaume.

Les droits et les obligations de l'ONE sont définis dans un cahier de charge approuvé par le décret de 1974, lequel sont définies les condition techniques, administratives et financières relatives à l'exploitation des ouvrages de production, de transfert et de distribution d'électricité.

Depuis sa création, les principaux missions de l'office consistent à :

- répondre aux besoins du pays en énergie électrique.
- assurer un service public à moindre coût.
- œuvrer pour la promotion et le développement des énergies renouvelables.
- assurer une bonne gestion de la demande globale de l'énergie électrique.
- œuvrer pour la généralisation et l'extension de l'électrification électrique.

Depuis 1974 l'ONE est habilité à passer des contacts, avec des opérateurs privés, pour la production d'électricité, à des puissances supérieures à 10MW, dans les conditions suivantes :

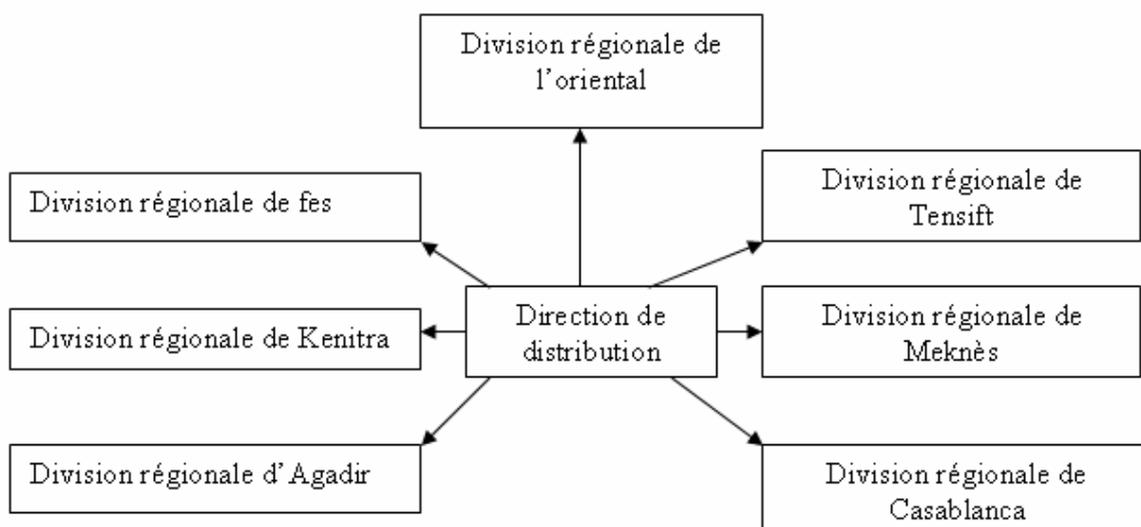
- après appel à la concurrence.
- la production doit être destinée à la satisfaction des besoins de l'ONE.
- les conditions d'équilibre économique initiales doivent être maintenues pendant la durée de la dite convention.

L'ONE a opté pour une structure fonctionnelle dans laquelle sont réparties plusieurs directions et divisions liées à la l'administration générale qui assume la coordination entre eux. Néanmoins chaque direction dispose d'une autonomie lui permettant de gérer ses activités avec efficacité et rentabilité.

Les principales directions opérationnelles au sein de l'ONE sont :

- La direction production : elle assure la production de l'électricité à partir de différentes formes d'énergies. L'ONE dispose aujourd'hui d'un parc productif d'une puissance installée de 4410MW. Par ailleurs l'office a profité du potentiel de notre pays en énergie renouvelables et a implanté un parc éolien situé dans la région de Tanger et totalisant une puissance de 54MW.
- La direction transport : elle garantit le transport de l'énergie électrique des sites de production aux centres de consommation qui couvre la quasi-totalité du territoire national. Le réseau de transport est constitué de lignes de 400KV, 225KV, 150KV, 60KV d'une longueur totale de 16338Km. Depuis 1997, l'ONE a interconnecté son réseau avec le réseau algérien au moyen de deux lignes 225KV et avec le réseau espagnol au moyen de deux câbles 400KV sous-marins.
- La direction distribution : elle possède un réseau de distribution constitué de 33120Km en MT et de 79175Km en BT, desservant près de 2180628 clients grâce aux 233 agences commerciales couvrant le royaume. La direction a réalisé au cours de l'année 2002 un chiffre d'affaires de 4,5 milliards de DH.

La direction de distribution connaît une structure flexible qui permet de déléguer certaines tâches au niveau régional, à des agences ou régies particulièrement en ce qui concerne les missions techniques et commerciales. Ainsi la direction distribution dispose de sept divisions régionales, comme le présente l'organigramme suivant :



**Figure 1- Organigramme des divisions de la direction distribution**

Les orientations de la direction de distribution sont les suivantes :

**Orientation n°1:** Fournir à la clientèle une alimentation électrique fiable et sécuritaire.

**Orientation n°2:** Offrir des services de qualité et adapté aux attentes prioritaires de la clientèle.

**Orientation n°3:** Améliorer la rentabilité de l'activité de la distribution.

**Orientation n°4:** Généraliser l'accès à l'électricité.

**Orientation n°5:** Assurer la sécurité du personnel.

### **APERÇU SUR LE SERVICE TECHNIQUE REGIONAL ERRACHIDIA :**

#### Informations générales

Nombre de postes ONED : 511

Nombre de postes clients : 142 postes

Longueur du réseau MT : 1501,724 Km à fin 06/2007

Longueur du réseau BT ligne : 2342 Km

Longueur du réseau BT branchement : 5354 Km

#### Effectif

Départements	Agent			Total	Part %
	Cadre	Maîtrise	Exécution		
DEX	3	8	5	16	64%
DET	4	2	0	6	24%

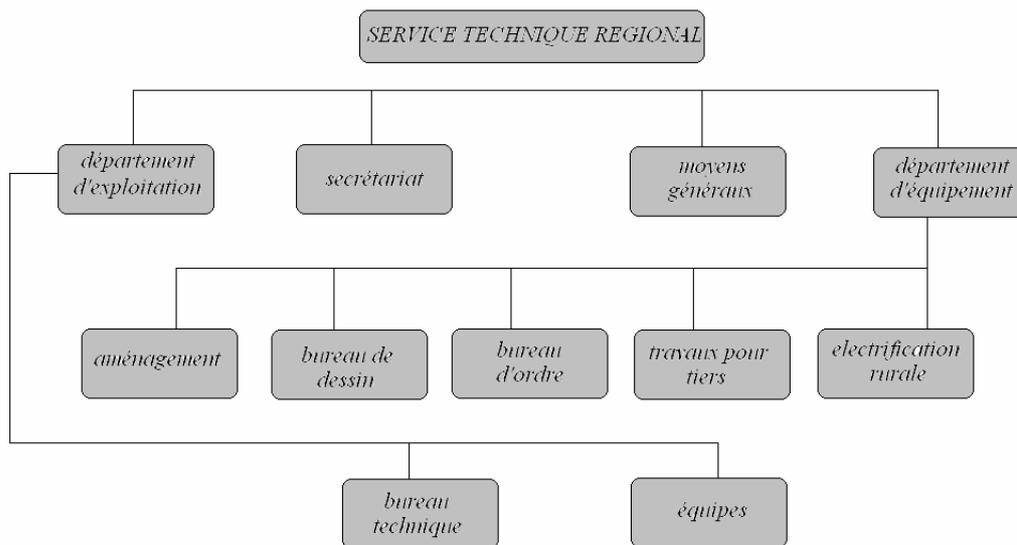
Rapport de stage 6

juillet 2007

Total	7	10	5	22	88%
-------	---	----	---	----	-----

**Structure du STR :**

Le STR est constitué de deux départements : Départements Exploitation et Départements Etudes et Travaux.



Organigramme du STR ERRACHIDIA

## Introduction

L'électricité, source d'énergie moderne, contribue à faciliter notre vie quotidienne. Sa disponibilité, ou plutôt son indisponibilité, a des conséquences de plus en plus importantes sur notre quotidien. La qualité et la disponibilité de l'énergie électrique deviennent ainsi un facteur essentiel pour la satisfaction du client, elles dépendent en premier lieu de la qualité d'exécution des installations électriques et de celle des produits qui y sont utilisés.

Parmi les produits que le distributeur de l'énergie doit mettre en jeu pour satisfaire son client, une tension au point de livraison d'amplitude plus au moins constante ou comprise dans un intervalle de tolérance défini par certaines réglementations. De là, l'importance de l'étude des chutes de tension pour le contrôle de cette valeur et pour son maintien.

L'objectif alors de mon stage est d'étudier les chutes de tension aux lignes de distribution moyenne tension, d'étudier les régulateurs comme étant une solution parmi d'autres pour l'amélioration de ces chutes, et enfin s'assurer de la rentabilité de cette solution en effectuant une étude technico-économique.

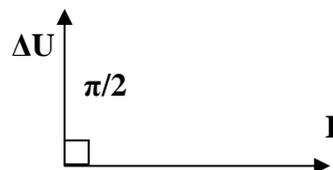
## Partie 1 : CHUTE DE TENSION

### 1- Problématique :

La plus grande partie de la production électrique est centrée autour des centrales à grande capacité de production (centrales thermiques). Cette production est souvent liée à des emplacements géographiques adéquats (sources d'eau, impératifs techniques,...), l'énergie est ensuite acheminée vers les grands centres de consommation à travers un réseau de lignes aériennes et câbles souvent à grandes distances et à des niveaux de tension plus ou moins importants. Les conducteurs utilisés pour le transport de l'énergie électrique ne sont pas parfaits, donc ils présentent des pertes.

Les pertes dans un réseau de distribution MT correspondent essentiellement à la dissipation thermique par effet Joule dans les conducteurs, il s'agit d'un critère économique du fait qu'elles dégradent le coefficient d'efficacité globale du réseau. Ces pertes sont proportionnelles au carré du courant et, à puissance distribuée donnée, inversement proportionnelles au carré de la tension de service. À ce titre, il est intéressant d'utiliser une tension de service élevée afin de les minimiser, mais d'autres facteurs, notamment économiques, peuvent réduire cet intérêt.

Les chutes de tension au niveau des bornes de livraison des clients correspondent à la différence entre les tensions à vide et en charge du réseau. L'amplitude et la phase du courant sont déterminées par la puissance et la nature de la charge. Le réseau ayant un comportement essentiellement inductif, la chute de tension en ligne est presque en quadrature avec le courant.



Différentes réglementations définissent des limites de valeur de tension que les distributeurs doivent respecter aux points de livraison. Ces limites ne doivent pas dépasser 10 % sur les réseaux ruraux et 7 % sur les réseaux urbains. Le respect de telles tolérances devient plus difficile quand la puissance distribuée augmente. Pour des longueurs et sections de

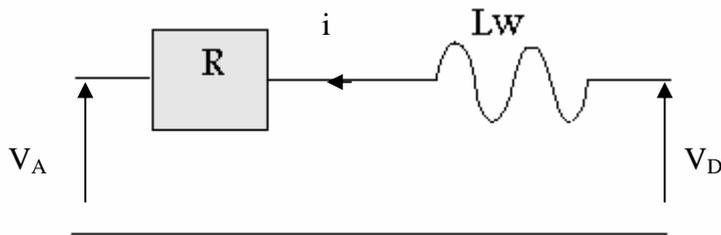
conducteurs données, une tension d'alimentation plus élevée autorise une puissance délivrée plus importante avec les mêmes tolérances.

L'appréciation de la capacité d'un réseau est un outil de planification : elle permet de déclencher des opérations de renforcement de lignes ou de création de nouvelles lignes quand les perspectives de croissance de la puissance appelée approchent des limites admissibles.

L'hypothèse du changement de tension de service est rarement évoquée dans ce cas, car une telle opération présente de nombreuses difficultés : remplacement de tous les transformateurs, d'une grande partie des conducteurs, des appareillages et des isolateurs... Il est donc très important que cette tension soit bien choisie dès la création du réseau, à un niveau adapté avec la prise en compte de l'évolution prévisible des charges sur plusieurs dizaines d'années.

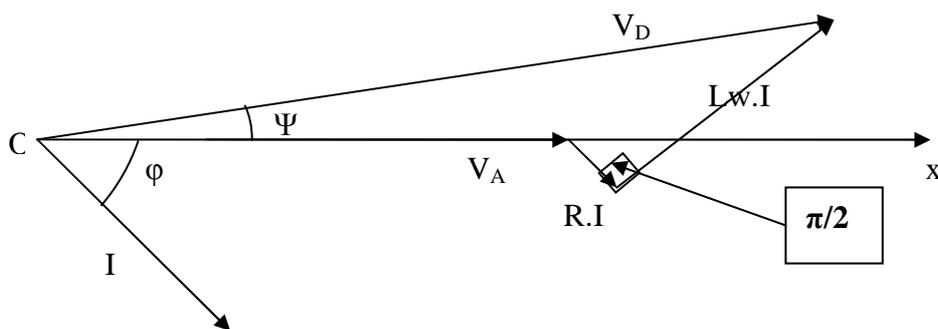
## 2 - Etude théorique : calcul théorique des chutes de tension en MT :

Soit la ligne caractérisée par sa résistance  $R$  et sa réactance  $X=Lw$  :



$$V_D = V_A + R.i + L.di/dt ;$$

La représentation vectorielle donne :



$\Psi$  : déphasage entre  $V_A$  et  $V_D$ .

$w$  : pulsation.

$\phi$  : déphasage entre  $I$  et  $V_A$ .

En projetant sur  $(o, x)$  on aura :

$$V_D \cdot \cos \Psi = V_A + R.I \cdot \cos \phi + Lw.I \cdot \sin \phi$$

Et comme le déphasage entre  $V_A$  et  $V_D$  « $\Psi$ » est négligeable, alors on peut pratiquement écrire :

$$V_D = V_A + R.I \cdot \cos \phi + Lw.I \cdot \sin \phi$$

Donc

$$\Delta U = V_D - V_A = R.I \cdot \cos \phi + Lw.I \cdot \sin \phi$$

Et en triphasé :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \phi + Lw \cdot \sin \phi)$$

Et  $P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi$   
 Donc  $\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot (R + Lw \cdot \tan \varphi)$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta U = P \cdot (R + Lw \cdot \tan \varphi) / U} \quad (*)$$

• Chute de tension relative:

$$\Delta U \% = 100 \cdot \Delta U / U$$

$$\Delta U \% = 100 \cdot P \cdot (R + Lw \cdot \tan \varphi) / U^2$$

Avec  $Lw$  et  $R$  par unité de longueur ( $\Omega/\text{km}$ )

Donc il faut multiplier (\*) par la longueur de la ligne en km ( $l$ )

On définit le moment électrique par le produit de la puissance active et la longueur du réseau :

$$\boxed{M = P \cdot l} \quad (*)$$

Avec :  $\left\{ \begin{array}{l} P \text{ en KW} \\ l \text{ en Km} \\ M \text{ en KW} \cdot \text{Km} \end{array} \right.$

On a donc  $\Delta U \% = K \cdot M = K \cdot P \cdot l$

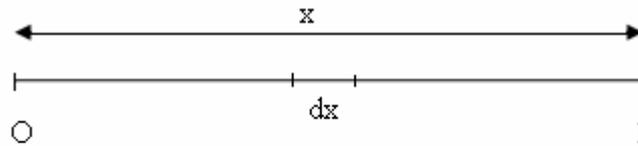
Avec  $K = 10^5 \cdot (R + Lw \cdot \tan \varphi) / U^2$

Soit  $M_1$  le moment qui donne une chute de tension de 1% alors  $\boxed{M_1 = 1/K}$

Donc  $\boxed{\Delta U \% = M / M_1 = P \cdot l / M_1}$

Avec :  $\left\{ \begin{array}{l} P : \text{puissance active} \\ l : \text{longueur du réseau} \end{array} \right.$

• Cas des puissances réparties



On a  $Q = P/L = dPx / dx = C$  et  
 $dM = dPx \cdot x = Q \cdot dx \cdot x$

$$M = \int_0^l Q \cdot x \cdot dx = Q \cdot l^2 / 2 = P \cdot l / 2$$

Donc  $\Delta U \% = K \cdot P \cdot l / 2$

Le tableau suivant illustre les différentes valeurs de  $M_1$  en MT (moment électrique pour une chute de tension de 1%) pour différentes sections de câbles utilisés par l'ONE.

**Tableau des valeurs de  $M_1$  (le moment qui donne une chute de tension de 1%) en fonction de la section et du matériau des câbles utilisés par l'ONE :**

	S (mm <sup>2</sup> )	M <sub>1</sub>
Almélec	22.0	3
	34.4	4.38
	54.6	6.4
	75.5	8.14
	117	10.9
	148.1	12.52
	228	15.6
Alu acier	37.7	4.14
	59.7	5.36
	75.5	6.38

	116.2	10.38
	147.1	11.98
	228	15.02

### Hypothèses de calcul :

- charge triphasée équilibrée concentrée à l'extrémité
- température de fonctionnement :
  - 20°C pour les lignes aériennes nues.
  - 50°C pour les câbles souterrains et les lignes aériennes isolées.
- $\cos \varphi = 0.9 \rightarrow \tan \varphi = 0.5$
- Pour les câbles aériens nus  $L_w = 0.35 \Omega/\text{km}$
- Pour les câbles souterrains ou isolés  $L_w = 0.10 \Omega/\text{km}$
- M1 est donnée pour 22 KV

### Méthode de calcul de chute de tension en MT :

Le calcul des chutes de tension s'effectue selon les étapes suivantes :

- Traçage des réseaux et emplacement des villages sur un schéma unifilaire.
- Précisions des éléments relatifs au différents câbles utilisés dans ce réseau à savoir : la nature et la section du câble.
- Dresser ensuite un tableau dans lequel ils figurent les tronçons de lignes leurs distances, les puissances appelées puissances foisonnées et puissances transitées.
- Calcul des moments électriques et chutes de tension pour chaque tronçon.
- Déduire les chutes de tension aux extrémités et la chute de tension maximale.

### 3- Calcul à l'aide du logiciel (CYMDIST) :

#### 3-1- présentation :

CYMDIST est un outil d'ingénierie évolué, conçu pour aider les ingénieurs dans leurs études de planification, d'exploitation et d'optimisation des réseaux de distribution électrique. CYMDIST s'adapte à des réseaux de distribution en antenne ou bouclés, équilibrés ou déséquilibrés, avec de multiples sources de production. L'interface graphique hautement

interactive permet d'effectuer aisément des additions ou modifications au réseau de distribution.

L'utilisateur peut construire des artères en mode graphique, importer des données à partir de logiciels **AM/FM/GIS** et visualiser les résultats à l'écran directement sur le schéma unifilaire. **CYMDIST** permet de calculer avec précision les chutes de tension par phase dans des réseaux équilibrés ou déséquilibrés; les courants de défaut; de déterminer l'emplacement et le dimensionnement optimal des bancs de condensateurs; d'effectuer l'équilibrage et l'allocation des charges.

Grâce à sa structure orientée projet, **CYMDIST** peut exécuter très efficacement de nombreux scénarios d'études.

**CYMDIST** permet la création et la gestion de plusieurs scénarios, tous reliés à la même base de données de réseau.

Chaque scénario est constitué d'une série de modifications qui affecte les données ou la topologie du réseau de base.

Tout scénario hypothétique peut être employé pour la mise à jour de la base de données du réseau électrique.

L'interface directe avec **CYMTCC**, le logiciel de coordination des dispositifs de protection, permet à **CYMDIST** de vérifier la sélectivité entre les dispositifs de protection et de vérifier les délais d'interruption lors d'un court-circuit pour tous les tronçons de l'artère.

**CYMDIST** permet les simulations avec fond de carte géographique superposé, importé des logiciels de CAO ou **AM/FM/GIS** les plus utilisés. Modules optionnels:

**CYMDIST/HARMO** : Analyse Harmonique

**CYMDIST/RAM** : Évaluation de la Fiabilité

**CYMDIST/CAM** : Analyse des Contingences

**CYMDIST/SOM** : Configuration Optimale du Réseau Électrique

### **Caractéristiques et fonctionnalités**

- *Analyse de la répartition de puissance et de la chute de tension.*
- *Calcul de courants de court-circuit.*
- *Emplacement et dimensionnement optimal des batteries de condensateurs.*
- *Équilibrage des charges et allocation/estimation des charges.*
- *Analyse harmonique.*

- Optimisation du plan de manoeuvres (points de jonction).
- Rétablissement du service électrique.
- Analyse de la fiabilité (prédictive et historique).
- Analyse des contingences (rétablissement de la charge).
- Analyse et modélisation de postes et de sous réseaux.
- Analyse des réseaux maillés souterrains.
- Risque d'éclair d'arc électrique.
- Coordination des dispositifs de protection.

### 3-2- utilisation :

Pour calculer les chutes de tensions dans un réseau de distribution électrique à l'aide du logiciel **CYMDIST**, il est indispensable d'avoir une représentation simple de ce réseau dans l'interface du logiciel, comportant à la fois les caractéristiques géométriques (longueur, nombre et emplacements des dérivations...), et les caractéristiques électriques des lignes (puissances appelées, matériel installé sur le réseau...).

Pour cela, les développeurs de **CYME** ont opté pour deux solutions :

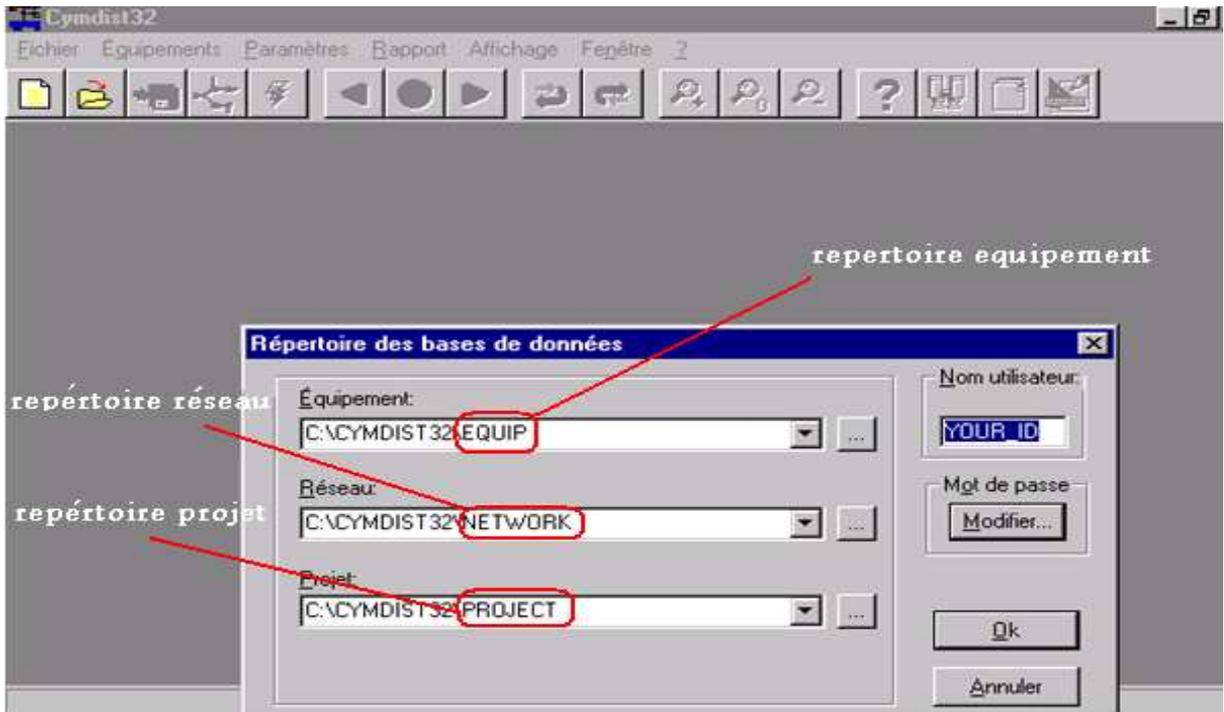
Traçage direct d'une représentation simplifiée du réseau sur l'interface de **CYMDIST**, puis spécification manuelle des caractéristiques du réseau.

Importation des informations du réseau à partir du logiciel **IRD** (inventaire réseau distribution).

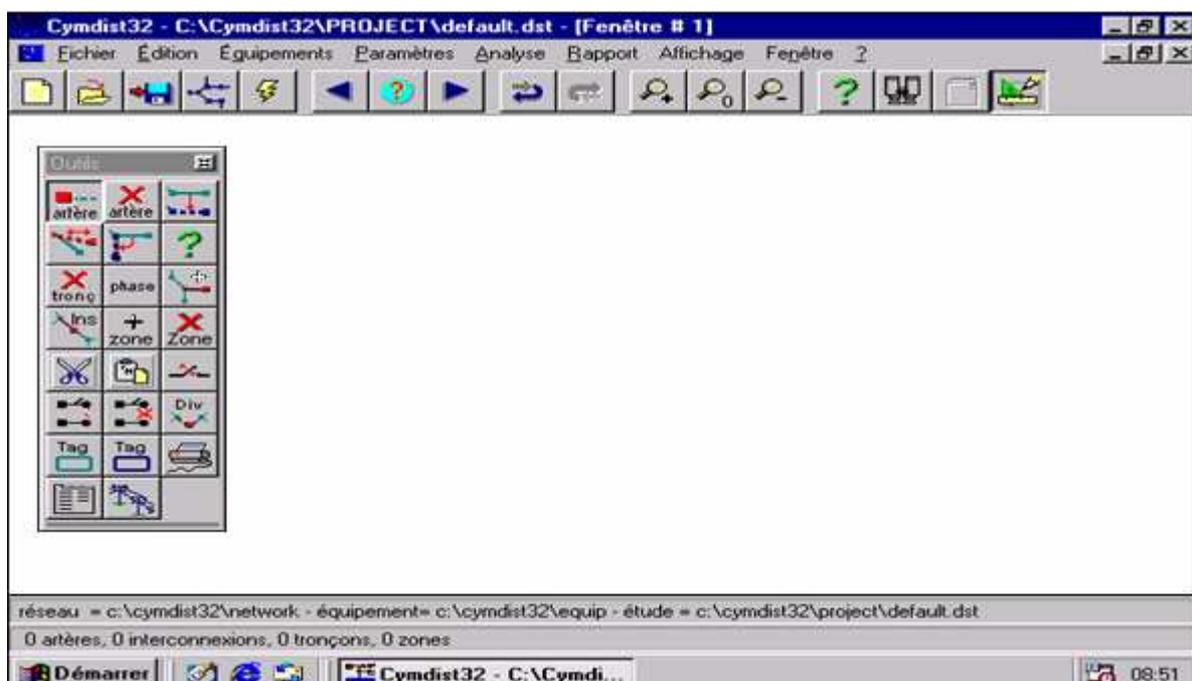
Par la suite, nous allons présenter une démonstration pour chaque méthode de traçage et une démonstration de la spécification des charges ainsi qu'un modèle de calcul :

#### ✓ Tracage direct :

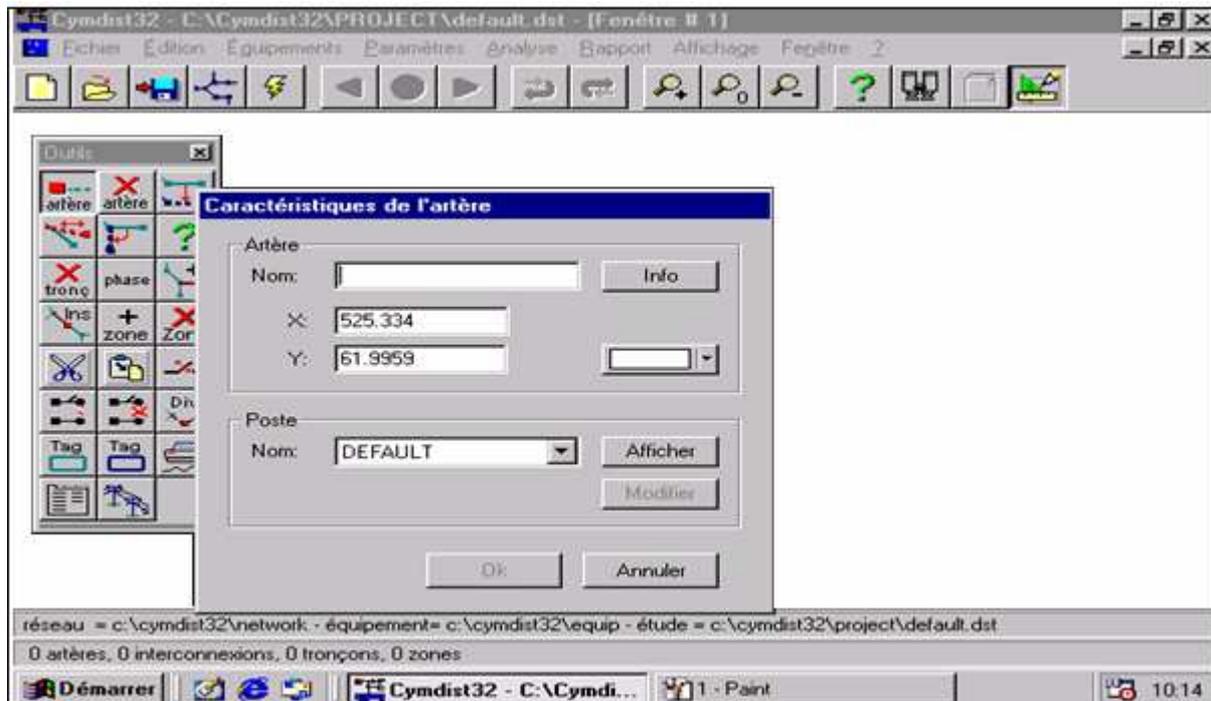
Avant de tracer le réseau sur l'interface de **CYMDIST**, il est nécessaire de spécifier un répertoire de travail afin de simplifier les opérations de modifications ultérieures. Lors de cette phase, on mentionne les équipements, le nom du réseau tracer, puis une nomenclature pour le projet :



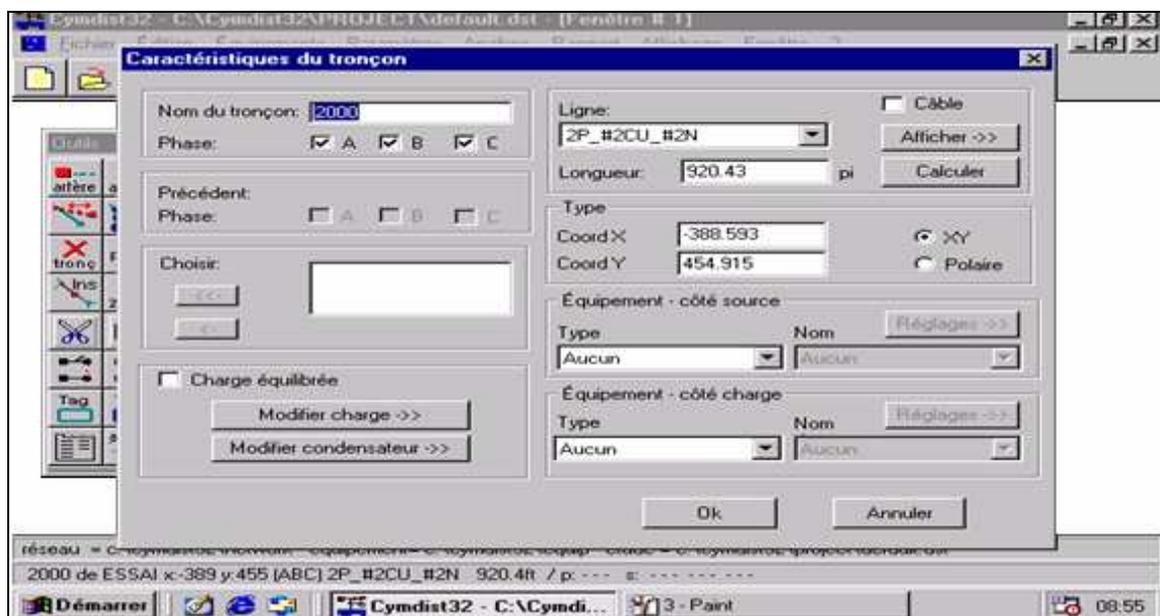
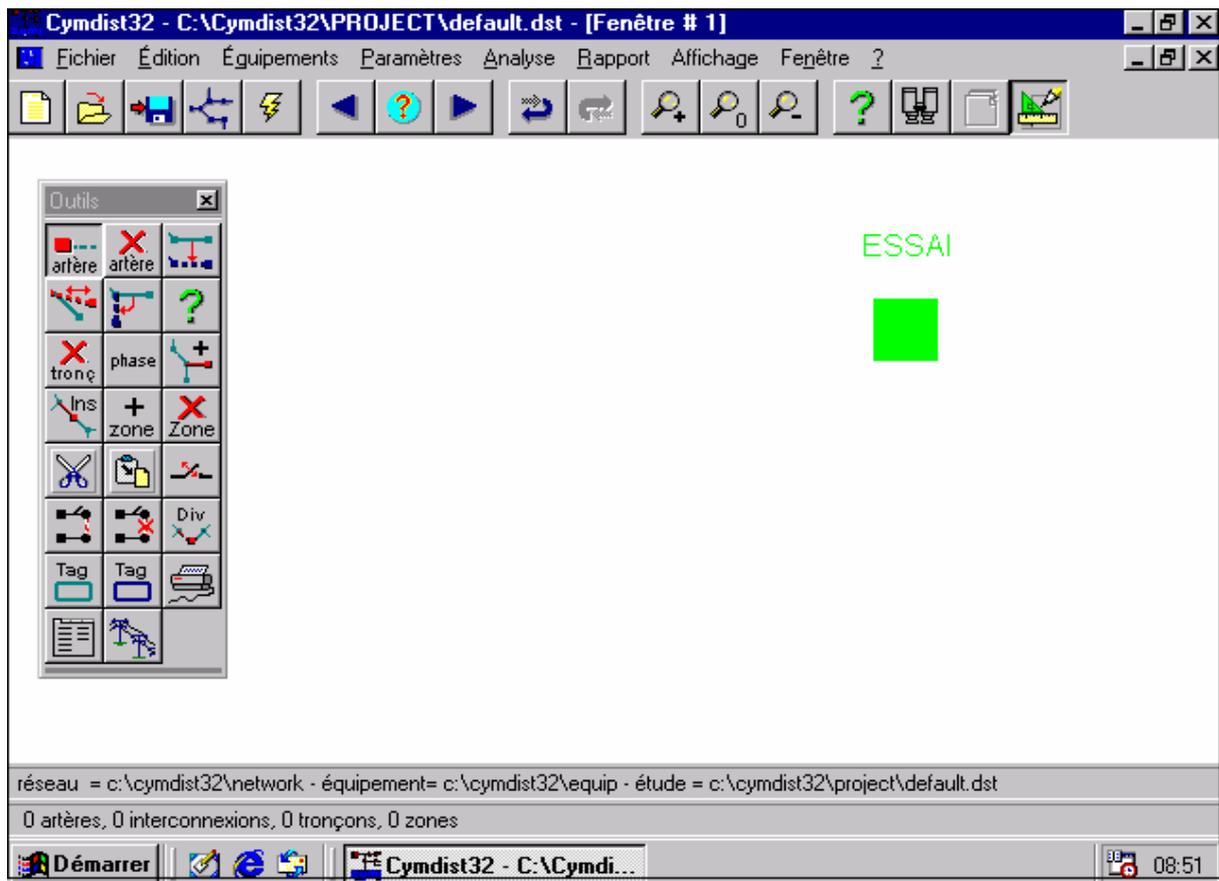
Après, il est nécessaire de faire apparaître la boîte à outils car c'est elle qui contient les principaux outils de traçage du réseau :



La première opération qu'on doit faire avant de tracer le réseau sur l'interface CYMDIST est de créer une / plusieurs artères (postes sources)

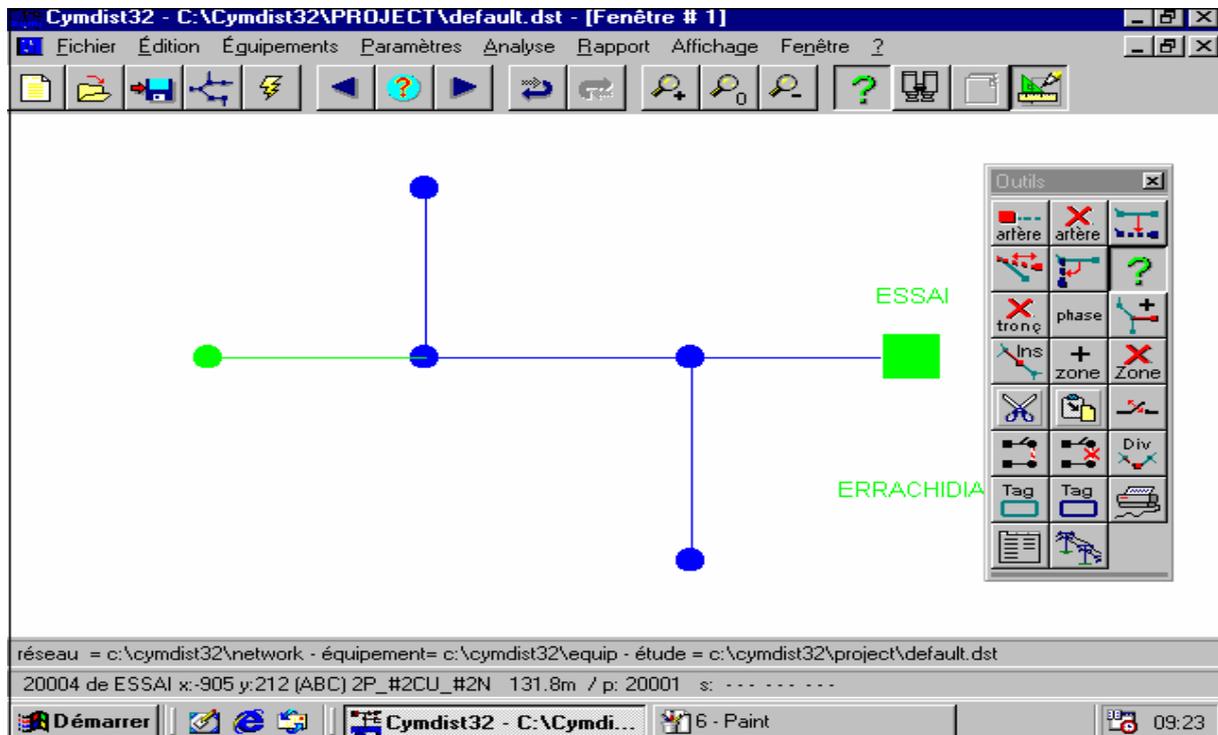


On obtient alors la représentation suivante d'une artère :



Après, on trace les tronçons représentant les lignes de distribution du réseau électrique en unifilaire et on configure leurs paramètres géométriques et le matériau dont elles sont conçues...

On obtient par exemple le schéma unifilaire suivant :



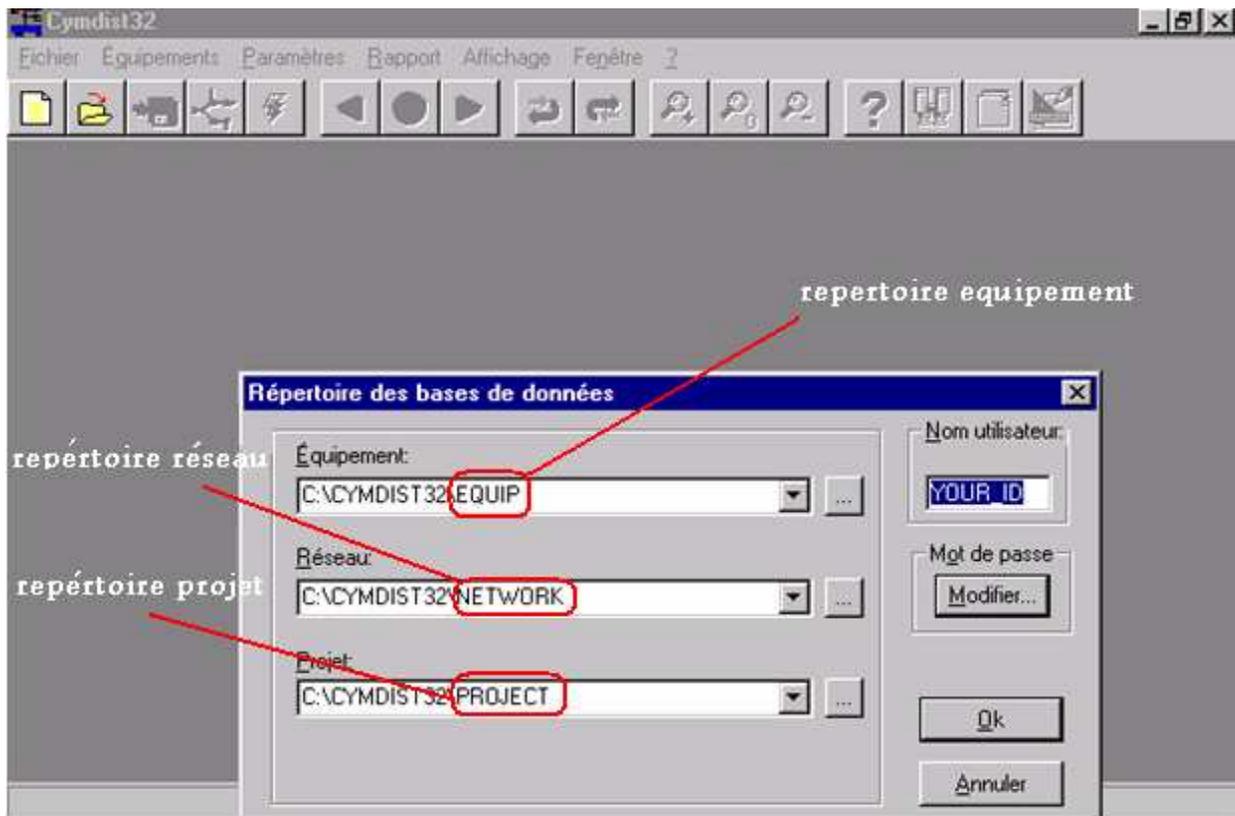
### ✓ Importation de l'IRD :

L'**IRD** est un logiciel statique, conçu par le même développeur que cymdist, qui permet de tracer les schémas unifilaires de n'importe quel réseau de distribution avec leurs caractéristiques électriques si elles sont connues. Il est donc une base de données statique d'un réseau de distribution électrique.

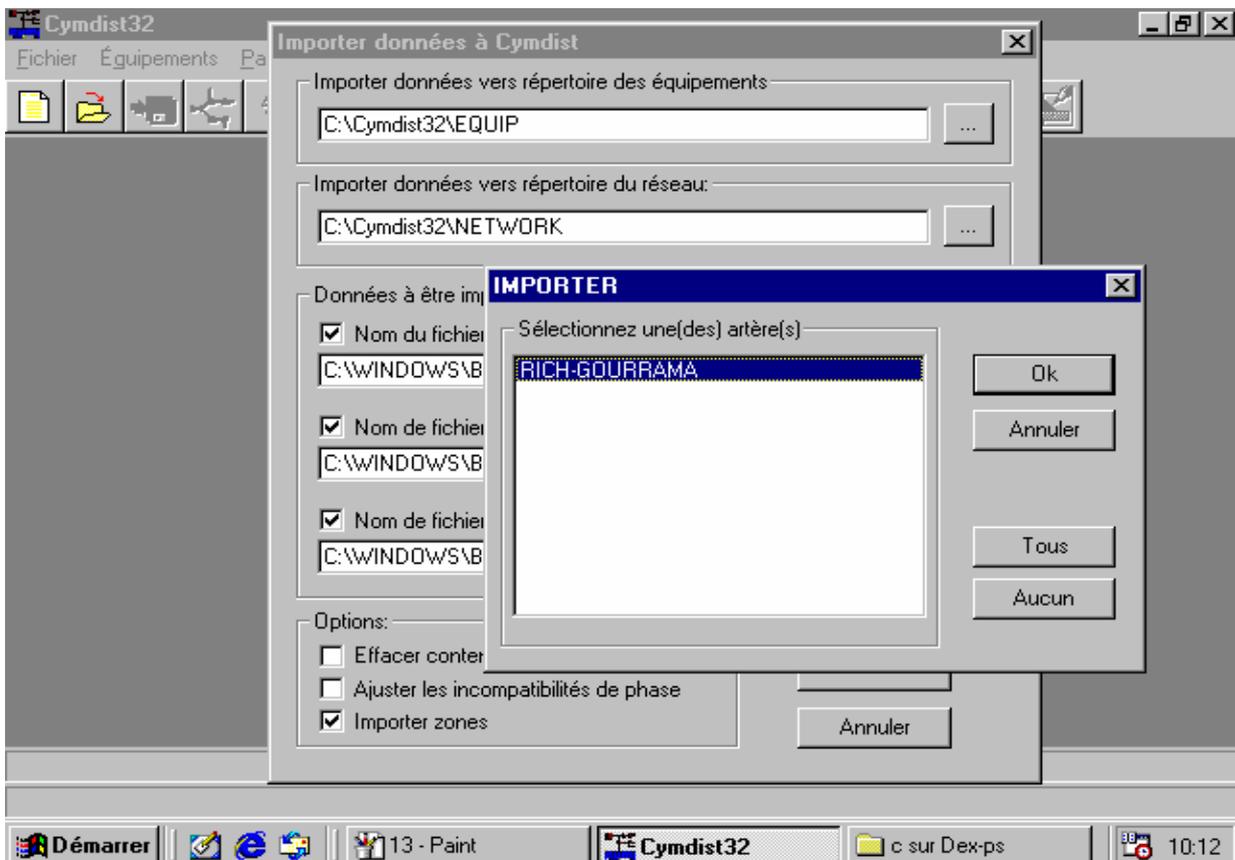
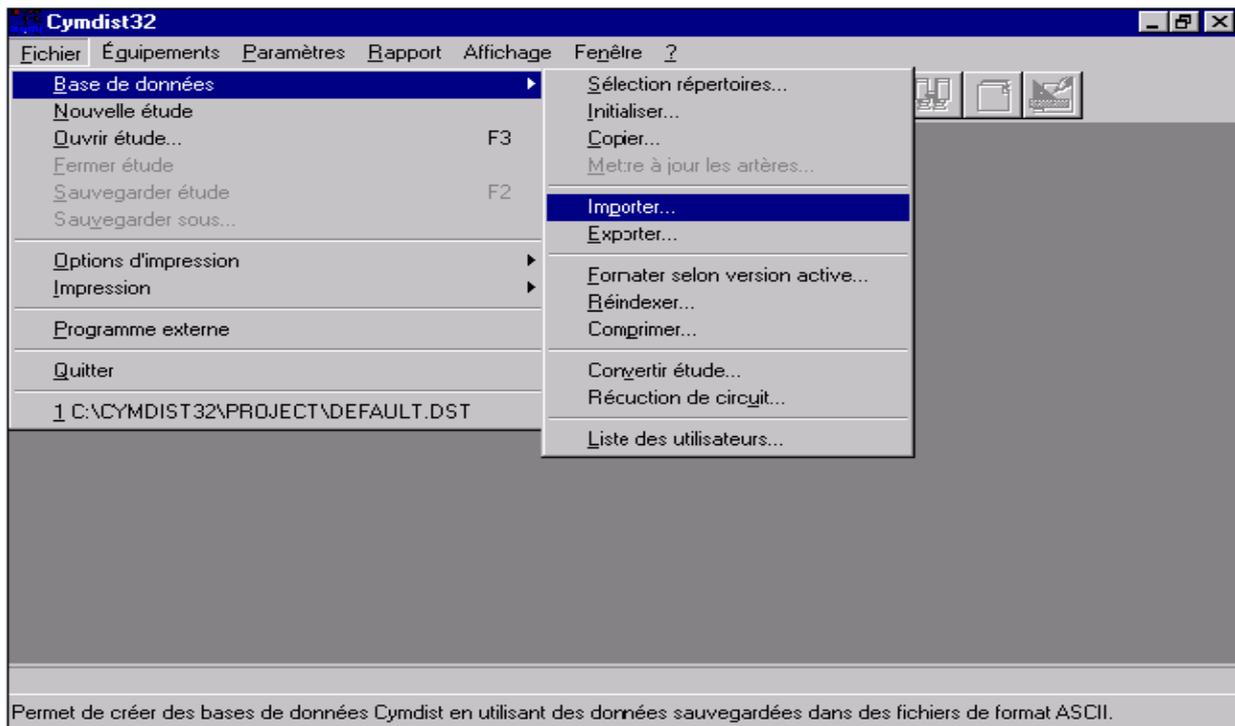
Pour calculer donc les chutes de tension dans un réseau, il suffit d'importer le schéma unifilaire de ce réseau de l'**IRD** et faire les calculs à l'aide de cymdist.

Voilà donc un exemple :

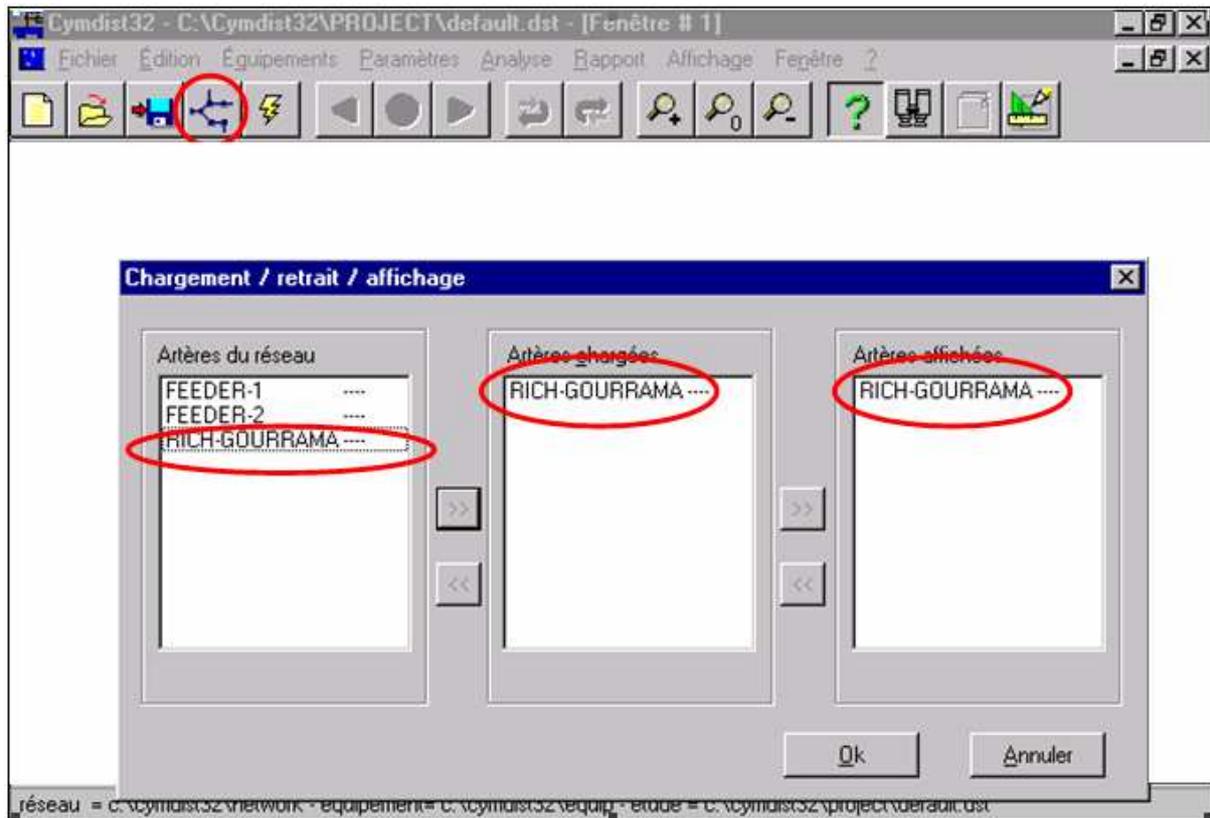
Tout d'abord et comme dans le traçage direct, on doit sélectionner le répertoire :



Ensuite on choisit l'option importer :



Notre document est donc enregistré dans le registre de cymdist. On le charge alors de ce registre à partir de l'option réseau :



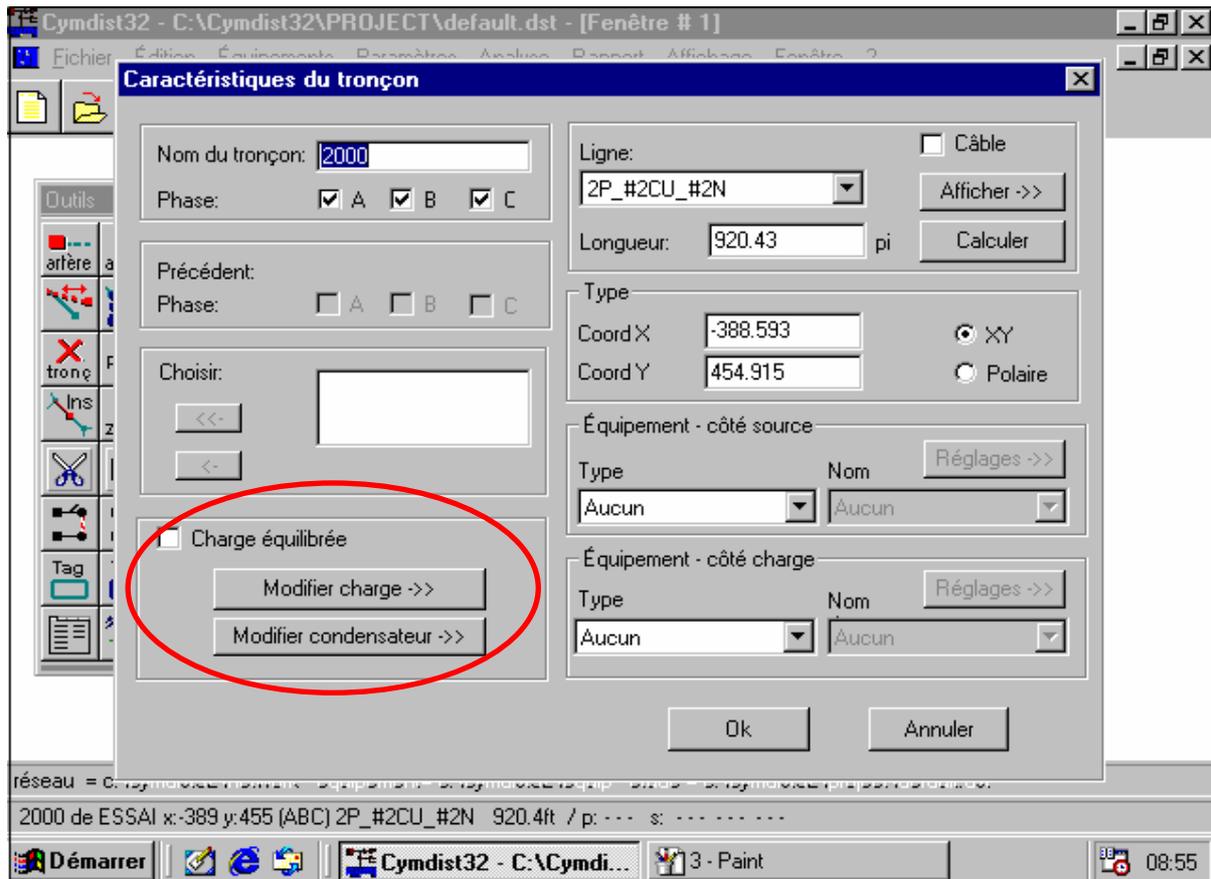
✓ **Spécification de charge :**

Pour spécifier les charges sur le schéma unifilaire tracé directement ou importé de l'IRD, il y a deux méthodes :

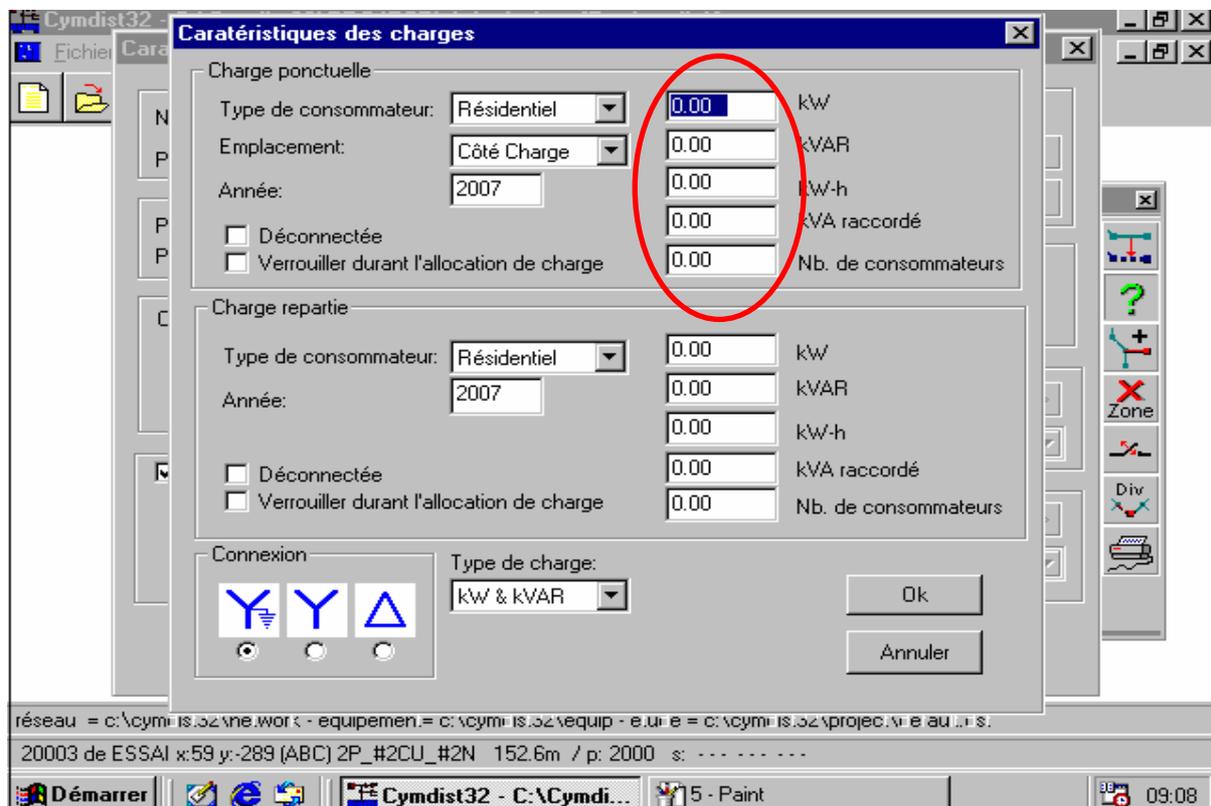
Spécification directe des charges si elles sont bien connues (ou mesurées).

Méthodes de l'allocation des charges dans le cas où on ne les connaît pas exactement.

Pour la première méthode il suffit de choisir le tronçon dont on veut spécifier la charge et on choisit l'option caractéristiques du tronçon :

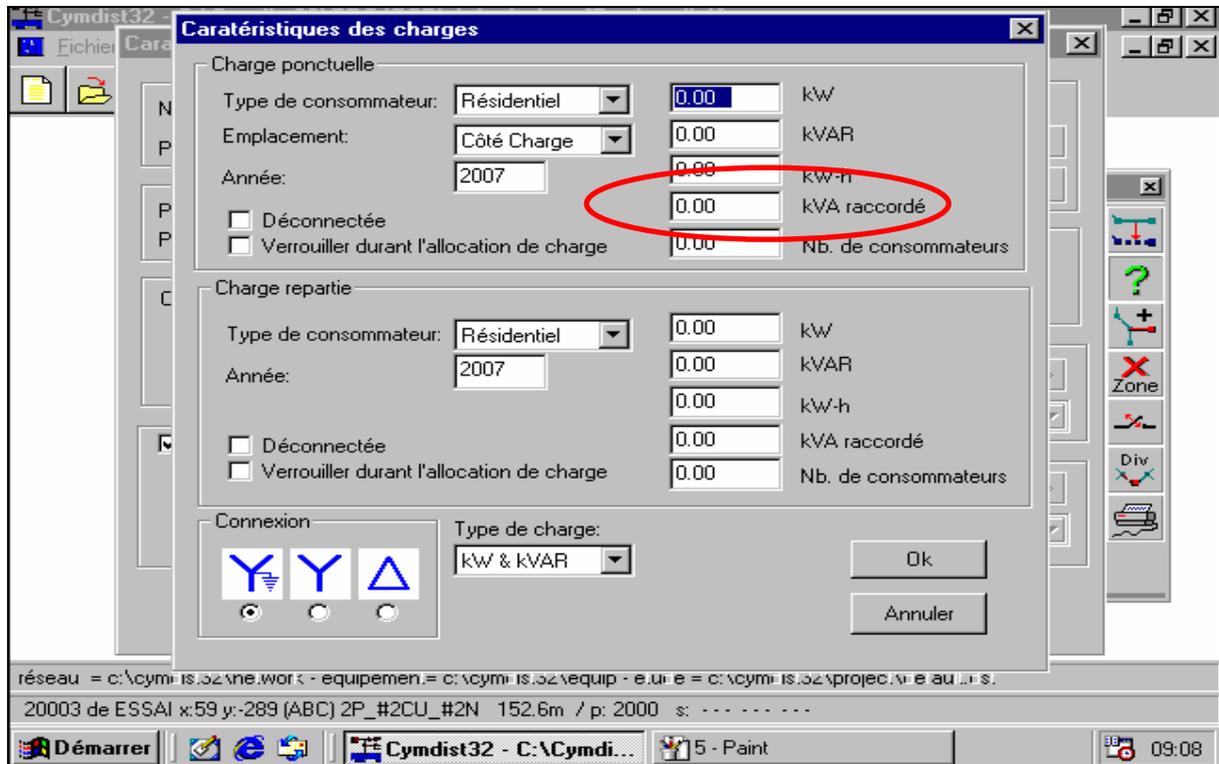


Ensuite on saisi manuellement les informations concernant ce tronçon :

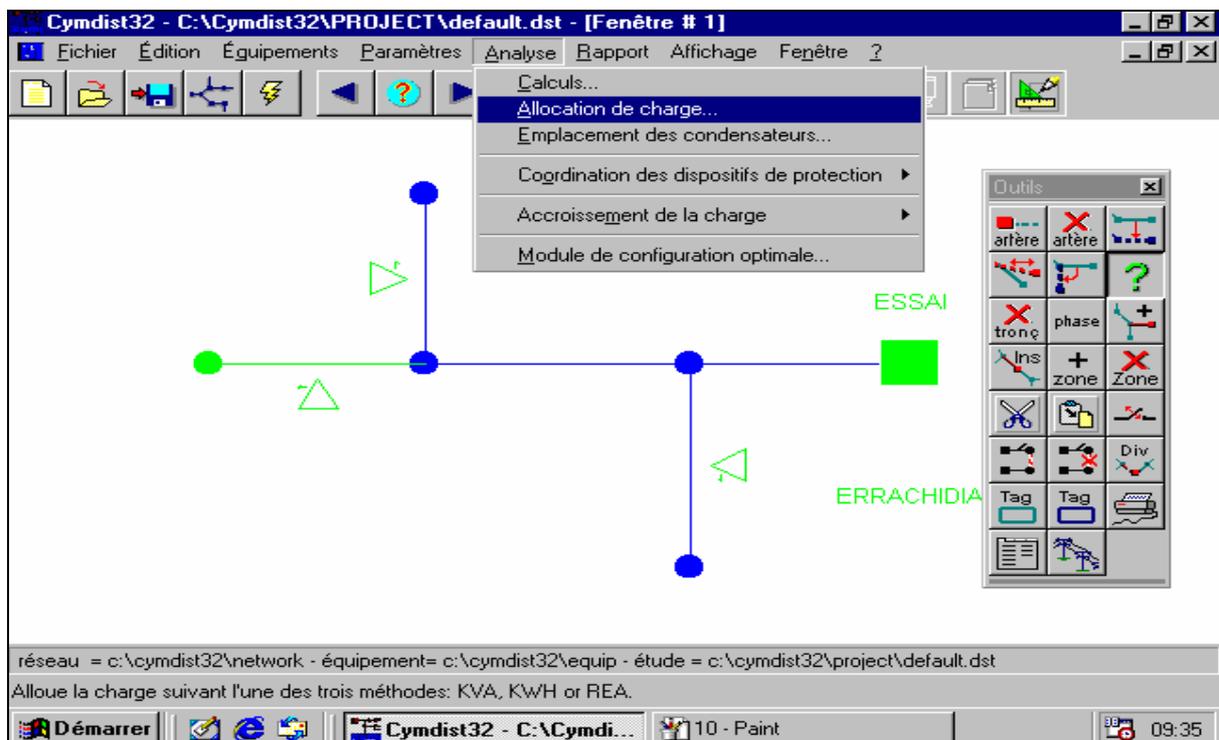


Et pour l'allocation des charges ; on procède comme suit :

On choisit un tronçon, puis l'option caractéristique du tronçon et ensuite on remplit la case « KVA accordé » seulement :

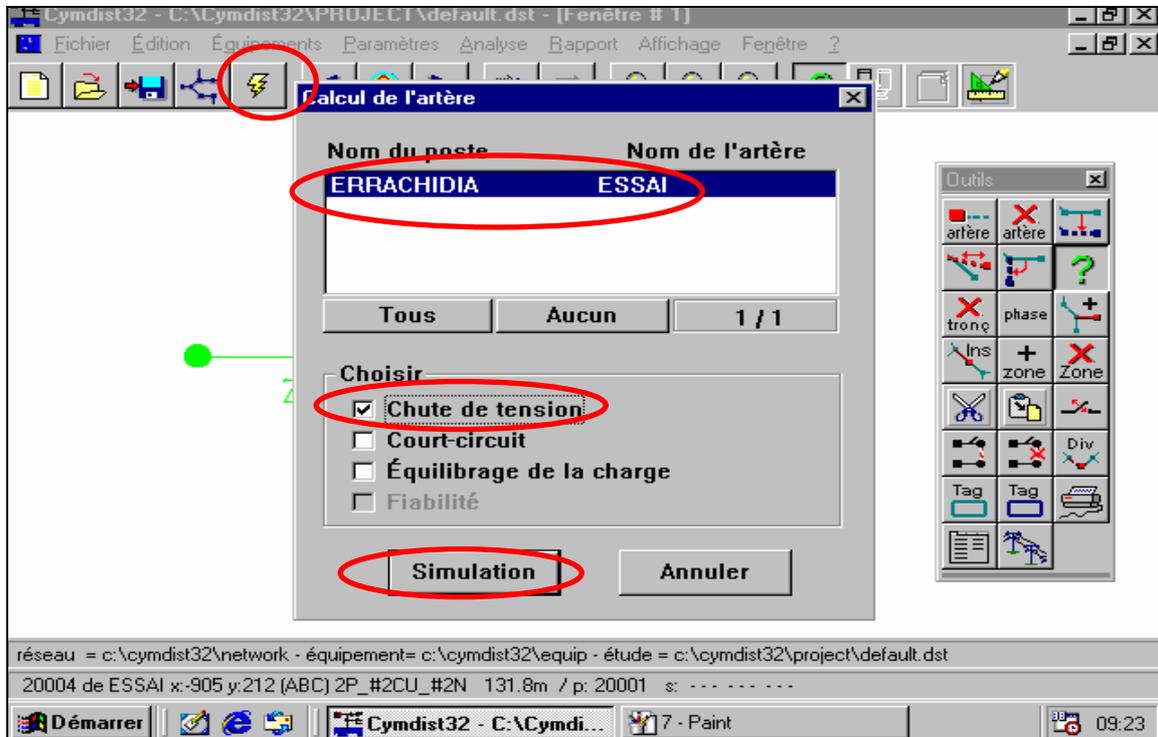


Ensuite on choisit la tâche analyse et l'option allocation de charge :

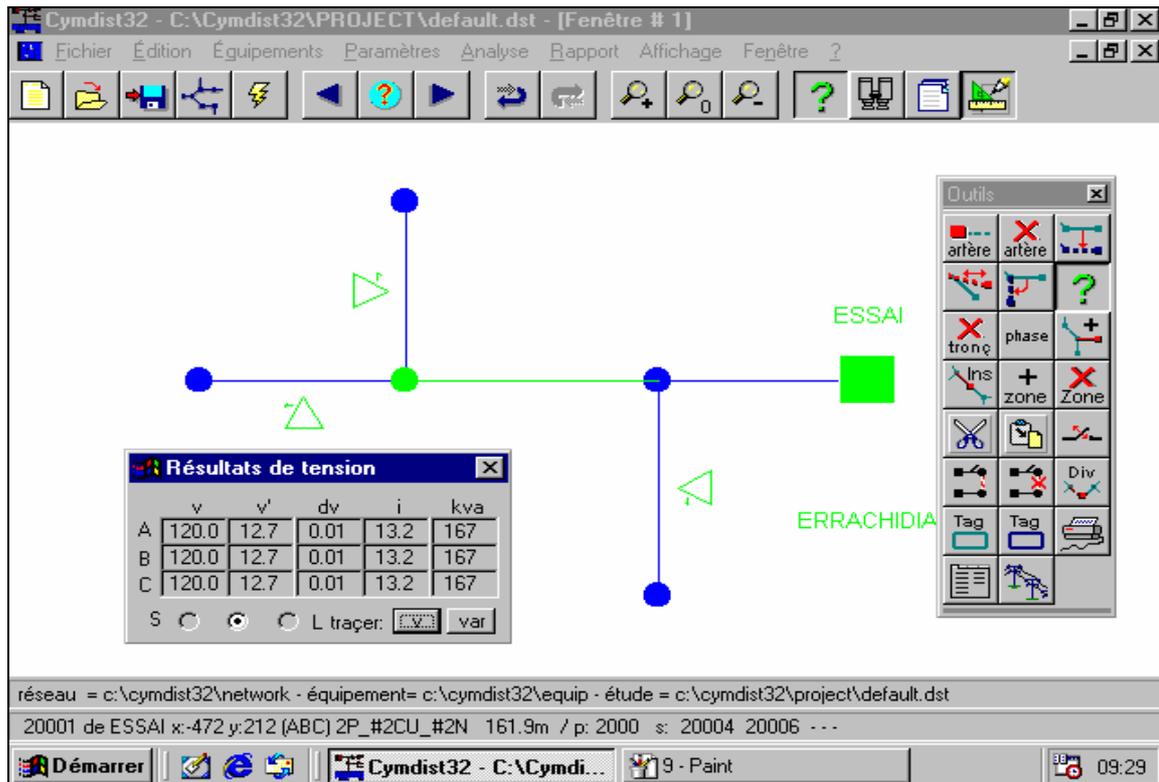


✓ Modèle de calcul :

Maintenant on peut lancer les calculs des chutes de tension :

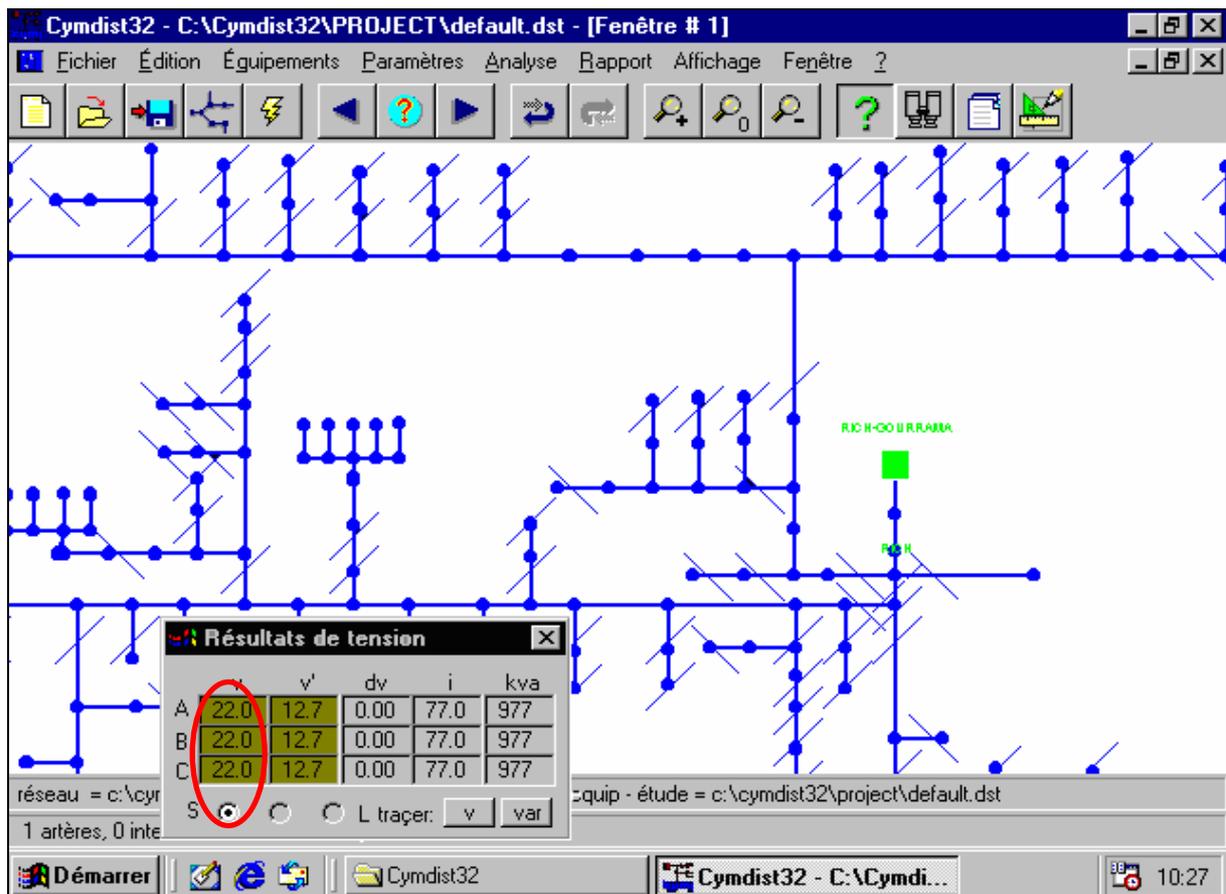


Enfin on obtient un tableau contenant toutes les informations sur les caractéristiques et les chutes de tension dans le réseau :



### 3-3-Application aux lignes MT du STR Errachidia :

Après l'importation des informations propres aux lignes MT provenant du départ RICH / GOURRAMA (à titre d'exemple) à partir des données stockés sur le logiciel IRD, on obtient le schéma unifilaire simplifié ci-dessous, on y aperçoit tout les éléments cités dans la partie précédente, et on sélectionnant l'artère on obtient le tableau d'informations (cercle rouge) : on remarque que sur ce tableau les chutes de tension ne sont pas exprimés en pourcentage, mais on obtient les tensions aux bouts des tronçons sélectionnés.



Sur l'image ci-dessus, on remarque que sur le tableau, les tensions au bout de l'élément sélectionné sont de l'ordre 22KV, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de chutes de tension sur cette partie (chose normale car on a sélectionné l'artère).

## Partie 2 : Régulation de tension

### 1-Généralités : la régulation de tension :

Parmi les solutions existantes pour remédier au phénomène de chutes de tension, il existe les régulateurs de tension. Ces régulateurs de tension ont la capacité de compenser les pertes de ligne et sont utilisés pour compenser la chute de tension sur une ligne ou un réseau alimenté par un transformateur HT/MT.

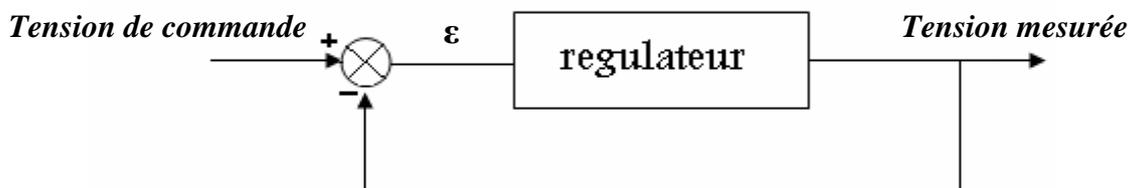
Les paramètres de réglage de compensation peuvent être calculés théoriquement si la résistance et la réactance de la ligne sont connues ou en pratique en mesurant la perte de ligne.

Si le transformateur alimente deux lignes ou plus, le régulateur peut se voir attribuer une moyenne des paramètres de ligne, donnant par là même, une alimentation en tension plus stable aux extrémités de ligne que cela ne serait possible sans la compensation. La compensation de perte de ligne fonctionne en "sens inverse". Avec un flux d'alimentation inversé, la compensation réduit la tension secondaire du transformateur en fonction de la perte de ligne au lieu de l'augmenter

L'emploi des régulateurs de tension est un véritable investissement car l'élimination des chutes de tension permet de réduire les coûts et d'augmenter la productivité. Il suffit de placer le régulateur sur les lignes quelques années pour compenser son coût et les autres années à venir vont constituer un véritable investissement pour le distributeur de l'énergie électrique.

### 1.1- description du fonctionnement :

L'objet du régulateur est de maintenir une tension secondaire stable des transformateurs de puissance. La base de ce fonctionnement est la tension de référence qui est définie par l'utilisateur. En ajoutant ou en diminuant différents facteurs de compensation, le régulateur calcule une tension de commande à partir d'une tension de référence. Par conséquent, la tension de commande est la tension secondaire désirée du transformateur qui doit être maintenue par le régulateur. Ensuite, la tension est comparée à la tension mesurée et la différence entre ces deux dernières donne l'erreur de traitement de régulation  $\epsilon$ .



### 1.2- Description du matériel :

Dans ce cadre il existe plusieurs réalisations de régulateurs de tension se basant sur de différents principes :

### 1.2.1-L'étage régulateur de tension (principe electro - mécanique)

Pour recharger la batterie d'une automobile, la solution la plus utilisée est l'utilisation d'une dynamo entraînée par le moteur du véhicule, mais comme la vitesse de rotation du vilebrequin n'est pas constante -les moteurs ne sont pas des machines parfaites, elle existent alors des imperfections dans leur fonctionnement- il peut y avoir des problèmes dans la tension délivrée à la batterie qui peuvent l'endommager.

Pour éviter cela, la dynamo doit fournir, quel que soit la charge demandée, une tension stable ( 7-8 V pour une batterie 6 V ; 15-16 V pour une batterie 12 V )

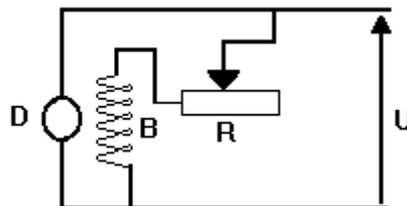
La fém. d'une dynamo est proportionnelle à deux paramètres :

**N**, la vitesse de rotation de l'induit de la dynamo

**F**, le flux embrassé par l'enroulement de l'induit.

Pour garder une tension stable, il faut chercher la constance du produit **NF**. C'est à dire que lorsque la vitesse de rotation (**N**) augmente, on va faire diminuer **F** ; et inversement, lorsque la vitesse de rotation va diminuer, on va faire augmenter **F**.

Pour cela, on utilise le circuit suivant :

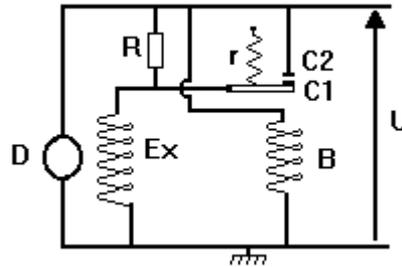


Lorsque **N** augmente, on augmentera la valeur de la résistance variable **R** afin de diminuer le courant dans la bobine d'excitation et donc de diminuer le flux **F**. Lorsque **N** diminue, on effectue l'opération inverse.

L'idéal est de pouvoir faire un tel ajustement de **R** progressif et automatique. Mais, pour une question de coût, on n'a pas utilisé cette solution sur les autos. En pratique, l'évolution progressive de la résistance **R** est remplacée par un tout ou rien : soit on insère entre **A** et **B** une résistance de valeur **R**, soit on ne met rien (on shunte la résistance)

## Réalisation

Grâce à ce mécanisme, la tension  $U$  est ainsi maintenue entre deux valeurs voisines, et en moyenne, on a une tension constante comprise entre ces deux valeurs.



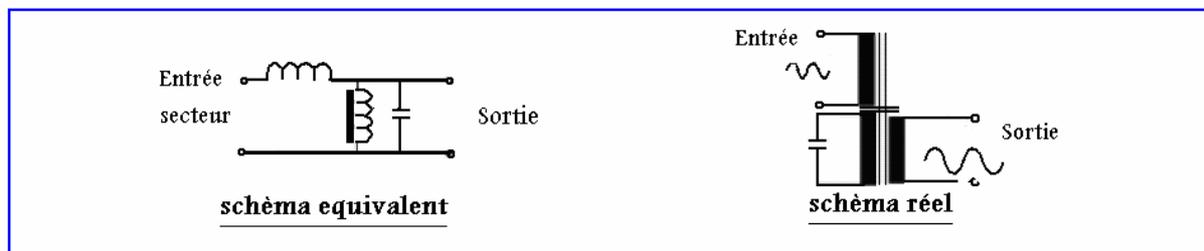
## Etude du fonctionnement

A faible tension, C1 et C2 sont en contact. La résistance  $R$  est shuntée, le courant d'excitation est « fort ». La tension augmentant, elle atteint un seuil  $U_0$  où l'attraction de  $B$  ouvre les contacts C1 et C2.

La résistance  $R$  entre en série avec la bobine d'excitation, le flux diminue entraînant une diminution de la tension jusqu'à une tension seuil  $U_F$  où l'attraction de  $B$  ne sera plus suffisante face au ressort  $r$  et où C1 et C2 sont de nouveau en contact.

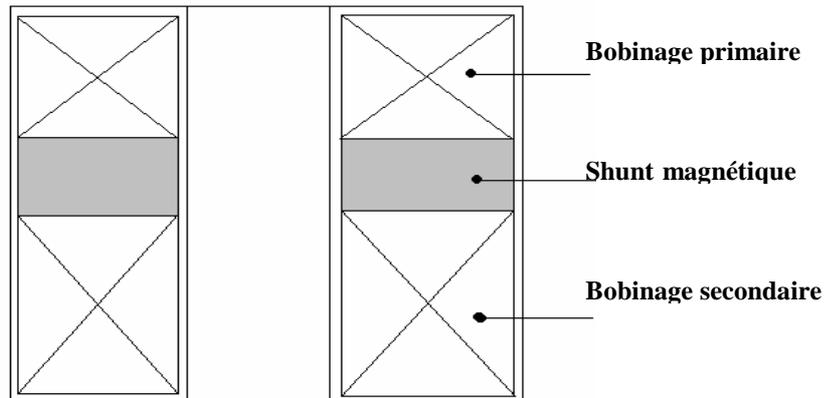
### 1.2.2-Régulateur à ferrorésonance (principe électrique)

C'est un régulateur de tension utilisé surtout en réseaux MT et HT, il comprend un transformateur classique auquel on aurait ajouté un condensateur en parallèle sur l'enroulement secondaire, et dont le couplage primaire - secondaire est réduit.

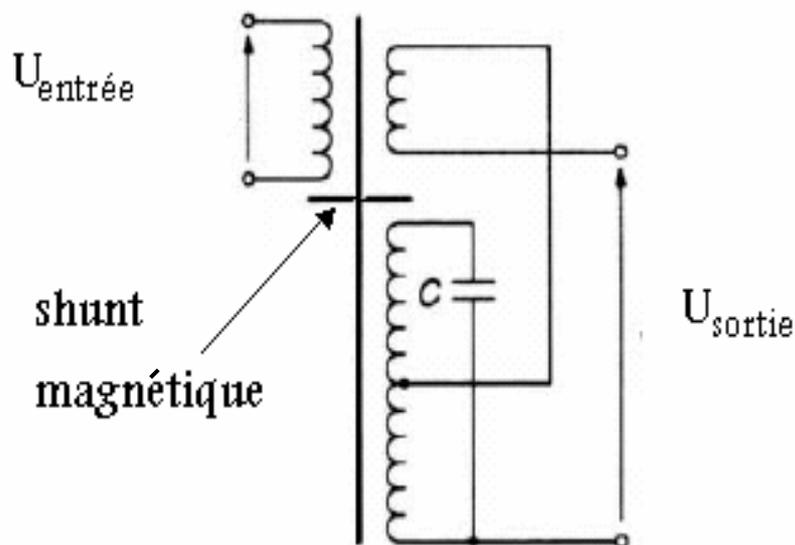


La réduction du couplage primaire - secondaire est réalisée par l'insertion de shunts magnétiques entre les deux enroulements.

### Réalisation réelle



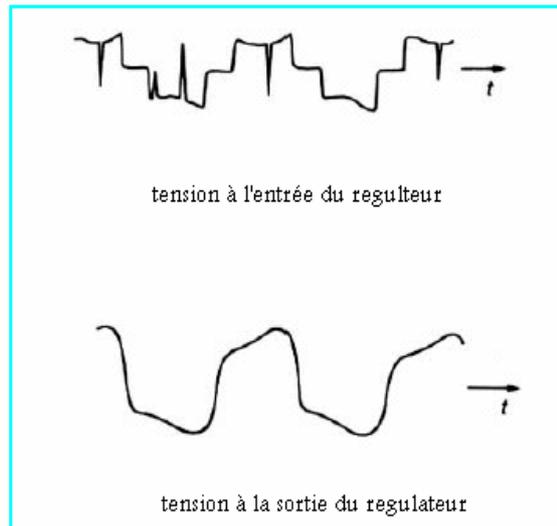
Le secondaire réagit comme un circuit résonant LC excité par le primaire, et crée une surtension suffisante pour saturer la partie secondaire du circuit magnétique. La tension de sortie est alors limitée par la saturation du circuit magnétique. Tant que celui-ci reste saturé, la tension secondaire reste à peu près constante. La partie primaire n'est pas saturée car elle est séparée du secondaire par les shunts magnétiques.



### Avantages des régulateurs à ferrorésonance :

— leur conception est très simple et leur utilisation très fiable ;

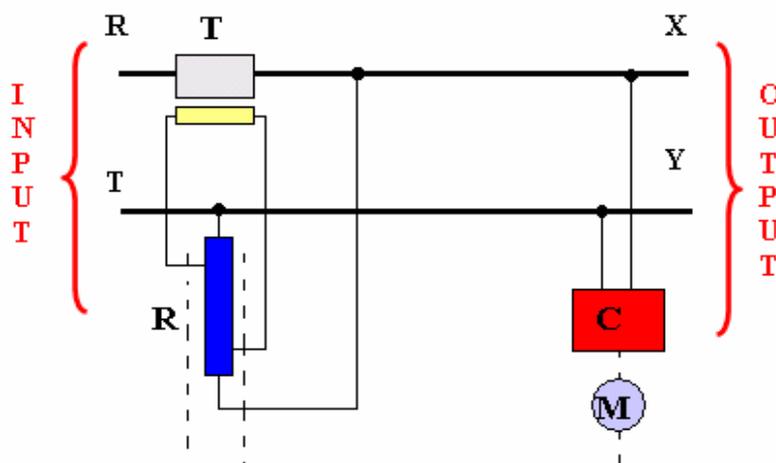
- ils éliminent les microcoupures de tension de durée inférieure ou égale à 20 ms ;
- ils servent de filtre, en éliminant les régimes transitoires et les surtensions.



Régulateur à ferrorésonance : exemple de filtrage

### 1.2.3-Régulateur à curseur asservi (principe automatique) :

Ces régulateurs effectuent la régulation par l'intermédiaire d'un transformateur série. Un circuit de contrôle totalement électronique pilote l'autotransformateur variable qui fournit au transformateur série la tension en phase ou en opposition de phase nécessaire à l'obtention de la valeur nominale de la tension en ligne.



**Principe de fonctionnement :**

Le transformateur d'appoint (de rapport  $m$ ) est alimenté par la tension de correction  $V'$ , prise à la sortie d'un autotransformateur de  $N$  spires, à point milieu et à curseur asservi par un moteur (asynchrone ou à courant continu).

Le secondaire à deux enroulements, associés en série ou en parallèle (par un jeu de barrettes), permet de doubler la plage de régulation du montage de principe.

Le contrôle de la valeur de la tension de sortie s'effectue généralement sur sa valeur moyenne redressée, comparée à une valeur de consigne réalisée dans le bloc de contrôle et commande.

Le signe de la tension d'erreur détermine le sens de rotation du moteur. Le curseur est déplacé tant que la tension d'erreur n'est pas nulle.

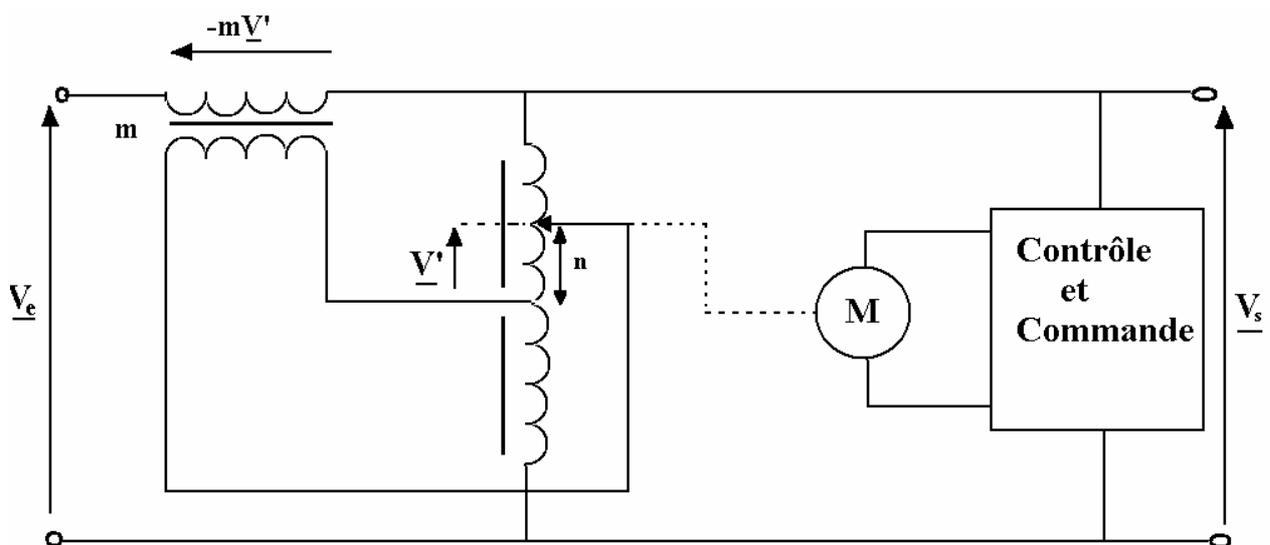


schéma de principe

Pour les moyennes et fortes puissances (supérieures ou égales à 30 kVA), le montage, à doubles éléments et à commande unique, permet de diviser par deux leur puissance apparente si :

$$m' = \frac{m}{2}$$

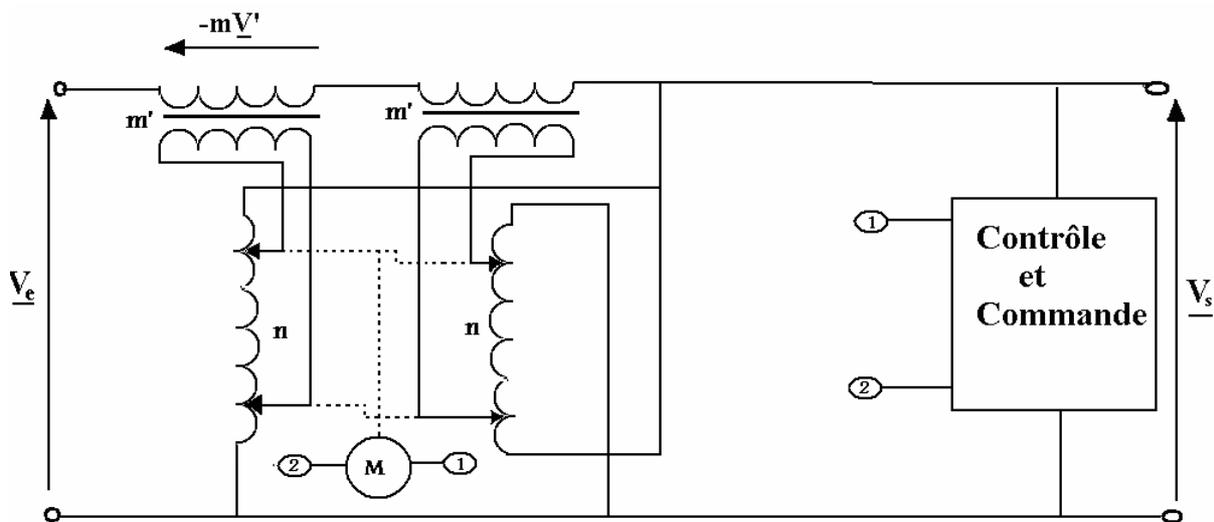


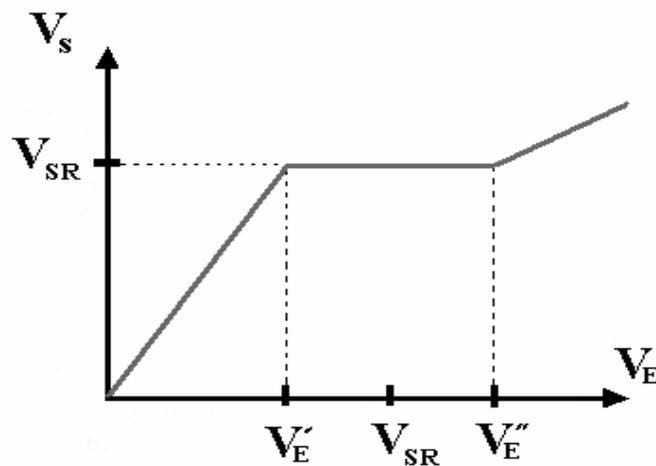
schéma de principe

Pour obtenir la régulation de la tension de sortie (à la valeur efficace  $V_{SR}$ ), lorsque la valeur efficace de la tension d'entrée varie entre  $V'$  et  $V''$ , le nombre maximal de spires, à placer de part et d'autre du point milieu, est :

$$n_{\max} = \frac{N}{m} \left( 1 - \frac{V'_E}{V_{SR}} \right)$$

La plage de régulation autour de la valeur de  $V_{SR}$  est :

$$\Delta V_{SR} = \pm m \frac{n_{\max}}{N} V_{SR}$$

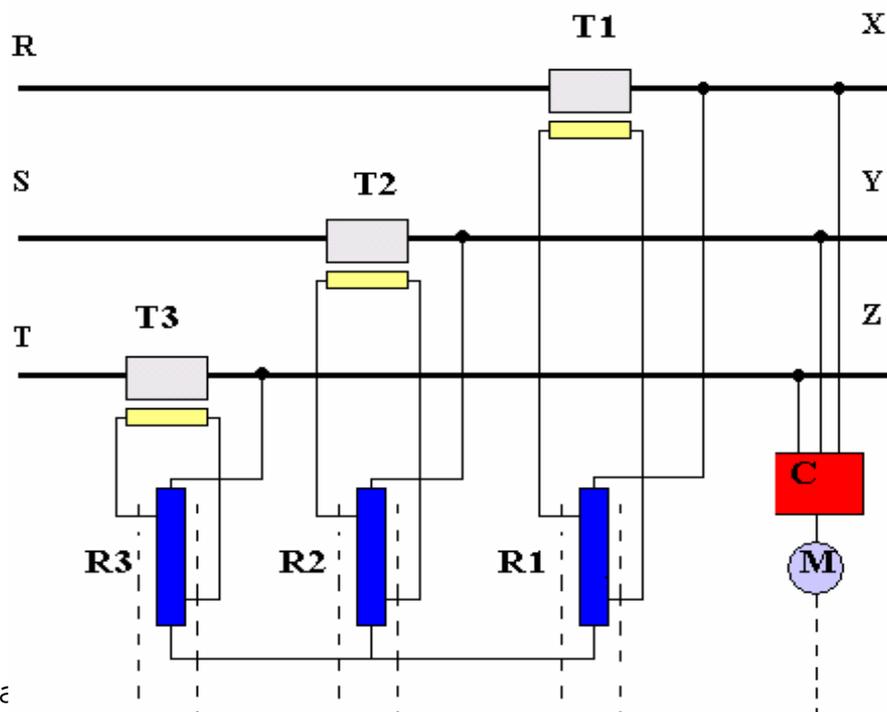


Caractéristique de sortie

### Avantages des régulateurs à curseur asservi:

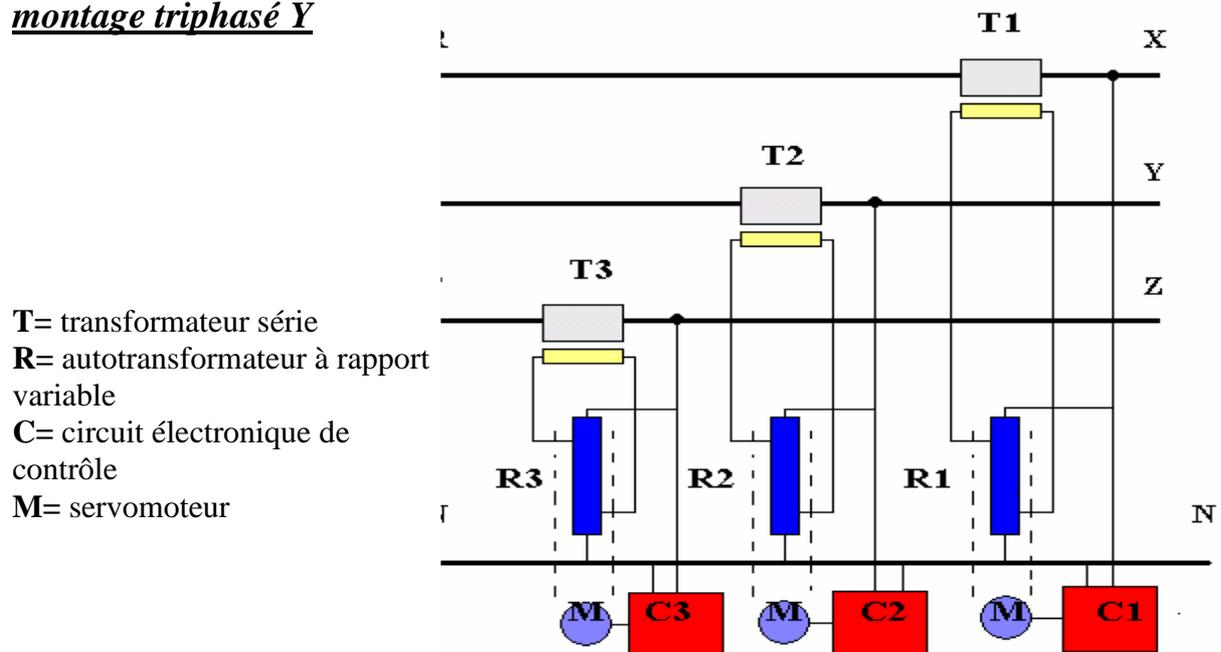
- ils sont bien adaptés aux charges variables et aux puissances élevées ;
- ils admettent des surcharges temporaires ;
- \*\*\*Ce dispositif se prête bien à une régulation triphasée simple :
- avec un circuit unique de régulation dans le cas d'une charge équilibrée ou faiblement déséquilibrée (*montage triphasé T*).

### Montage triphasé T



— avec trois circuits indépendants de régulation, disposés en étoile, pour une charge déséquilibrée (*montage triphasé Y*).

### montage triphasé Y



### Inconvénients des régulateurs à curseur asservi

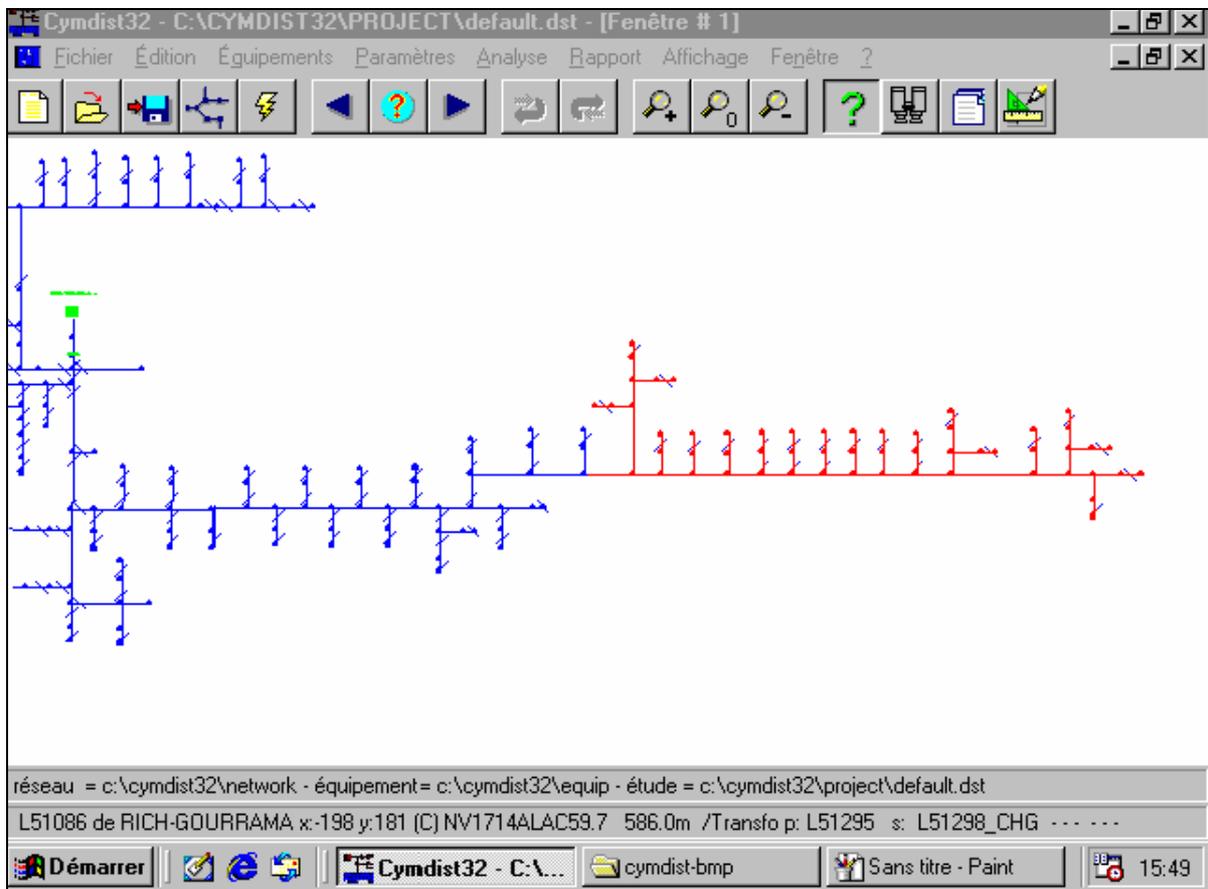
- ils nécessitent un circuit de commande compliqué ;
- ils n'éliminent pas les microcoupures de tension ;
- ils nécessitent des protections contre les courts-circuits en sortie ;
- ils n'ont aucun pouvoir de filtrage.

### 2- Calcul et emplacement sur le départ de RICH-GOURAMA :

#### ✓ Calcul :

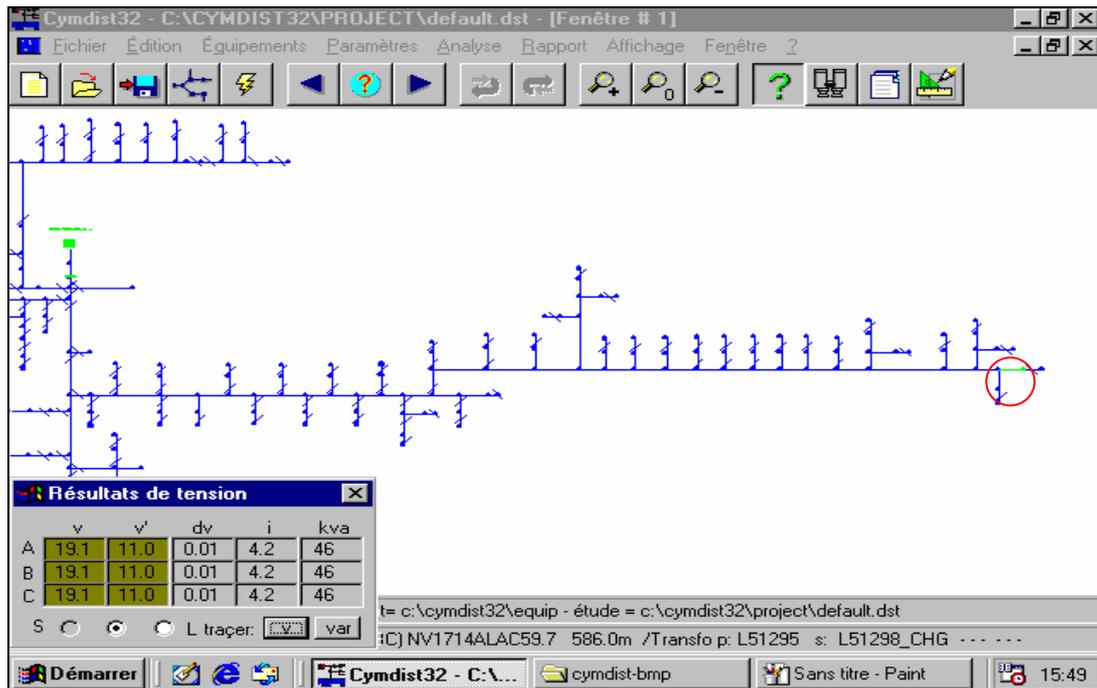
En se référant au contrat de fourniture d'électricité qui stipule que la chute de tension admissible ne doit pas dépasser 10% dans le monde rural, nous avons procédé à des simulations par CYMDIST pour déterminer les tronçons sur lesquels sont enregistrées des

chutes de tension supérieures à 10%. Après avoir importé les données du réseau à partir de la base de données de IRD, nous avons effectué la simulation suivante :



La partie en rouge correspond aux chutes de tension supérieures à 10%.

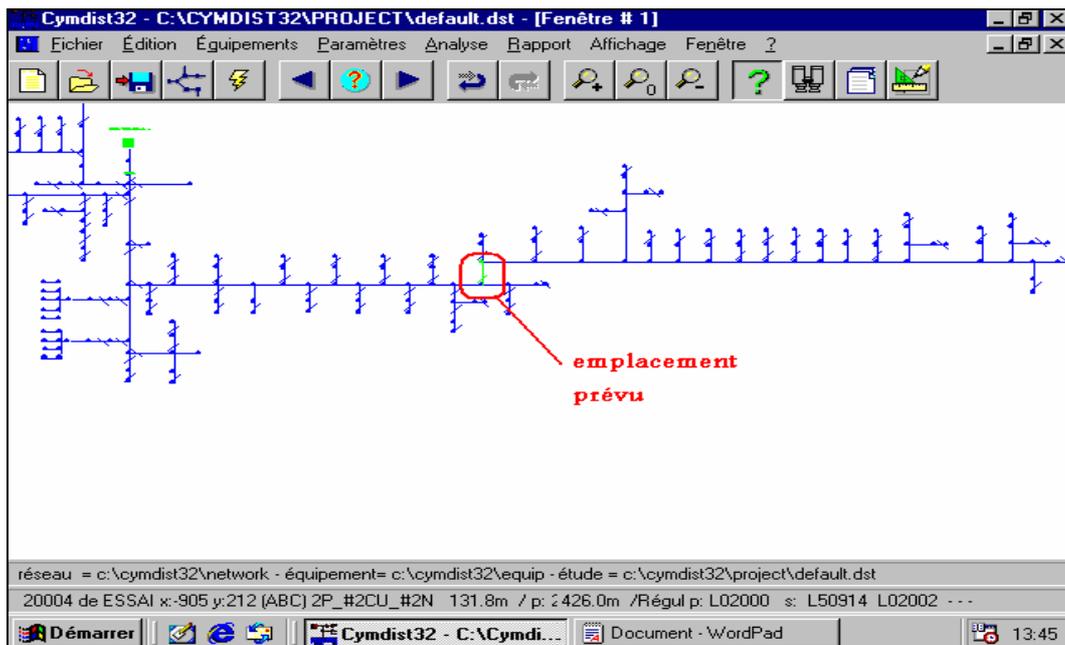
Cette partie appartient à la dérivation ASSOUL, et on remarque que la chute maximale dans cette partie se trouve au bout de la dérivation, et elle est de l'ordre de 13%.



Chute de tension=13%

### ✓ Emplacement :

Après avoir calculé les chutes de tension, on doit déterminer l'emplacement optimal du régulateur de façon à minimiser les chutes sur tout le départ et aussi à ce que les chutes avant et après le régulateur soient de valeurs proches. On a donc effectué plusieurs simulations en insérant le régulateur aux différents points du réseau, et on a choisi le point qui nous a apparu comme l'emplacement optimal.



### 3- Etude technico-économique :

- Introduction :

Avant de lancer un projet d'investissement, l'entreprise doit d'abord assurer sa rentabilité. En effet, un projet rentable ne reçoit le feu vert pour sa réalisation que si son financement ne modifie pas la politique de l'entreprise en terme de liquidité, de flexibilité de l'actif et l'indépendance financière. Pour qu'un projet soit retenu, il faut non seulement qu'il permette de rembourser le capital investi, mais qu'il assure également une certaine rémunération de ce capital.

En fait, l'entreprise procède à un calcul de rentabilité se basant sur le calcul de certains facteurs économiques à partir desquels elle tire ses conclusions et sa décision :

- ✓ **Taux de rentabilité interne : TRI**

Le TRI est la valeur du taux d'actualisation pour laquelle la VAN est nulle. Ce taux est le taux maximum auquel on peut rémunérer les capitaux ayant servi au financement du projet sans que l'opération d'investissement devienne déficitaire.

Pour qu'un projet soit retenu, il faut que le TRI soit supérieur au taux d'actualisation utilisé par l'entreprise.

- ✓ **Temps de récupération : TR**

TR est égal à la durée d'exploitation de l'équipement nécessaire pour que les revenus dégagés permettent de récupérer le montant investi.

- ✓ **Taux d'actualisation :**

Il représente le prix de cession interne du capital, c'est le prix auquel les services financiers cèdent le capital aux services techniques chargés de l'étude et de la réalisation du projet. C'est aussi le coût associé au capital de l'entreprise (fonds propres et capitaux empruntés), il en constitue un coût d'opportunité.

- ✓ **Ratio bénéfice / coût : RBC**

Le RBC est le rapport du gain réalisé à la première année et le capital investi.

✓ Valeur actuelle nette (VAN) ou revenu actualisé :

La VAN est la somme de la valeur actuelle de l'ensemble des flux de revenus ou de liquidités qui se rattachent au projet.

$$VAN = \sum_i^n (F_i / (1+a)^i)$$

Avec :

**F<sub>i</sub>** : flux de revenus (valeurs algébriques)

**n** : durée de vie économique

**a** : taux d'actualisation

la VAN est le critère par excellence du choix des investissements de l'entreprise. En effet, si la VAN est positive, alors le projet permet au moins de rembourser le capital investi, et si elle est négative alors le projet ne crée pas de richesses, et il peut également détruire la valeur économique de l'entreprise.

- Calcul :

Après insertion du régulateur, nous avons une puissance à gagner. Pour la calculer nous avons procédé de la façon suivante :

On a la relation :

$$\Delta U_{GAIN\%} = P_{GAIN} \cdot l / M_1$$

Avec :

**$\Delta U_{GAIN\%}$**  : la différence de la chute de tension avant et après installation du régulateur.

**P<sub>GAIN</sub>** : puissance à gagner en KW.

**l** : longueur du tronçon .

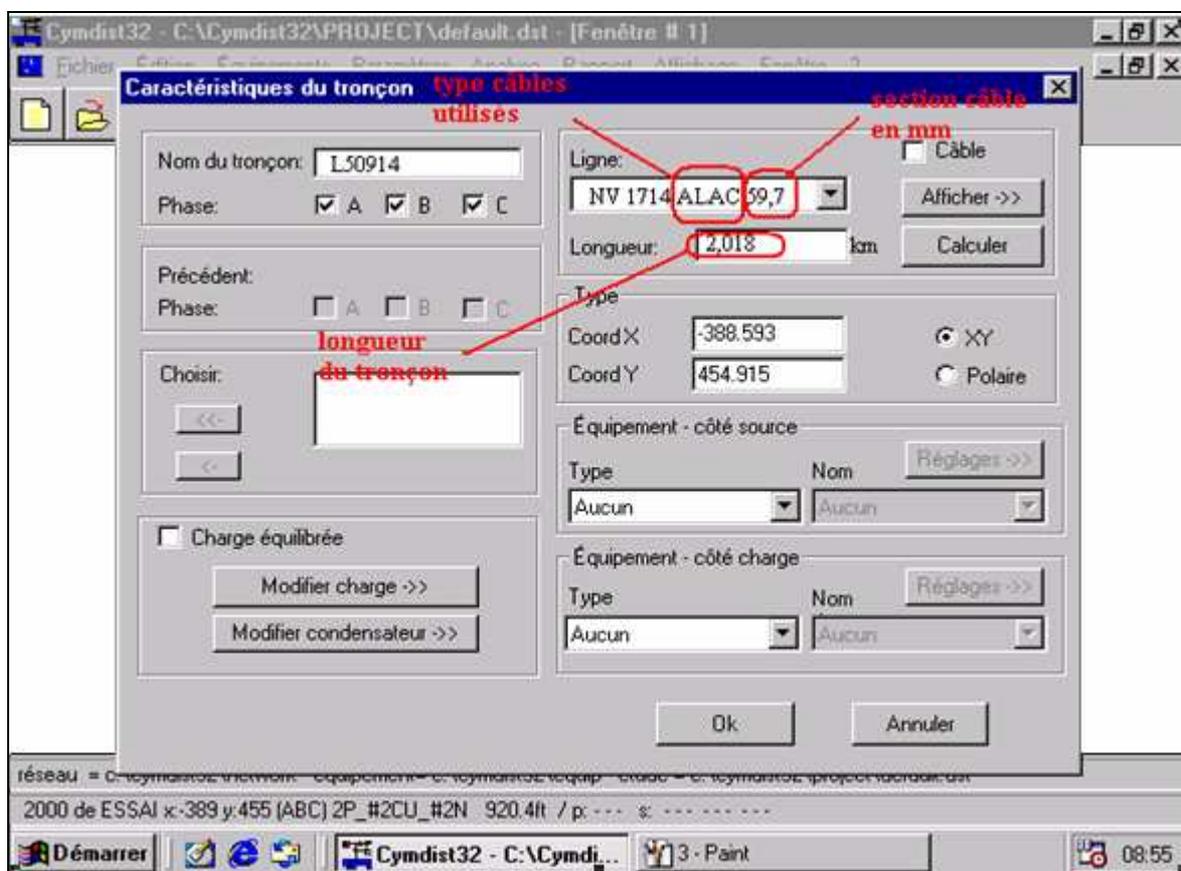
**M<sub>1</sub>** : moment électrique. (Voir tableau page13).

On a donc :

$$P_{GAIN} = \Delta U_{GAIN} \% \cdot M_1 / I$$

Pour effectuer ce calcul, on a procédé à des prélèvements sur tous les tronçons situés après l'emplacement prévu du régulateur pour avoir les différences entre les chutes de tension avant et après l'installation du régulateur .

L'importation des données du réseau étudié de l'IRD nous permet d'avoir les paramètres nécessaires pour calculer les puissances à gagner.



Les câbles sont en aluminium acier de section **59.7**mm.

D'après le tableau de la page 13 on déduit le moment électrique à 1%, **M1=5,36**.

On peut représenter les résultats dans le tableau suivant:

tronçon	Longueur (km)	M1	$\Delta U_{GAIN}\%$	$P_{GAIN}$ KW
1	25,28	5,36	8,6	1,82
2	0,66	5,36	8,2	66,59
3	13,59	5,36	8,2	3,23
4	1,299	5,36	8,2	33,83
5	0,765	5,36	8,2	57,45
6	2,108	5,36	8,2	20,85
7	2,08	5,36	7,6	19,58
8	4,565	5,36	8,11	9,52
9	2,5	5,36	8,11	17,38
10	0,584	5,36	7,7	70,67
11	0,621	5,36	7,7	66,46
12	1,397	5,36	8,2	31,46
13	0,864	5,36	8,2	50,87
14	1,412	5,36	8,2	31,12
15	4,203	5,36	7,7	9,81
16	3,475	5,36	8,18	12,61
17	0,587	5,36	8,18	74,69
18	0,792	5,36	3,6	24,36
19	1,418	5,36	8,2	30,99
20	2,817	5,36	8,2	15,60
21	1,994	5,36	7,77	20,88
22	9,68	5,36	8,2	4,54
23	2,424	5,36	7,7	17,02
<b><u>Puissance totale gagnée par jour</u></b>				<b>691,42</b>

On a donc calculé les puissances à gagner sur chaque tronçon, et on a fait la somme pour obtenir la puissance totale à gagner.

On trouve par conséquent la puissance à gagner par jour en KW :

Rapport de stage

**691,42 KW**

On multiplie par le nombre moyen d'heures d'utilisation par jour :

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{5h} : \text{heures de pointe, } * \mathbf{1} \\ \mathbf{10h} : \text{heures plaines, } * \mathbf{0.6} \\ \mathbf{9h} : \text{heures creuses, } * \mathbf{0.3} \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{13,7 h} \text{ par jour.}$$

On obtient alors la puissance à gagner en KWh par jour qu'on multiplie par le nombre de jours de l'année **365**, pour obtenir la puissance annuelle à gagner en **KWh** :

$$\mathbf{6,42 \cdot 13,7 \cdot 365 = 3457453 KWh}$$

Et on multiplie par le pris d'un KWh perdu **0,253 DH**. Et on obtient les gains en **KDH**.

$$\mathbf{3457453 \cdot 0,253 = 874,74 KDH}$$

D'après le tableau de la page suivante, on trouve :

$$\begin{array}{l} \mathbf{TRI} = \mathbf{78,87\%} \\ \mathbf{RBC} = \mathbf{72,90\%} \\ \mathbf{VAN (10\%) = 8122,17} \\ \mathbf{Temps de retour d'investissement = 3} \\ \mathbf{Temps de retour actualisé = 3} \end{array}$$

## Etude de rentabilité de l'installation d'un regulateurs de tension sur le départ 22 kV

### RICH - GOURAMA

Taux d'actualisation : 10%  
Evolution de charge : 6%

Année	Coûts (KDH)	Frais Generaux	GEND (KDH)	GEXP (KDH)	Gchute-Tension (KDH)	GMOO (KDH)	Gtot (KDH)	Cash	Cash Cum	Cash act à 10%	Cash Cum act. à 10%	Coef act à 10%
2007	1200	0						-1200	-1200	-1200,00	-1200,00	1,00
2008		0	0,00	0	874,74	0,00	874,740	874,74	-325,26	795,22	-404,78	0,91
2009		0	0,00	0	927,22	0,00	927,224	927,2244	601,9644	766,30	361,52	0,83
2010		0	0,00	0	982,86	0,00	982,858	982,857864	1584,82226	738,44	1099,95	0,75
2011		0	0,00	0	1 041,83	0,00	1 041,829	1041,82934	2626,6516	711,58	1811,54	0,68
2012		0	0,00	0	1 104,34	0,00	1 104,339	1104,3391	3730,9907	685,71	2497,25	0,62
2013		0	0,00	0	1 170,60	0,00	1 170,599	1170,59944	4901,59014	660,77	3158,02	0,56
2014		0	0,00	0	1 240,84	0,00	1 240,835	1240,83541	6142,42555	636,74	3794,76	0,51
2015		0	0,00	0	1 315,29	0,00	1 315,286	1315,28553	7457,71108	613,59	4408,35	0,47
2016		0	0,00	0	1 394,20	0,00	1 394,203	1394,20266	8851,91374	591,28	4999,63	0,42
2017		0	0,00	0	1 477,85	0,00	1 477,855	1477,85482	10329,7686	569,78	5569,41	0,39
2018		0	0,00	0	1 566,53	0,00	1 566,526	1566,52611	11896,2947	549,06	6118,47	0,35
2019		0	0,00	0	1 660,52	0,00	1 660,518	1660,51768	13556,8124	529,09	6647,56	0,32
2020		0	0,00	0	1 760,15	0,00	1 760,149	1760,14874	15316,9611	509,85	7157,41	0,29
2021		0	0,00	0	1 865,76	0,00	1 865,758	1865,75767	17182,7188	491,31	7648,72	0,26
2022		0	0,00	0	1 977,70	0,00	1 977,703	1977,70313	19160,4219	473,45	8122,17	0,24
<b>Totaux</b>	<b>1200</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>20360,42</b>	<b>0,00</b>	<b>20 360,422</b>	<b>19160,422</b>			<b>8122,17</b>	

## Conclusion

La période de stage effectué à l'STR ERRACHIDIA était une véritable expérience, car elle ma a permis de me familiariser avec le milieu professionnel, ainsi que d'améliorer mes connaissances scientifiques en les examinant sous plusieurs contraintes imposées par le milieu du travail.

L'analyse des réseaux de distribution de moyenne tension a montré que le problème des chutes de tension s'avère d'une année à l'autre, vue l'évolution de la charge, qui provoque automatiquement une augmentation des chutes qui dépendent essentiellement de la puissance appelée et de la longueur des lignes.

L'étude économique de l'utilisation de régulateur pour remédier au phénomène des chutes de tension a bien montré que c'est un projet rentable en terme de conjuguer la satisfaction du client en énergie électrique de qualité et la compensation des pertes pour le distributeur.

# Annexe

## I. Introduction:

L'aluméc et l'aluminium acier sont deux alliages de l'aluminium. Tout d'abord on va voir les différentes propriétés de l'aluminium, puis on va parler des lignes aériennes et en suite on citera les différentes caractéristiques des câbles de l'aluméc et de l'aluminium acier en fonction de différentes sections.

## II. Aluminium et alliages d'aluminium :

### 1. Fabrication :

L'aluminium se trouve à l'état naturel sous forme de minerais oxyde : la **bauxite** qui contient des oxydes d'aluminium, de fer, de silicium et de titane. L'aluminium est extrait de la bauxite par métallurgie en deux étapes :

- Extraction de l'**alumine** à partir de la bauxite par des procédés chimiques et thermiques.
- Electrolyse de l'alumine en solution.

La production d'une tonne d'aluminium nécessite :

- 5 tonnes de bauxite pour extraire 2 tonnes d'alumine ;
- 14000 kWh (tension continue de 7 à 8 V).

### 2. Propriétés physiques de l'aluminium :

- Métal léger : masse volumique  $\mu = 2,7 \text{ g/cm}^3$  ;
- Bonne conductivité thermique :  $\lambda = 222 \text{ W/m.K}$ ;
- Température de fusion  $T_f \approx 650 - 660 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3. Propriétés mécaniques :

Faible résistance à la rupture.

### 4. Propriétés électriques :

- Bonne conductivité : résistivité  $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega.m$ ;
- Coefficient de température :  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

### 5. Propriétés chimiques :

L'aluminium se recouvre rapidement d'une couche d'alumine de faible épaisseur ( $\approx 1 \mu\text{m}$ ) qui le rend stable chimiquement. Il résiste à l'action des graisses, huiles, hydrocarbures, alcools, acide nitrique, ... Il est attaqué par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, la soude, la potasse, le mercure. Au contact du cuivre, du fer, du plomb et en milieu humide corrosif, l'aluminium est altéré par corrosion électrolytique, il faut garder l'aluminium en milieu sec.

### 6. Propriétés magnétiques :

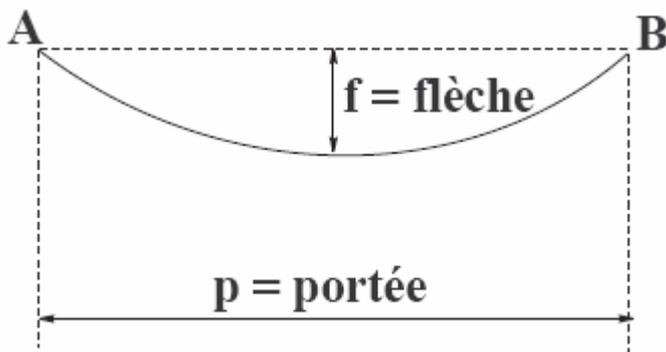
L'aluminium est amagnétique.

### III. Lignes aériennes :

#### 1. Constitution :

Alliages d'aluminium, ex : l'**almélec**, moins conducteur que le cuivre mais plus solide et moins cher. Propriété importante : résistance à la rupture  $\geq 350$  N/mm. Câbles nus, formés d'une âme en acier recouverte par des fils d'aluminium (**aluminium acier**) : acier  $\rightarrow$  solidité, aluminium  $\rightarrow$  bonne conductivité.

#### 2. Géométrie :



On montre que l'équation de la ligne peut s'écrire :

$$y - y_0 = a \operatorname{ch}[(x - x_0)/a]$$

où  $a$  est le **paramètre** de la ligne, défini par :

$$a = T/p_0$$

avec :

- $T$  : tension du câble (en N) ;
- $p_0$  : poids linéique du câble (en N/m).

Le paramètre  $a$  possède la dimension d'une longueur (m).

Relation entre flèche  $f$  et portée  $p$  :

$$f = p^2/8a$$

Longueur du câble suspendu entre A et B :

$$l(\text{AB}) = 2a \operatorname{sh}(p/a)$$

### 3. Effet du vent sur les conducteurs :

Le vent exerce sur les conducteurs une poussée :

$$F = C_x \cdot d \cdot \Delta l \cdot \mu \cdot V^2/2$$

avec :

- $C_x$  : coefficient de traînée ;
- $d$  : diamètre du conducteur ;
- $\Delta l$  : élément de longueur du câble ;
- $\mu$  : masse volumique de l'air ;
- $V$  : vitesse du vent.

Cette poussée se transmet aux supports. Élément de dimensionnement de ces supports, elle s'ajoute au poids des câbles, augmentation de leur tension mécanique.

### IV. Caractéristiques de l'aluminium acier :

- Tension nominal : 600/1000 volts
- Température maximale sur l'âme : 90°C en service permanent (250°C en court-circuit).

sections			Nombres de fils		Diamètre de fils		diamètre		Masse linéique sans graisse	Charge de rupture assignée	Résistance linéique à 20°C
Al mm <sup>2</sup>	Acier mm <sup>2</sup>	Total mm <sup>2</sup>	Al	Acier	Al mm	Acier mm	Ame mm	Cond mm	Kg/Km	KN	Ω/Km
<b>37.7</b>	<b>22.0</b>	<b>59.7</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>6.0</b>	<b>10.0</b>	<b>276.1</b>	<b>32.7</b>	<b>0.7660</b>

47.7	27.8	75.5	12	7	2.25	2.25	6.75	11.3	349.4	41.15	0.6052
58.9	34.4	93.3	12	7	2.5	2.5	7.5	12.5	431.4	48.48	0.4902
94.2	22.0	116.2	30	7	2.0	2.0	6.0	14.0	432.5	43.17	0.3067
119.3	27.8	147.1	30	7	2.25	2.25	6.75	15.8	547.4	54.03	0.2423
147.3	34.4	181.5	30	7	2.5	2.5	7.5	17.5	675.8	64.94	0.1963
184.7	43.1	227.8	30	7	2.8	2.8	8.4	19.6	847.7	80.54	0.1565
233.8	54.6	288.3	30	7	3.15	3.15	9.45	22.1	1072.8	98.58	0.1236

**Utilisation** : câbles destinés aux lignes aériennes haute et moyenne tension.

**Mode de pose** : à l'aire libre tendu entre deux poteaux.

## V. Caractéristiques de l'almélec :

- Tension nominal : 600/1000 volts
- Température maximale sur l'âme : 90°C en service permanent (250°C en court-circuit).

sections mm <sup>2</sup>	Nombres de fils Al	Diamètre		Masse linéique sans graisse Kg/Km	Charge de rupture assignée KN	Résistance linéique à 20°C Ω/Km
		fil mm	cond mm			
22.0	7	2.0	6.0	60.0	32.7	0.7660
34.4	7	2.5	7.5	93.8	41.15	0.6052
54.6	7	3.15	9.5	148.9	48.48	0.4902
75.5	19	2.25	11.3	207.4	43.17	0.3067
117.0	19	2.8	14.0	321.2	54.03	0.2423
148.0	19	3.15	15.8	406.5	64.94	0.1963
181.6	37	2.5	17.5	500.3	80.54	0.1565
227.8	37	2.8	19.6	627.6	98.58	0.1236
288.3	37	3.15	22.1	794.3	93.7	0.1154
366.2	37	3.55	24.9	1008.9	115.4	0.0908
570.2	61	3.45	31.1	1576.0	185.3	0.0585

---

**Utilisation** : câbles destinés aux lignes aériennes haute et moyenne tension.

**Mode de pose** : à l'aire libre tendu entre deux poteaux.