

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : ENERGIE**

**Suivi et optimisation des travaux de construction et de réhabilitation de la
ligne Très Haute Tension 220kv reliant Brazzaville à Pointe Noire au
Congo**

Présenté et soutenu publiquement le 27 juin 2011 par :

Brice Emile Wendkuni DAMIBA

Travaux dirigés par : **Dr MADI YASAA GOUNDIAM**
Enseignant - Chercheur
UTER ISM
Mr Ahmed BAGRE
Enseignant – Chercheur
UTER GEI

Et encadrés par : **M. Matthieu PRINGALLE**
Directeur Adjoint du service ligne projet THT

Jury d'évaluation du stage:

Président: **Dr AZOUMAH YAO**

Membres: **Dr Madi Yassa GOUNDIAM**

Mr Henri KOTTIN

Promotion [2010/2011]



REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser ici, mes plus vifs remerciements à :

- ✚ Monsieur Michel EGELS, directeur du projet ENI THT Congo et directeur adjoint de l'activité T&D international, pour m'avoir accueilli au sein du projet ;
- ✚ Monsieur Matthieu PRINGALLE, mon maître de stage et directeur adjoint du service ligne du projet ENI THT Congo qui a tout le temps été disponible pour répondre à nos éventuelles questions et nous a toujours soutenu dans nos travaux ;
- ✚ Monsieur Matthieu POTIER, réalise mon suivi au sein de son service, responsable travaux du tronçon Loudima - Mindouli, pour ses enseignements, sa convivialité et son engagement quotidien à mes côtés ;
- ✚ Tout le personnel ETDE du projet THT, en particulier la base vie de Loudima et plus particulièrement l'équipe dirigeante du tronçon Loudima - Mindouli, pour leur collaboration, aides et leurs implications dans mon travail ;
- ✚ Dr GOUNDIAM Madi Yassa, enseignant chercheur au 2^{ie} et directeur du mémoire pour ses encouragements, conseils et remarques tout au long de mon stage ;
- ✚ Mr Ahmed BAGRE enseignant chercheur au 2^{ie}, co-directeur du mémoire pour son intérêt à nos travaux et aussi pour ses précieux conseils techniques ;
- ✚ L'ensemble des intervenant et enseignant du 2^{ie} grâce auxquelles les connaissances en ingénierie furent acquises ;
- ✚ Je remercie entre autre ROMAIN Robinet, mon collègue stagiaire ingénieur de l'ICAM à Lille pour sa franche collaboration et ses apports dans mon projet ;
- ✚ Mes remerciements s'adressent à tous ceux qui, de loin ou de près ont participé d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce projet.
- ✚ Toute ma famille pour leur soutien moral et financier tout au long de mes études d'ingénieries.

RESUME



Les lignes aériennes très hautes tension (THT) sont des lignes permettant le transport de l'énergie électrique sur de grandes distances. L'une des grandes difficultés dans ce type de travaux est lié à la logistique. Grâce à des outils de suivi (suivi pylône entre autre) et à une réorganisation du système logistique en place, l'optimisation logistique du chantier a pu être réalisé. Compte tenu des exigences du client un choix des voies d'approvisionnement fut opéré en tenant compte des délais impartis aux travaux et des délais d'approvisionnement. Les travaux sur ce chantier sont principalement liées à la structure (de levage, de renforcement) et aux câbles (déroulage de câble). Un contrôle et un renforcement des fondations est préalablement réalisé. Les modes opératoires sont réalisés ou modifiés. Toutes ces activités sont successives et déterminée en fonction de l'état de la ligne existante. Les activités préparatoires que sont la réalisation des plans de levage et de déroulage sont essentiels pour l'exécution des travaux.

Mots Clés :

-
- 1 - THT
 - 2 - Logistique
 - 3 - Approvisionnement
 - 4 -Levage
 - 5 - Déroulage

ABSTRACT

The High voltage line allows the transport of the electric power at long distances. One of the great difficulties is the logistics. The control method used and the reorganization of the logistic system in place have permitted to optimize the logistic of the construction lines. Taking into account the requirements of the customer needs, a choice of the ways of provisioning was operated by taking account of the work time limits too The work in this site is mainly related on the structure (lifting,and reinforcement of pillow) and to the cables (unwinding of cable). A control and a reinforcement of the foundations are been carried out. The work procedures are carried out or modified according to the state of the existing line. Before any work is done a preparatory activities is realized for lifting and unwinding plans

Key words :

-
- 1- High voltage line

2 - Logistics

3 - Provisioning

4 - Lifting

5 - Unwinding

LISTE DES ABREVIATIONS



THT	Très Haute Tension
MIN	Mindouli
TSL	Tsielembo
PNR	Pointe Noire
MBO	Mboundi
LDM	Loudima
PV	Procès Verbal
CEC	Centrale Electrique du Congo
MALT	Mise A La Terre
MGK	Mongokamba

LEXIQUE



Progress	Fichier de suivi évolutif des travaux
Yard	Magasin, lieu de dépôt du matériel ligne
Packing list	Liste d'éléments constitutifs d'un colis
Survey	Activité de contrôle d'état de dégradation de la ligne
Stockbridge/dampers	Accessoires de câbles permettant d'atténuer la vibration des câbles
Scope câble/ déroulage	Scope Fichier contenant les informations sur les lieux de déroulage de câble neuf, ancien, et de récupération de câble
Starking chart	Fichier d'information technique sur certaines caractéristiques de la ligne (angles des pylônes, type d'armement mis en œuvre, ...)
Commissioning	Essai de ligne

SOMMAIRE



REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LEXIQUE	v
SOMMAIRE.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES	ix
I. INTRODUCTION GENERALE.....	1
II. PRESENTATION DU PROJET THT ET CONTEXTE DE LA MISSION	2
1. Le projet THT	2
2. Intervenants	3
3. Mission, Objectifs et Méthodologie	3
III. GENERALITES SUR LES LIGNES AERIENNES A TRES HAUTES TENSION ...	5
1. Les pylônes.....	6
2. Les conducteurs.....	7
3. Les isolateurs	7
4. Les Câbles de garde	8
5. Les fondations.....	8
6. Armements.....	8
7. Principales définitions géométriques	9
IV. LOGISTIQUE DU CHANTIER	11
1. Etat des besoins	11
2. Présentation du système logistique en place	13

2.1	La logistique d’approvisionnement	13
2.2	La logistique des chaînes de fabrication.....	13
2.3	La logistique de distribution.....	13
2.4	La logistique de retour ou Reverse Logistics	13
3.	Chaîne logistique du chantier : Flux et Approvisionnement	15
3.1	Les buts de la gestion des flux	15
3.2	La notion de « Gaspillage ».....	15
4.	Les différents types de flux logistiques	16
4.1	Flux logistiques internes.....	16
4.2	Flux logistiques externes.....	17
5.	Fonctionnement de la chaîne logistique	18
6.	Optimisation de la fonction logistique et impact sur le chantier (évaluation des risques).....	20
V.	ORGANISATION DES TRAVAUX THT LIGNE LOUDIMA – MINDOULI.....	25
1.	Construction d’accès.....	25
2.	Travaux de Génie civil : les fondations.....	25
3.	Travaux de structure	25
3.1	Le renforcement des pylônes.....	26
3.2	Travaux d’assemblage	26
3.3	Travaux de levage.....	27
3.4	Travaux sur câble.....	38
3.5	Finalisation des travaux.....	45
VI.	IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET THT	47
VII.	CONCLUSION	49
VIII.	REFERENCES	50
IX.	ANNEXES	51

LISTE DES TABLEAUX



Tableau 1 : Répartition des réseaux en catégories en fonction de leurs caractéristiques.....	5
Tableau 2 : Calcul taux d'utilisation des grues : Levage Pylône 160.....	39
Tableau 3 : Formules usuelles pour le calcul des tensions au sommet des pylônes.....	44

LISTE DES FIGURES



Figure II.1. Schéma électrique simplifié et projeté du réseau THT.....	3
Figure III.1. Aperçu d'un pylône.....	7
Figure III.2. Armement conducteur.....	9
Figure III.3. Eléments géométriques principaux d'une portée.....	10
Figure IV.1. Système Logistique initial.....	15
Figure IV.2. Fonctionnement de la chaîne logistique.....	20
Figure IV.3. Nouvelle organisation logistique.....	21
Figure IV.4. Réorganisation du dispositif au Yard de NKAYI.....	24
Figure IV.5. Evolution du système logistique en place.....	25
Figure V.1. Point de matages des boulons après assemblage.....	29
Figure V.2. Méthode de fixation des élingues.....	31
Figure V.3. Positionnement des échelons.....	32
Figure V.4. Représentation d'une machine TESMEC (Treuil/Freineuse) en mode freineuse.....	40
Figure V.5. Modèle mathématique pour le calcul des tensions aux sommets des pylônes.....	43
Figure VI.1. Débroussaillage mécanique.....	48

I. INTRODUCTION GENERALE

La problématique du transport de l'énergie reste toujours posée en Afrique bien que dans certaines zones le continent dispose de ressources énergétiques comme au CONGO. La ligne aérienne de transport d'énergie est un vecteur permettant le transport à une tension électrique élevée, d'une puissance très importante sur une très longue distance. Elle relie en général un centre de production à un centre de consommation. Le centre de production est en général une centrale électrique. Pour le transport de l'énergie, la technique évolue moins vite pour la simple raison que malgré l'existence de programmes de recherche et de développement de nouveaux moyens de transport, l'énergie électrique ne pourra se transporter encore et pendant longtemps, qu'à l'aide des câbles souterrains ou aériens. L'activité de construction des lignes électriques à très haute tension passe par le choix de plusieurs méthodes. Elle demande à l'ingénieur d'avoir des connaissances bien particulières liées à cette activité dans des domaines comme la topométrie, la topographie, l'étude des sols et calcul des fondations, la résistance des matériaux et le calcul des charpentes, l'étude théorique des câbles et leur comportement dans l'espace. C'est dans cette activité de construction de lignes aériennes que nous avons apporté notre contribution à travers le projet de construction et de réhabilitation de la ligne THT 220 kilovolts reliant les deux principales villes du CONGO (Brazzaville et Pointe Noire). La construction d'une ligne électrique fait partie des chantiers linéaires où la logistique est le nerf de la guerre. En effet, le chantier s'étale sur plusieurs kilomètres à l'avancement. A chaque pylône doit être organisé les approvisionnements de tout le matériel pour l'ensemble des travaux à réaliser. Il est à souligner, que spécifiquement dans le cas du projet THT Congo d'ETDE, l'un des défis majeurs à relever est le défi logistique. La problématique logistique du chantier est due au fait que :

- l'on n'a aucune disponibilité de matériaux sur place,
- l'importation de matériel se fait depuis l'Inde et la Turquie,
- les durées d'approvisionnement varient de un à quatre mois en fonction du type de matériaux,
- en local, la distribution du matériel se fait généralement en train ou par la route (avec des camions). Les aléas climatiques (orages, état de la voie,...) sont tels que des retards sur livraison sont fréquemment enregistrés,
- d'autre part, compte tenu de l'évolution des travaux, l'ingénierie apporte des modifications influant sur les composants et du même coup sur le programme de travail.

Tous ces aléas sont des facteurs de risques pour les travaux. De ce fait, une organisation et une flexibilité sont de rigueur pour l'aboutissement du projet. Les chantiers de lignes aériennes sont de plus en plus complexes car ils allient la productivité, la sécurité et la qualité dans toute activité. C'est principalement sur ces trois cartes que se jouera la réussite du projet THT.

II. PRESENTATION DU PROJET THT ET CONTEXTE DE LA MISSION

1. Le projet THT

Le projet THT est un projet de réhabilitation de la ligne Très Haute Tension 220kv reliant Brazzaville à Pointe Noire. Il s'agit d'un projet pour lequel le chiffre d'affaire du consortium atteindrait 300 millions d'euro. Ce projet a débuté en Mars 2009 et la date de finalisation est prévue pour fin Septembre 2011. Aujourd'hui ce projet emploie près de 2000 personnes. C'est un chantier qui compte 8 postes au total pour à peu près 600km de lignes et 800 pylônes. De ce fait, le projet THT est un projet de très grande envergure et compte parmi les plus gros marchés acquis par le Groupe ETDE. Ce projet devrait à court et à moyen terme apporter au Groupe ETDE une forte valeur ajoutée à travers la création d'une référence en Afrique dans les travaux de ligne à Très Haute Tension. Les postes sont localisés à CEC, MGK I, MGK II, MBOUNDI, LOUDIMA, MINDOULI et TSIELEMPO. Le projet comprend trois axes qui sont: la réhabilitation, l'extension et la modernisation des postes de transformation très haute tension entre Brazzaville et Pointe-Noire et la réhabilitation de la ligne électrique entre Brazzaville et Pointe-Noire. Ce découpage peut être visualisé sur la figure suivante :

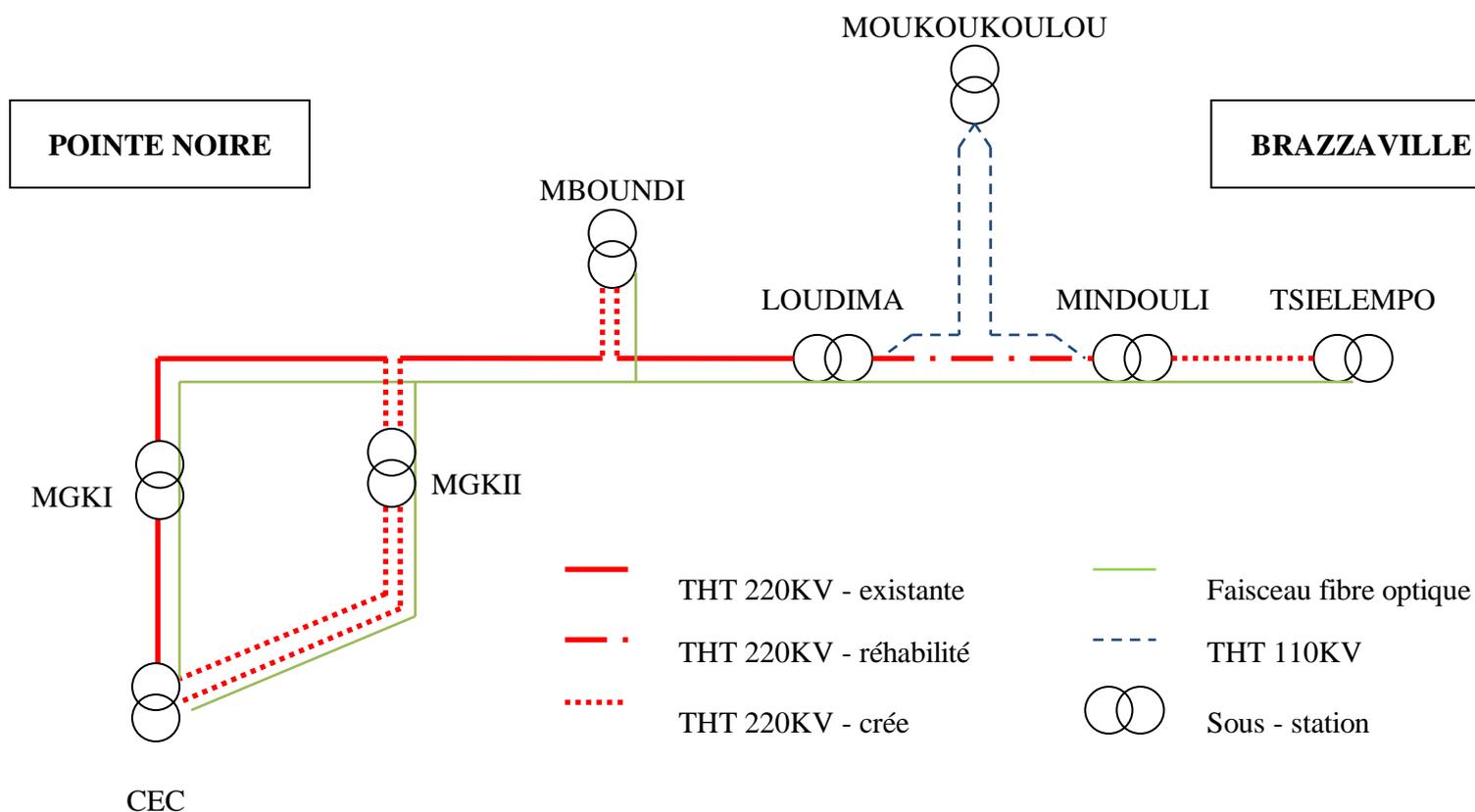


Figure II.1 : schéma électrique simplifié et projeté du réseau THT

Une carte de visualisation du réseau en détail sur carte est disponible en annexe 9.

Le financement et la maîtrise du projet sont assurés par la société ENI-Congo. Les tronçons de ligne sont découpés en fonction du type de travaux réalisés (rénovation ou réhabilitation). Ainsi, nous distinguons le tronçon MIN – TSL où la ligne est entièrement rénovée des tronçons de réhabilitation que sont PNR – MBO, MBO – LDM et LDM – MIN. Au plan opérationnel, nous distinguons deux départements que sont : le département poste et le département ligne. Pour une meilleure organisation et une meilleure gestion, le projet a été subdivisé en deux secteurs principaux :

- Le Secteur WP6 : Il relie la CEC à MBOUNDI en passant par MGK1 et MGK2.
- Le secteur WP7 : Qui relie le Poste de transformateur de Loudima à celui de TSIELEMPO en passant par Mindouli.

2. Intervenants

Dans ce projet THT, nous distinguons principalement trois corps d'intervenant :

- Le Futur exploitant : La SNE (Société Nationale d'Electricité) chargé de la production et de la distribution d'électricité au CONGO
- Les titulaires du marché : Il s'agit du consortium formé par SAIPEM, BOS CONGO, ALSTOM (ex AREVA), ETDE CONGO et ETDE CONGO Projet THT
- Le client : Il s'agit d'ENI, Société pétrolière italienne opérant dans le secteur pétrolier au Congo. Cette société a signé une convention avec l'Etat Congolais pour l'utilisation des gaz issus du pétrole dans le fonctionnement d'une centrale électrique à Gaz. Toute chose qui devrait à court terme résoudre le besoin en production d'électricité au Congo.

3. Mission, Objectifs et Méthodologie

Nos missions pendant ce stage étaient les suivantes :

- le suivi logistique du chantier : Mise en place d'outils de suivi et animation de ces outils avec les équipes en place sur les yards pour l'appropriation des dits outils. Il s'agissait aussi d'effectuer une analyse de risques logistique dans la mesure du possible, et de déterminer les besoins pour l'achèvement du chantier ;
- préparation et suivi Travaux : Assistance de l'ingénieur Travaux dans la réalisation des plans de déroulage, de levage et le suivi travaux.

Toutes les activités listées plus haut avaient comme objectif l'optimisation logistique et le suivi chantier.

Pour ce faire, la méthodologie adoptée fut la suivante :

- au niveau logistique :

La méthodologie a consisté en l'analyse de la chaîne Logistique du chantier, à la mise en place d'outils de suivi des flux logistiques pour le Yard principal de NKAYI, la maîtrise des stocks, des commandes et transferts en cours, l'évaluation des besoins du chantier et enfin l'évaluation des manques éventuels du chantier.

- au niveau des travaux :

La méthodologie a consisté à l'analyse et la compréhension de l'outil de suivi travaux (le progress), des plans de déroulage et levages précédemment réalisés, à l'étude des procédures liées à ces activités (Procédures de Levage, d'assemblage, de déroulage, de réglage et de mise sur pinces) ; à l'intégration des principes de préparations antérieures liées à ces activités (visite de ligne, Préparation et identification du matériel, ...), à l'appropriation des méthodes de calculs des tensions de déroulage et taux d'utilisation des engins de levages, à la compréhension du scope de déroulage afin d'identifier les cantons de déroulage et de récupération.

III.GENERALITES SUR LES LIGNES AERIENNES A TRES HAUTES TENSION

Les lignes à Haute tension sont les lignes principales des réseaux de transport d'électricité. Elles peuvent être aussi bien aériennes que souterraines ou sous marines, quoique les professionnels réservent plutôt le terme aux liaisons aériennes. Elles servent au transport sur les longues distances de l'électricité produite par les diverses centrales électriques, ainsi qu'à l'interconnexion des réseaux électriques. Comme indiqué dans le tableau ci-dessous, il existe différents niveaux de classifications des réseaux suivant la tension. Ainsi on distingue en fonction des niveaux de tension :

- Les réseaux de transport d'énergie électrique : Le transport de l'énergie électrique des zones de production aux zones de consommation se fait à partir d'un réseau de transport à haute tension et à très haute tension.
- Les réseaux de distribution d'énergie électrique : Ils comprennent le réseau HTA et le réseau BT. Le réseau HTA part des postes sources vers les postes abonnés ou les postes de distribution publique HTA/BT. Le réseau de distribution BT achemine l'électricité des postes de distribution aux abonnés domestiques

Tableau 1 : répartition des réseaux en catégories en fonction de leurs caractéristiques

Tension	Catégorie	Type de réseau	P(max) de lignes
400V	Basse Tension	réseau de distribution	environ 250kVA
15kV 20kV 30kV	Moyenne Tension (HTA)	réseau de distribution	de 10 et 15 MVA
63kV 90kV 110kV	Haute Tension B (HTB)	réseau de répartition	de 100 à 150 MVA
225kV 380kV	Très Haute Tension (THT)	réseau de transport	de 500 à 1500 MVA

Le réseau THT reliant Pointe Noire à Brazzaville est un réseau d'une tension de 220kV, ce qui classe ce réseau en réseau de transport.

Le choix d'utiliser des lignes à haute tension s'impose, dès qu'il s'agit de transporter de l'énergie électrique sur certaines distances (supérieures à quelques kilomètres). Le but est de réduire les chutes de tension en

ligne, les pertes en ligne, et également d'améliorer la stabilité des réseaux.

Les pertes en ligne sont dues à l'effet joule, qui ne dépend que de deux paramètres : la résistance et le courant. L'utilisation de la haute tension permet, à puissance transportée équivalente, de diminuer le courant et donc les pertes. Par ailleurs, pour diminuer la résistance, aux fréquences industrielles, il n'y a que deux facteurs, la résistivité des matériaux utilisés pour fabriquer les câbles de transport et, la section de ces câbles. A matériau de fabrication et section équivalente, les pertes sont donc égales, en principe, pour les lignes aériennes.

Les lignes à haute tension font parties du domaine << haute tension B>> qui comprend les valeurs supérieures à 50 kilovolts en courant alternatif. L'expression << très haute tension>> est parfois utilisée, mais n'a pas de définition officielle. Les tensions utilisées varient d'un pays à l'autre de 110 à 220 kilovolts pour les échanges entre régions, et de l'ordre de 345 à 500 kilovolts pour les principales interconnexions nationales et internationales. Dans certains pays, on utilise aussi du 800 kilovolts (comme au CANADA), et même des tensions plus élevées comme en Chine (1100 kilovolts), Inde (projet 1200 kilovolts). La ligne THT réhabilitée par le Groupe ETDE au Congo est une ligne de 220 kilovolts.

Les principaux composants des lignes aériennes sont :

1. Les pylônes

Pour les lignes aériennes, les opérateurs de transport d'électricité, utilisent des pylônes, en général réalisés en treillis d'acier. Leur fonction est de supporter et de maintenir les conducteurs à une distance suffisante du sol et des obstacles : ceci permet de garantir la sécurité et l'isolement par rapport à la terre, les câbles étant nus (non isolés) pour en limiter le poids et le coût. Dans le cas du projet THT les pylônes sont de types treillis composés de trois parties que sont : la tête, le fut (3 tronçons de fut) et les pieds comme illustré plus bas :



Figure III.1 : Aperçu d'un pylône

2. Les conducteurs

Le courant électrique est transporté dans des conducteurs. L'énergie électrique étant transportée sous forme triphasée, on trouvera au moins 3 conducteurs par ligne. Pour une phase, on peut aussi trouver un faisceau de conducteurs (de 2 à 4) à la place d'un simple conducteur afin de limiter les pertes. Les conducteurs en cuivre sont de moins en moins utilisés. On utilise en général des conducteurs en alliage d'aluminium, ou en combinaison aluminium – acier pour les câbles plus anciens ; ce sont des conducteurs composés d'une âme centrale en acier sur laquelle sont tressées des brins d'aluminium. Les conducteurs sont nus, c'est-à-dire non revêtus d'un isolant. Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, verglas etc.... Ces facteurs interviennent de façon importante dans le choix des paramètres d'une ligne haute tension : type de conducteur électrique (matériaux et géométrie), hauteur et distance des pylônes, tension mécanique maximum sur le conducteur afin de maintenir une garde suffisante au sol, etc. Le choix de ces paramètres a une grande influence sur les coûts de construction et d'entretien d'une ligne de transmission, ainsi que sur sa fiabilité et sur sa longévité.

3. Les isolateurs

L'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs. Leur rôle mécanique sévère à remplir est la résistance aux efforts des conducteurs ou transmis par ceux-ci : poids propre, surcharge de

glace, de vent, tension variable en fonction de la température, réaction du support de l'isolateur, vibrations, etc. Ils doivent pouvoir subir ces efforts dans des conditions de température sévères (gel et exposition au soleil). Pratiquement, ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique. Les isolateurs en verre ou céramique ont en général la forme d'une assiette. On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'isolateurs dans la chaîne est important. Dans le cas du projet THT, nous avons 15 assiettes par chaîne d'isolateur.

4. Les Câbles de garde

Les câbles de garde sont posés au sommet des pylônes en treillis. Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroiement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en alu-méc – acier. Au centre du câble de garde on place parfois un câble de fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant. Si on décide d'installer la fibre optique sur un câble de garde déjà existant, on utilise alors un robot qui viendra enrouler en spirale la fibre optique autour du câble de garde.

5. Les fondations

Des fondations sont réalisées au sol pour maintenir le pylône et éviter ainsi sa flexion (compte tenu des efforts éventuels aux quels il sera soumis : (vent, pluie, efforts des câbles,...). Sur le projet THT, les fondations rencontrées sont soit en béton ou en grille.

6. Armements

L'armement d'une ligne est constitué de l'ensemble des accessoires qui assure la fixation de celle-ci aux supports. Il a une double fonction :

- électrique : il empêche que les conducteurs nus soient en contact avec les supports ou entre eux, évitant ainsi des défauts graves de fonctionnement ou de pertes exagérées ;
- mécanique : il doit résister aux efforts transmis par les câbles (poids, propre, vent, glace) et aux réactions des supports. Il permet d'éviter parfois les chutes de câbles.

La structure de l'armement varie selon qu'il s'agisse de câbles conducteurs, câble de garde 94 ou OPGW. On désigne aussi sous le nom d'armement la disposition particulière de ces accessoires sur les supports. Ces accessoires comprennent essentiellement des isolateurs et des ferrures pour le conducteur.

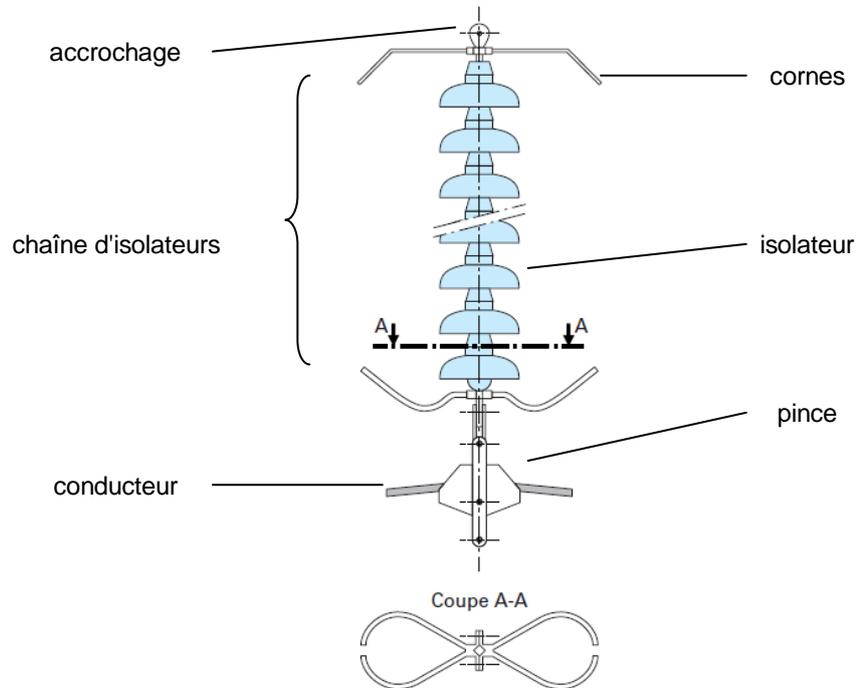


Figure III.2 : Armement conducteur

7. Principales définitions géométriques

Comme l'illustre le schéma ci-dessous, on distingue :

La Portée (a)

Elle correspond à la distance horizontale "a" comprise entre deux supports consécutifs. Elle est fonction du type de ligne (écarts, agglomérations, ...). La portée est une donnée du problème car le calcul mécanique des lignes aériennes se conduit pour chaque portée comme nous le constaterons plus loin. Elle est exprimée en mètres.

La Flèche (f)

Elle correspond à la distance verticale maximale entre la droite joignant les deux attaches et les conducteurs. A l'origine, elle dépend de la tension de réglage de la ligne, la flèche varie ensuite en fonction de la température et sous l'influence des surcharges (la température à considérer est celle du métal et non la température ambiante).

Cette définition n'est pas tout à fait exacte pour les portées fortement dénivelées car le point de tangence théorique se trouve en dehors de la portée.

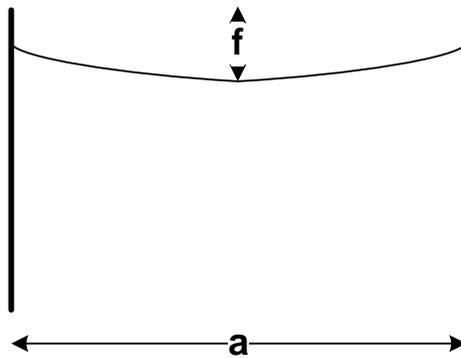


Figure III.3 : Eléments géométriques principaux d'une portée.

IV. LOGISTIQUE DU CHANTIER

La logistique d'une manière générale, regroupe l'ensemble des activités mises en œuvre pour assurer la disponibilité d'un bien ou d'un service, à un lieu où le besoin existe, et garantissant une gestion optimale de la combinaison « quantités, délais et coûts ».

Dans le passé, la logistique se limitait à l'optimisation des tâches opérationnelles (transport, entreposage et gestion des stocks). Les changements rendus possibles par les nouvelles technologies et les nouvelles méthodes ont permis à la logistique de devenir un instrument d'intégration et de coordination des activités à travers la chaîne logistique. En apportant la sécurité, l'efficacité et la personnalisation des livraisons, la logistique est devenue une véritable fonction dédiée à la création de valeur pour l'activité. On comprend de nos jours que la logistique peut dans certains cas comme le notre, devenir un des facteurs les plus importants de la croissance et de la rentabilité de l'activité. De ce fait, la fonction logistique a une importance stratégique pour l'activité. Sont désormais en jeu dans l'activité : une réactivité accrue, une réduction des coûts, un capital (stock) mieux rentabilisé ainsi qu'une bonne qualité de service. D'où la dimension stratégique de l'activité logistique. Dans notre cas, le cadre de l'étude se limitera à la maîtrise des stocks, à la distribution physique des produits destinés au chantier et à l'évaluation des manques pour l'approvisionnement (ou besoin). La logistique offre un levier très important pour améliorer les processus d'approvisionnement, pour poursuivre une politique de réduction de coûts, d'amélioration des délais et de la qualité et pour mettre en place un suivi fiable des matériaux et de la traçabilité.

1. Etat des besoins

Sur le projet THT d'une manière générale et sur le tronçon LDM – MIN de façon particulière, les besoins d'un suivi et d'une optimisation logistique se sont vus accroître pour plusieurs raisons :

- l'importance grandissante de la notion de service face aux exigences du client en termes de qualité, de délais et de respect des engagements ; des délais de livraison de 1 à 4mois pouvant retarder le chantier.
- La répartition géographique et la diversité des activités exigent une plus grande flexibilité pour l'approvisionnement ;

- l'organisation verticale et centralisée a laissé place à une organisation en réseau géographique dispersé des ressources. Ce réseau est sensé fournir la rapidité et la flexibilité nécessaire au temps de réponse de la demande des sites. D'où l'existence du Yard intermédiaire de Bouansa sur le tronçon LDM-MIN ;
- l'importance d'avoir une adéquation entre les travaux et la gestion du matériel de façon à prendre de l'avance sur les éventuels manques pour l'achèvement du projet. En d'autre terme, pouvoir identifier les risques logistiques du projet.

Tous ces aspects reconnus, mais qui sont souvent ignorés, sont les rôles croissants de la logistique comme facteur indispensable de réussite dans ce nouvel environnement.

A travers un processus de réorganisation, de suivi et d'identification des risques de l'activité, nous avons pu aboutir à la détermination de l'état des besoins pour les pylônes (fardeaux, cornières, boulonnerie manquante) et pour les fittings (accessoires de câbles pour conducteurs, câble de garde et OPGW). Le besoin à la date du 19 mai est résumé à l'annexe2.

Il a été déterminé sur la base des documents techniques liés au colisage des différentes pièces constituant les différents armements (staging chart, insulator data sheet and drawing, insulator sets and conductor fittings, OPGW fittings drawings and data sheets) et du scope de déroulage ainsi que du suivi travaux (sur le progress). Pour le cas de l'armement OPGW, compte tenu de la disponibilité des éléments, les besoins ont été déterminés après colisage de tous les matériaux disponibles.

Le besoin en pylône a été déterminé grâce à l'outil de suivi pylône.

Différentes pistes d'approvisionnement ont été ciblées, il s'agissait entre autre de :

- récupération de montants et de pieds en surplus disponible sur Kinkala. En effet il s'agit de récupérer les montants existants remplacés sur le tronçon MIN-TSL ;
- récupération des montants et pieds sur le tronçon MIN-TSL : ce type d'approvisionnement a été choisie pour tenir compte du délai d'approvisionnement (1 à 4 mois) ;
- commande pour les fittings et boulonnerie ;
- le choix du moyen d'approvisionnement (aérien ou maritime) est déterminé sur la base de la quantité des besoins, de la planification travaux (période à laquelle les matériaux seront utilisés pour travaux), du coût de transport.

2. Présentation du système logistique en place

Le système logistique en place est un système logistique des biens et services qui se répartie en logistique d'approvisionnement ; logistique des systèmes de fabrication ; logistique de distribution et logistique des retours.

2.1 La logistique d'approvisionnement

L'approvisionnement regroupe l'ensemble des activités qui contribuent à l'acquisition des matières ou des services dont a besoin le chantier pour son avancement. La logistique dans ce contexte intègre la détermination des quantités de commande, la recherche des sources d'approvisionnement (récupération sur KKL, ou achat chez le fournisseur), la gestion de la base de donnée « articles », la gestion des magasins et des stocks de marchandises. C'est grâce à cette approche que les besoins d'approvisionnement du chantier ont été déterminés.

2.2 La logistique des chaînes de fabrication

La logistique des chaînes de fabrication consiste à mettre en œuvre les activités de planification des besoins en composants ; la gestion des stocks; la gestion des données techniques de la production (Stacking shart,...) ; l'ordonnancement et la planification de la production (colisage dans notre cas) ; les manutentions entre unités de fabrication.

2.3 La logistique de distribution

La distribution consiste à écouler les produits finis (pylônes colisés, accessoires de câbles) vers les sites pour utilisation travaux. Par déduction, la logistique de distribution rassemble les activités mises en œuvre pour ravitailler le chantier. Elle intègre la tenue des stocks de colis ; la préparation des commandes (prélèvement, conditionnement et emballage) ; l'expédition sur site et les transferts vers les Yards intermédiaires.

2.4 La logistique de retour ou Reverse Logistics

La gestion des flux retours est l'acheminement des retours chantiers, ou de matière (ou colis) généralement hors d'usage, non conforme ou en surplus, du lieu d'utilisation finale au lieu de fabrication. Ces marchandises sont retournées pour réutilisation, réparation, ou stockage définitifs. La logistique de retour regroupe donc l'ensemble des activités qui contribuent à ramener au yard (point de départ) des matériaux récupérées sur le chantier. Dans le cas du chantier, tout le matériel ancien récupéré sur

l'ancienne ligne doit être stocké pour une restitution future à la SNE (Société Nationale d'Electricité).
Le système logistique initial à notre arrivée peut être schématisé par le logigramme ci-dessous :

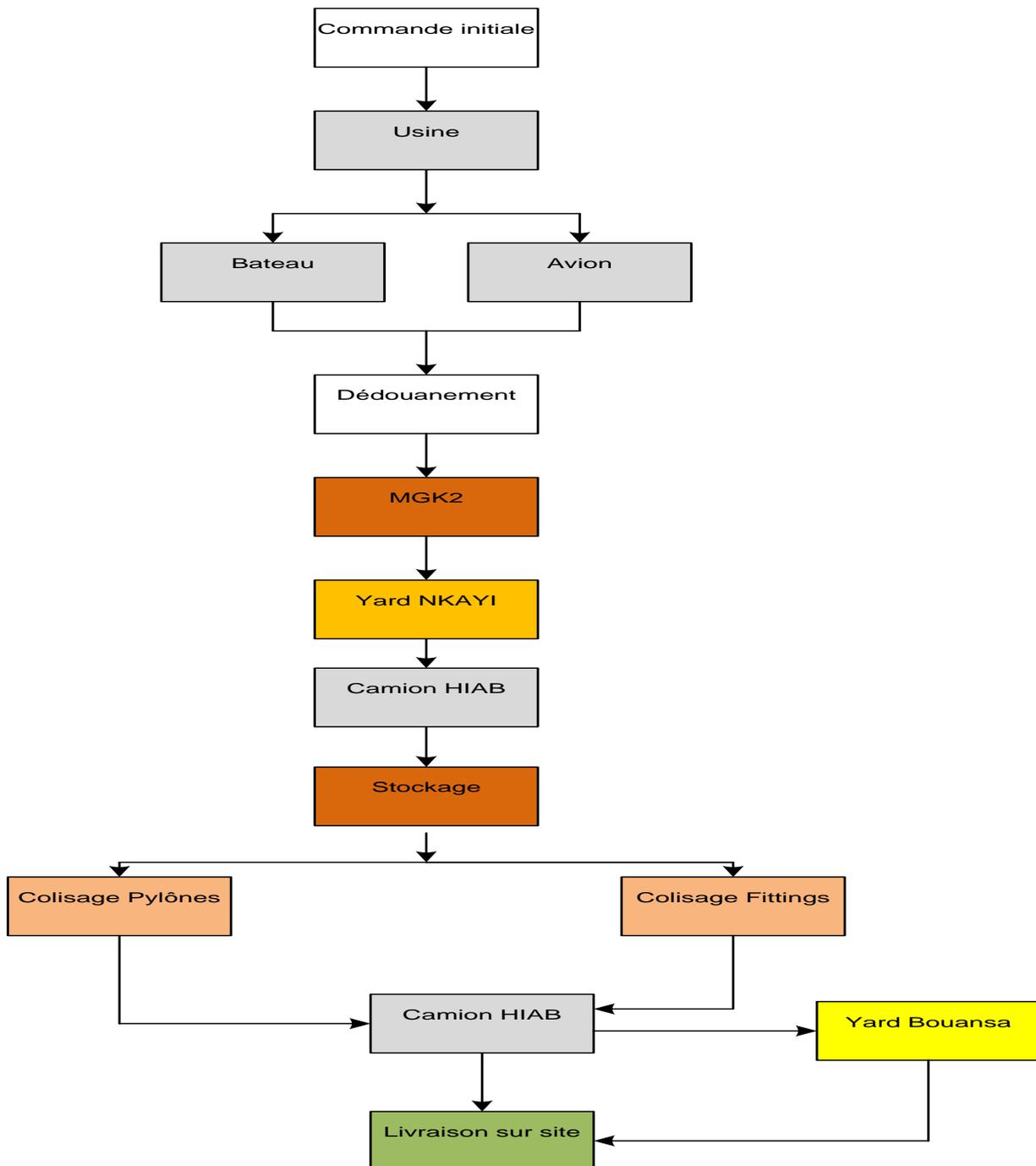


Figure IV.1 : Système logistique initial

3. Chaîne logistique du chantier : Flux et Approvisionnement

Une des tâches principales dans ce chantier fut la mise en place d'outils de suivi et de pilotage des flux physiques à court terme, en passant par la tactique de planification à moyen terme, et à l'optimisation des flux. L'acheminement des flux physiques d'un endroit à un autre est précédé par une abondance d'informations (destination, demandeur, quantité, date d'affectation ou transfert,..). Le traitement de ces flux s'effectue progressivement, avant, pendant et après la demande au sein de chaque maillon constituant la chaîne logistique.

La gestion des flux dans notre cas a consisté à piloter l'ensemble des activités successives qui sont réalisées lors du colisage et de la distribution des pylônes et leurs accessoires. C'est ce mouvement des composants/sous-ensembles/encours/produits colisés le long de la chaîne de colisage et de distribution qui forme le flux.

3.1 Les buts de la gestion des flux

Dans cette chaîne d'activités qui forme le flux, le bénéfice recherché est :

- l'identification, l'analyse et la diminution de toute forme de gaspillage ou de mauvaise utilisation des ressources dans le processus d'approvisionnement, de colisage ou de distribution. Une étude a été périodiquement menée pour déterminer à chaque fois les causes réelles du gaspillage, de les remonter au niveau de l'équipe de pilotage qui se charge de lancer des actions correctives ;
- la séparation des activités à valeur ajoutée et des activités sans valeur ajoutée (du point de vue du besoin à satisfaire). Les activités sans valeur (source de pertes et de gaspillage dans le processus) sont alors supprimées. Cette réduction du gaspillage à la longue fini par devenir un avantage pour l'optimisation du chantier.

3.2 La notion de « Gaspillage »

Le gaspillage dans un processus désigne toute activité ou opération inutile ou de trop. Il s'agit des activités sans valeur ajoutée réelle, dont on peut se passer, ou que l'on peut améliorer pour aboutir à un meilleur résultat.

Dans notre cas de figure, on pouvait distinguer six gaspillages très courants :

- la surcolisage (cadence plus rapide conduisant à un surplus de colisage plus élevé que les besoins) ;
- les délais d'attente (pas de possibilité de livraison de matériel dès la demande) : dans un chantier d'une telle complexité, il ya une réactivité qui est demandé de façon à ne pas bloquer le chantier pour une raison quelconque. C'est pour cette raison que le colisage des matériaux doit se faire à l'avance de manière prévisionnelle ;
- les activités de manutention et transport superflues et non planifiées ;
- les stocks excessifs (dues à des commandes excédentaires) ;
- les mouvements inutiles des colis (fardeaux de cornières, caisses de boulons ou d'armement, tourets,...) ;
- les défauts de fabrication ou non conformités (erreurs ou les anomalies de fabrication par rapport aux plans et aux besoins de départ). Des inspecteurs qualités sont présents sur le yard pour anticiper sur la détection des non conformités. Cela permet d'anticiper sur d'éventuels risques pouvant bloquer le chantier.

4. Les différents types de flux logistiques

Dans notre cas de figure, on distingue deux catégories de flux logistiques : les flux logistiques internes et les flux logistiques externes.

4.1 Flux logistiques internes

- *Flux de production* : Ces flux sont constitués par la chaîne des opérations de colisage, de manutention et de stockage intermédiaires.

4.2 Flux logistiques externes

- *Flux d'approvisionnement ou flux amont* : Transfert de matériel commandé ou demandé d'un site (Pointe Noire, Kinkala ou MGK2) vers le Yard principal de NKAYI ou circulation des consommables (fardeaux de pylônes et armement dans notre cas) depuis le magasin principal ou Yard principal jusqu'au magasin intermédiaire ou yard intermédiaire.
- *Flux de distribution ou flux aval* : circulation des consommables du Yard intermédiaire vers le site (lieu d'assemblage du Pylône, de renforcement du pylône, de mise en place d'armement,...), pylône ou du Yard principal vers le site (lieu d'assemblage du Pylône, de renforcement du pylône, de mise en place d'armement,...).

Les flux logistiques externes sont tous constitués par une chaîne d'opération de manutention, de transport et de stockage.

Selon la méthode d'approvisionnement choisie dans le processus, les flux logistiques peuvent prendre différentes formes. C'est ainsi qu'on distingue :

- *les flux poussés* : une particularité des flux internes, dans ce type d'organisation, chaque étape de colisage est déclenchée par la disponibilité des matières premières ou des composants. Les produits colisés sont stockés en attente d'une demande sur site ;
- *les flux tirés* : Le déclenchement du colisage d'un produit se fait uniquement sur la demande du site. Par principe il y a zéro stock dans la chaîne ;
- *les flux tendus* : une combinaison des deux précédents flux, c'est équivalent d'un flux tiré, mais avec un minimum de stocks et d'en-cours repartis le long de la chaîne logistique ;
- *les flux synchrones* : dans ce type d'organisation, la livraison de composants différents est réalisée dans le respect de leur ordre d'entrée dans le processus de colisage. Ils sont donc livrés juste au moment de leur utilisation. Ce qui permet de réduire les stocks et les coûts qui y sont liés.

Dans le cas du projet THT sur le tronçon LDM - MIN, les formes de flux courantes étaient des flux poussés. Les pylônes et leurs accessoires sont colisés en attente de demande de livraison sur site ou de transfert sur Bouansa. L'objectif est d'arriver à des formes de flux tendus qui permettraient une meilleure synchronisation entre les travaux et le yard de NKAYI.

5. Fonctionnement de la chaîne logistique

D'une manière générale, le fonctionnement de la chaîne logistique se présente comme suit :

Notons (A) le **carnet de piquetage** qui correspond au plan avec détails de solution standard pour la ligne. Et (B) **l'Existant** qui correspond aux parties gardées de ce qui existait (En effet la ligne n'est pas entièrement rénovée mais elle est réhabilitée).

Du carnet de piquetage et l'état de l'existant ((A) + (B)) les **Besoins théoriques de matériel** sont déduits. A partir des Besoins théoriques de matériel, la **liste des Besoins et les plans standards solution** (Plan d'ensemble + plan de détail) est alors élaboré pour approvisionnement. Dans la suite des opérations, le plan standard et la liste des besoins sont transmis au fournisseur (SA-RA Turquie) pour **la commande**. Après la dite commande, un **plan de livraison** (EXW = Sortie d'usine) est établi ou il y est précisé entre autre la quantité de matériel, la date de sortie d'usine et le numéro de lot correspondant. Dans ce plan de livraison est inclus une **packing List + info Transport** (Camion, bateau ou avion). A l'arrivée à Pointe Noire après sortie de douane, le matériel est réceptionné par le service Qualité et Logistique. Une **lettre de voiture** est ensuite établit pour le transfert du matériel sur le lieu de destination. Le matériel est ensuite réceptionné et **stocké au Yard**. Après élaboration du **planning des travaux**, le matériel est préparé (colisage de pylônes, accessoires des câbles, ...) pour transport sur le lieu de transit (transfert sur le Yard de Bouansa) ou d'installation après signature d'un **bon de sortie** par les conducteurs de travaux ou personnes habilitées à la sortie du matériel. Après installation effective des pylônes et matériels accessoires un **rapport d'activité** est rédigé.



Figure IV.2 : Fonctionnement de la chaîne logistique

Il est à noter que quelques évènements irréguliers (pièces tordues, pylônes tombés, incohérence du carnet de piquetage avec le terrain) peuvent amener à réévaluer les manques éventuels du chantier pour un nouvel approvisionnement. Ces aspects font parties des déviations du système logistique mis en place. Le logigramme ci-dessous résume la nouvelle organisation logistique mise en place :

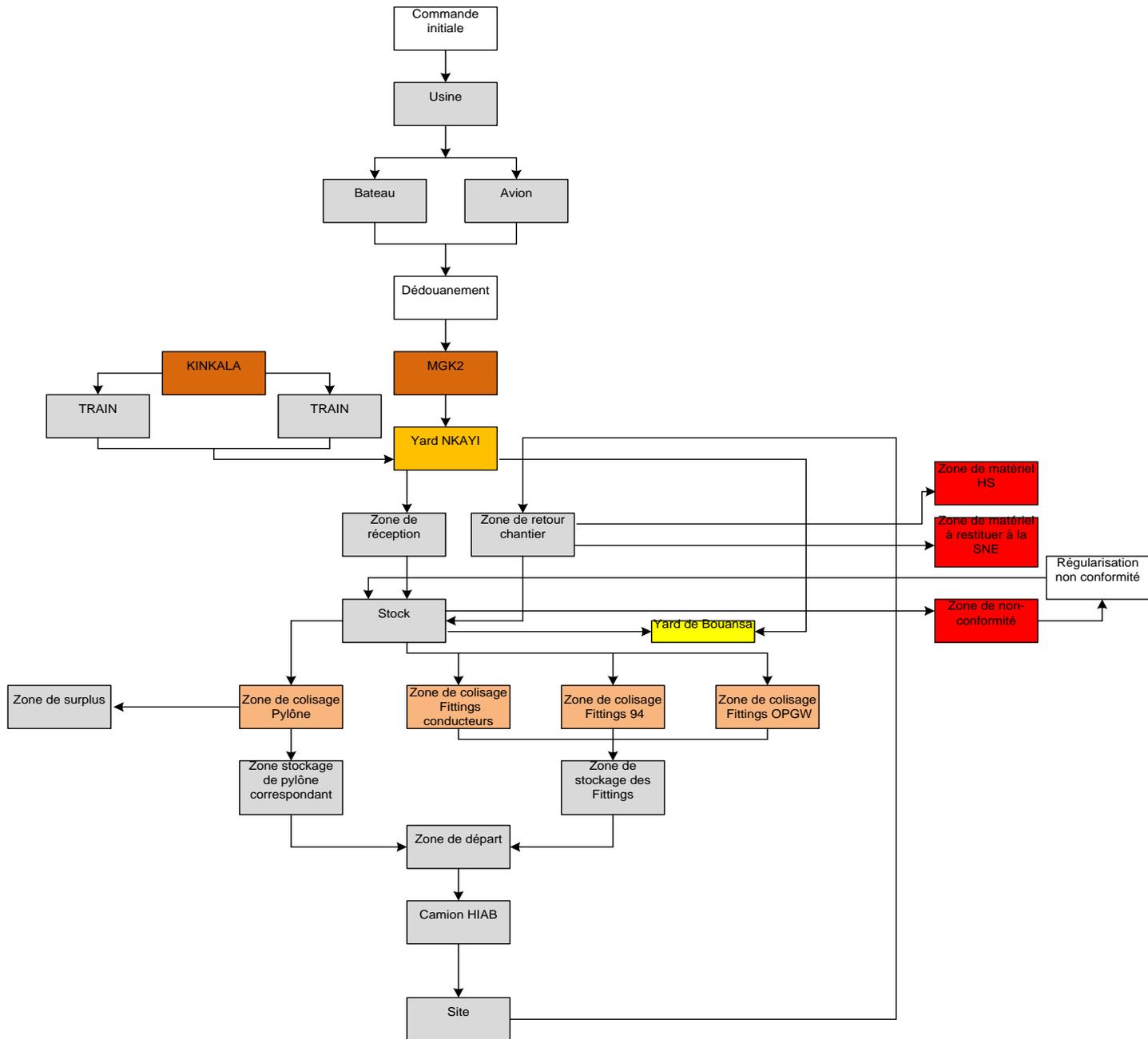


Figure IV.3 : Nouvelle organisation logistique

6. Optimisation de la fonction logistique et impact sur le chantier (évaluation des risques)

La définition de la logistique prend un sens plus précis suivant le contexte dans lequel elle est déployée. En effet, le champ d'action réel de la fonction logistique n'est pas figé.

Dans une entreprise, la fonction logistique se rattache traditionnellement à l'organisation des opérations de :

- émission et/ou traitement des commandes relatives aux besoins en ressources logistiques ;
- gestion des livraisons dont les activités d'emballage, manutention et transport ;

Dans le cas du projet THT, la fonction logistique regroupe toutes les activités précédentes, auxquelles s'ajoutent les opérations de :

- gestion des données techniques de colisages de pylônes et de Fittings ;
- planification des besoins en composants.

C'est principalement sur ces deux aspects qu'on repose l'optimisation logistique du chantier afin d'avoir une adéquation entre les données du chantier (travaux) et celles des différents Yard.

Pour y arriver des outils de suivi ont dû être mis en place afin d'avoir un suivi et une traçabilité des matériaux à notre disposition. C'est le rôle qu'a joué l'outil de suivi des pylônes (mentionné à l'annexe1). C'est aussi grâce à ces outils de suivi que nous sommes progressivement arrivés à établir les besoins de matériaux manquants pour l'achèvement du chantier.

Un accent particulier a été mis sur la traçabilité des matériaux utilisés et passant par le Yard de NKAYI. La traçabilité se définit comme l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'un article ou d'articles au moyen d'une identification enregistrée. Elle permet de suivre et donc de retrouver un matériau depuis sa création (production) jusqu'à sa consommation en passant par les étapes de colisage et son acheminement dans notre cas. Cette notion de traçabilité a été associée dans tous les outils de suivi élaborés pour le suivi logistique.

Des observations effectuées dans la plupart des organisations révèlent une séparation des activités liées à la logistique en trois groupes :

- les activités directement rattachées à la production interne des services (approvisionnement, colisage, distribution, retours, ...)
- les activités de gestion des moyens de transport des personnes ou des biens vers l'extérieur de l'entreprise ;
- les activités indirectes ou activités de soutien (sans un lien direct avec la production, mais nécessaires pour le déploiement des opérations).

Notre intervention dans le projet a concerné le premier groupe d'activités, c'est-à-dire celles directement rattachées à la production interne.

Afin d'aboutir à l'optimisation du système logistique en place, nous nous sommes fixés les objectifs suivant à atteindre :

- qualité de service sur les différents Yard,
- amélioration de la répartition physique des matériaux sur le yard,
- réactivité et flexibilité pour répondre aux fluctuations de la demande du chantier sans retard ni surcoût,
- maîtrise des flux internes pour une évaluation efficiente des besoins,
- réduction des coûts logistiques (stock, transport, ...),
- amélioration de la visibilité et du suivi pour réduire les coûts liés à l'incertitude sur la demande.

L'organisation et le pilotage du système logistique a demandé une approche méthodique des divers cas qui se présentaient. Il a fallu mettre en place des outils adaptés au contrôle des processus, ainsi qu'une formalisation des procédures pour remédier aux éventuelles défaillances.

Sur la ligne LDM-MIN, le matériel est stocké dans le yard principal de NKAYI qui comptait une vingtaine de personnes répartis en sous-groupe pour les activités de colisage pylône, de colisage fittings (conducteurs, OPGW, câble de garde), et pour le nettoyage des isolateurs. A ce jour, ce yard ne compte plus qu'une dizaine de personnes. Le plan du Yard réorganisé est représenté ci-dessous :

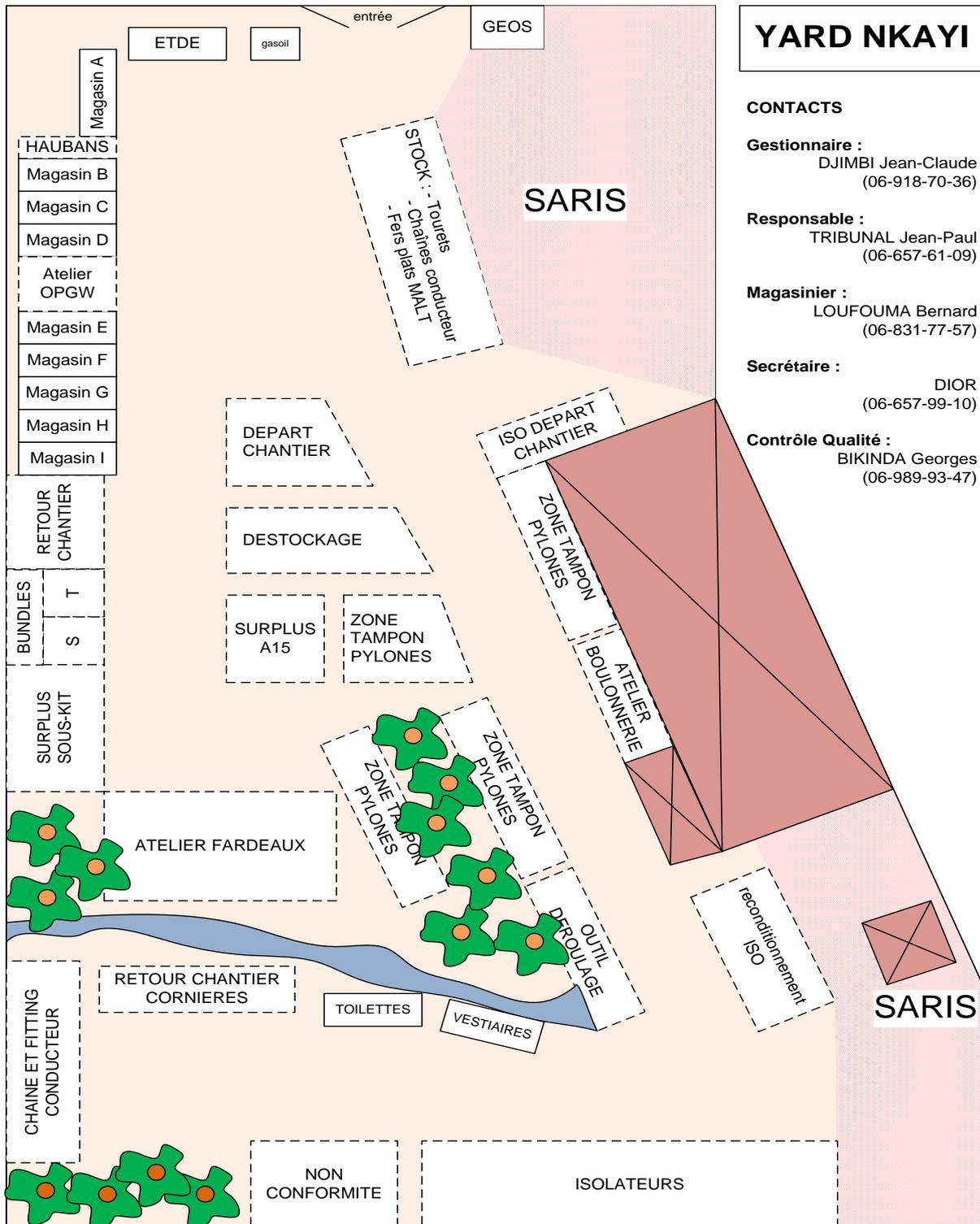


Figure IV.4 : Réorganisation du dispositif au Yard de NKAYI

Cette organisation a permis d'atteindre l'objectif résumé par le graphe suivant :

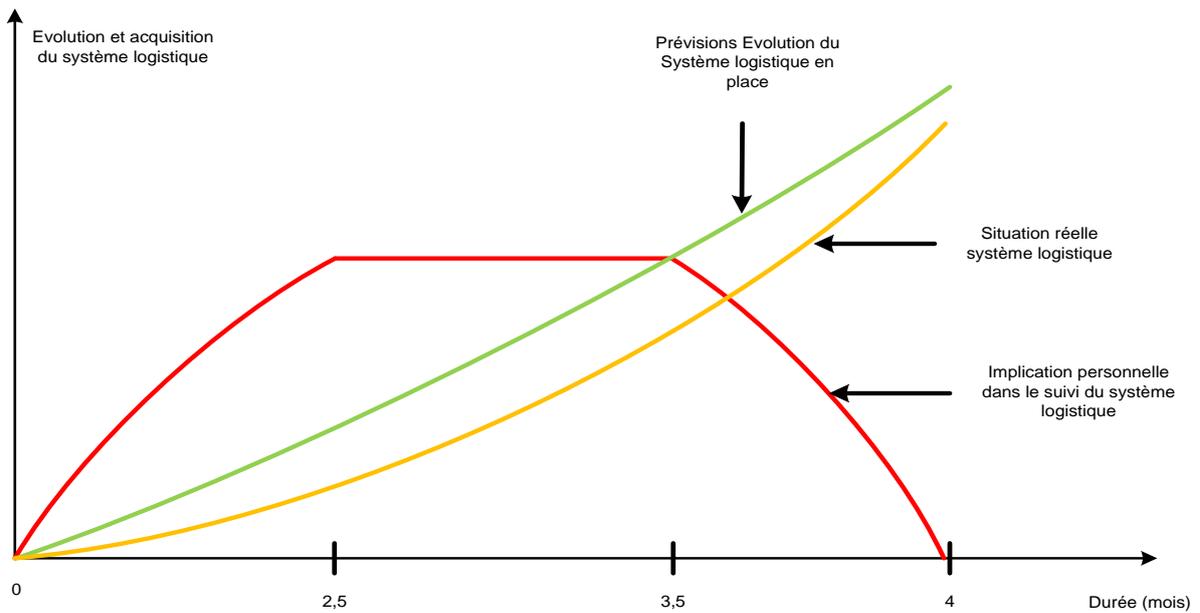


Figure IV.5 : Evolution du système logistique mis en place

Le Yard de NKAYI assure désormais la mise en place progressive du nouveau système logistique ainsi que des outils de suivis logistiques.

V. ORGANISATION DES TRAVAUX THT LIGNE LOUDIMA – MINDOULI

Le tronçon LDM-MIN est composé d'une équipe dirigeante de 4 personnes comprenant le responsable de la ligne, un ingénieur travaux, un ingénieur qualité, et une responsable HSE. Cette équipe organise et coordonne les activités de la ligne. Il s'agit des travaux d'accès, des Fondations (travaux de Génie civil), les travaux de structures et les travaux sur câble (déroulage, réglage, mise sur pince, ...). Pour la réalisation de ces tâches, plusieurs équipes (à peu près deux cent personnes) sont à la disposition de l'équipe dirigeante (équipes de Génie civil, équipes de renforcement, équipes de levage et dépose, équipes de déroulage, équipe de topographes, ...). Les différentes activités menées sont les suivantes :

1. Construction d'accès

L'accès aux pylônes est essentiel pour l'exécution des travaux de fondations, de levage et de déroulage. La première des tâches sur le chantier de ligne consiste à mettre en place l'infrastructure du chantier. En général, l'ingénieur travaux effectue une première visite avec un géomètre pour l'étude topographique. Ils visitent l'emplacement de chaque pylône, les routes et pistes existantes pour la réalisation des voies d'accès (plates formes, pistes d'accès) suivant l'importance de la ligne et du poids des pylônes, les accès sont différents. Les plates-formes sont souvent nécessaires pour l'assemblage des pylônes et l'installation de la grue de levage. Les pistes sont elles par contre adaptées aux travaux (transport de matériel, des équipes, ...). Pour les pistes d'accès adaptées aux travaux à réaliser, il existe un mode opératoire pour faciliter la tâche des intervenants.

2. Travaux de Génie civil : les fondations

Un contrôle de fondation est réalisé pour la réhabilitation de la zone LDM – MIN. Les fondations sont soit en grilles ou traditionnelles. Des contrôles d'embase de pylône, des mesures et contrôle de connexion de MALT sont réalisés. Ils sont éventuellement remplacés en cas de mauvais état ou d'anomalies les ayant endommagés. La solidité de la structure dépend avant tout de celle de la fondation.

3. Travaux de structure

Il s'agit de l'ensemble des travaux réalisés sur le pylône que sont : La dépose, le renforcement et le levage.

3.1 *Le renforcement des pylônes*

Le renforcement consiste au remplacement de cornières et de leurs boulons par du matériel neuf. Les pylônes à renforcer ont préalablement été déterminés grâce à la réalisation du SURVEY. Les plans de détails sont appliqués pour chaque type de support et extension.

Compte tenu du nombre de cornières à remplacer au niveau de la tête du support, le renforcement est effectué au sol. Les câbles et la tête du support sont descendus à l'aide d'une grue.

Afin de limiter le temps d'immobilisation de la grue servant à l'opération de dépose, le chantier est divisé en deux ateliers:

L'atelier Principal synthétise les opérations successives suivantes :

- A) dépose des câbles,
- B) démontage de la tête,
- C) dépose des fourches,
- D) renforcement du fût,
- E) remontage des fourches renforcées par l'atelier secondaire,
- F) remontage de la poutre renforcée par l'atelier secondaire,
- G) remise en place des câbles.

L'atelier secondaire se trouve en avant de l'atelier Principal (support N+ 2 ou N-2 en fonction du sens de progression).

Une fois la tête déposée en deux éléments au niveau de l'atelier Principal elle est transportée non modifiée jusqu'à l'atelier Secondaire où elle va être renforcée par une équipe présente affectée à cette activité. Le transport se fait par camion plateau équipé d'un HIAB.

3.2 *Travaux d'assemblage*

Le mode d'assemblage des pylônes sera conditionné par le mode de levage envisagé, suite à la visite préalable systématique de l'emplacement des supports, qui permettra de renseigner pour chacun d'eux :

la situation et la nature du terrain, l'encombrement au sol, la place disponible autour des embases, les proximités éventuelles avec d'autres lignes électriques, ou autres obstacles à l'utilisation des grues. Pour définir un mode de levage.

La plateforme du pylône est débroussaillée, nettoyée, et les reliefs du terrain sont éliminés pour permettre de meilleures conditions d'assemblage.

Après tri et contrôle de l'ensemble du colisage des éléments constitutifs du support, les tronçons de pylônes sont assemblés de manière stable posés sur un calage bois. Les montants sont vérifiés et alignés et rectilignes avant le serrage au couple de tous les boulons.

En fonction du type de pylône (T, S, A15, A30 ou E), du niveau de hauteur (R, N, X ou Y), l'assemblage se fait selon le découpage suivant :

- la Tête complète constituée par : la poutre, les consoles, les béquilles, les chevalets, les fourches.
- le Fût en 1, 2 ou plusieurs tronçons.

Les positions et le serrage des boulons suivent des règles précises suivant qu'il s'agisse de boulons verticaux ou horizontaux (écrous vers le ciel ou vers l'extérieur).

Les boulons sont dans un premier temps serrés à la clé conventionnelle, la clé à cliquet ou la clé à choc jusqu'à un couple d'environ 60 N.m. Le serrage au couple final se fait à la clé dynamométrique. Ce couple varie entre 60 et 80N.m (clé réglée à 70N.m) pour les boulons de 12 mm ; entre 80 et 100N.m (clé réglée à 90N.m) pour les boulons de 14mm. Un PV d'assemblage est rédigé après serrage des boulons. Après serrage, tous les boulons d'assemblage des tronçons de support sont matés, selon la règle des 3 points distincts, répartis approximativement à 120° autour de l'écrou. Les points de matage sont recouverts d'une touche de peintures appropriée anticorrosion comme illustré par la figure ci-dessous.

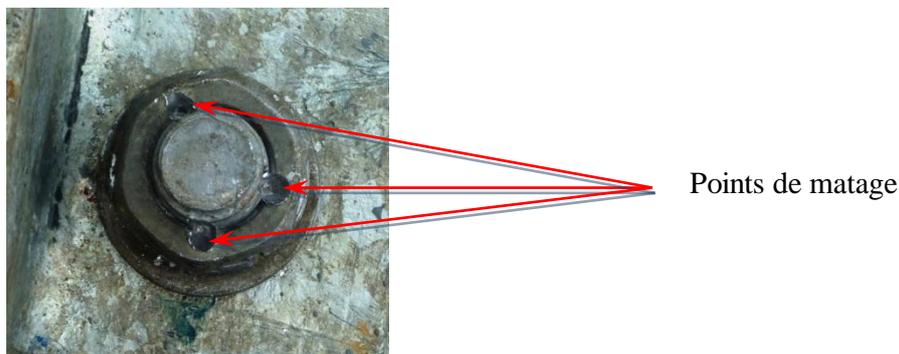


Figure V.1 : Points de matages des boulons après assemblage

Un PV d'assemblage est alors rédigé à la fin de l'opération.

3.3 Travaux de levage

3.2.1 Présentation et méthode

Le levage des pylônes est une des tâches les plus importantes et des plus techniques sur un chantier de construction de ligne électrique. Dans le cas du projet THT, quatre équipes sont nécessaires : une équipe de colisage au dépôt (yard), une équipe de transport du pylône sur site, une équipe d'assemblage, une équipe de levage. Le choix du levage d'un pylône se détermine à partir du scope câble (voir annexe 4) réalisé sur la base du survey. Avant tout levage, on s'assure du fait que les plateformes sont faites. D'autre part un plan de levage et d'assemblage est préalablement réalisé. Pour la réalisation du plan de levage et d'assemblage, une visite de terrain s'impose. Cette visite vise à analyser les possibilités d'amener à pied d'œuvre des engins et du matériel de levage, à identifier les positions d'embases et d'assemblage par rapport à d'éventuelles positions des engins de levage. La méthode de levage choisie dépend ensuite des caractéristiques des pylônes (hauteur, dimensions à la base, poids des éléments à manutentionner) et des moyens mis à notre disposition. Trois types de levage sont à envisager en fonction du terrain, du type de pylônes et de l'espace disponible. Ainsi :

Le levage du pylône en entier à l'aide d'une grue peut être envisagé lorsque :

- le support est de niveau R ou N (hauteur de fût < 20m) pour tous les types de pylônes (T, S, A15, A30, E, R) ;
- l'encombrement au sol est réduit ne permettant pas la mise en place de deux grues ;
- la nature du terrain au sol est compacte (terrain naturel) et plan (non accidenté) ;
- le support est accessible quelque soit le type de grue (25T à 60T) disponible sur chantier.

Le levage du pylône en entier à l'aide de 2 grues peut être envisagé lorsque :

- le support est de tout niveau R à X (toutes hauteurs de fût jusqu'à 24m) pour tous les types de pylônes (T, S, A15, A30, E, R) ;
- l'encombrement au sol est suffisant permettant la mise en place de deux grues ;
- la nature du terrain au sol est compacte, mais non naturelle (terrain remblayé compacté - plateforme) et plan (non accidenté) ;
- le support sera accessible quelque soit le type de grue (25T à 60T) disponible sur chantier.

Dans les autres cas, on envisage **le levage par tronçons à l'aide d'une grue**, soit pour :

- les supports de tout niveau R à Y (toutes hauteurs de fût jusqu'à 30m) pour tous les types de pylônes (T, S, A15, A30, E, R) ;
- l'encombrement au sol réduit ne permettant pas la mise en place de 2 grues, ni l'assemblage au sol de pièces longues (pylône entier, fût entier, ...) ;
- la nature du terrain au sol compacte, naturelle ou non (terrain remblayé compacté, plateformes décaissées en étages de dimensions réduites) et terrains accidentés accessibles à la grue ;
- les supports ne seront pas accessibles aux grues de grande capacité (55T, 60T et plus).

Dans le cas du levage par tronçons, la méthode de fixation des élingues est schématisée comme suit :

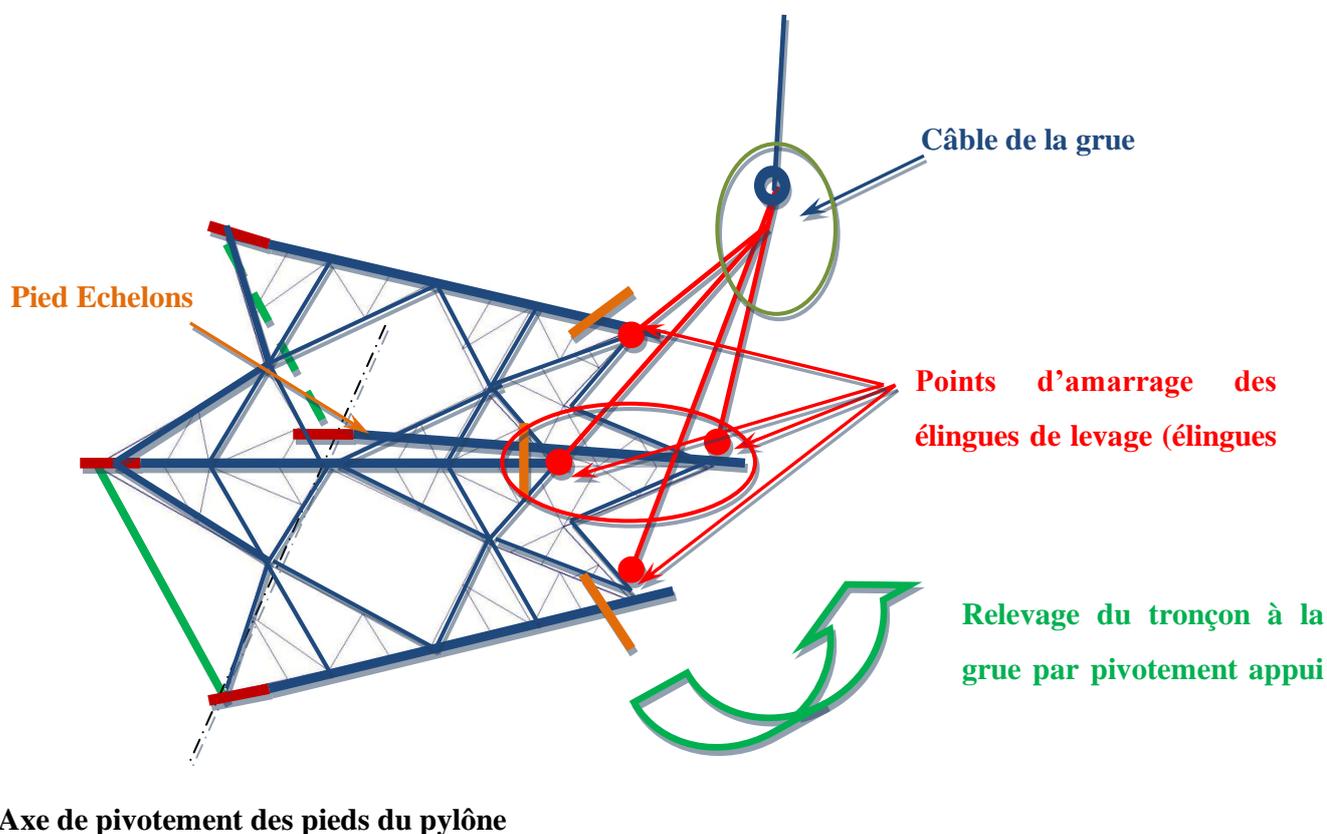
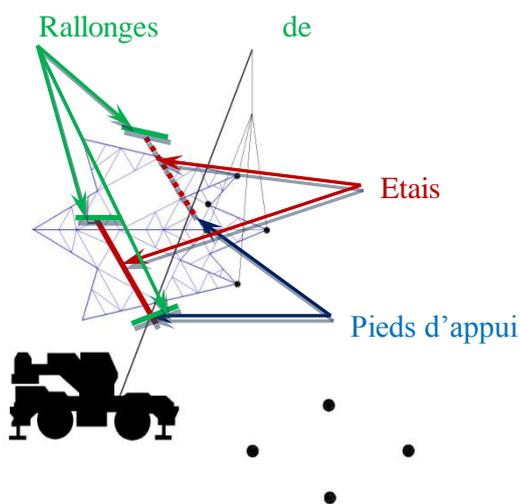


Figure V.2 : Méthode de fixation des élingues

Dans les lignes qui suivent sera effectué le descriptif des opérations de levage d'un pylône en 3 tronçons (méthode de levage la plus courante sur LDM-MIN). Ce type de levage comporte principalement 6 étapes principales que sont :

Etape 1 : Levage du 1^{er} tronçon de pylône



La grue commence à lever le sommet du Tronçon de Base du Pylône, de façon à mettre les élingues en tension en laissant la tourelle en roue libre (alignement automatique de la flèche avec les points d'amarrages) et décolle le Tronçon du sol.

Cependant, pendant le levage les poulies fixées au crochet de la grue vont courir le long des élingues et se positionner au final au dessus de la charge.

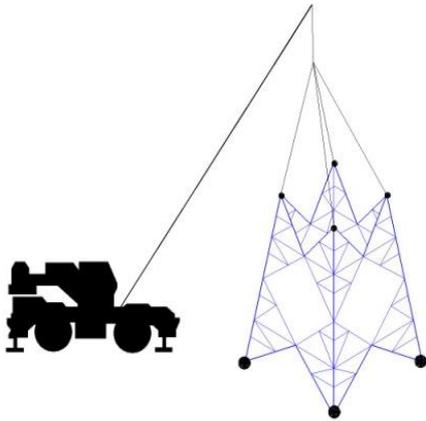
Des Echelons amovibles sont installés sur chacun des 3 pieds non pourvus d'échelons, de façon à améliorer les postes de travail des monteurs pendant les opérations d'emboîtement et de boulonnage des joints.

Echelon amovible à positionner en tête des montants non pourvus d'échelons, à



Figure V.3 : Positionnement des échelons

Etape 2 : Redressement du tronçon de pylône et emboitage sur les embases

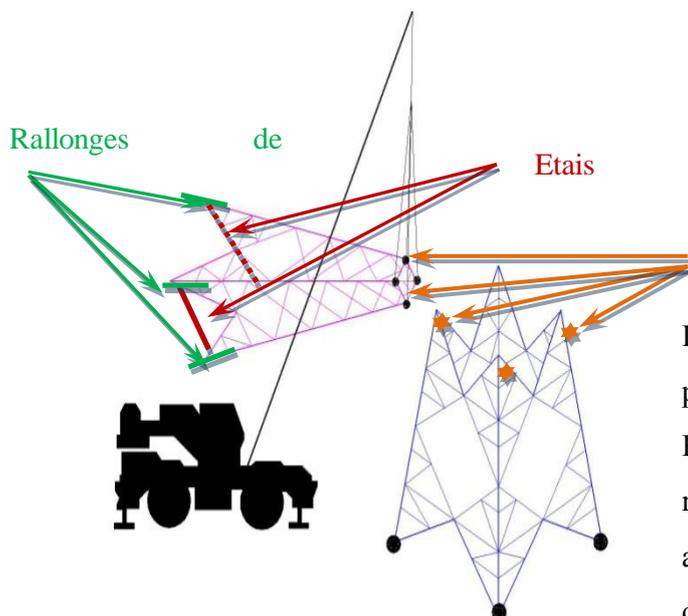


Au fur et à mesure que le Tronçon commence à se redresser, la tourelle s'oriente, et le grutier allonge la flèche de la grue de façon à faire pivoter les pieds du Tronçon en appui sur le sol, jusqu'à ce qu'il soit en position quasi verticale.

Lorsque le tronçon est complètement décollé du sol et en position verticale, le grutier oriente le Tronçon de Pylône, par rotation de la grue, et se présente, à l'aplomb des embases.

Les monteurs ôtent ensuite les Rallonges de Montants et les Etais de Renforcement, puis guident l'approche des pieds de façon à les emboîter sur les Têtes d'Embases. Lorsque l'emboitage aux embases est terminé, les MALT de chaque sortie d'embase sont raccordées aux membrures du pylône, puis un monteur peut ascensionner le support, par le pied-échelon équipé préalablement d'une ligne de vie, pour aller décrocher l'élinguage.

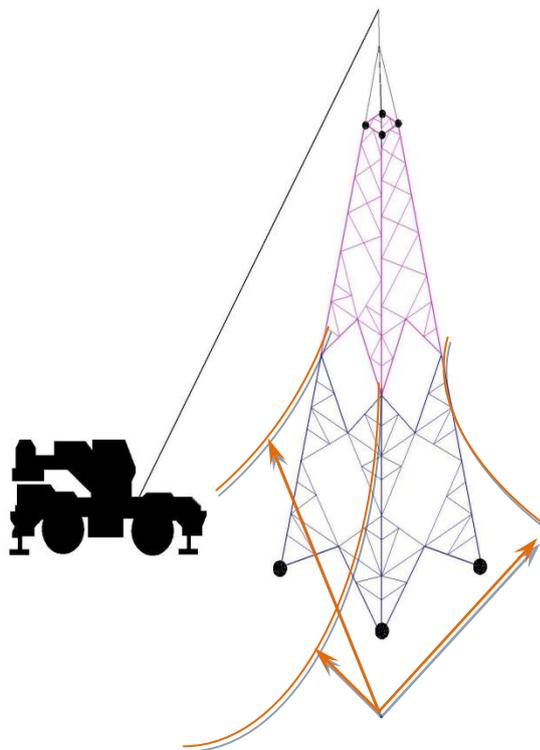
Etape 3 : Levage du 2^{ème} Tronçon de Pylône



La grue commence à lever le sommet du 2^{ème} Tronçon de Pylône, de façon à mettre les élingues en tension en laissant la tourelle en roue libre (alignement automatique de la flèche avec les points d'amarrages) et décolle le Tronçon du sol.

Lorsque le tronçon est complètement décollé du sol et en position verticale au niveau du sol, les monteurs ôtent les Rallonges de Montants et les Etais de Renforcement et récupèrent les Eclissages de joints d'emboîtement, puis accrochent au niveau de chaque pied de tronçon, un sceau contenant les boulons nécessaires à la réalisation du joint d'emboîtement entre le tronçon bas et le tronçon haut, et les accessoires de travail (clés, broches, marteaux,...)

Etape 4 : Elévation du 2^{ème} tronçon de Pylône et Emboîtement sur le tronçon de base



Cordes de guidage (pouvant aussi servir de corde de service à la fin de la manœuvre de levage)

Avant la manœuvre d'élévation, la grue supporte toute la charge du tronçon et 4 cordes de guidage sont fixées aux 4 pieds.

Les cordes de service accrochées au 4 pieds sont tenues par 4 aide-monteurs pour accompagner le pylône pour l'approche finale à l'emboîtement.

Lorsque le tronçon est positionné approximativement au niveau des têtes des montants, et qu'il est maintenu en place par l'intermédiaire des cordes de service, les monteurs ascensionnent le tronçon de base, utilisant la ligne de vie préalablement mise en place pour se mettre en position et commander les opérations d'approche, d'emboîtement et de boulonnage des joints.

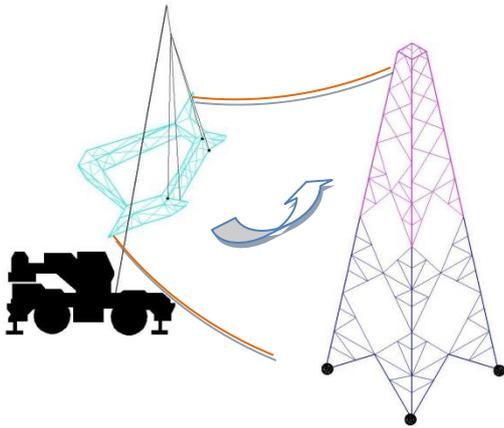
Quand l'emboîtement des 4 montants est effectué, les monteurs peuvent décrocher les cordes de service et les faire glisser vers le sol. Ils démontent ensuite les échelons amovibles et les déposent dans les sceaux de matériel, qui sont ensuite descendus au sol.

Enfin, un monteur ascensionne le 2^{ème} tronçon en place, par le pied-échelon, positionne la ligne de vie jusqu'au sommet, puis peut alors décrocher les élingages de levage.

Etape 5 : Levage de la tête

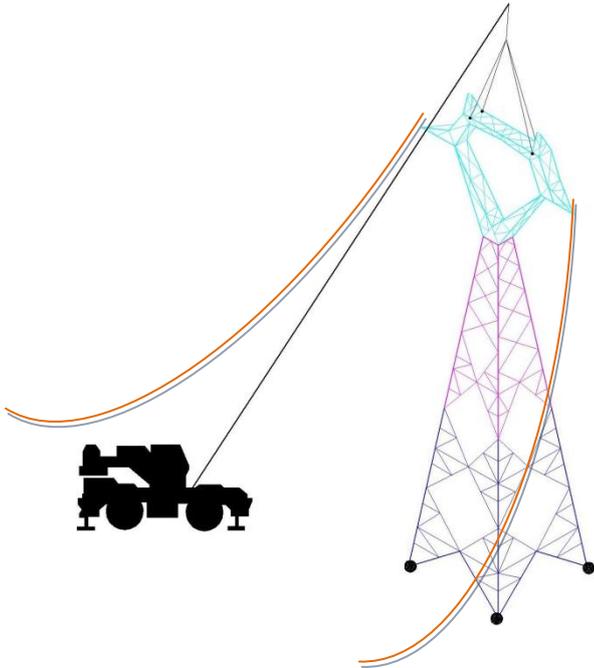
La grue commence à relever la tête du pylône, de façon à mettre les élingues en tension et décolle la Tête du sol.

Lorsqu'elle est complètement décollée du sol et en position verticale au sol, les aides-monteurs accrochent au niveau de chaque pied, un sceau contenant les boulons nécessaires à la réalisation du joint d'emboîtement entre le tronçon bas et la tête, et les accessoires de travail (clés, broches, marteaux,...).



Des cordes de service sont accrochées aux extrémités des consoles pour orienter la tête à l'approche du sommet du tronçon sur lequel elle doit être emboîtée.

Etape 6 : Mise en place de la tête du support



Approche et dépose de la tête sur le sommet du tronçon de fût.

Un monteur se positionnera au niveau de chaque montant afin d'aider à la mise en place en vue de l'emboîtement.

Les montants sont équipées de leurs éclisses de joint et couvre joint ouverts.

Ensuite la grue descend et approche progressivement la tête de l'emboîtement.

Une fois la tête en place, la boulonnerie est mise en place

A la fin de l'opération, un monteur ascensionnera le pylône assujetti à la ligne de vie, afin de décrocher les élingues de levage en haut de la poutre.

Classiquement, lorsque le remplacement d'un pylône est envisagé, on procède préalablement à la dépose du pylône concerné. L'opération de dépose des pylônes est textuellement l'opération inverse de celle du levage du pylône. Tout comme le levage elle peut se réaliser par tronçon ou entièrement en fonction du terrain, de l'espace disponible et des moyens mis à disposition. Dans ce cas un plan de dépose est aussi réalisé avant l'opération de dépose.

3.2.2 Le plan de levage

Une visite de terrain est faite en vue de la réalisation du plan de levage, activité préparatoire du levage. On veille à prendre la position des embases, la position des engins de levage, la position des différents tronçons de pylône assemblés. Ces différentes données sont reportées sur le plan de levage. En effet, le plan de levage et d'assemblage prend en compte la position des tronçons de

pylônes à lever par rapport à la position choisie de la grue et aux centres des embases du pylône à lever. On fait sur ce plan également apparaître les différentes difficultés

ou risques liés à l'environnement. On veille à y mentionner la situation de LDM et MIN. Nous ferons aussi ressortir sur le dit plan le taux d'utilisation de la grue déterminée à partir d'abaques des engins de levages.

Le taux d'utilisation se détermine par une relation mathématique simple et correspond au ratio entre la charge supportée par la grue et la charge maximale qu'elle pourrait supporter dans sa configuration par rapport aux positions de levage.

En notant m_1 la masse du tronçon à lever, m_2 la masse du moufle et m_3 la masse maximum supportable par la grue dans la configuration de levage (déterminée à partir d'abaques de levages et fonction de la distance entre le milieu des embases et le centre de la grue)

Le taux d'utilisation τ de la grue se calcule alors par la relation suivante :

$$\tau_{Grue} = \frac{m_1 + m_2}{m_3} \quad (1)$$

Lorsque la grue utilisée est un camion HIAB, la masse du moufle est alors nulle ($m_2=0$). La charge à considérer pour un camion HIAB correspond à la moitié de la charge considérée pour la grue. Ces hypothèses sont modifiées en fonction des situations pour rendre suffisamment compte des aspects réels de terrain.

$$\tau_{HIAB} = \frac{m_1}{2m_3} \quad (2)$$

En exemple prenons le cas du levage du pylône P160 ou le levage en deux tronçons est envisagé. La grue principale est une RT760E et la grue secondaire est un camion HIAB 20TM.

Les taux d'utilisation des engins sont déterminés pour chacun des tronçons à lever comme suit :

Tableau 2 : Calcul du taux d'utilisation des grues : levage pylône 160

FUT			TÊTE		
	Grue	HIAB 20TM		Grue	HIAB 20TM
m1 (T)	2,898	1,248	m1 (T)	2,435	1,2175
m2 (T)	0,75	0	m2 (T)	0,75	0
m3 (T)	5,695	1,6	m3 (T)	5,695	1,6
Taux d'utilisation	64%	78%	Taux d'utilisation	56%	76%

Les plans de levage correspondant sont mentionnés en **annexe**.

3.4 Travaux sur câble

3.2.3 Présentation

Il s'agit des travaux de déroulage des câbles conducteurs, OPGW, ou 94².

Le déroulage des conducteurs et des câbles de garde est une opération délicate qui doit être effectuée avec précautions pour garantir la fiabilité de la ligne. Le câble conducteur qui est l'âme de la ligne transporte l'énergie électrique et il ne doit pas subir de dommages durant la pose qui pourrait affecter ces propriétés et ainsi réduire son efficacité de transport d'énergie. C'est la raison pour laquelle, il est recommandé de le dérouler sous tension mécanique pour lui éviter tout frottement qui pourrait abîmer sa couche extérieure.

La technique de déroulage sous tension mécanique (DSTM), consiste à dérouler les câbles d'une ligne sans qu'ils ne touchent le sol ou les obstacles situés sous la ligne (lignes téléphoniques, lignes électriques, routes, autoroutes, bâtiments, vergers, forêts, ...).

Les câbles sont déroulés sur un canton de pose appelé « tir de déroulage ». Chaque tir a une longueur de 3 à 9 km environ, en fonction de la longueur et du nombre de tourets déroulés. Chaque tir comprend donc, en fonction de la longueur des portées de 10 à 30 pylônes équipés de poulies de déroulage fixées au bout des chaînes d'isolateurs.

A une extrémité du tir, on place les tourets de câbles ou de câbles à poste fixe, montés sur des portes tourets pour permettre le déroulage.

Les câbles sont entourés sur une freineuse située à 20 m environ des tourets et sont freinés par un système mécanique ou hydraulique, pour exercer une tension sur le câble qui doit être constante. A l'autre extrémité du tir, un treuil est ancré dans l'axe de la ligne et tire le câble à une tension supérieure à celle de la freineuse, par l'intermédiaire d'une câblette de déroulage.

La freineuse exerce sur le câble par frottement avec les gorges, un effort important qui permet de donner au câble au cours du déroulage, la tension suffisante pour maintenir le câble en l'air et surplomber les obstacles rencontrés comme illustrée sur la figure ci-dessous :



Figure V.4 : Représentation d'une machine TESMEC (Treuil/Freineuse) en mode freineuse

Le treuil, situé à l'autre extrémité du tir, entraîne la câblette de déroulage et le câble à la tension nécessaire pour compenser la tension exercée par les poulies et les efforts dus aux dénivellations du terrain.

Pour chaque tir, la tension de freinage est choisie graphiquement ou à l'aide d'un programme pour éviter au câble de toucher le sol. Nous pouvons alors déterminer par différentes méthodes graphiques ou mathématiques les tensions du câble à chaque pylône et la tension du treuil de tirage.

3.2.4 Etapes de déroulage

L'opération de déroulage comprend en général 3 phases principales :

- déroulage sur la longueur de tir et pour chaque phase d'une « câblette pilote » de faible diamètre ou d'une câblette en acier antigiratoire d'un diamètre de 8mm (pour le déroulage de l'OPGW et du câble de garde 94) ou 13mm (pour le déroulage du câble conducteur Aster 570) dans notre cas. Cette câblette est déroulée au sol, soit à dos d'hommes, soit à l'aide d'engins de chantier ou par hélicoptère et passe dans les poulies de chaque pylône ;
- a l'aide de cette câblette pilote, déroulage sous tension mécanique de la « câblette de déroulage » qui est une câblette antigiratoire d'un diamètre important (16 à 32 mm), choisie en fonction des efforts exercés par les câbles ;

- a l'aide de la câblette de déroulage, déroulage sous tension mécanique du câble avec une tension au treuil et à la freineuse suffisante pour ne pas toucher le sol et les obstacles situés sous la ligne.

A l'heure actuelle, le déroulage sous tension mécanique est la seule méthode utilisée et imposée par les ingénieurs conseils et les clients dans la plupart des pays du monde sur les marchés internationaux tel que le projet THT.

Les opérations de déroulage peuvent être résumées comme suit :

- transport des tourets de câble et de câblette, des portes tourets et mise en place,
- transport et montage des chaînes et des poulies,
- transport et mise en place du treuil et de la freineuse,
- pose des protections spéciales de sécurité aux traversées et à proximité des obstacles,
- transport et mise en place des amarrages provisoires,
- haubannage des bras des pylônes d'alignement et haubannage des pylônes d'ancrage,
- déroulage au sol de la câblette pilote,
- déroulage sous tension mécanique des conducteurs et des câbles de garde,
- confection des manchons d'alignement,
- relevage définitif, réglage des câbles à la tension de pose et amarrages provisoires,
- confection des manchons d'ancrage et Ancrage des câbles aux pylônes,
- mise sur pinces,
- pose des accessoires (Stockbridges, entretoises, bretelles, contrepoids).

Toutes les opérations citées ci-dessus se renouvellent à chaque tir et tout le matériel doit être déménagé d'un tir à l'autre au fur et à mesure de l'avancement.

3.2.5 Etapes préparatoires

Un des éléments essentiels préliminaire du déroulage est la réalisation du plan de déroulage. Pour la réalisation d'un plan de déroulage, il est indispensable de bien connaître le site, les pistes d'accès, l'emplacement de chaque pylône, les difficultés particulières propres au chantier et les emplacements favorables pour installer le treuil, la freineuse, les amarrages provisoires, la position des manchons existant et des brins pour l'enroulage. Après avoir de visu (visite de ligne), repéré, apprécié et noté les difficultés propres au chantier de déroulage, l'on peut établir le plan de déroulage pour chaque tir. Après avoir déterminé, sur le profil en long et le scope de déroulage les différents tirs, nous pouvons rentrer dans le détail et étudier chaque tir en particulier. Pour chaque

tir, nous définissons :

- les accès à construire ou à améliorer pour permettre le transport de tout le matériel ;
- la position du treuil et de la freineuse : La disposition du treuil et de la freineuse est choisie de façon à ne pas entraîner d'efforts verticaux excessifs sur les têtes de pylône (en général trois fois la distance entre la hauteur du point d'accrochage de la poulie et l'altitude du treuil ou de la freineuse) ;
- les obstacles traversés (routes, autoroutes, voies ferrées, Ligne BT, MT et THT, bois, vergers, cours d'eau, plantations, bâtiments) ;
- les protections de sécurité à installer (protection bois ou corde dans le cas du projet THT) ;
- les amarrages provisoires à prévoir.

Reste alors trois problèmes importants à résoudre :

- choix du paramètre de déroulage

Il est déterminé graphiquement sur le profil en long. Le paramètre de déroulage s'exprime en fonction de la flèche F et de la portée a par la relation suivante :

$$P = a^2/8F \quad (3)$$

- détermination des tensions à chaque pylône : le modèle mathématique utilisé est le suivant :

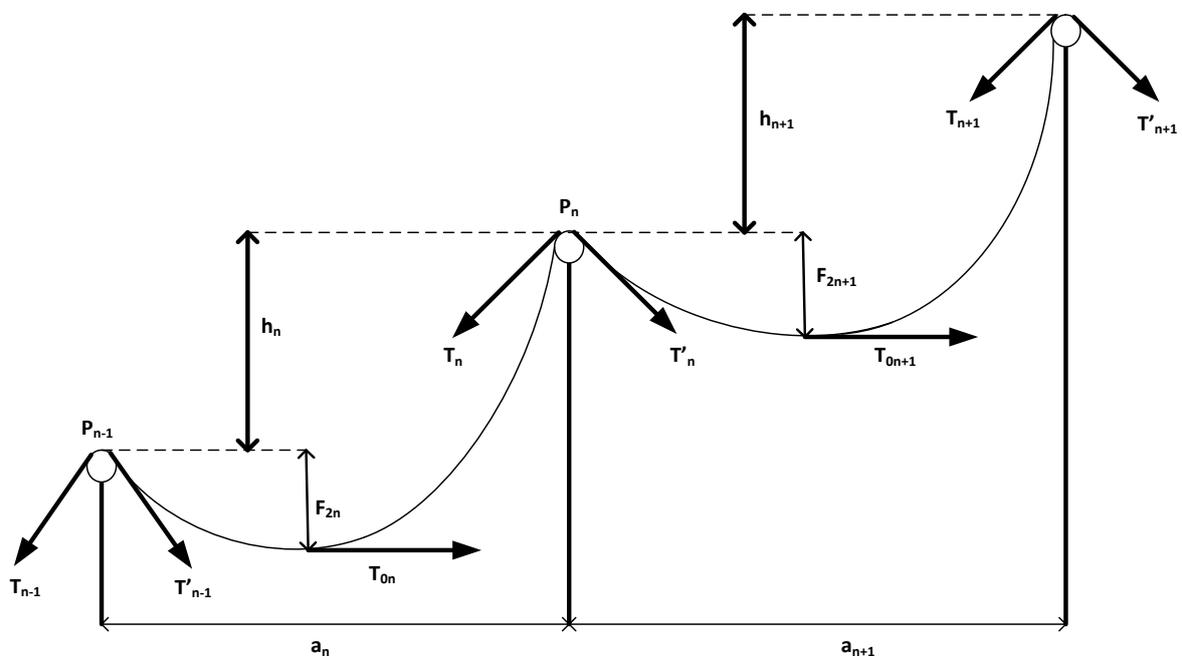


Figure V.5 : Modèle mathématique pour le calcul des tensions aux sommets des pylônes

Dans la portée a_n :

T_{0n} = Tension horizontale du câble au point bas

T_n = Tension du câble à la poulie P_n

α_n = L'angle du câble avec l'horizontale en P_n dans la portée $P_{n-1} - P_n$

h_n = Différence de niveau entre P_n et P_{n-1}

Dans la portée a_{n+1} :

T_{0n+1} = Tension horizontale du câble au point bas

T'_n = Tension du câble à la poulie P_n

α'_n = L'angle du câble avec l'horizontale en P_n dans la portée $P_n - P_{n+1}$

h_{n+1} = Différence de niveau entre P_n et P_{n+1}

Les formules usuelles utilisées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Formules usuelles pour calcul des tensions au sommet des pylônes

Portée	Calcul de	Formules à utiliser
a_n	P_{0n}	Paramètre de déroulage choisi
	T_{0n}	$T_{0n} = P_{0n} \cdot \varpi$
	α_n	$tg \alpha_n = \frac{h_n}{a_n} + \frac{a_n}{2P_{0n}}$
	T_n	$T_n = T_{0n} \left(1 + \frac{tg^2 \alpha_n}{2}\right)$
	T_n (autre formule)	$T_n = T_{0n} + \varpi(F_{2n} + h_n)$ $F_{2n} = \frac{1}{2P_{0n}} \left(P_{0n} \cdot \frac{h_n}{a_n} - \frac{a_n}{2}\right)^2$
a_{n+1}	T'_n	$T'_n = T_n$ (équilibre sur poulie)
	α'_n	$tg \alpha'_n = \frac{h_{n+1}}{a_{n+1}} + \frac{a_{n+1}}{2P_{0n+1}}$

	T_{0n+1}	$T_{0n+1} = \frac{T_n'}{1 + \frac{tg^2 \alpha'_n}{2}}$
	P_{0n+1}	$P_{0n+1} = \frac{T_{0n+1}}{\varpi}$
	α_{n+1}	$tg \alpha_{n+1} = \frac{h_{n+1}}{a_{n+1}} + \frac{a_{n+1}}{2P_{0n+1}}$
	T_{n+1}	$T_{n+1} = T_{0n+1} \left(1 + \frac{tg^2 \alpha_{n+1}}{2}\right)$

Le Calcul de la tension au sommet des pylônes est alors réalisé progressivement par itération sur les différentes portées successives.

- Calcul de la tension maximum au treuil

Des données de tension au sommet des pylônes sont déduits la tension au treuil ainsi que la tension maximum au Treuil (égale à la tension au Treuil augmenté de 100).

En effet comme dans le cas du levage, l'activité de déroulage est précédée de la réalisation du plan de déroulage ou sont mentionnées le mode opératoire de déroulage, les tensions au treuil, à la freineuse et la tension maximum au Treuil. L'activité précédant le calcul des tensions est l'établissement des données d'informations sur la feuille de calcul DSTLM. Cette feuille est réalisée en fonction des choix de la position du Treuil de la freineuse, du profil en long et de la starting chart. Un exemple de plan de déroulage est mentionné en annexe 3.

3.2.6 Déroulage du câble

Avant la réalisation du déroulage, des mesures de MALT et contrôles de structure, connexion de MALT et verticalité doivent être réalisés et sanctionnés par des PV. Le déroulage n'est alors réalisable qu'après validation du plan de déroulage par le client ENI ainsi que l'obtention du bon pour le déroulage qui autorise le déroulage.

Le déroulage des câbles est entièrement réalisé sous tension mécanique. La traction sur le câble est effectuée par l'intermédiaire d'un dispositif évitant sa torsion (émerillon). Le déroulage d'un touret se fait en une seule fois autant que possible sur toute la longueur afin de réduire le nombre de manchon de jonction de la ligne. Le manchon de jonction comme son nom l'indique permet de réaliser la jonction entre deux câbles issus de tourets distincts. Le câble à déroulé passe dans les poulies de déroulage à gorge entraîné par une câblette de déroulage. Lorsque le pylône est un pylône d'angle supérieur à 10°, les poulies sont guidées par un système permettant de l'incliner

dans le plan du câble à dérouler. Les poulies sont fixées aux chevalets ou aux consoles des pylônes à l'aide d'un boulon. Le choix de la poulie satisfait la règle pratique qui veut que le diamètre de la poulie à fond de gorge soit au moins 23 fois celui du câble. Les câbles de déroulage utilisés sont de diamètre 13 mm pour le câble conducteur et 8 mm pour le câble de garde (ou l'OPGW). Elles sont déroulées au sol de façon traditionnelle dans le cas de travaux neufs (manuellement) ou via les câbles existants suivant les cas. Un émerillon en acier est ensuite utilisé pour joindre la câblette à la chaussette montée sur le câble ; il est choisi de façon à être compatible avec les poulies de déroulage utilisées afin de pouvoir y passer sans écarter et sans endommager les gorges. La vitesse de déroulage est contrôlée en permanence et notamment lors du passage de la chaussette de tirage dans les poulies de déroulage où elle doit rester inférieure à 1m/s. Les variations de vitesse se font sans-à-coup. La communication entre les monteurs dans les pylônes et les opérateurs du treuil est assurée au moyen d'un système radios VHF+Talkies Walkies.

La tension au treuil est réglée en fonction du freinage et du poids du câble. Cette tension ne doit pas excéder une certaine valeur T_{max} afin d'éviter tout phénomène de soulèvement sur les pylônes. La sécurité de déclenchement sera réglée à 20% au dessus de la valeur maximale de tirage calculée et donnée au chef de chantier avant déroulage. La tension imposée par la freineuse ne doit pas être inférieure à une certaine valeur T_{min} pour éviter que les câbles ne touchent le sol. T_{min} dépend de la configuration du tir, du positionnement des machines et du profil en long. Ces deux tensions sont définies dans le plan de déroulage.

Après déroulage, il convient de ne pas relâcher la tension exercée dans le câble.

3.2.7 Réglage des câbles

Lorsque les câbles conducteurs et les câbles de garde sont déroulés, il est alors nécessaire de les désolidariser de la freineuse et du treuil et de les ancrer provisoirement au sol, après les avoir relevés à une tension proche de la tension de réglage.

L'opération de réglage consiste à donner au câble, dans chaque portée du canton de pose à régler, une tension horizontale convenable correspondant à la température ambiante. Les câbles sont tendus de façon à ce que les flèches F_1 et F_2 mesurées correspondent à celles indiquées sur le tableau de flèches de pose à la température ambiante.

Les câbles qui ont été déroulés à un paramètre de l'ordre de 800 m à 1200 m, sont par endroits, à une distance très faible du sol. Ils sont alors relevés et tendus à une tension supérieure avant de les amarrer au sol. En général, ils sont relevés à une tension inférieure de 5% à 10% de la tension de réglage. Ainsi, le câble va pouvoir se relaxer, s'équilibrer dans les différentes portées, au gré des variations de température et prendre une position qui va se rapprocher le plus de sa forme finale.

Après 48h, il est alors possible d'affiner le réglage à l'aide d'ancrages provisoires judicieusement choisis, ce qui va permettre d'obtenir la tension finale du canton et d'effectuer la mise sur pinces après vérification préalable de la verticalité du pylône.

3.2.8 Ancrage des câbles

Après réalisation du réglage définitif de l'ensemble du canton, il est alors nécessaire d'ancrer les câbles en bout des chaînes d'ancrage qui sont fixées sur les pylônes prévus à cet effet. Ces pylônes d'ancrages assurent la sécurité de la ligne puisqu'ils sont calculés pour tenir les tensions des câbles sous certaines conditions prévues au cahier des charges.

Ces pylônes d'ancrage sont situés, soit aux extrémités de la ligne, soit aux angles importants, supérieurs à 15°, soit quelquefois sur de grands alignements ou ils servent d'anticascade en limitant les cantons de 5 à 10 km.

Après réglage des câbles du canton ou du dernier sous canton au pylône d'ancrage, la manœuvre d'ancrage consiste à :

- marquer les câbles d'aplomb du pylône d'ancrage,
- déterminer la position du manchon d'ancrage sur le câble, en tenant compte de la longueur totale de la chaîne et de ses accessoires,
- couper le câble et confectionner le manchon comprimé à l'aide d'une presse hydraulique,
- accrocher le manchon à l'extrémité de la chaîne et fixer cette chaîne sur le pylône d'ancrage.

L'ancrage est généralement réalisé à l'aide d'un treuil, d'un tracteur (le pylône est préalablement haubané) ou de tir forts.

3.5 Finalisation des travaux

- **Inspection finale** : A la fin de réalisation et de finalisation des travaux d'un système ou un sous – système, le client est informé pour la réalisation d'une inspection contradictoire. L'inspection mène à l'établissement d'une liste de réserves à lever selon la criticité avant énergisation, avant réception provisoire ou avant réception définitive.
- **Commissioning** : Il s'agit de l'essai de ligne réalisé après les levées de réserve. Des appareils de mesures y sont associés pour des prises de mesures de courant, tension, résistance, température.
- **Energisation** : Après que l'inspection finale et le commissioning aient été réalisés et

qu'aucune anomalie n'est constatée, on procède alors à l'énergisation de la ligne qui est ensuite restitué à la Société Nationale d'Electricité.

VI.IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET THT

L'activité principale qui peut avoir un impact environnemental est le Bush Clearing. C'est l'activité qui consiste à la création d'accès aux pylônes. Dans certains endroits, ces voies d'accès passent par des champs. Mais des mesures sont prises pour une récolte préalable des fruits et racines avant passage du bulldozer. Des mesures sont aussi prises pour la protection de la flore lors de la création d'accès. Les modes opératoires de piste d'accès et bush clearing ci-joint en annexe le précisent. D'autre part, un tableau récapitule les risques environnementaux liés aux activités de réhabilitation des accès dans le MAYOMBE a été réalisé. Il ressort de cette étude que les sous-activités de criticité les plus élevées sont bucheronnage et débroussaillage mécanique. En dehors de ces aspects de risque destructif de la faune et la flore, les activités de construction de ligne aériennes THT ne sont pas réputées avoir un impact environnemental très conséquent.



Figure VI.1 : Débroussaillage mécanique

Par ailleurs, compte tenu du fait des distances assez énormes et de la quantité des véhicules sur le projet, la consommation de carburant est assez élevée. Malheureusement, aucune politique allant dans le sens de la réduction de l'émission des Gaz à effet de serre et de la consommation efficace du carburant n'est réalisée. Les économies réalisées sur certaines de ses dépenses excessives liées à cette consommation pourraient après la réalisation d'un bilan carbone servir à financer de nouvelles orientations du projet. Une étude allant dans ce sens pourrait être organisée ou planifiée afin d'en

proposer des solutions techniques immédiates. Etant donné la politique Hygiène Sécurité Environnement du projet, une des suggestions que nous ferons aux responsables du dit département est l'intégration à long ou à moyen terme de ces données. Toute chose pouvant être bénéfique pour le projet.

VII. CONCLUSION

La construction d'une ligne aérienne est une activité complexe reposant sur des compétences dans des domaines variés. Elle offre de nombreuses possibilités de choix des méthodes en fonction du lieu et des moyens mis à disposition. L'expérience de ce chantier permet de comprendre que quelque soit les moyens mis en œuvre, un chantier de ligne est basé sur une grande logistique, une bonne organisation du chantier et des équipes, une bonne connaissance du pays et du site, une équipe de direction expérimentée, le bon choix des méthodes adaptées aux difficultés du chantier, un personnel d'exécution formé à ces travaux. La nécessité de l'engagement des collaborateurs du chantier à la réalisation d'un ouvrage de qualité au moindre coût tout en tenant compte des directives du maître d'œuvre et du maître d'ouvrage est essentiel pour la réussite d'un chantier d'une telle envergure.

Ce projet, fut l'occasion pour nous de découvrir des méthodes techniques de travaux et de management. Ce fut aussi une expérience d'expatriation dans un pays possédant une diversité de culture, et dans un pays au patrimoine énergétique énorme (présence de barrages hydroélectrique, réutilisation des gaz pétroliers pour l'alimentation d'une centrale, ...). Un chantier de ligne électrique semble de ce fait être toujours une aventure pleine de risques car étant toujours un ouvrage unique à réaliser.

VIII. REFERENCES

[1] RTE, Rapport d'activité 2010

[2] MICHEL BOUGUES, Lignes aériennes à Très Haute Tension, Tome 1

[3] MICHEL BOUGUES, Lignes aériennes à Très Haute Tension, Tome 2

[4] MICHEL BOUGUES, Lignes aériennes à Très Haute Tension, Tome 3

[5] MICHEL BOUGUES, Lignes aériennes à Très Haute Tension, Tome 4

[6] MICHEL BOUGUES, Lignes aériennes à Très Haute Tension, Tome 5

[7] THIERRY JOUENNE, Stratégie et Fonction Logistique (professeur associé, CNAM Paris)

[8] JEAN-JACQUES GRAFF, Calcul mécanique des Lignes aériennes

[9] MICHEL DIEBOLT, Structure des réseaux de distribution

[10] Projet ENI THT CONGO, Procédures de levage, de déroulage, de création de voies d'accès

IX. ANNEXES

Annexe 1 : suivi Pylônes

Confère fichier Joint Suivi Pylône.

Annexe 2 : Evaluation Etat des besoins :

Fittings câble de garde :

Référence	Commande du 03 Mai 2011	Expédition maritime du 24 Mai 2011	Stock disponible au 19 Mai 2011	Besoin					BESOIN GLOBAL	ECART	Action à mener
				SR-KG.94.01.C Pince de suspension pylône Type S	SR-KG.94.01.B Pince de suspension pylône Type T	SR-KG.94.02.B Ancrage	SR-KG.94.02.E Ancrage Grantry	SR-KG.94.03 Dampers 94²			
				26	256	58	2	866			
					2	2		4			
				3	37	4	0	122			
				23	217	52	2	740			
SR 15		206	91	23	217	52	2	0	294	3	ok
SR 1523	4	36	0	0	0	52	2	0	54	-14	commander
SR 1535		36	19	0	0	52	0	0	52	3	ok
SR 1537			0	0	0	0	2	0	2	-2	commander
SR 1578		206	80	23	217	52	0	0	292	-6	commander
SR 1587		170	65	23	217	0	0	0	240	-5	commander
SR 1588			52	23	217	0	0	0	240	-188	commander
SR 1763			0	0	0	0	2	0	2	-2	commander
SR 1781		160	0	0	160	0	0	0	160	0	ok
SR 1782		10	23	23	0	0	0	0	23	10	ok
SR 1536				0	57	0	0	0	57	-57	commander
SR 1589 (Dampers)		470	228	0	0	0	0	740	740	-42	commander
SR 1679	10	70	160	-	-	-	-	-	231	9	ok

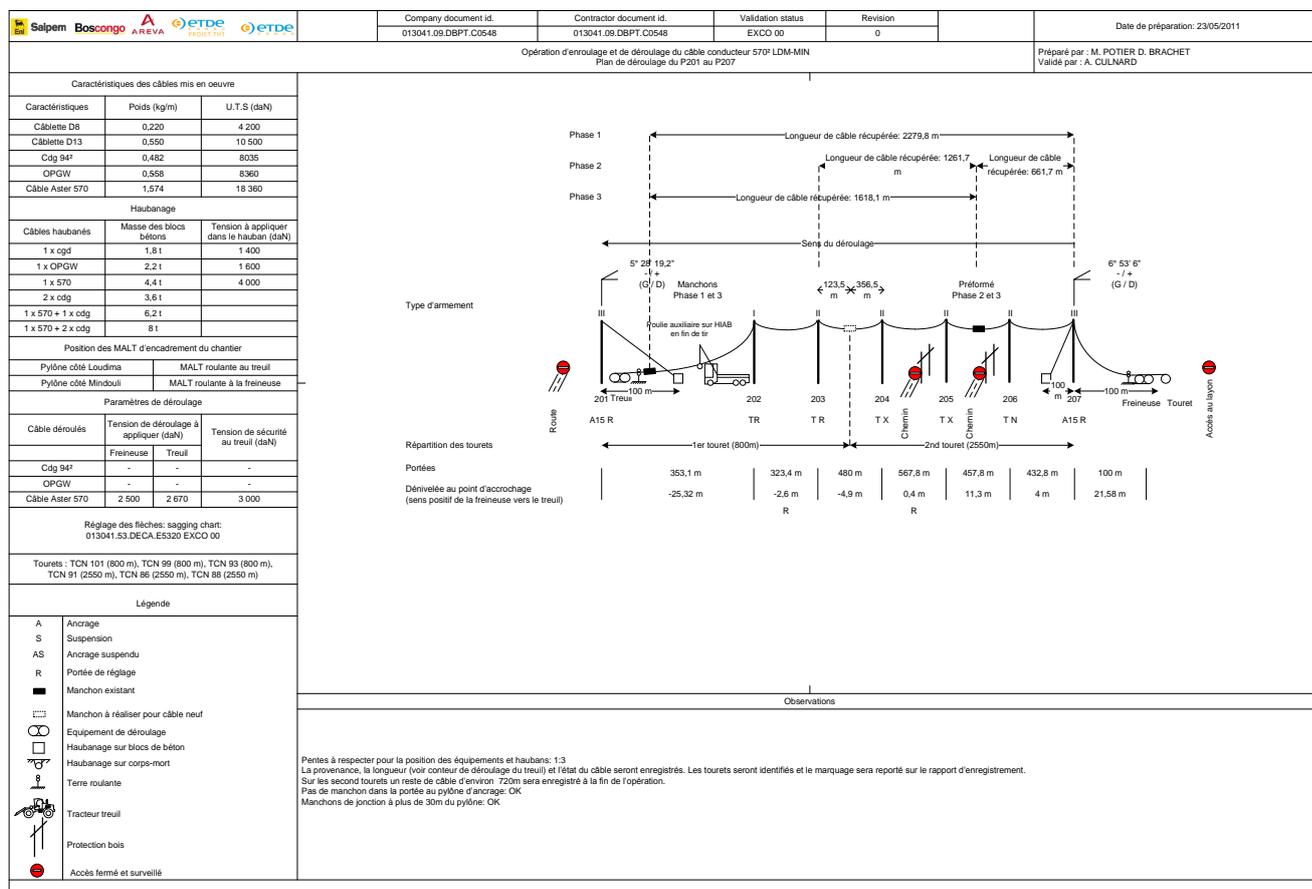
Fittings conducteur

	SR-KG.220.570.01.B Chaîne de susp. Simple	SR-KG.220.570.02.B Chaîne de suspension Double	SR-KG.220.570.05.A Chaîne de rétention avec contrepois	sus simple avec ct	chaîne simple pour tower	SR-KG.220.570.08 Chaîne ancrage double	SR-KG.220.570.06.D Chaîne ancrage simple Grantry	SR-KG.591.03 Vibration Dampers conducteurs			
Etat initiaux des besoins	663	165	8	18	6	168	6				
Commande du 03 Mai 2011	6	6				3		12			
Sortie	-	-	-	-	-	-	-	-			
Etat actuel des besoins	315	111	4	0	3	99	6	1443			
Etat actuel des besoins au 24 Mai	309	105	4	0	3	96	6	1431			
Stock disponible au 19 Mai 2011	BESOIN							BESOIN GLOBAL	ECART	AJOUT MARGE 10%	Action à mener
188	309		4	0				313	-125		commander
0			4					4	-4		commander
468		210				192		402	66		OK
8								0	8		OK
25					3	96	6	105	-80		commander
285	309			0	3		6	318	-33		commander
182					3	96		99	83		OK
0				0				0	0		OK
119		105						105	14		OK
10							6	6	4		OK
465		210				192		402	63		OK
98					3	96	6	105	-7		commander
264	309			0	3		6	318	-54		commander
237		105				96		201	36		OK
121		105						105	16		OK
401	309	105						414	-13		commander
586	309	105		0				414	172		OK
259	309			0	3		6	318	-59		commander
2								0	2		OK
445							6	6	439		OK
280		105			6	96	12	219	61		OK
0			4					4	-4		commander
6					3	96	6	105	-99		commander
0								0	0		OK
0								0	0		OK
0								0	0		OK
1256	-	-	-	-	-	-	-	1431	-175		commander
80								0	80		OK

0								0	0	OK
98						96		96	2	OK
88								0	88	OK
0								0	0	OK
386								400	-14	commander
160								0	160	OK
369								764	-395	commander
0								0	0	OK
0				0				0	0	OK
5			4					4	1	OK
5			4					4	1	OK
249	309			0	3		6	318	-69	commander
184		210				192		402	-218	commander
4			4					4	0	OK
0			4	0				4	-4	commander
0								0	0	OK
0				0				0	0	OK

Annexe 3 : Plan de déroulage :

Plan (Page 1)

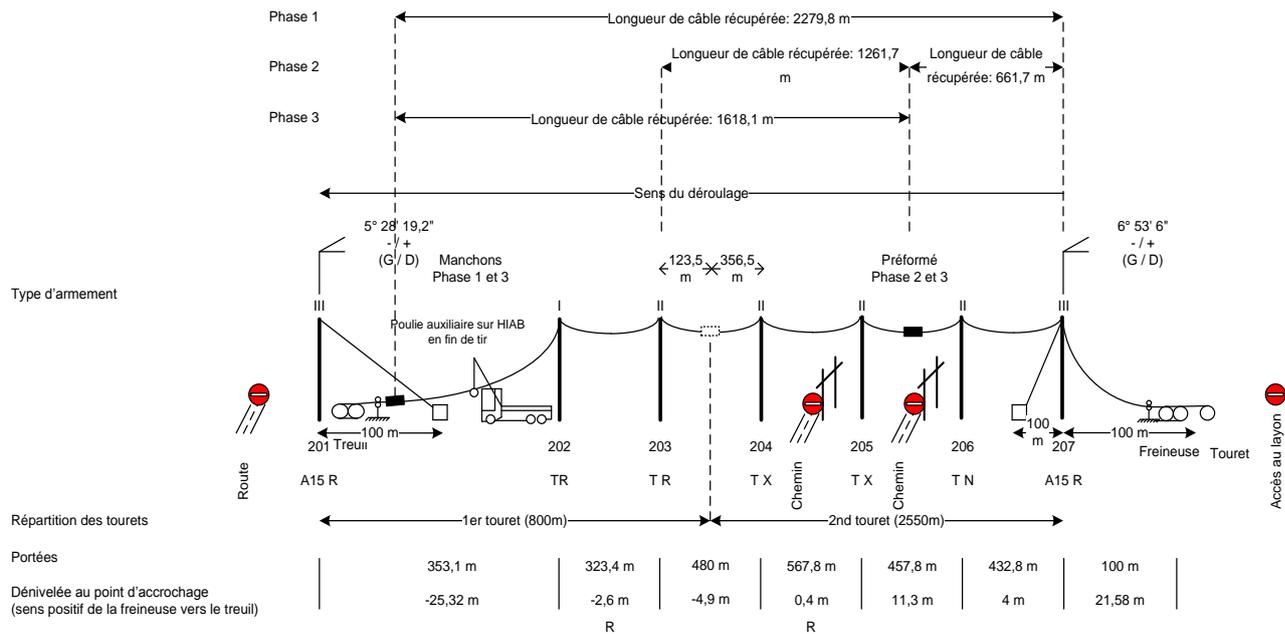


Plan (Page 2)

Suivi et optimisation travaux pour la réhabilitation de la ligne Très Haute Tension 220kv Loudima-Mindouli du projet THT au Congo

		Company document id. 013041.09.DBPT.C0548	Contractor document id. 013041.09.DBPT.C0548	Validation status EXCO 00	Revision 0	Date de préparation: 23/05/2011
Opération d'enroulage et de déroulage du câble conducteur 570 ³ LDM-MIN Plan de déroulage du P201 au P207			Opération d'enroulage et de déroulage du câble conducteur 570 ³ LDM-MIN Plan de déroulage du P201 au P207			
Commentaires			Exemplaire de : - - - - -			
			Organisation du chantier			
Conducteur de travaux Qualité HSE		Brachet Dominique (06 989 92 77) Lambert David (06 900 13 85) Clamagrand Marie (06 848 10 38)		Opérateurs DSTM		Guillaume Desliens (06 848 35 57) Kientzin Marco (06 883 89 27) Jean-Claude Morisseau (06 900 13 67)
			Chronologie de l'opération: Les accès aux zones où se déroulent les opérations seront fermés et surveillés par des agents pilotés par le responsable de l'opération. <ol style="list-style-type: none"> 0- Mise en place des MALT 1- Mise sur poutre des supports en suspension du canton. 2- Positionnement de la freineuse au P207 dans la portée P207-P208 et du treuil au pied du P201 dans la portée P201-P202 3- Haubanage des trois phases au P201 côté P202. Haubanage des trois phases au P207 côté P208. 4- Déroulage de la câblette entre le P201 et P203 pour la phase 2. 5- Suppression des manchons d'ancrage aux supports P201 et P207 6- Remplacement des manchons de jonction existant par des chaussettes doubles dans la portée P201-P202 8- Déroulage des tourets TCN 101 et TCN 91 pour la phase 1, TCN 99 et TCN 86 pour la phase 2, TCN 93 et TCN 88 pour la phase 3. 9- Réglage et mise sur pinces 			

Le détail des plans est visible ci dessous :



Aperçu du Mode Opérateur décrits dans le plan de déroulage :

Chronologie de l'opération:

Les accès aux zones où se déroulent les opérations seront fermés et surveillés par des agents pilotés par le responsable de l'opération.

0- Mise en place des MALT

1- Mise sur poulie des supports en suspension du canton.

2- Positionnement de la freineuse au P207 dans la porté P207-P208 et du treuil au pied du P201 dans la porté P201-P202

3- Haubanage des trois phases au P201 côté P202. Haubanage des trois phases au P207 côté P206.

4- Déroulage de la câblette entre le P201 et P203 pour la phase 2

5- Suppression des manchons d'ancrage aux supports P201 et P207

6- Remplacement des manchons de jonction existant par des chaussettes doubles dans la portés P201-P202

8- Déroulage des tourets TCN 101 et TCN 91 pour la phase 1, TCN 99 et TCN 86 pour la phase 2, TCN 93 et TCN 88 pour la phase 3.

9- Réglage et mise sur pinces

(Calcul de tension ici)

Annexe 4 : Scope câble :

Confère Fichier scope câble

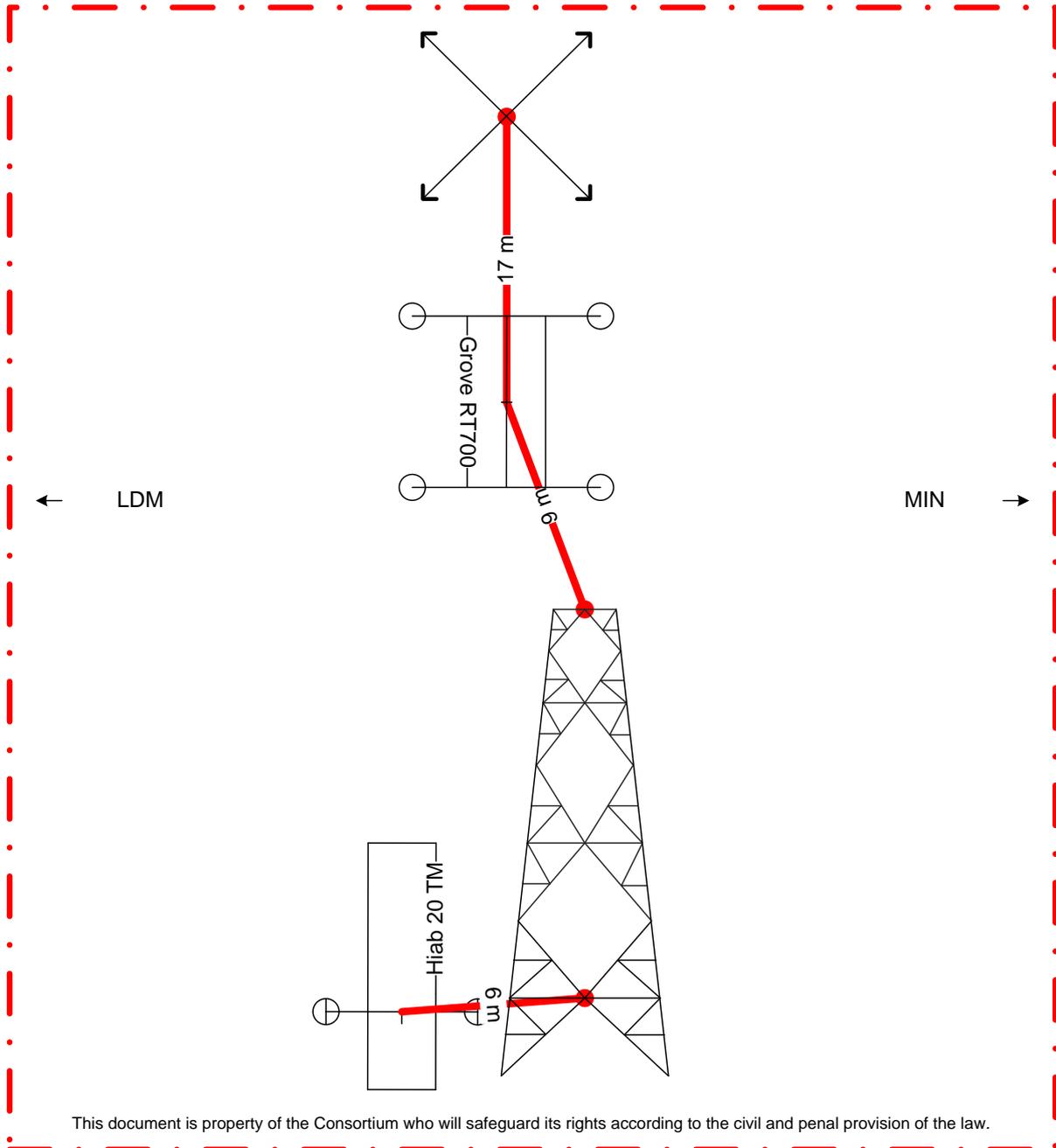
Annexe 5 : Plan de Levage

Fut :

Suivi et optimisation travaux pour la réhabilitation de la ligne Très Haute Tension 220kv Loudima-Mindouli du projet THT au Congo

	Company document id.	Contractor doc id.	Valid. Status	Revision	Sheet
	Company document id.	013041.09.DBPT.C0543	EX-CO	0	Annex 1

Date de préparation: 30/05/2011	P 160 Type A15 N Masse du fut: 2,898 T	Grue principale: Grove RT 700 JIB: non Grue secondaire: Hiab 20TM JIB: N/A
Préparé par: POTIER Mathieu		Taux d'utilisation de la grue principale: 64 % Taux d'utilisation de la grue secondaire: 78%

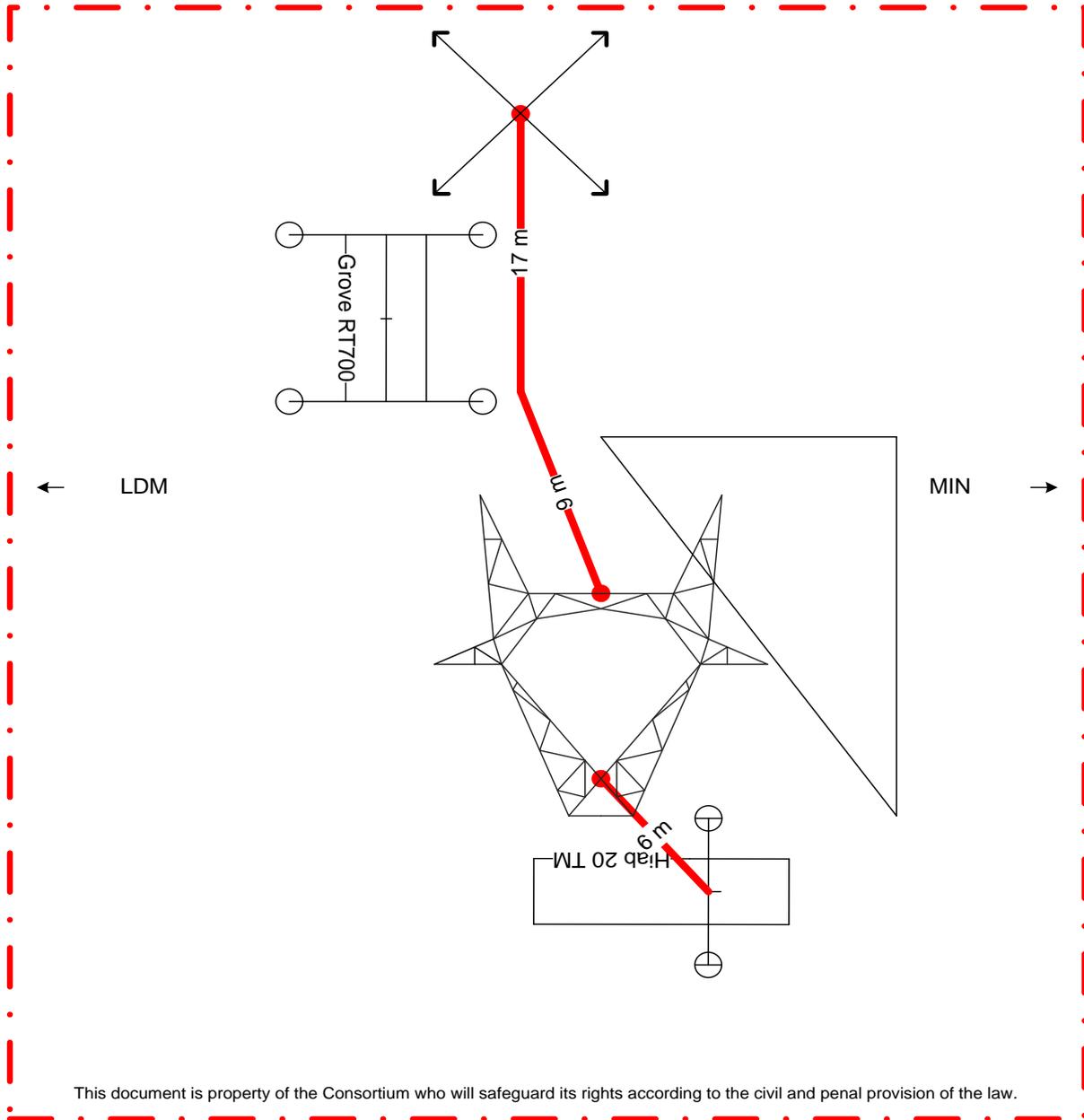


Suivi et optimisation travaux pour la réhabilitation de la ligne Très Haute Tension 220kv Loudima-Mindouli du projet THT au Congo

Tête :

	Company document id.	Contractor doc id.	Valid. Status	Revision	Sheet
	Company document id.	013041.09.DBPT.C0543	EX-CO	0	Annex 1

Date de préparation: 30/05/2011	P 160 Type A15 N Masse du Tête : 2,436 T	Grue principale: Grove RT 700 JIB: non Grue secondaire: Hiab 20TM JIB: N/A
Préparé par: POTIER Mathieu		Taux d'utilisation de la grue principale: 56 % Taux d'utilisation de la grue secondaire: 76%



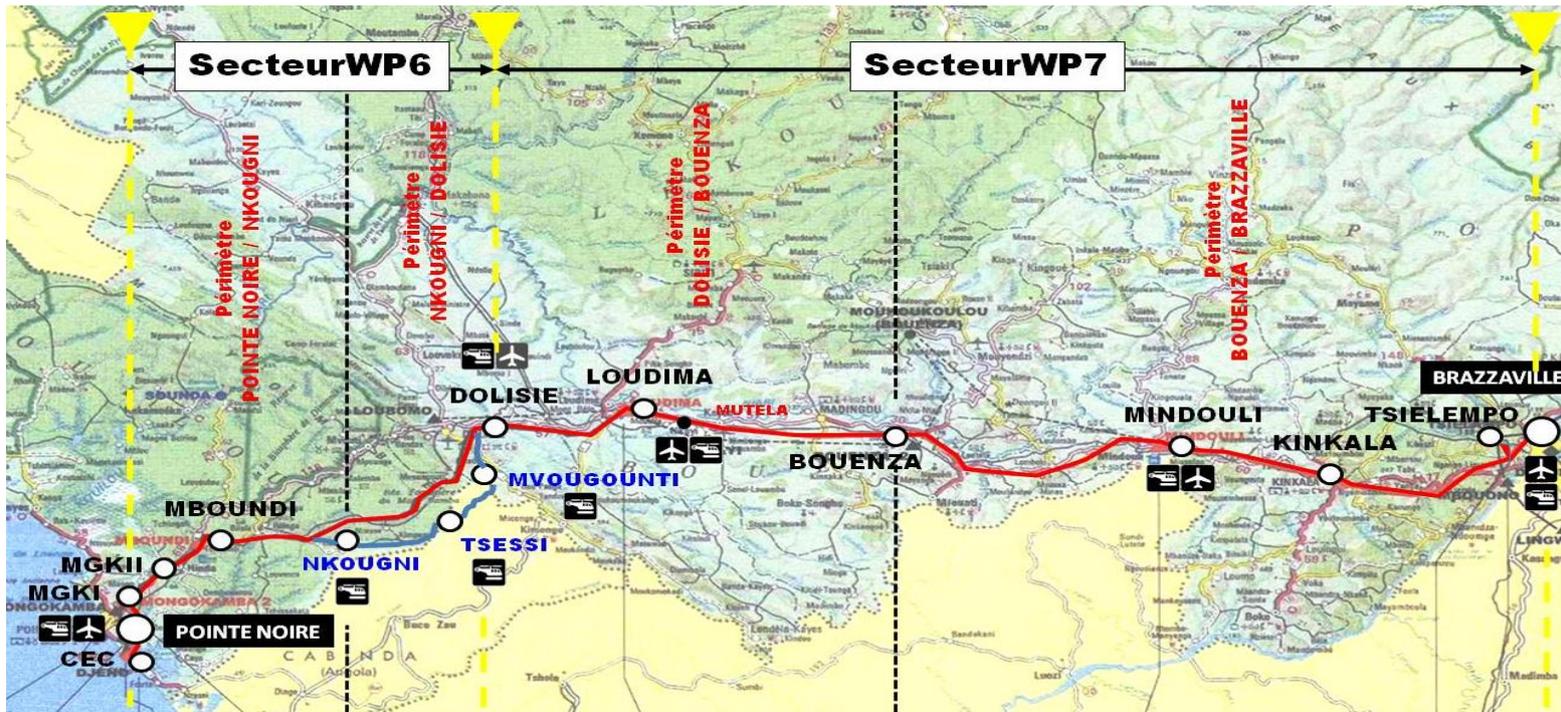
Annexe 7 : Abaques Grues :

Confère fichiers RT760E_Abaques et ABAQUES DES CAMIONS BRAS

Annexe 8 : Suivi travaux

Confère fichier progress

Annexe 9 : Plan projet du réseau THT



Annexe 10 : Suivi chantier ou progress

Confère fichier progress