

## Chapitre 9 : Construction d'un WBS pour les projets d'électrification par caténaire

### **Introduction**

Le présent chapitre donnera toutes les étapes que j'ai suivies afin de construire un WBS compatible avec les projets d'électrification des lignes ferroviaire par caténaire. En fait vu la complexité de ces projets, j'ai essayé de simplifier au mieux le processus général, puis travailler sur chaque discipline pour contourner les différents éléments déterminant de sa valeur.

En effet, et comme décrit dans le **chapitre 8**, j'ai commencé le découpage en partant des niveaux supérieurs et globaux, puis se concentrer sur chaque niveau tout seul et décomposer en éléments que soient des tâches ou des composants (pièces), ensuite ma tâche suivant consistait à valoriser les éléments décomposés en leur affectant des ressources de toute sorte ,matérielles et humaines et d'autre ressources dépendant de la nature du projet .L'intégration des coûts dans l'étude que j'ai fait sur cette structure de découpage a été basée sur beaucoup de ressources d'informations ,notamment les bordereaux des prix de l'entreprise ,l'expérience du personnel ,et les données que je trouve dans les appels d'offre des projets d'électrification des lignes ferroviaire .

## 9.1. Découpage en tâches élémentaires des phases du projet

La décomposition en éléments simples de chaque phase a été élaborée d'une manière rationnelle et très détaillée. L'organisation du travail et le calcul des coûts et l'ensemble des autres tâches que j'ai réalisées ont été informatisées sur des feuilles Excel. Chaque tâche est codifiée avec un numéro, que j'ai appelé numéro de poste. Cette codification est nécessaire pour connaître la hiérarchie de la décomposition.

### 9.1.1. Phase étude

La décomposition en tâches pour la phase étude a rassemblé plusieurs sources d'informations, celles que j'ai cherchées dans les livrables exigées par les cahiers des charges des clients pour anciens appels d'offre et projet et celles provenant des différents personnels travaillant au bureau d'étude du centre de transport ferroviaire et tramway à Cegelec.

Les tâches d'études sont établies en fonction des documents et des spécifications techniques imposées par les clients.

Le bureau d'étude doit remettre des plans de principe, d'ensemble et de détail caténaire. Les plans de tracé et des phases voies, Ces plans serviront comme support pour établir l'étude caténaire pour le bon fonctionnement des travaux caténaires.

La liste des tâches et sous-tâches des études caténaire représentée dans la figure 9.1

	A	B	C	D	E	F	G	H
	N° Poste						Désignation	
1								
2								
3	<b>1.</b>	<b>Etudes</b>						
4	<b>1.1</b>						Réalisation des plans de prepiquetage des tronçons	
5	<b>1.1.1</b>						Crée les coordonnées des massifs	
6	<b>1.1.2</b>						Implantation des coordonnées sur site	
7	<b>1.1.3</b>						Vérification des axes massifs	
8	<b>1.1.4</b>						Relevé des obstacles	
9								
10	<b>1.2</b>						Exécution des tournées de piquetage caténaire	
11								
12	<b>1.3</b>						Réalisation de plan de piquetage	
13	<b>1.3.1</b>						Réalisation de plan de phasage si nécessaire	
14								
15	<b>1.4</b>						Réalisation des plans de piquetage HDC	
16	<b>1.4.1</b>						Calcul désaxement	
17	<b>1.4.2</b>						Calcul hauteur fil de contact	
18	<b>1.4.3</b>						Pose des connexions	
19								
20	<b>1.5</b>						Réalisation des plans des hauteurs, désaxements et connexions	
21								
22	<b>1.6</b>						Réalisation des carnets de béton matage des gares	
23								
24	<b>1.7</b>						Réalisation des carnets de montages	
25								
26	<b>1.8</b>						Réalisation des carnets de pendulage	
27								
28	<b>1.9</b>						Etablissement des carnets récapitulatifs des tirs	
29								
30	<b>1.10</b>						Réalisation des études des phases caténaires en fonction des plans des phases voies	
31								
32	<b>1.11</b>						Réalisation des plans d'ensemble et d'exécution de tous les ouvrages spéciaux.	
33								
34	<b>1.12</b>						Réalisation des plans d'ensemble et de détail des montages spéciaux (montage interrupteurs, sectionneurs, ancrages spéciaux, ou autres ...)	
35								
36	<b>1.13</b>						Réalisation du plan de la commande à distance des interrupteurs	
37	<b>1.13.1</b>						Etudes spéciaux pour ouvrages	
38								
39	<b>1.14</b>						Sortir liste des matériels	

Figure 9.1 Décomposition des études caténaires (Découpage sur un classeur Excel)

### 9.1.2. Phase Fourniture

La fourniture en matériels et équipements se fait sur la base des plans de conceptions et d'exécution approuvés par le maître d'ouvrage. L'ensemble des pièces à fournir pour les projets caténaires doivent répondre à tous les montages possibles pour les ensembles et sous-ensembles. Pour effectuer ce travail, j'ai commencé d'abord à décortiquer l'approvisionnement en général en ensemble d'équipement (poteaux, consoles, câbles...) puis extraire toutes les pièces nécessaire au montage de chaque ensemble .Cette décomposition va permettre de renseigner un coût d'unité de chaque composant en intégrant tous les détails des prix liés.

Liste de matériel (ensembles sans détails) est dans le figure 9.2

N° Poste	Libellé
2.	<b>Fournitures</b>
2.1	<b>Fourniture de support type X</b>
2.1.1	La fourniture des supports type X1
2.1.2	La fourniture des supports type X2
2.1.3	La fourniture des supports type X3
2.1.4	La fourniture des supports type X3A
2.2	<b>Fourniture de support type Z</b>
2.2.1	La fourniture des supports type Z3
2.2.2	La fourniture des supports type Z5
2.2.3	La fourniture des supports type Z6 bis
2.3	<b>Fourniture de support type H</b>
2.3.1	Fourniture de support type HEA
2.3.2	Fourniture de support type HEB
2.3.3	Fourniture de support type HEM
2.4	<b>Fourniture de poutre ou demi-poutre haubanée y compris les chaises:</b>
2.4.1	La fourniture de la poutre ou de la demi-poutre
2.4.2	La fourniture des haubans de fixation
2.4.3	Toutes les pièces d'assemblage et de fixation au pylône
2.4.4	La fourniture des chaises pour portique rigide ou demi-poutre ou sous ouvrage d'art éventuel
2.4.5	Toutes pièces, ferrures de fixation à la poutre ou à la demi-poutre ou aux scellements sous ouvrage éventuel.
2.5	<b>Fourniture d'armement de suspension tout type pour caténaire simple ou double</b>
2.5.1	La fourniture de la console,
2.5.2	La fourniture Du hauban
2.5.3	La fourniture de l'antibalançant
2.5.4	La fourniture des bras de rappel
2.5.5	La fourniture de la suspension rigide d'antibalançant
2.5.6	La fourniture du tube de renfort
2.5.7	La fourniture des isolateurs hauban et console en céramique ou synthétique suivant
2.5.8	La fourniture des pinces, des pièces de fixation, sur le pylône ou sur chaise, et d'assemblage
2.5.9	La fourniture des pinces simples ou doubles pour supporter les câbles et conducteurs.
2.5.10	La fourniture des chaises d'éloignement et des traverses pour consoles multiples
2.5.11	Toutes pièces intermédiaires
2.5.12	La fourniture éventuelle de la plaque de fin d'électrification et accessoires.
2.6	<b>Fourniture de console pour feeder</b>
2.6.1	La fourniture de la console avec tirant et jambe de force éventuelle

Figure 9.2 WBS Phase fourniture (Découpage dans un classeur Excel)

Les détails des pièces des ensembles sont présents dans L'annexe

### 9.1.3. Phase travaux

C'est la phase la plus importante puisqu'elle consomme une grande part du budget .Le recours aux documents des appels d'offres et l'expérience du personnel (chefs de chantiers, chargés d'affaires...) et les documents techniques étaient mes sources d'informations pour réaliser le découpage des travaux caténaire.

Pour le WBS travaux, j'ai répartie le découpage en trois types de disciplines différentes. Une partie de travaux de Génie Civil, une deuxième partie de montage qui a un aspect mécanique puisqu'il s'agit surtout de travaux d'assemblage et de réglage, et une partie électrique pour l'ensemble des tâches qui assurent l'alimentation en énergie électrique pour les lignes caténares

1	N° de poste	Libellé
2		
3	3.0.	Exécution des massifs
4	3.0.1	Le détournement éventuel des caniveaux existant le long de la voie gênant la construction des massifs.
5	3.0.2	Les fouilles en terrain de toute nature
6	3.0.3	L'évacuation des déblais en dehors des emprises
7	3.0.4	Le dressement des parois et des fonds de fouilles
8	3.0.5	blindages et étalements nécessaires à la bonne tenue des terres à proximité de la plate-forme
9	3.0.6	la mise en oeuvre des coffrages soignés en tête des massifs sur une hauteur minimale de 0,50m.
10	3.0.7	la mise en place du gabarit de maintien des arceaux et tiges de scellement pendant la confection et le durcissement du béton
11	3.0.8	la confection, arceaux et tiges filetées aux extrémités
12	3.0.9	l'amenée à pied d'œuvre arceaux et tiges filetées aux extrémités
13	3.0.10	la mise en place des arceaux et tiges filetées aux extrémités et équipées de leurs écrous, contre-écrous et rondelles correspondants.
14	3.0.11	Le transport à pied d'œuvre et la mise en place des ancrages en bout de rails
15	3.0.12	Aménagement des trous à l'aide d'une foreuse appropriée, conformément au dessin d'exécution
16	3.0.13	Le bétonnage des massifs
17	3.0.14	Le remblaiement autour des massifs par couches successives de 0,20 m

Figure 9.3 WBS Travaux sur massifs

Pour les travaux de génie civil (figure 9.3), j'ai traité surtout les tâches de construction des massifs pour pylônes et pour les ancrages des pylônes

1	N° poste	Libellé	Prix Un
2			UnRé
3	3.	Travaux de montage	
4	3.1	Montage de support tout type	u
5	3.1.1	Transport des support à pied d'œuvre	
6	3.1.2	La distribution des supports et leur numérotation	
7	3.1.3	La manutention des supports	
8	3.1.4	Autres	
9			
10	3.2	Montage d'armement de suspension de la caténaire (simple Légère ou Trolley)	u
11	3.2.1	Transport des consoles à pied d'œuvre	
12	3.2.2	Distribution des consoles	
13	3.2.3	Manutention des consoles	
14	3.2.4	Montage de toutes les ferrures et pièces de fixation de tout type d'armement	
15	3.2.5	Montage des chaises d'éloignement	
16	3.2.6	Autres	
17			
18	3.3	Montage de poutre autoporteuse	u
19	3.3.1	Transport des poutres autoporteurses à pied d'œuvre	
20	3.3.2	Distribution des poutres autoporteurses	
21	3.3.3	Opérations de manutention	
22	3.3.4	Montage de toutes les ferrures et pièces de fixation de tout type d'armement	
23	3.3.5	L'assemblage et préparation de la poutre	
24	3.3.6	Le montage de la poutre	
25	3.3.7	Autres	
26			
27	3.4	Montage de chaise pour portique rigide ou demi-poutre ou sous ouvrage d'art	u
28	3.4.1	Transport des chaises à pied d'œuvre	
29	3.4.2	Distribution des chaises	
30	3.4.3	Manutention des chaises	
31	3.4.4	Montage de toutes les ferrures et pièces de fixation de tout type d'armement	
32	3.4.5	Montage des chaises	
33	3.4.6	Autres	
34			
35	3.5	Montage de demi-poutre (console longue)	u
36	3.5.1	Transport des demi-poutres à pied d'œuvre	
37	3.5.2	Distribution des demi-poutre	
38	3.5.3	Manutention des demi-poutre	
39	3.5.4	Fixation des haubans	

Figure 9.4 WBS Travaux de montage

Ces travaux de montage (figure 9.4) ont surtout une orientation mécanique, la plupart des tâches sont des opérations de montage et de réglage.

### 9.2. Affectation des ressources aux activités

L'évaluation des coûts des tâches dans la structure du WBS était un travail demandant des consultations surtout les niveaux. Vu que chaque tâche dans le découpage est indépendante des autres par les ressources qui les demande et les compétences techniques nécessaire pour sa réalisation.

L'objectif dans ce travail est de pouvoir consolider les coûts dans la structure du WBS, autrement-dit, faire sortir un prix ou un coût unitaire pour tous sous-tâches élémentaires. En fait c'est un moyen d'évaluation analytiques du coût du projet puisqu'il part des niveaux les plus bas de la décomposition.

Par exemple pour la phase de construction, sûrement la plus complexe en terme de modélisation de sa structure, il est nécessaire de définir dès le départ les coûts des ressources matérielles et humaines.

Pour cette opération d'affectation des ressources aux tâches, j'ai proposé un moyen qui sert à la fois comme calculateur de coût d'unité pour les tâches et aussi un outil de gestion et d'affectation organisé de l'ensemble des ressources nécessaire pour la réalisation complète de la tâche.

Poste	Libellé	Unité e <sub>1</sub>	Quantité	Prix unitaire EP	Prix total	
1	2			3		
Calcul détaillé du prix unitaire PU						
	Libellé	Prix unitaire		Rendement		Prix total
		Unité e <sub>2</sub>	Valeur P	Unité e <sub>1</sub> /e <sub>2</sub>	Valeur R	P/R
4	MATERIEL					
5	HEURES-HOMMES					
6	SOUS-TRAITANT					
	Fournitures					
	Matériel					
	Heures-Hommes					
7	DIVERS					
Coefficient multiplicateur frais généraux G <sub>qs</sub> (%)*:				10		
				Total:		
				Frais généraux (FGB)		
				Prix total PU		

Figure 9.5 Bordereau de calcul des coûts d'unité des tâches élémentaires

Ce modèle de bordereau permet de renseigner toutes les ressources matérielles et humaines aussi les ressources qui prennent des formes de services par exemple sous-traitance ou autre.

Case 1 : Elle contient le numéro de poste c'est-à-dire le code de la tâche dans la structure du WBS

Case 2 (libellé) : Elle contient la désignation de la tâche

Case 3 : Cette case renseigne le coût unitaire de la tâche. Le résultat de tous les coûts affecté à la tâche.

Ligne 4 : C'est le matériel nécessaire pour les opérations incluses dans la tâches (exemple : engins, matériels...)

Ligne 5 : Ce sont les ressources humaines calculées en heures-homme. C'est le nombre d'heure réalisé par les personnes pour compléter la tâche.

Ligne 6 : Ce sont les parties de la tâche qui peuvent être sous-traitées ou élaborer par d'autre service externe à l'entreprise (exemple : les notes de calcul ...)

Ligne 7 : Permet d'ajouter les autres frais qui n'appartiennent pas autres ressources (exemple : le transport du personnel ou du matériel...)

Colonne 8 : Elle permet le saisi des valeurs des prix de chaque ressource et l'unité de calcul.

Colonne 9 : Le rendement en % de la ressource vis-à-vis la réalisation de la tâche.

Case 10 : Pour ajouter les pourcentages des frais générant pouvant être inclus dans le calcul du coût total de la tâche.

Cet outil va optimiser l'organisation et la gestion de toutes les ressources quelque soient leurs natures.

Un exemple d'affectation des ressources pour une tâche est donné dans l'**annexe**

L'outil Excel, à travers ses classeurs, m'a permis de créer des bordereaux spécifiques à chaque tâche. Puis la manipulation des coûts et les désignations des ressources étaient facile est gérable. Dans la partie qui va suivre je vais présenter un moyen que j'ai développé, et qui sert à la gestion automatique de ces paramètres, et avec des options permettant un calcul de coût de la totalité du projet.

### **9.3. Standardisation du processus et développement d'une application VBA de calcul des coûts**

Dans le présent paragraphe va expliciter la manière et les méthodes que j'ai proposées et développer pour automatiser l'ensemble des opérations.

Le programme est basé sur un algorithme simple de calcul et de connexion avec le basé sur un algorithme simple de calcul et de connexion avec l'ensemble des feuilles Excel contenant les tableaux de calcul des coûts. Il permet aussi de répartir la gestion des coûts de tout le projet suivant les zones qui sont définies géographiquement en donnant les coûts

des tâches structurées dans chaque zones avec les coûts et la possibilité de modifier les ressources affectées aux tâches.

### 9.3.1. Définition de la matrice Tâche-Zone-Quantité

C'est une représentation sous forme de matrice de l'affectation des quantités des produits (les tâches et sous tâches) dans leurs zones d'exécution.

En fait pour toutes les phases du projet ligne aérienne de contact, on définit des zones ou des tronçons pour décentraliser la gestion de toutes ses opérations. Les tronçons ou zones sont données et définies par kilométrage (Km Début XXX, XXX – Km Fin YYY, YYY)

Exemple :

Zone 1 : de km 008,180 à km 060,233

Zone 2 : km 060,233 à km 101,123

La définition des paramètres des zones je vais le détailler dans la partie qui va suivre.

La matrice dépend de la phase du projet, si on est dans la phase d'étude on doit entrer par exemple les quantités des plans de montage à élaborer pour le tronçon 1 (Zone 1).

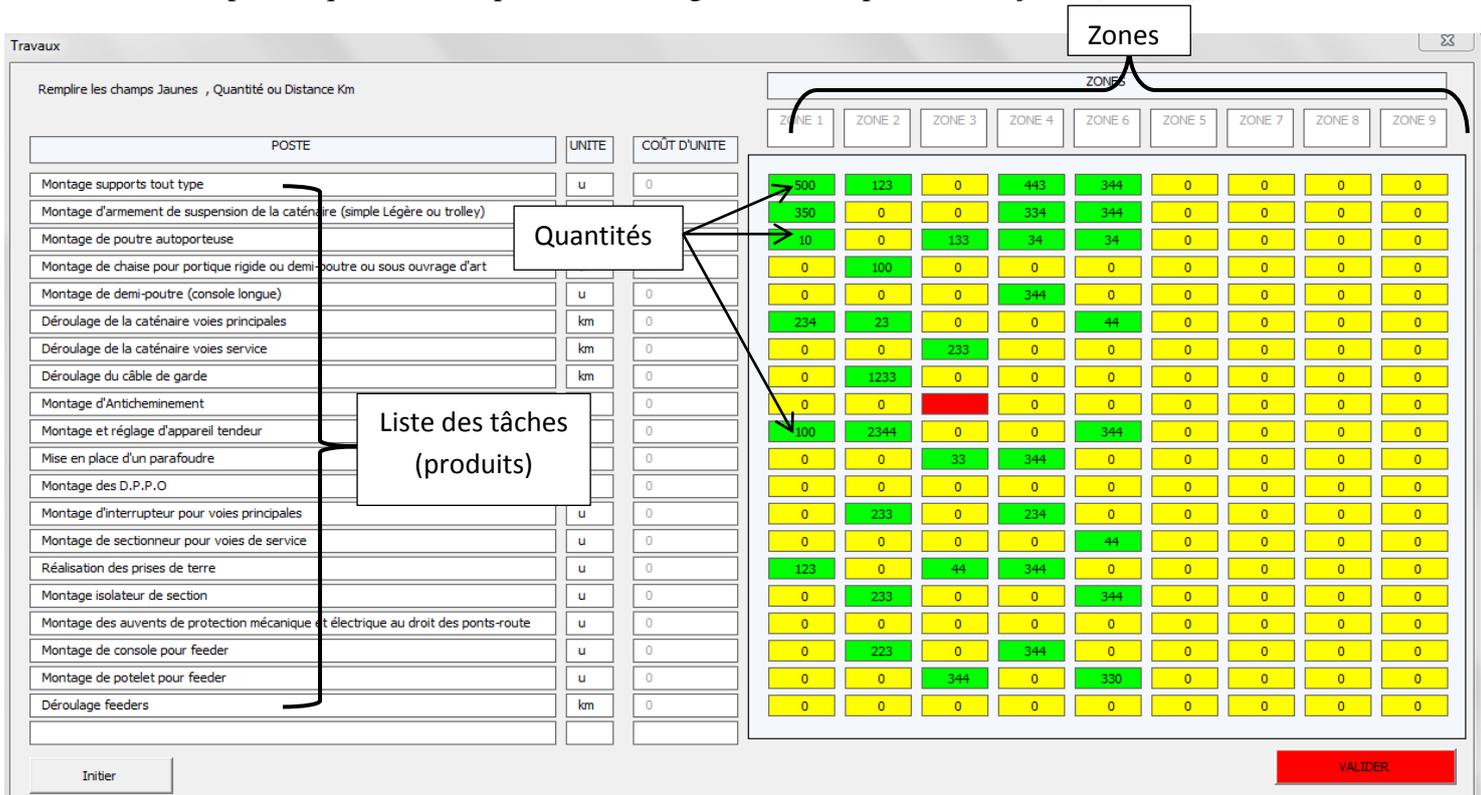


Figure 9.6 Matrice d'affectation des quantités aux tâches selon les zones

Cet exemple est pour la matrice de la phase travaux de montage pour un projet caténaire. Le saisi des quantités des tâches spécifique aux zones va actualiser les coûts associés à chaque tronçon dans le projet.

Une tâche qui n'est pas présent dans une zone on lui associe la valeur zéro.

On va voir que cette matrice est la liaison entre les bordereaux de calcul des coûts d'unité des tâches et le coût total du projet qui est le coût associé à chaque zone. Ceci représente un outil d'estimation du budget nécessaire pour la réalisation du projet.

### **9.3.2. Algorithme général de calcul**

Le programme pour la consolidation des coûts sur le WBS est développé par le langage VBA Excel, il a plusieurs utilités et valable pour plusieurs utilisations. Le programme réalise les opérations suivantes :

- Définition du zonage du projet
- Actualisation des coûts des tronçons et des tâches
- Structuration de l'ensemble des tâches associées à chaque zone
- Elaborer des devis pour le client
- Afficher les détails des ressources affectées aux tâches avec la possibilité de modification
- Affecter les quantités des produits pour chaque zone

Ce programme est basé sur un algorithme général simplifié par le schéma suivant :

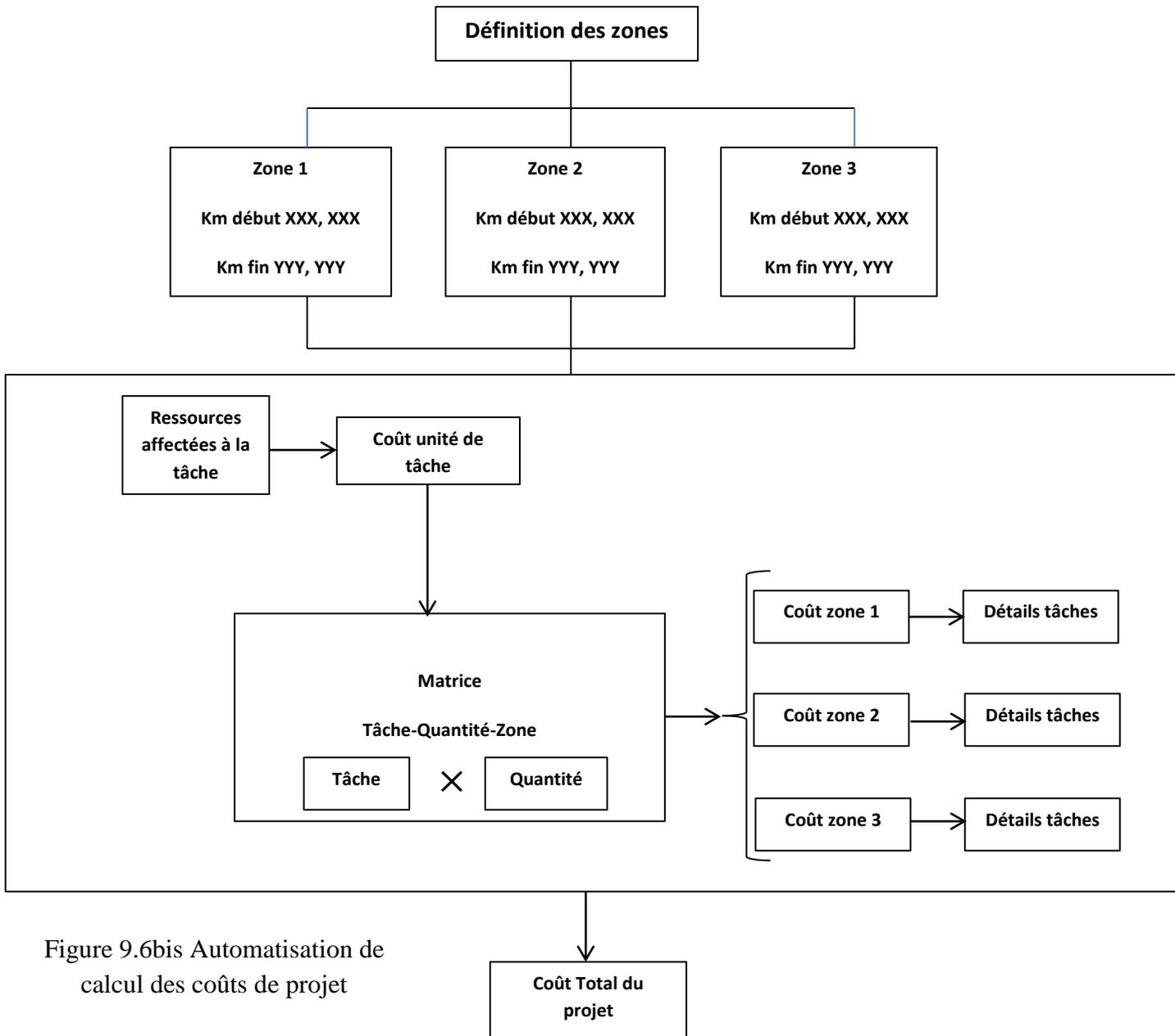


Figure 9.6bis Automatisation de calcul des coûts de projet

Cet algorithme permet des calculs et des connexions directes avec les fichiers Excel qui contiennent la décomposition WBS du projet et les bordereaux de calcul des prix d'unité. L'affichage et le contrôle de ces données est permis via des interfaces graphiques de communication machine-utilisateur que je vais présenter dans la suivante partie.

### 9.3.3. Interfaces du programme

#### 9.3.3.1. Interface de définition des zones (figure 9.7)

C'est l'interface permettant de saisir et définir géographiquement les données des zones incluses dans le projet ligne aérienne de contact.

Figure 9.7 Définition des zones d'exécution du projet

9.3.3.2. Interface de contrôle des ressources des tâches (figure 9.8)

A travers cet affichage l'utilisateur a la possibilité de modifier le contenu des ressources à affecter aux différentes tâches.

Figure 9.8 Contrôle des ressources

### 9.3.3.3. Interface de récapitulation des coûts

Via cette interface, le programme donne tous les coûts pour évaluer le projet. Des coûts par zone pour toute les phases : étude, fourniture, travaux.

The screenshot shows a software window titled 'FERRODEVIS' with a menu bar containing 'Informations Zones', 'Récap', and 'Affectation ressources aux tâches'. The main area displays a table with the following structure:

	ETUDES	FOURNITURE	MONTAGE	Total Prix Zone
<input type="checkbox"/> ZONE 1				
<input type="checkbox"/> ZONE 2				
<input type="checkbox"/> ZONE 3				
<input type="checkbox"/> ZONE 4				
<input type="checkbox"/> ZONE 5				
<input type="checkbox"/> ZONE 6				
<input type="checkbox"/> ZONE 7				
<input type="checkbox"/> ZONE 8				
<input type="checkbox"/> ZONE 9				
<input type="checkbox"/> ZONE 10				
TOTAL				
				TOTAL PROJET

At the bottom right, there is a green bar next to the 'TOTAL PROJET' label.

Figure 9.9 récapitulations des coûts

Si l'utilisateur clique sur l'une des bouton jaunes qui réfèrent les phases du projet ,il voit la matrice Tâche-zone-quantité affichée et connectée avec des tableaux sur des feuilles Excel pour entrer et valider les quantités des produits (tâches) puis actualiser les valeur sur le tableau ci-dessus.

### 9.3.3.4. Interface d'affichage des détails des tâches par zone (figure 9.10)

Aussi, on a la possibilité d'afficher les détails des tâches du WBS spécifique à chaque zone avec les détails de leurs quantités et les prix. Dans ce cas l'utilisateur doit cliquer sur le bouton de la zone voulue.



## Conclusion

La décomposition en éléments simples de l'ensemble des activités dans un projet caténaire par la méthode WBS permet une analyse d'état des coûts nécessaires au projet. Etant donné que cette décomposition est fait à un niveau inférieur on peut aller plus loin que ça en faisant un découpage analytique pour les composants appartenant aux niveaux les plus bas. Cependant l'ensemble des activités que j'ai pu extraire permettent d'évaluer préalablement les coûts du projet.

De plus, l'outil informatique développé et qui lui aussi entre dans le cahier des charges global de mon projet de fin d'études à Cegelec, va faciliter les calculs du budget nécessaire pour la réalisation du projet. Un outil professionnel permettra au gestionnaire de faire le contrôle des activités pour toutes les phases du projet, aussi évaluer les budgets nécessaire pour des futurs projets.