



## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**  
**Spécialité : Ingénierie Mécanique**

***Etude et Modélisation du système de suspension de la DXM***

*Présenté par :*

***Sall Papa Sada***

*Encadré par:*

- Mr EL Khalfi Ahmed, professeur du département Génie Mécanique, FST Fès
- Mr Touzani Karim, ingénieur à la Direction d'Exploitation Thermique de Mohammedia

**Soutenu le 24 juin 2010**

**Le jury :**

- Mr J. Abouchita
- Mr B.Harras

**Année Universitaire : 2009-2010**

**Stage effectué à : Direction d'Exploitation Thermique de Mohammedia**



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: Sall Papa Sada**

**Année Universitaire : 2009/2010**

**Titre: Etude et modélisation du système de suspension de la DXM**

### **Résumé**

L'importance du supportage des tuyauteries a longtemps été sous-estimée et a conduit, avec l'élévation des conditions de mise en service, à des déboires de plus en plus nombreux, tant sur le plan technique que sur le plan économique.

Ainsi plusieurs entreprises se sont lancées sur de sérieuses études afin de pouvoir réaliser un supportage adéquat des installations .

L'Office National de l'Electricité n'est pas une exception à cette nouvelle tendance et c'est dans cette lancée que ce sujet m'a été proposé.

Nous l'avons abordé, d'abord, en détaillant toutes les technologies de suspensions disponibles actuellement, ensuite d'élaborer un plan de maintenance préventive et terminer avec une modélisation.

Cette étude nous a permis de découvrir tous les aspects techniques du domaine du supportage et de les adapter aux équipements de la Direction d'Exploitation Thermique de Mohammédia.

**Mots clés: Tuyauteries, Gains, Chaudière et tous les équipements suspendus.**



# SOMMAIRE

Dédicace

Remerciement

Liste des figures et des tableaux

**INTRODUCTION**.....1

## Chapitre I : PRESENTATION GENERALE

- I. Présentation de l'office nationale de l'électricité.....2
  - 1. Activités de l'ONE .....2
  - 2. Organigramme de l'ONE.....3
- II. Présentation de la direction d'Exploitation Thermique de Mohammedia .....4
  - 1. Historique.....4
  - 2. Fiche signalétique .....4
  - 3. Organigramme de la DXM .....5
  - 4. Principe de fonctionnement de la centrale .....5

## Chapitre II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- I. Les différents types de suspensions .....8
  - 1. Les supports rigides .....8
  - 2. Les supports variables (élastiques).....11
  - 3. Les supports constants (à portance constante).....13
- II. Détermination des différents types de sollicitations .....15
  - 1. Sollicitation due au poids .....15
  - 2. Sollicitation due au vent .....16
  - 3. Sollicitation due au séisme.....16
  - 4. Sollicitation due à la pression .....16
  - 5. Efforts dynamiques .....17
- III. Calcul de supportage.....17
  - 1. Calcul analytique .....17
  - 2. Calcul par un calculateur.....18
  - 3. Calcul simplifié .....19
- IV. Organigramme.....22

## Chapitre III : AMDEC DU SYSTEME DE SUPPORTAGE

- I. Historique et présentation de la méthode AMDEC.....23
  - 1. Historique .....23
  - 2. Présentation .....23
- II. Application de l'AMDEC au système de suspension .....27
  - 1. Q.Q.O.Q.C.C.P..... ; ; .....27
  - 2. Diagramme d'Ishikawa.....30
  - 3. Analyse par diagramme PARETO .....33
  - 4. Plan d'action .....34

## Chapitre IV : Application de la méthode au système



I. Cas de la chaudière .....	37
1. Définition des sollicitations .....	37
2. Détermination des sollicitations .....	37
3. Calcul des charges .....	38
4. Recherche des déplacements .....	40
II. Cas d'une conduite d'eau .....	40

### Chapitre V : MODELISATION ET CALCUL DE STRUCTURE

I. Présentation du logiciel .....	43
II. Création des pièces .....	44
III. Calcul des charges maximales.....	45

**CONCLUSION**.....50

**BIBLIOGRAPHIE**.....51

**ANNEXE**

## Liste des figures

- Figure 1 : Organigramme de l'ONE
- Figure 2 : Organigramme de la DXM
- Figure 3 : Schéma du principe
- Figure 4 : Désengagement d'un patin
- Figure 5 : Utilisation de rouleaux pour des supports glissants ou butée
- Figure 6 : Différents types de butées multidirectionnelles
- Figure 7 : Différents types d'encrages
- Figure 8 : Ressort nu avec coupelle
- Figure 9 : Boîtes à ressort
- Figure 10 : Support constant à bras de levier
- Figure 11: Support à ressort compensé
- Figure 12 : Equilibre d'une poutre reposant sur 2 appuis
- Figure 13 : Organigramme des différentes phases d'étude du supportage



- Figure 14 : Groupe de travail
- Figure 15 : Diagramme Pieuvre
- Figure 16 : Diagramme D'Ishikawa
- Figure 17 : Histogramme des criticités
- Figure 18 : Abaque de calcul de la flèche
- Figure 19 : Procédure d'analyse numérique

## Liste des tableaux

- Tableau 1 : Indice de fréquence
- Tableau 2 : Indice de gravité
- Tableau 4 : Indice de non détection
- Tableau 5 : Q.Q.O.Q.C.C.
- Tableau 6 : Analyse AMDEC
- Tableau 7 : cumul des criticités
- Tableau 8: Plan de control
- Tableau 9 : Dimensions des tubes écran
- Figure 10 : Sollicitations dues au poids
- Tableau 11 : Résultats



## **INTRODUCTION :**

Dans le cadre de la formation Masters sciences et techniques option Ingénierie Mécanique à l'université Sidi Mohammed Ben Abdallah, nous sommes amenés à passer un projet de fin d'études sous forme de stage en milieu professionnel. Ainsi, j'ai bénéficié d'un stage d'une durée de 4 mois à l'Office National de l'Electricité à la Direction d'exploitation Thermique de Mohammedia.

L'objectif de ce stage est tout d'abord de pouvoir se familiariser avec le monde professionnel et ensuite mettre en pratique les connaissances théoriques acquises en milieu scolaire dans le monde des entreprises.

Au cours de ce stage, un sujet nous a été proposé : Etude et Modélisation du système de suspension des équipements de la DXM à travers lequel les différentes parties suivantes ont été traitées.

- Etude Bibliographique
- Analyse des Modes de défaillances et études de leurs Effets et de leurs criticités
- Application de la méthode au système
- Modélisation et calcul de structure par le logiciel CATIA

## **CHAPITRE I : Présentation générale**

### **I. Présentation de l'Office National de l'Electricité**

L'office national de l'électricité est un opérateur de référence du secteur électrique au Maroc. Il est créé en 1963 par un arrêté gouvernemental (dahir). Cet établissement public à caractère industriel et commercial est doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

Placé sous la tutelle administrative du Ministère de l'Energie et des Mines.

Ses sources de production d'énergie électrique sont :

- Production hydraulique : 1660 MW (50% de la production totale en 5 / 2009 )
- Production thermique : 2200 MW (300 MW en cours de réalisation )
- Parc éolien : 140 MW .
- Parc solaire : 470 MW ( en cours à ain bni mathar).



Cependant la production nationale ne dépend pas uniquement de l'ONE mais il ya aussi :

- La Centrale de JORF et TAHDART 1740 MW .
- Les énergenies eoliennes 104 MW.
- L a Centrale de BNI MATHAR 470 MW
- La Liaison interconnexion Maroc – Europe 700 MW
- La Liaison Maroc – Maghreb arabe 200 MW (plus 400 MW en cours

## 1. Activités de l'ONE

Les principales activités de l'ONE se résument à :

- La production
- Le transport
- La distribution

### ➤ La production

Le parc de production de l'ONE est constitué de 24 usines hydroélectriques, 5 centrales thermiques à vapeur, 7 turbines à gaz et plusieurs centrales diesel et un parc éolien, donnant ainsi une puissance installée globale de 4516 MW.

### ➤ Le transport

Le transport de l'énergie électrique produite est du ressort exclusivement de l'ONE. C'est un réseau maillé réalisant une interconnexion entre les moyens de production.

### ➤ La distribution

La distribution de l'énergie électrique est assurée :

- ✓ Soit directement par l'ONE,
- ✓ Soit par des régies de distribution.
- ✓ Soit en gestion déléguée dans les villes de Rabat, Casablanca, Tanger et Tétouan qui est assurée par des opérateurs (Rédal, Lydec, Amendis, Tanger et Amendis Tétouan).

## 2. Organigramme de l'ONE

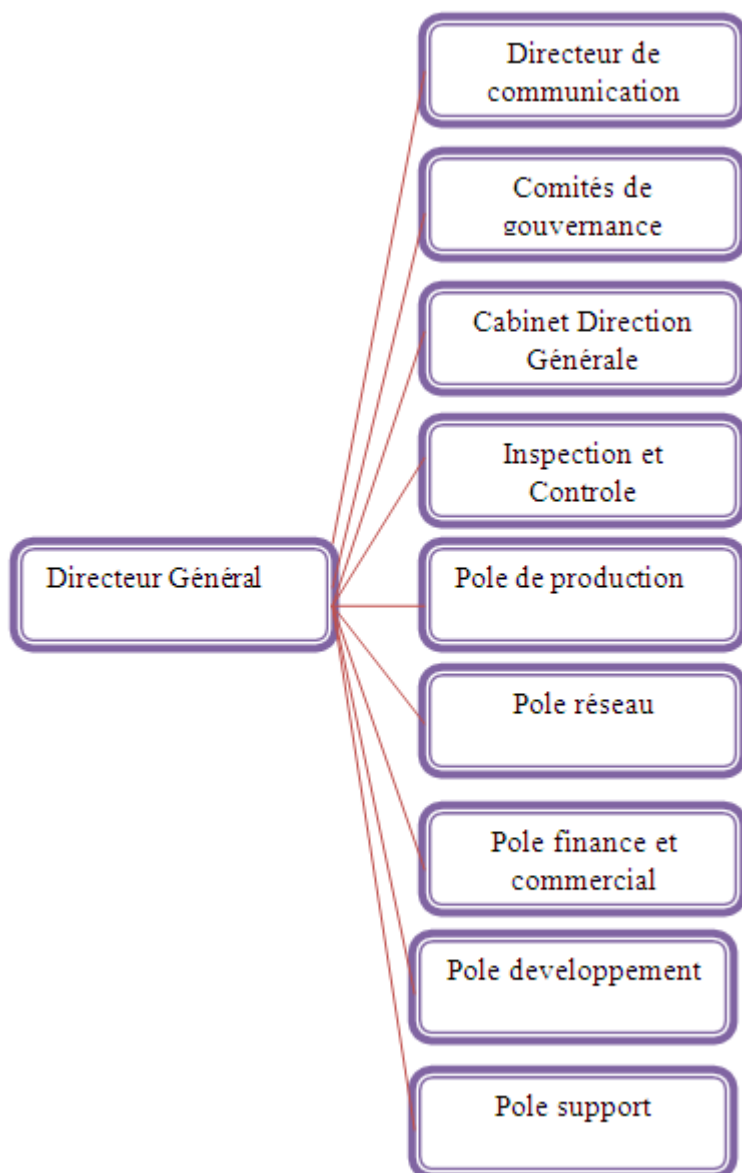


Figure 1 : Organigramme de l'ONE

## II. Présentation de la Direction

### d'Exploitation Thermique de Mohammedia(DXM)

#### 1. Historique

Pour satisfaire les besoins constamment en croissance en énergie électrique, l'Office National d'Electricité a mis depuis 1972 un plan d'action qui avait pour but la construction des usines Hydrauliques pour la satisfaction des besoins en heures de pointes, des centrales thermiques dont le but est d'assurer les besoins en énergie de base. Parmi des objectifs du plan thermique de L'ONE, figurait le projet de construction de la centrale thermique de Mohammedia en 4 tranches d'une puissance de 150 MW chacune (600MW)

#### 2. Fiche signalétique





- ✚ **Dénomination** : Centrale Thermique de Mohammedia
- ✚ **Siège social** : Mohammedia
- ✚ **Forme juridique** : division de l'Office National d'Electricité
- ✚ **Début des travaux de construction** : 1978
- ✚ **Date de mise en service** : octobre 1981
- ✚ **Age** : 32 ans
- ✚ **Objet social** : la production de l'énergie électrique destinée à satisfaire les besoins
- ✚ **Capacité de production** : 4 tranches d'une puissance de production unitaire de 150MWh
- ✚ **Capacité de production annuelle a pleine charge** : 5184 GWh
- ✚ **Effectif CTM** : 438 agents dont : - 46 cadres -155 maîtrises -237 exécutions

### 3. Organigramme de la DXM

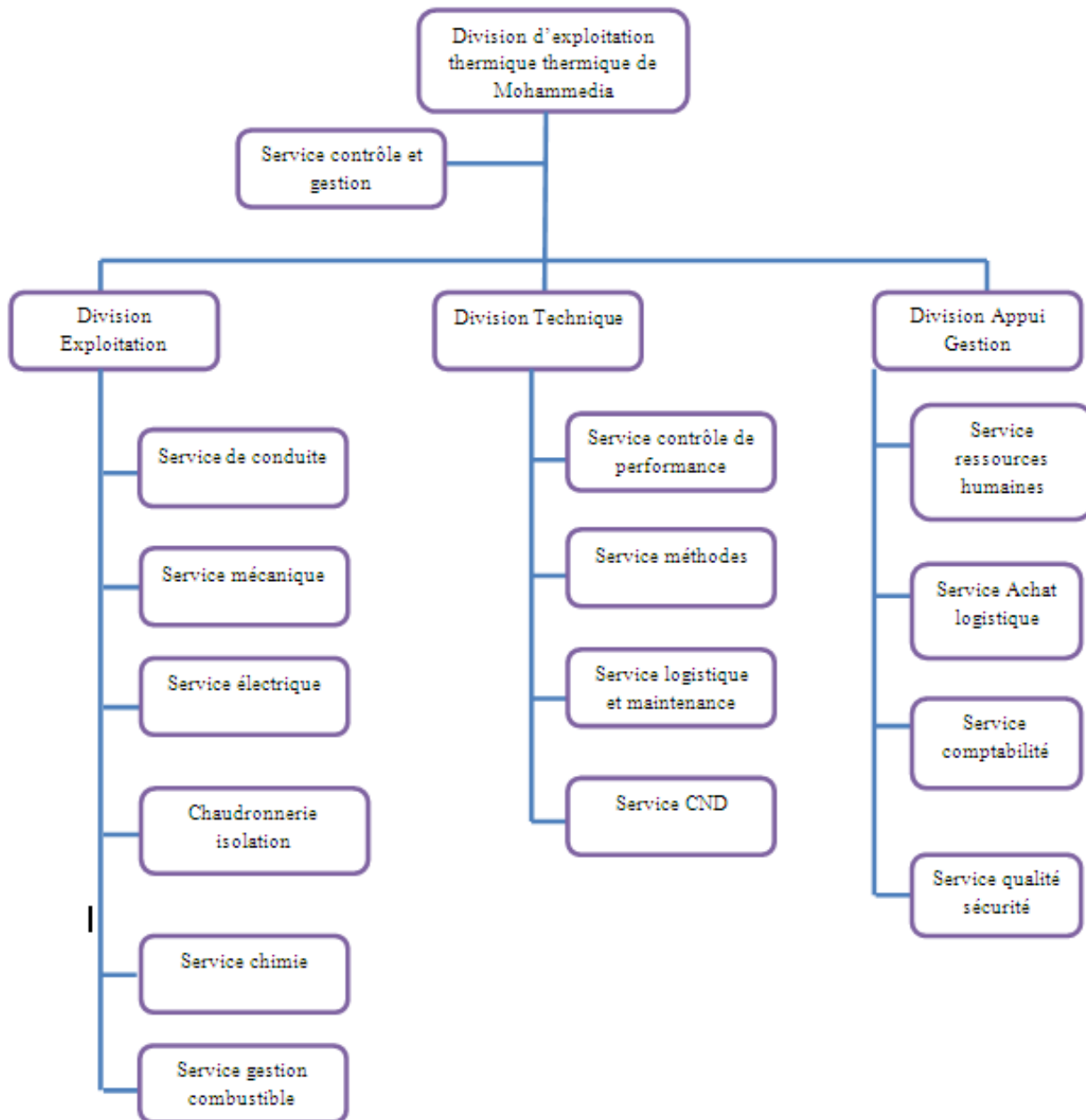


Figure 2 :  
Organigramme de la DXM

4. P  
r  
i  
n  
c  
i  
p  
e  
d  
e  
l  
o  
n  
c  
t  
i  
o

### nnement de la centrale.

La centrale thermique de Mohammedia est constituée de 4 tranches, 2 qui fonctionnent en fuel et 2 autres en charbon. D'une manière générale, chaque tranche est composée de :

- ✓ Une chaudière.
- ✓ Une turbine.
- ✓ Un alternateur
- ✓ Un transformateur



La production d'énergie électrique se fait suivant 3 transformations :

**1ere transformation :** l'énergie chimique contenue dans le combustible se transforme en énergie calorifique dans la chaudière

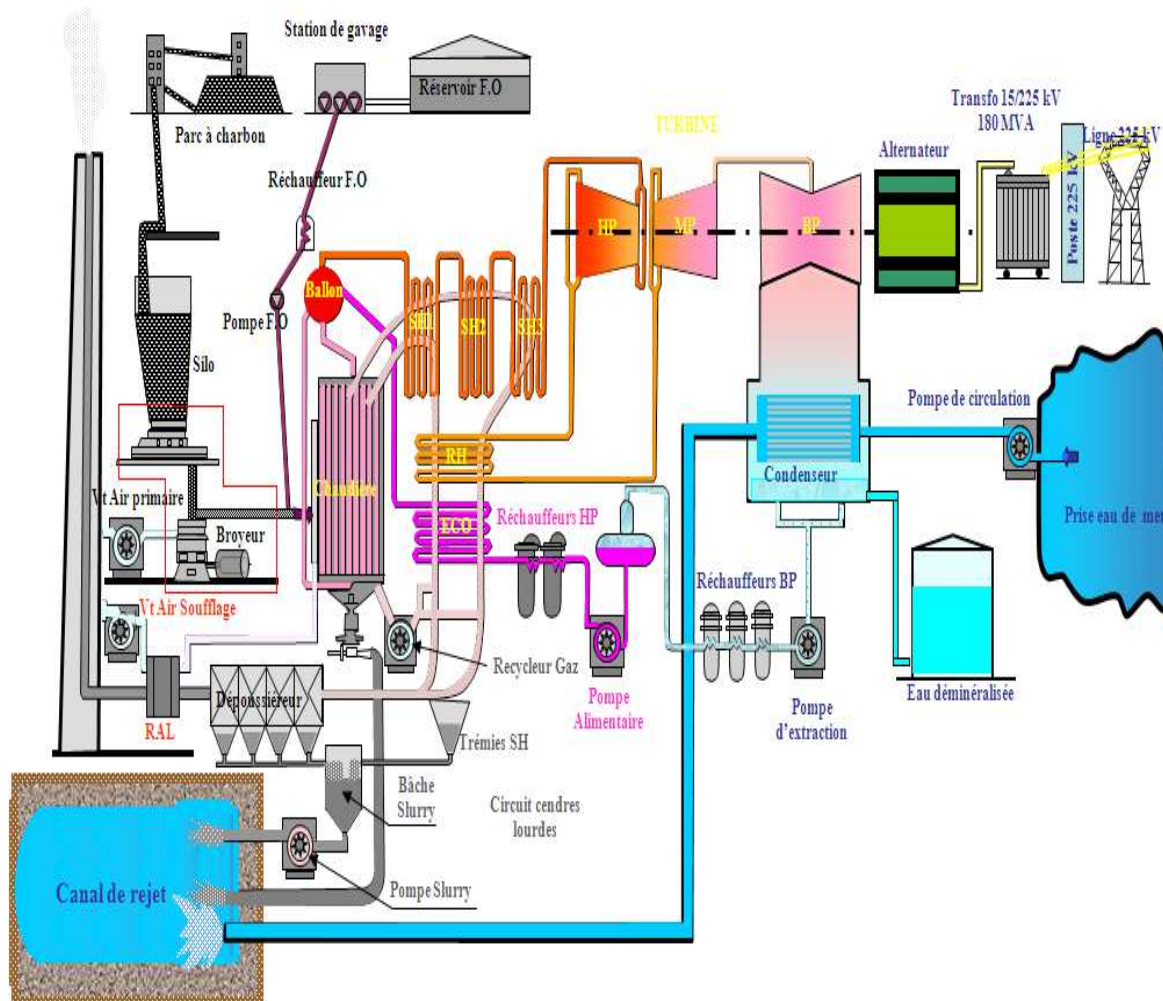
**2eme transformation :** l'énergie calorifique produite par la chaudière se transforme en énergie mécanique dans la turbine

**3eme transformation :** l'énergie mécanique produite par la turbine se transforme en énergie électrique dans l'alternateur que l'on excite, celle ci est ensuite évacuée au réseau à travers un transformateur élévateur.

## CHAPITRE II : Etude bibliographique

Figure 3 : Schéma du principe

### INTRODUCTION :



L'importance du supportage des tuyauteries à longes distances a été sous-estimée et a conduit, avec l'élévation des

conditions de service, à des déboires de plus en plus nombreux, tant sur le plan technique que sur le plan économique. Alors qu'à l'origine le terme supportage ne couvrait que les dispositifs destinés à



limiter les contraintes et les déformations dans la tuyauterie, l'usage a étendu ce terme à l'ensemble des dispositifs destinés à maintenir les contraintes, les efforts sur les ancrages et les déformations, quelle qu'en soit leur origine, à un niveau admissible. D'une manière générale, le supportage couvre l'ensemble des dispositifs reliant une tuyauterie aux structures environnantes et consiste à supprimer ou limiter de 6 à 1 les degrés de liberté d'un point particulier de la tuyauterie. Son rôle principal dans le tracé de la tuyauterie est de :

- supporter le poids de la tuyauterie et de ses équipements ;
- orienter et reporter les effets des sollicitations exercées par la tuyauterie sur l'environnement et sur elle-même.

Cependant pour réaliser une bonne étude du supportage d'une installation ; il faut tenir compte de la fonction du support, son emplacement et sa qualité de réalisation.

Dans ce chapitre nous allons essayer de définir les différents types de suspension, leur domaine d'utilisation et les méthodes de calcul utilisées dans ce domaine.

## **I. Les différents types de suspensions**

D'une manière générale, il existe 3 types de suspensions

- Supports rigides
- Supports constants
- Supports variables

Ces 3 types suspensions couvrent l'ensemble des cas rencontrés quelque soit la finalité (dilatation, poids, séisme)



## 1. Les Supports Rigides :

Ce type de support est utilisé lorsque le déplacement vertical de la tuyauterie est très faible : inférieur à 3mm. Cependant il existe plusieurs types de supports rigides :

### ➤ Butée statique (tirants, pendants)

C'est la solution la plus économique si l'on dispose d'une structure située au-dessus de la tuyauterie, et techniquement la plus satisfaisante si les déplacements horizontaux de la tuyauterie sont importants, puisqu'il n'y a pas de frottements. Par contre, ce type de supportage est particulièrement sensible à toutes forces agissant perpendiculairement à l'axe des pendants (vent, séisme, vibrations, etc.)

Elle est utilisée dans les cas de situations suivantes.

- a) des tuyauteries froides ;
- b) des tuyauteries chaudes situées dans un plan horizontal ;
- c) de certains points sur des tuyauteries spatiales chaudes, qui ne subissent aucun déplacement vertical lors de la variation de température de la tuyauterie

Les deux principales conditions d'emploi des tirants sont :

- la limitation du débattement du tirant (pour éviter l'apparition d'efforts parasites)
- l'absence de compression ( pour éviter le phénomène de flambage des tirants )

### ➤ Patins

Ce type de supports très utilisé en raffinerie, pétrochimie lorsque l'on dispose d'une structure sous-jacente. Ce pendant il présente certains inconvénients qui sont :

- le risque de désengagement ;

Il peut être dû à la longueur de patin insuffisante, compte tenu de la dilatation, mais qui le plus souvent est le résultat d'un positionnement déficient au montage. A chaud, le patin ne repose plus sur le fer sur lequel il devrait glisser ce qui provoquera, lors du refroidissement de la tuyauterie, une détérioration de la charpente secondaire et un arrachement du patin avec éventuellement une fissuration de la paroi du tube.

Pour éviter cet incident, il suffirait de positionner convenablement, lors du montage, le patin par rapport au fer sur lequel il repose. En fait, il est plus simple de prévoir des patins dont la longueur est très supérieure à la dilatation (x 3) et de les monter centrés sur leur fer d'appui.

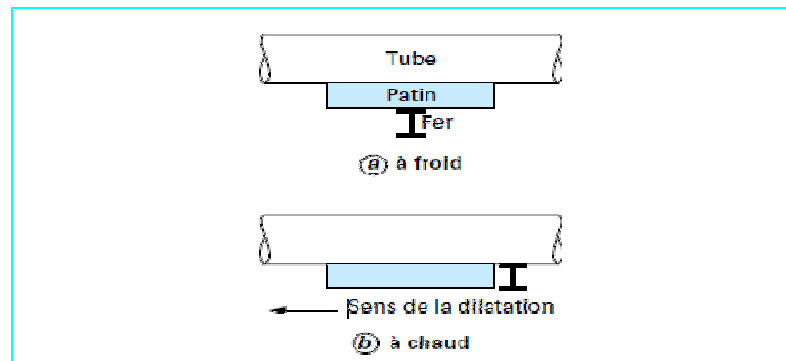


Figure 4 : Désengagement d'un patin

- les frottements.

C'est l'inconvénient majeur des patins. En effet, le supportage doit être le plus neutre possible afin de ne pas modifier le système des contraintes dans la tuyauterie l'hypothèse. Or, cette hypothèse implique l'absence ou tout au moins une faible valeur des frottements au droit des supports

#### ➤ Les rouleaux

Le frottement de roulement étant inférieur au frottement de glissement, l'utilisation de rouleaux devrait conduire à une réduction des frottements, et cette solution est parfois utilisée pour des supports glissants ou des butées. La force de frottement est réduite jusqu'à 20 % de celle que l'on obtient avec des patins, mais varie beaucoup avec la qualité de la réalisation des rouleaux et des parties mobiles. En fait, c'est une solution assez coûteuse qui nécessite une mise en œuvre soignée (jeu, qualité de surface de roulement, etc.). Il faut également se souvenir que les mouvements sont lents et que la rouille recouvre fréquemment les surfaces en contact.

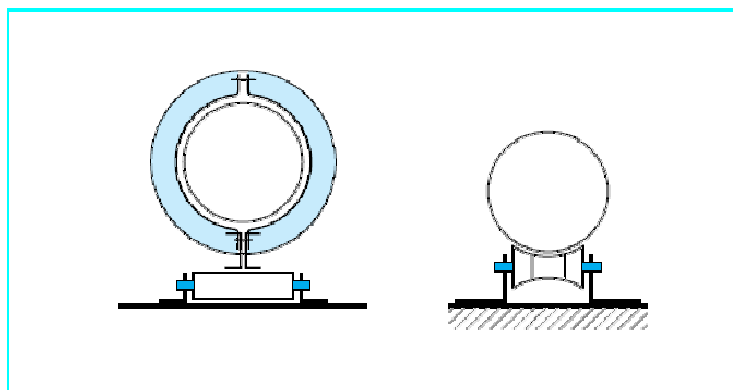


Figure 5:  
pour des

Utilisation de rouleaux  
supports glissants ou



butée

➤ Butées multidirectionnelles

Ce type de butée, utilisé souvent pour contrôler la déformation de la tuyauterie, est une combinaison de patins qui comporte, en ce qui concerne le frottement, les mêmes inconvénients que les patins simples. En général, le déplacement axial de la tuyauterie est libre (figure suivante). Le support de la figure a est à proscrire, malgré sa simplicité, pour les tuyauteries chaudes puisque la dilatation radiale de la tuyauterie est entravée. Le support de la figure b est à utiliser dans ce cas.

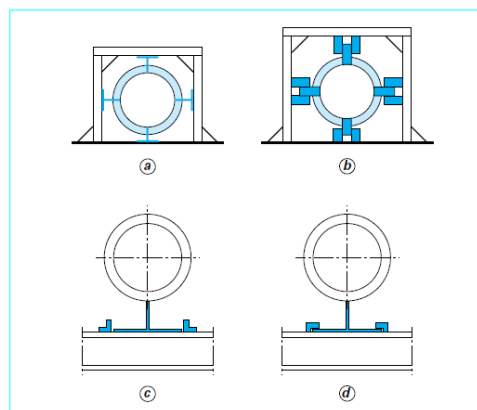


Figure 6: Différents types

de butées multidirectionnelle

➤ Ancrages

Les ancrages peuvent être considérés comme des butées multidirectionnelles bloquant les six degrés de liberté d'un point d'une tuyauterie : les trois déplacements et les trois rotations. Ils permettent d'isoler mécaniquement les différentes parties d'un réseau complexe et d'en effectuer les calculs séparément. La qualité primordiale d'un ancrage sera donc sa grande rigidité d'autant plus, qu'en général, il sera soumis aux efforts maximaux apparaissant dans la ligne. Ils sont constitués par des tubes ou tôles soudés sur la tuyauterie et fortement ancrés aux structures voisines (figure a et c). Encore faut-il s'assurer que celles-ci sont suffisamment rigides, surtout dans le cas de charpentes métalliques.

Dans le cas de tuyauteries de petits diamètres  $D < 50$  mm, l'usage de colliers serrés peut être toléré si la température de service n'est pas trop élevée (de l'ordre de  $100$  °C). Ces colliers sont d'utilisation courante pour les tuyauteries travaillant à température ambiante (figure b). Dans la plupart des cas, ces ancrages absorbent des efforts dus à la dilatation, aux séismes, aux vents, etc. Cependant, ils peuvent être soumis à des efforts dus à la pression, dans le cas de lignes comprenant des compensateurs de dilatation non équilibrés

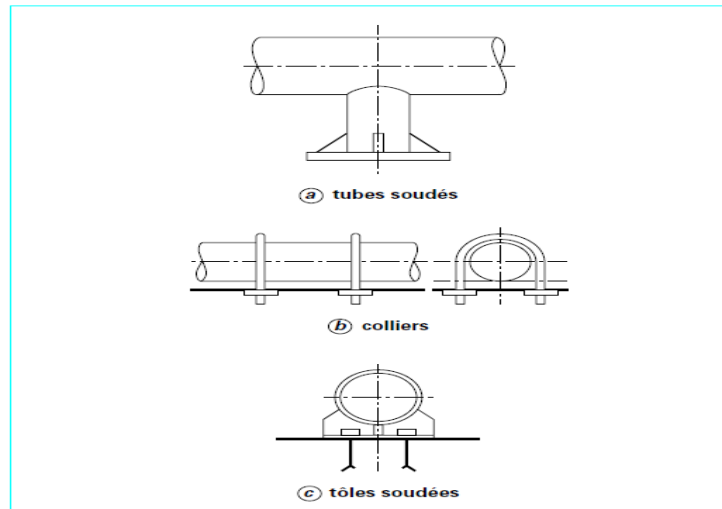


Figure 7:

Différents types

d'encrages

## 2. Support Variable (élastique) :

Ce support est constitué d'une boîte à réaction variable, construction simple avec un ressort travaillant en compression avec la variation de la charge entre la position froide et la position chaude (ne devant pas dépasser 25%).

Ainsi, pour compenser les déplacements verticaux minimes de la tuyauterie, des éléments à ressort sont utilisés comme supports. Le fonctionnement de ces composants est basé sur des ressorts hélicoïdaux prérelaxés qui exercent une charge variable sur tout le champ du déplacement selon les caractéristiques du ressort. Lorsque la tuyauterie se dilate sous l'effet de la température, il est nécessaire, pour éviter l'apparition des contraintes de bridage, que les supports suivent la ligne. Les variations de charge dues à ceci sont limitées par des spécifications correspondantes basées sur les calculs des contraintes de la tuyauterie dépendant de la sensibilité du système.

Deux critères sont à respecter pour un bon choix de supports variables :

- L'utilisation de ressorts dont les raideurs seront les plus faibles possible, compte tenu des impératifs de fabrication et d'installation (encombrement) ;
- l'utilisation de ressorts pour de faibles déplacements.

Il est d'usage de **limiter la variation de portance ( $\Delta$ )** à 25 % de la charge à supporter.

Avec  $\Delta = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min})$  avec P la charge

On distingue cependant deux types de supports variables.

### ➤ Ressort nu

avec coupelle

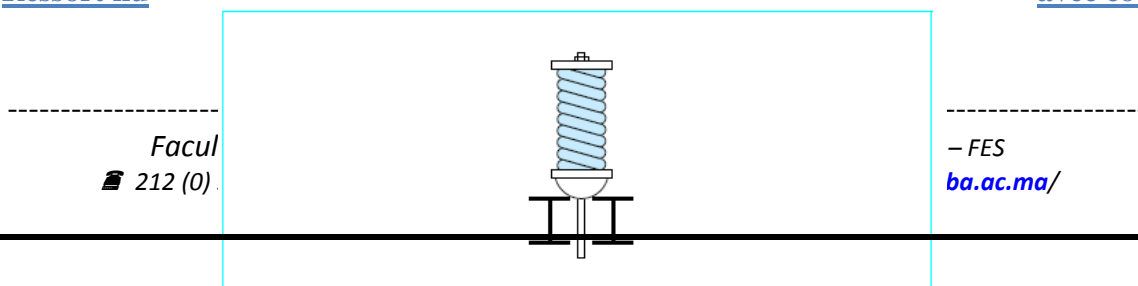






Figure 8 : Ressort nu avec coupelle

**Avantage :**

- économique ;
- facilité de montage ;
- peu encombrant.

**Inconvénients :**

- raideur en général élevée ;
- ne comporte pas d'indicateur de tarage
- ne peut être livré préтарé ;
- blocage difficile lors des épreuves hydrauliques.

**Emploi :**

- pour des déplacements faibles 10 mm.

➤ Boîte à ressort

Ce sont des appareils plus sophistiqués, qui n'ont pas les inconvénients des supports nus et qui ont les avantages suivants :

- leur raideur est plus faible ; les catalogues des différents fabricants offrent, dans toute la gamme, deux et parfois trois séries ayant des raideurs différentes, le rapport des raideurs de deux séries étant un nombre entier (superposition de 2 ou 3 ressorts identiques) ;
- ils peuvent être préтарés ;
- ils comportent un indicateur de tarage et, en général, un dispositif de blocage pour les épreuves hydrauliques ;

•

ils existent  
en  
versions  
pendues  
ou posées.

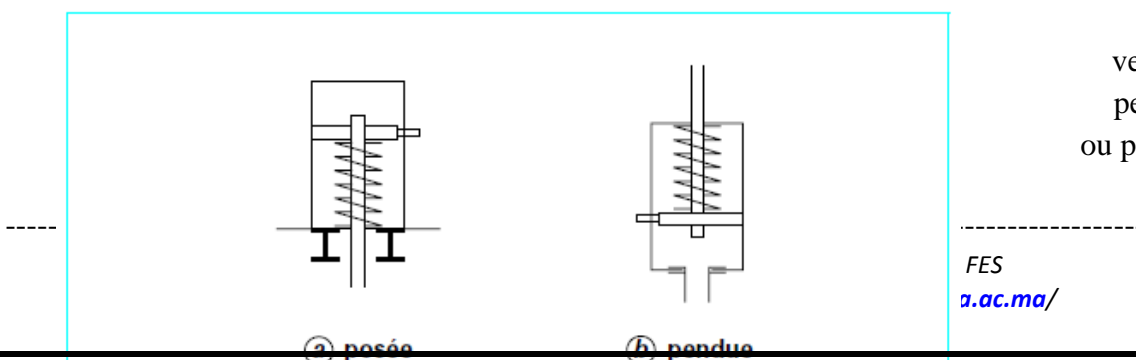




Figure 9 : Boîtes à ressort

### Remarque

Les supports en série sont utilisés pour réduire la raideur de la suspension. La charge ne varie pas. Les supports en parallèle permettent d'augmenter la charge supportée. Dans ce cas, rappelons que la raideur de l'ensemble de  $n$  ressorts de raideur  $K$  est :  $nK$ .

### 2. Support Constant (à portance constante) :

Il est constitué d'une boîte à réaction constante, construction plus complexe avec une mécanique à bras de levier, ou des ressorts complémentaires, et cela pour compenser les variations de charge du ressort principal, variation de charge qui ne doit dépasser 6%.

Dans le cas où le déplacement vertical de la tuyauterie est trop important ( $> 25-30$  mm), la variation de portance devient appréciable et se traduit par un ensemble de forces parasites déformant la tuyauterie et pouvant augmenter notablement les efforts aux ancrages.

Pour cette raison les supports constants ont été réalisés de telle sorte que la réaction reste constante quelle que soit leur position (variation de portance nulle).

On distingue les supports constants à bras de levier et les supports constants à ressort compensé.

#### ➤ Support constant à bras de levier

Son fonctionnement consiste à contrebalancer la variation de réaction du ressort par une variation concomitante d'un bras de levier

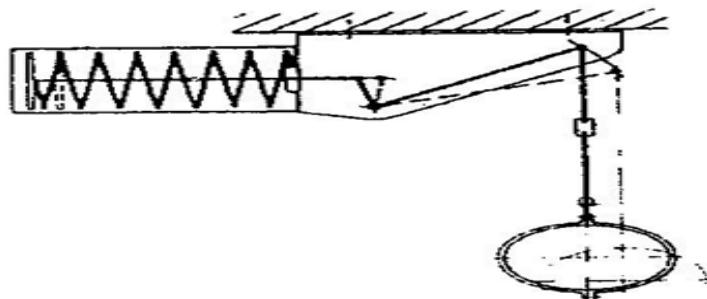




Figure 10 : Support constant à bras de levier

➤ Support constant à ressort compensé :

Les ressorts secondaires permettent de compenser les variations de charge du ressort principal de telle sorte que la portance soit la plus faible possible ou nulle.

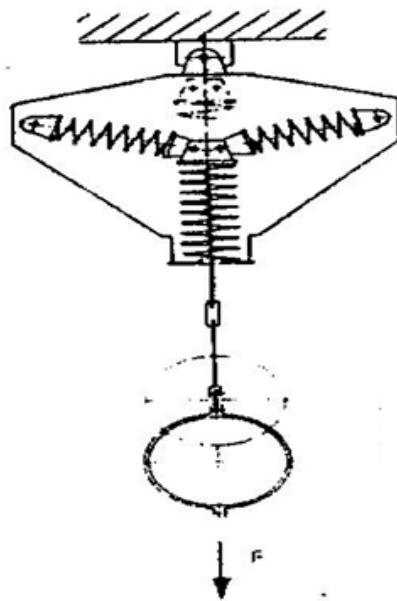


Figure 11: Support à ressort compensé

**Remarque**

Les supports à portance constante comportent :

- un blocage qui facilite le montage et permet d'exécuter les épreuves hydrauliques sans déformation de la ligne. Ce blocage n'est retiré qu'au dernier moment avant le démarrage. Il devra être remis lors d'épreuves hydrauliques ultérieures (comme l'épreuve décennale), ou si une portion de tuyauterie est démontée ;
- une possibilité de réglage après montage, de l'ordre de 10 % environ de la charge nominale. Cette possibilité est nécessitée par les imprécisions et tolérances dans le poids des tubes, accessoires, calorifuge ;
- un curseur permettant de s'assurer que le support n'est pas en butée.



## **II. Détermination des différents types de sollicitations**

Le constructeur ayant à étudier l'ensemble supports nécessaires pour contrôler le comportement de la tuyauterie sous l'effet des sollicitations en service devra en faire la liste en se basant, si possible, sur un cahier des charges établi par son client, et les quantifier.

Il s'agit le plus souvent de déterminer la valeur de forces soit concentrées, soit uniformément réparties, qui seront ensuite introduites comme données dans les calculs, qu'ils soient simplifiés ou exécutés sur ordinateur. Nous examinerons quelques-unes des sollicitations les plus fréquemment rencontrées, en précisant les formules qui permettent de les déterminer.

### **1. Sollicitation due au poids**

La première fonction du supportage est de limiter les déformations et les contraintes dans la tuyauterie dues à son propre poids ainsi qu'à celui du fluide véhiculé. On distingue : le poids propre du tube, le poids du calorifuge, le poids des accessoires et appareils, le poids du fluide véhiculé, l'épreuve hydraulique ou le lessivage.

#### **➤ Poids propre du tube**

En général, l'épaisseur prise en compte, pour déterminer le poids du tube, est l'épaisseur théorique, mais il faut se méfier des tolérances de fabrication qui peuvent faire varier cette épaisseur de 5 %. Il sera parfois nécessaire de procéder à un réglage des supports sur le site, pour tenir compte des poids réels.

#### **➤ Poids des accessoires, appareils**

En un certain nombre de points de la tuyauterie, des charges concentrées dues soit à des appareils de mesure (vannes, détendeurs), soit à des accessoires (brides, pièces forgées ou moulées), agissent localement et peuvent provoquer des déformations importantes, si elles sont mal évaluées. Lorsqu'il s'agit de matériels commercialisés, le fournisseur doit en préciser le poids, mais il est nécessaire de s'assurer :

- que le poids indiqué est raisonnablement précis ;
- qu'il est complet (exemple : le poids d'une vanne est souvent donné sans son servomoteur).

En ce qui concerne les accessoires normalisés, les poids sont donnés soit par les normes, soit par les catalogues de fournisseurs. Les coudes, tés, sont souvent plus épais que l'épaisseur nominale du tube sur lequel ils se raccordent. Ne pas oublier également le poids des pièces reliant la tuyauterie au support proprement dit (tiges, palonniers, attaches, etc.).

#### **➤ Poids du fluide véhiculé**



Dans le cas de la vapeur ou d'un gaz, le poids est négligeable, et il est d'usage de ne pas en tenir compte pour la détermination du supportage en service.

Pour les liquides, la surcharge est d'autant plus forte par rapport au poids de la tuyauterie, que le diamètre du tube est plus important

## **2. Sollicitation due au vent**

Si la tuyauterie est située à l'extérieur, on devra vérifier que, soumis à l'effet du vent, elle ne risque pas de subir des déformations importantes, surtout si elle est isolée et supportée par l'intermédiaire de poteaux. Le concepteur devra se référer aux normes préétablies.

## **3. Sollicitation due au séisme**

Il devient de plus en plus fréquent, principalement pour les installations Nucléaires, de tenir compte de l'existence d'un séisme éventuel dont l'intensité est définie en fonction de l'histoire sismique du site et de concevoir le supportage afin qu'aucune perturbation fonctionnelle n'apparaisse dans ce cas.

## **4. Sollicitation due à la pression**

La pression interne d'une tuyauterie ne se traduit par une force externe que dans le cas où une section de la tuyauterie ne peut résister à l'effet de fond. Ce cas se rencontre si des compensateurs de dilatation (sans tirants) sont installés, ou si les joints n'offrent aucune résistance aux efforts axiaux (cas des tuyauteries en fonte). Des ancrages ou des butées devront reprendre les efforts engendrés par la pression s'exerçant sur la surface du tube. C'est l'effet de fond. Sa valeur est égale à :

$$F_p = p \times \frac{\pi d^2}{4 \cdot 100}$$

avec

p pression, d diamètre intérieur de la tuyauterie

## **5. Efforts dynamiques**

Parmi les efforts dynamiques qui peuvent apparaître dans une tuyauterie, nous étudierons :

- les efforts dans les coudes dus à la vitesse du fluide ;
- les échappements de soupapes.

### **➤ Effort dans les coudes dû à la vitesse du fluide**

Lorsqu'un fluide dense circule à grande vitesse dans une canalisation, les coudes sont soumis à une force centrifuge dont la valeur (en daN) est :

$$F_c = (2S\gamma (V^2/g)) \times \sin (\theta/2)$$

avec



S section intérieure du tube  $\gamma$  poids volumique

V vitesse du fluide

g accélération de la pesanteur

$\theta$  angle du coude

### ➤ Échappements de soupapes

Les tuyauteries de vapeur ou de gaz devant être munies de soupapes, celles-ci exercent, lors de leur fonctionnement, une force brutale dont il importe de limiter les effets sur la tuyauterie. La meilleure solution, mais qui n'est pas toujours possible, est de positionner la soupape près d'un ancrage. Si la tuyauterie au droit de la soupape descend entre froid et chaud, il suffit de prévoir une butée verticale à chaud. Si au contraire la tuyauterie monte, il sera nécessaire d'introduire cette force dans le calcul de la ligne et de prévoir un amortisseur pour éviter un mouvement trop brutal. La force à introduire dans le calcul de flexibilité est indiquée par le constructeur de la soupape.

## **III. Calcul de supportage**

La tuyauterie étant un élément vital de certaines installations industrielles, de sérieuses études doivent être faites à son égard mais aussi sur les éléments qui seront appelés à assurer son bon fonctionnement : Les supports

### **1. Calcul analytique**

Le calcul de flexibilité d'une tuyauterie AB peut se ramener à la détermination d'une matrice de rigidité reliant le torseur appliqué à l'extrémité supposée libre aux déplacements généralisés en ce point. Si [FB] est la matrice colonne représentant le torseur en B, écrite sous la forme :

$$[FB] = [FB_x, FB_y, FB_z, MB_x, MB_y, MB_z]^T$$

et si [DB] est la matrice colonne des déplacements généralisés, c'est-à-dire :

$$[DB] = [DB_x, DB_y, DB_z, w_{B_x}, w_{B_y}, w_{B_z}]^T$$

on a la relation entre ces deux matrices :

$$[FB] = [KAB] \times [DB] \quad (1)$$

La matrice [KAB] est appelée matrice de rigidité de la tuyauterie AB et représente sa résistance à la déformation. Elle est d'ordre 6 x 6 dans le cas le plus simple et symétrique en vertu du théorème de réciprocité de Maxwell.

L'équation (1) est la plus utilisée puisque ce sont, en général, les déplacements qui sont connus (par exemple, dilatation entre A et B) alors que forces et moments sont à calculer. Cependant, dans



certain cas qui nous intéressent, ce sont les forces qui sont imposées et les déplacements sont inconnus. Dans ce cas, l'équation (1) peut s'écrire :

$$[DB] = [KAB]^{-1} \times [FB]$$

$[KAB]^{-1}$  matrice inverse de la matrice de rigidité  $[KAB]$  est appelée matrice de flexibilité de la tuyauterie AB et est notée  $[fAB]$  :

$$[DB] = [fAB] \times [FB] \quad (2)$$

Dans le cas d'une tuyauterie simple reliant des ancrages, la matrice  $[f]$  est une matrice  $6 \times 6$  et est constituée par la somme des matrices de flexibilité de chaque tronçon élémentaire (coude, tronçon droit) convenablement orientées et normalisées par rapport à un point unique quelconque (qui peut être l'extrémité libre). Ce n'est du reste que par cette normalisation que l'addition des matrices de flexibilité est valable.

## **2. Calcul du supportage par un ordinateur**

### ➤ Méthodologie :

L'utilisation de la méthode précédente conduit à des inversions de matrices très importantes et ne peut être utilisée qu'avec l'emploi d'un ordinateur. Mais, dans ce cas, il est intéressant d'obtenir directement, sans sortie intermédiaire, les efforts, contraintes et déformations de la tuyauterie avec son supportage réel, en enchaînant les différents calculs :

- Un premier calcul est effectué dans le but de connaître l'amplitude du déplacement au droit de chaque support ;
- un second calcul est exécuté après avoir positionné des butées au droit de chaque support, pour obtenir la réaction sur chacun de ces supports ;

Connaissant pour chaque point supporté, la charge supportée et la course du support, le calculateur choisit dans un catalogue de fournisseur le support convenable et indique pour chaque point supporté, dans les différentes variantes de fonctionnement

- ❖ le type du support choisi ainsi que ses caractéristiques ;
- ❖ l'amplitude du déplacement du point supporté ;
- ❖ la charge à supporter ;
- ❖ la réaction du support

## **3. Calcul simplifié**

### ➤ Principe



Les méthodes exposées précédemment sont certes précises et s'appliquent à peu près à tous les cas rencontrés en pratique. Or, très souvent, soit qu'il ne s'agisse que d'un calcul préliminaire, soit que l'on n'exige pas, pour le calcul définitif une grande précision, la connaissance d'une méthode manuelle de détermination du supportage est une nécessité pour le concepteur. Il devra donc obtenir pour chaque point où a été positionné un support :

- la valeur de la charge à reprendre par le support en ce point ;
- le déplacement approximatif du point à supporter

➤ Charges à reprendre sur chaque ressort

Elle est basée sur le principe de l'équilibre d'une poutre reposant sur deux appuis A et B

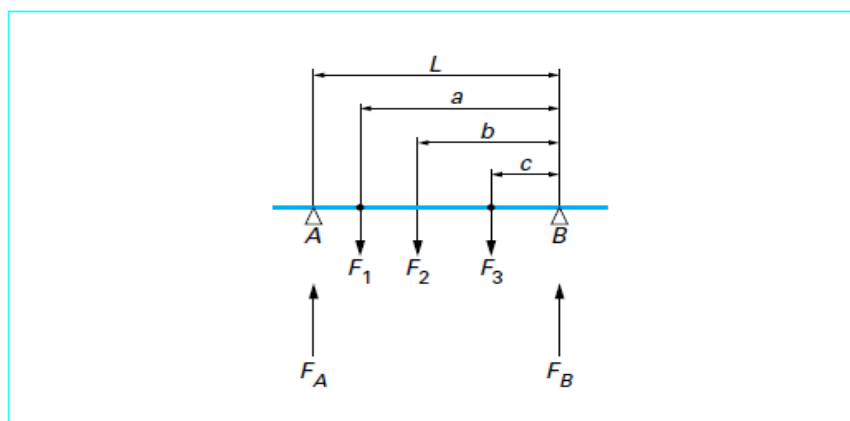


Figure 12 :  
poutre

Equilibre d'une  
reposant sur 2 appuis

On sait que dans ce cas, les réactions aux appuis A et B :  $F_A$  et  $F_B$  sont déterminées par deux équations, l'une établissant l'équilibre des moments par rapport à un point quelconque (ici B)

$$F_1 a + F_2 b + F_3 c = F_A L$$

et l'autre, l'équilibre des forces :  $F_1 + F_2 + F_3 = (F_A + F_B)$

D'où:

$$F_A = (F_1 a + F_2 b + F_3 c) / L$$

L'opération sera répétée pour chaque travée. La réaction sur un support sera égale à la somme des réactions des travées situées de part et d'autre de ce support.

➤ Calcul des déplacements

L'amplitude des déplacements du support permet largement de déterminer son type : si

- Le déplacement vertical est très faibles  $< 3\text{mm}$ , on utilise des supports fixes
- Le déplacement est plus ou moins important avoisine les  $10\text{mm}$ , on choisit les supports variables





- Le déplacement vertical dépasse 25 mm, le choix se porte sur les supports à portance constante.

Après avoir calculé la réaction que doit exercer chaque support sur la tuyauterie, le concepteur doit évaluer :

- l'amplitude du déplacement au droit du support, afin d'en définir le type (à portance variable ou à portance constante ou éventuellement rigide) et sa course de fonctionnement qui, pour certains types, doit être précisée à la commande de ces appareils ;
- le sens du déplacement. Lorsque le déplacement est important, il est parfois onéreux, sinon impossible, de prévoir une course de l'appareil double du déplacement prévu et d'installer le support dans sa position médiane. Il est donc nécessaire de connaître le sens du déplacement et d'installer le support dans une position extrême (au point bas si la tuyauterie monte entre froid et chaud, ou inversement). Notons qu'il n'est pas nécessaire que les valeurs des déplacements calculés soient précises. Il suffira que la marge de sécurité sur la course du support choisi soit suffisamment importante pour s'assurer qu'aucune butée n'apparaîtra en service.

### **Remarque :**

Le supportage d'une tuyauterie sera considéré comme satisfaisant si les objectifs suivants sont atteints :

- faible prix de revient en études ;
- faible coût et délai de fabrication réduit ;
- de la facilité de montage ;
- des possibilités de réglage, nécessitées par les imprécisions dans l'implantation des structures voisines ;
- d'une grande fiabilité en service.

Notons à ce sujet, qu'un support n'est défini avec précision que très tard dans le cours de l'étude d'installation et qu'il est souhaitable qu'il soit installé avant les tuyauteries elles-mêmes.

### **Quelques règles à respecter**

Un certain nombre de règles simples doivent être présentes à l'esprit du concepteur. La liste suivante n'est pas exhaustive et chacun, en fonction de son expérience dans un type d'installation donné, se devra de la compléter :

- définir les sollicitations qui doivent être prises en compte pour le supportage ;



- prévoir un écartement entre tuyauteries permettant le calorifugeage, les attaches et les brides éventuelles ;
- éviter des passages de tuyauteries dans des zones vides, sans possibilité de supportage utiliser le plus possible les charpentes existantes ;
- si un supportage par pendants est prévu, laisser une distance suffisante entre la tuyauterie et les charpentes supérieures pour installer des pendants assez longs (l'angle des pendants avec la verticale ne devant pas excéder 3,5 à 4°) ; prévoir les ancrages et les butées importantes au voisinage de structures largement dimensionnées et peu déformables ; dans le cas de béton, prévoir des tiges scellées lors du coulage ou des fourreaux ;
- pour les tuyauteries lourdes et dont la température de service est élevée, s'orienter vers un supportage par pendants pour minimiser les réactions horizontales dues aux frottements.

#### **IV. Organigramme**

L'organigramme qui suit exprime toutes les phases nécessaires pour faire une étude adéquate de supportage

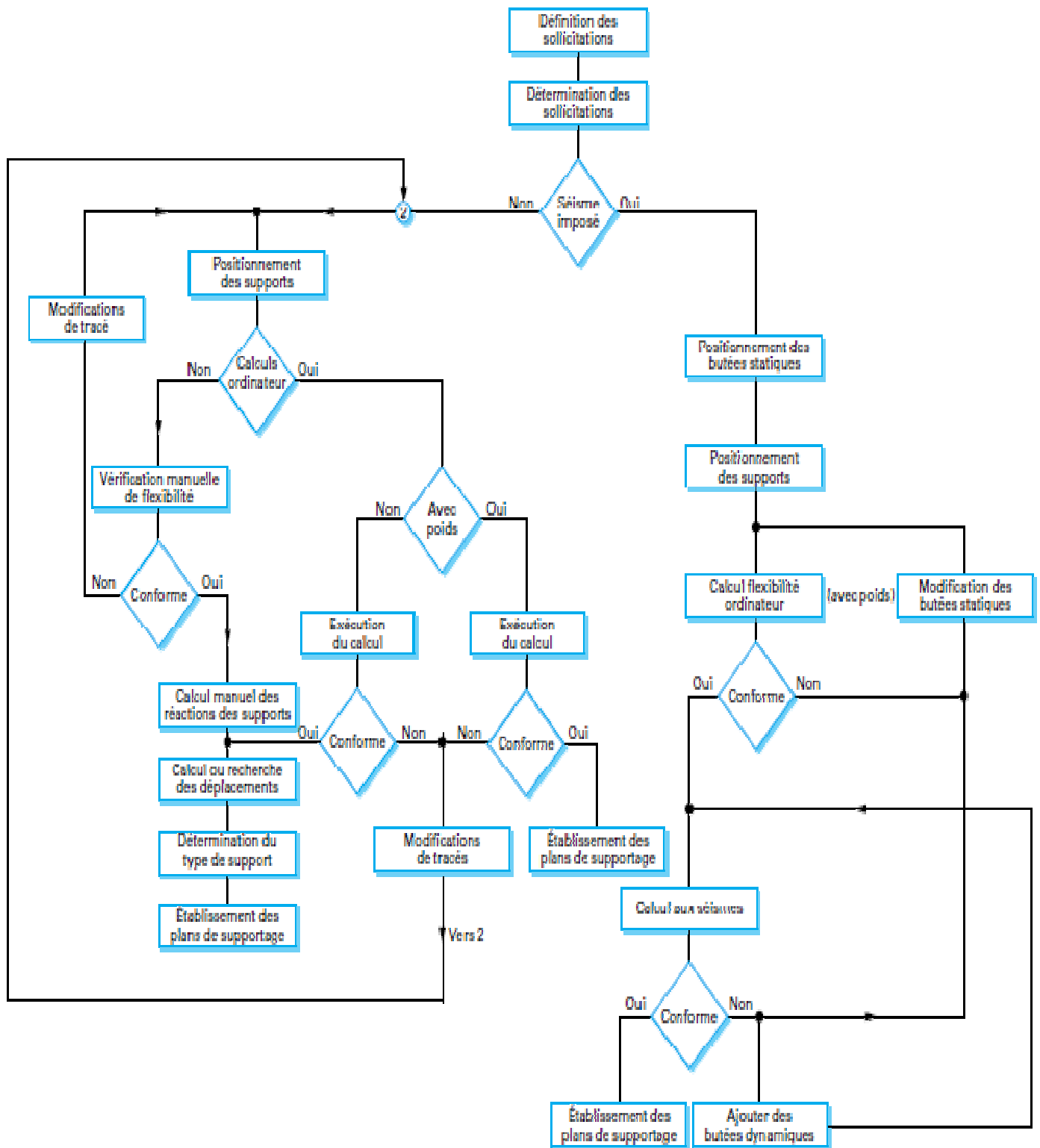




Figure 13 : Organigramme des différentes phases d'étude du supportage

## CHAPITRE III : AMDEC du système de supportage

### Historique et présentation de la méthode AMDEC

#### 1. Historique

(Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité)

Historiquement, la méthode AMDEC est une extension de la méthode AMDE (Analyse des Modes de défaillance et de leurs Effets) à un calcul de criticité prés. Elle a été créée en 1966 aux Etats Unis par la société Mc Donnell Douglass et mise en service par la NASA, le secteur de l'armement et l'industrie aéronautique sous le nom de FMEA (Faillure Modes and Effect Analysis).

Elle a pris son essor en Europe au cours des années soixante-dix dans l'industrie chimique, nucléaire, automobile (Toyota, Nissan, BMW ...) et qui l'ont rendu en une méthode très utile dans l'anticipation des problèmes dans tous les systèmes du processus d'affaires et dans la recherche des solutions à priori les solutions préventives

#### 2. Présentation

L'AMDEC est une Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production

##### ➤ Définition

L'Association Française de Normalisation définit l'AMDEC comme étant : « Une Méthode inductive d'analyse de système utilisée pour l'étude systématique des causes et la maîtrise des effets des défaillances susceptibles d'affecter les composants de ce système ». Autrement dit : c'est une technique d'analyse préventive de la Sûreté De Fonctionnement (SDF) d'un système (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité).

##### ➤ Différentes phases de l' AMDEC

Pour réussir une bonne étude AMDEC il est nécessaire de suivre certaines étapes prédéfinies :

##### ➤ Initialisation de la méthode

Lors de cette première phase d'initialisation, il faudra d'abord valider le besoin : Pourquoi fait-on cette étude ?

- **Délimitation**



Puis il faudra délimiter cette étude : C'est une description précise du produit, de la phase du projet et des possibilités de remise en cause par l'analyse.

- **Constitution du groupe de travail**

L'AMDEC fait appel à l'expérience, pour rassembler toutes les informations que détiennent les uns et les autres, mais aussi pour faire évoluer les conclusions que chacun en tire et éviter que tous restent sur leur a priori.

On a très souvent intérêt à faire cette analyse en groupe de travail. Les méthodes de travail en groupe doivent être connues et pratiquées afin d'assurer une efficacité optimale en groupe. C'est un critère de réussite essentiel.

- **Planification des réunions**

Il est difficile de réunir 5 à 8 personnes d'un certain niveau (souvent peu disponibles). Pour cela, il faut planifier de la phase "initialisation" jusqu'à la phase "actions menées" en respectant une fréquence d'une demi-journée tous les 15 jours en général.

- Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une méthode structurée qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. L'analyse fonctionnelle va donc nous permettre de raisonner systématiquement en séparant les objectifs des moyens. C'est une recherche systématique de toutes les composantes du besoin des utilisateurs, sous forme de fonction.

Cette phase est essentielle pour permettre de concevoir, de réaliser ou d'étudier un produit qui répond aux besoins des utilisateurs.

- Analyse des modes de défaillances

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche consiste en une recherche des modes de défaillance (par exemple : perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive), des effets au niveau supérieur pouvant être complétés par une recherche, des causes (choix pouvant être guidé par la gravité des conséquences) et de la criticité.

- **Mode de défaillance**

Le mode de défaillance est relatif à une fonction. Il s'exprime par la manière dont un système vient à ne plus remplir sa fonction.

Il s'exprime en terme physique : Rupture, desserrage, coincement, court circuit etc...



- **Cause de la défaillance**

C'est une anomalie initiale susceptible de conduire au MODE DE DEFAILLANCE. Elle s'exprime en termes d'écart par rapport à la norme :

Sous dimensionnement, absence de joint d'écrou manque de lubrifiant

Elle se répartit dans les domaines suivants (par exemple) : Les hommes Le milieu La documentation L'organisation La technique

- Cotation de la criticité

C'est une façon d'approcher la criticité. La formule établie pour tenir compte de la détection, ou du moins de la non détection est la suivante

$$C = G.F.N$$

Avec : G : gravité

F : Fréquence

N : non détection

Remarque

Il existe un intérêt de parler de non détection (N) et non pas de détection (D) ; car comme pour F et G, la criticité est d'autant plus faible que la non détection est faible.

Les tableaux qui suivent donnent les grilles de cotations de ces indices

<b>Indice de fréquence F</b>	
<b>Valeur de F</b>	<b>Fréquence d'apparition de la défaillance</b>
<b>1</b>	Défaillance pratiquement inexistante
<b>2</b>	Défaillance rarement apparue (un défaut par an)
<b>3</b>	Défaillance occasionnellement apparue (un défaut par trimestre)
<b>4</b>	Défaillance fréquemment apparue (un défaut par mois)

Tableau 1 : Indice de fréquence

L'indice de fréquence F est établi pour chaque association composant, mode, cause.

<b>Indice de Gravité G</b>	
<b>Valeur de G</b>	<b>Gravité de la défaillance</b>
<b>1</b>	Défaillance mineure = aucune dégradation notable du matériel (TI < 10mn)
<b>2</b>	Défaillance moyenne = une remise en état de courte durée (10 < TI < 30mn)
<b>3</b>	Défaillance majeure = une intervention de longue durée (30 < TI < 90mn) ou non-conformité du produit constaté dans l'entreprise et corrigée.
<b>4</b>	Défaillance catastrophique = une grande intervention (TI > 90mn) ou non-conformité du produit constaté par un client en aval (interne à l'entreprise)
<b>5</b>	Sécurité/Qualité = accident provoquant des problèmes de sécurité des personnes lors de l'intervention ou du dysfonctionnement. Ou non-



conformité du produit envoyé en clientèle

Tableau 2 : Indice de gravité

L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée d'arrêt, de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur.  
TI : temps d'interruption.

Indice de non détection N	
Valeur de N	Non détection de la défaillance
1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant d'éviter les effets sur la production
2	Il existe un signe avant-coureur la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La détection est exploitable.
3	La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La détection est faible.
4	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas sans détection

Tableau 4 : Indice de non détection

Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel....

➤ Actions à mener

- Après la mise en évidence des risques de défaillances critiques, il est impératif que des actions correctives ou préventives soient entreprises. Par contre une diminution de la criticité pourra être obtenue en jouant sur un (ou plusieurs) terme(s) du produit. Il faudra pour cela optimiser la maintenance, qu'elle soit préventive, corrective ou améliorative.

**Remarque :**

IL existe plusieurs types d'étude AMDEC selon le système à étudier on distingue :

**AMDEC Produit :** Analyse de la Conception d'un produit pour améliorer sa qualité et sa fiabilité.

**AMDEC Organisation :** englobe les processus de gestion, d'information, de production, de gestion du personnel, le processus marketing...etc.

**AMDEC Sécurité :** Analyse des défaillances et des risques prévisionnels sur un équipement pour améliorer la Sécurité et la fiabilité

**AMDEC Processus :** Analyse des opérations de Production pour améliorer la qualité de fabrication du produit

**AMDEC Moyen de production :** Analyse de la Conception et /ou de l'exploitation des Equipements de Production pour améliorer leur disponibilité

**I. Application de la méthode AMDEC au système suspensions**



## 1. Q.Q.O.Q.C.C.P

Ce questionnaire type est un outil qui permet de décrire une situation ou une action. Il peut servir d'introduction à un brainstorming. Cet outil est utilisé pour :

- identifier un problème,
- mettre en place une organisation demandant des relevés, une enquête, ...
- valider des causes en mettant en place des essais, des tests, ...
- organiser une mise en œuvre de solution, etc...

**Objectifs :** Formaliser le descriptif d'un problème, d'une action ou d'une activité.

**Principe :** Cet outil oblige à un questionnement exhaustif. Il est très précieux pour s'assurer qu'aucune ambiguïté ne subsiste. C'est un anti flou redoutable

	Description	Précisions
<b>Quoi</b>	Nature du problème	Problèmes causés par la dégradation des suspensions
<b>Qui</b>	Sujets concernés par le problème	Sujets concernés -Le service mécanique -service chaudronnerie Responsable Absence d'une politique de maintenance
<b>Où</b>	Localisation du problème	Au niveau des 4 tranches de la DTM sur : -les chaudières -les collecteurs -les gaines -Les conduites d'eau
<b>Quand</b>	Période	Depuis la création de la centrale
<b>Comment</b>	Détection et mesure du problème	-Déformation, -formation de poche, -dégradation des tuyauteries
<b>Combien</b>	Coût du problème	Inconnu
<b>Pourquoi</b>	Intérêt de traiter le problème	-Sécuriser les équipements, -éviter des incidents probables – -augmenter la sécurité de travail des employés

Tableau 5 : Q.Q.O.Q.C.C.P

### Conclusion :

Après l'établissement de ce tableau, on est arrivé à mieux cerner le problème de différentes manières.

- Constitution du groupe de travail

Les informations étant un peu éparpillées au sein de la DTM, nous avons presque fait recours à l'ensemble des services. Là où l'information semble être disponible, nous sommes allés la chercher.



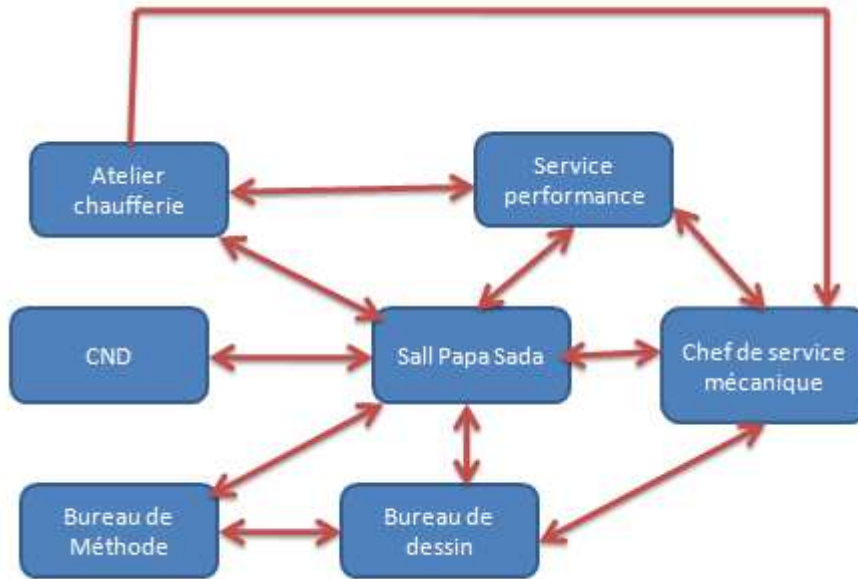


Figure 14 :

Groupe de travail

➤ Analyse fonctionnelle

Principe de construction :

- ✓ Déterminer l'objet à étudier.
- ✓ Déterminer les milieux extérieurs en contact avec le sujet.
- ✓ Identifier à quel milieu extérieur le sujet rend service. Et identifier sur quel milieu extérieur le sujet agit. (fonctions principales, fonctions de contraintes)

Identifier tous les critères de valeur associés à chaque FP et à chaque FC

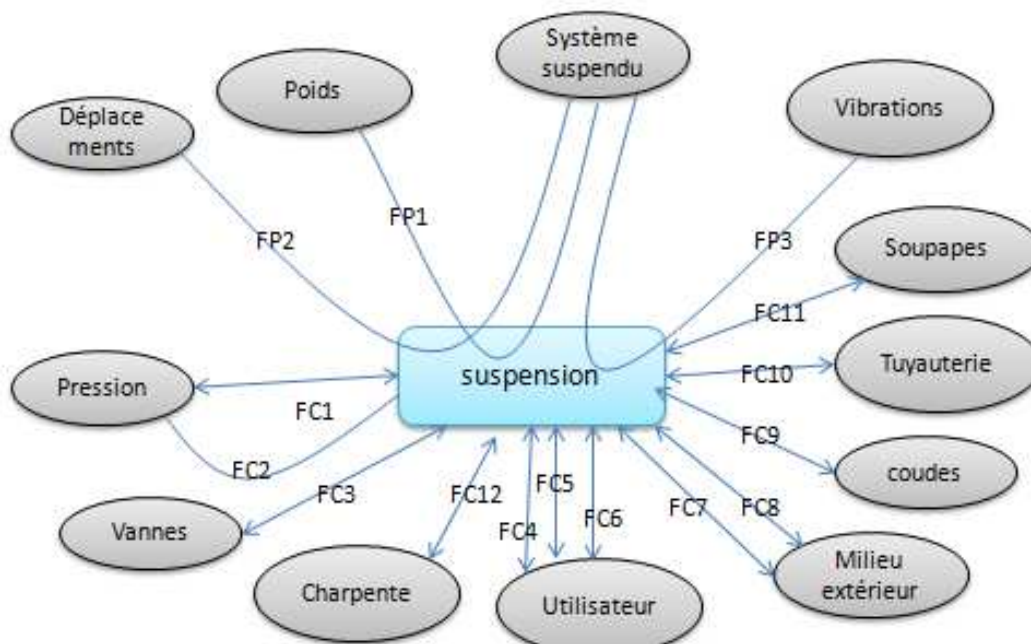


Figure 15: Diagramme Pieuvre



### Les fonctions principales

FP1 : supporter le poids du système suspendu

FP2 : limiter les déplacements du système suspendu

FP3 : Atténuer les vibrations de du système suspendu

### Les fonctions contraintes :

FC1 : supporter l'effort engendré par la pression en cas de présence de compensateurs de dilatation

FC2 : limiter les déplacements engendrés

FC3 : maîtriser les efforts parasites lors de l'ouverture des vannes

FC4 : ne pas être couteux pour sa réalisation

FC5 : Etre sécurisée pour les utilisateurs

FC6 : être facile à monter, à démonter et à maintenir

FC7 : résister aux milieux extérieurs corrosifs

FC8 : Ne pas être encombrant

FC9 : maîtriser les efforts causés par l'augmentation de la vitesse du fluide au niveau des coudes

FC10 : assurer un fonctionnement dans les meilleures conditions de la tuyauterie

FC11 : maîtriser les efforts dus aux échappements du fluide dans les soupapes

FC12 : Etre facilement accrochable à la charpente

### ➤ Analyse des modes de défaillances

Grace à une étude approfondie et un questionnaire soumis aux différents membres du groupe de travail qu'on a conçu, on est arrivé à déterminer :

Les Eléments : permet d'inscrire le nom du composant,

Les Modes de défaillance : permet de décrire la manière dont le composant peut être amené à ne plus assurer sa fonction.

Les Causes : permet d'énumérer les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance de l'équipement,

Les Effets : permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition du mode de défaillance.

D'autre part le diagramme d'Ishikawa nous a permis de déterminer les causes probables du système.

## 2. Diagramme d'Ishikawa

**Principe :**



Les diagrammes d'Ishikawa, ou diagrammes en arêtes de poisson, sont des diagrammes où les différentes causes d'une erreur sont représentées d'une manière hiérarchique. Au niveau supérieur on distingue cinq 'domaines standards' de causes. Chacun de ces niveaux est développé jusqu'au niveau des causes élémentaire.

#### Méthodologie

La construction du diagramme d'Ishikawa est basée sur travail de groupe. Il est élaboré en plusieurs étapes :

Décrire clairement le problème.

Par un Brainstorming, déterminer les principales catégories de causes. Souvent on utilise un ensemble de catégories que l'on nomme les 5M : Main d'œuvre, Méthodes, Machines, Matière et Milieu

Tracer le squelette du diagramme d'Ishikawa et y inscrire les catégories.

Pour chaque catégorie inscrire les causes suggérées par les membres du groupe en posant à chaque fois la question : pourquoi cette cause produit-elle cet effet ?

Classer, si c'est possible, les causes suggérées en des sous-catégories.

Déterminer les causes premières qu'il est possible d'éliminer.

Agir la ou les causes pour corriger le défaut en donnant des solutions et en mettant en place des actions correctives.

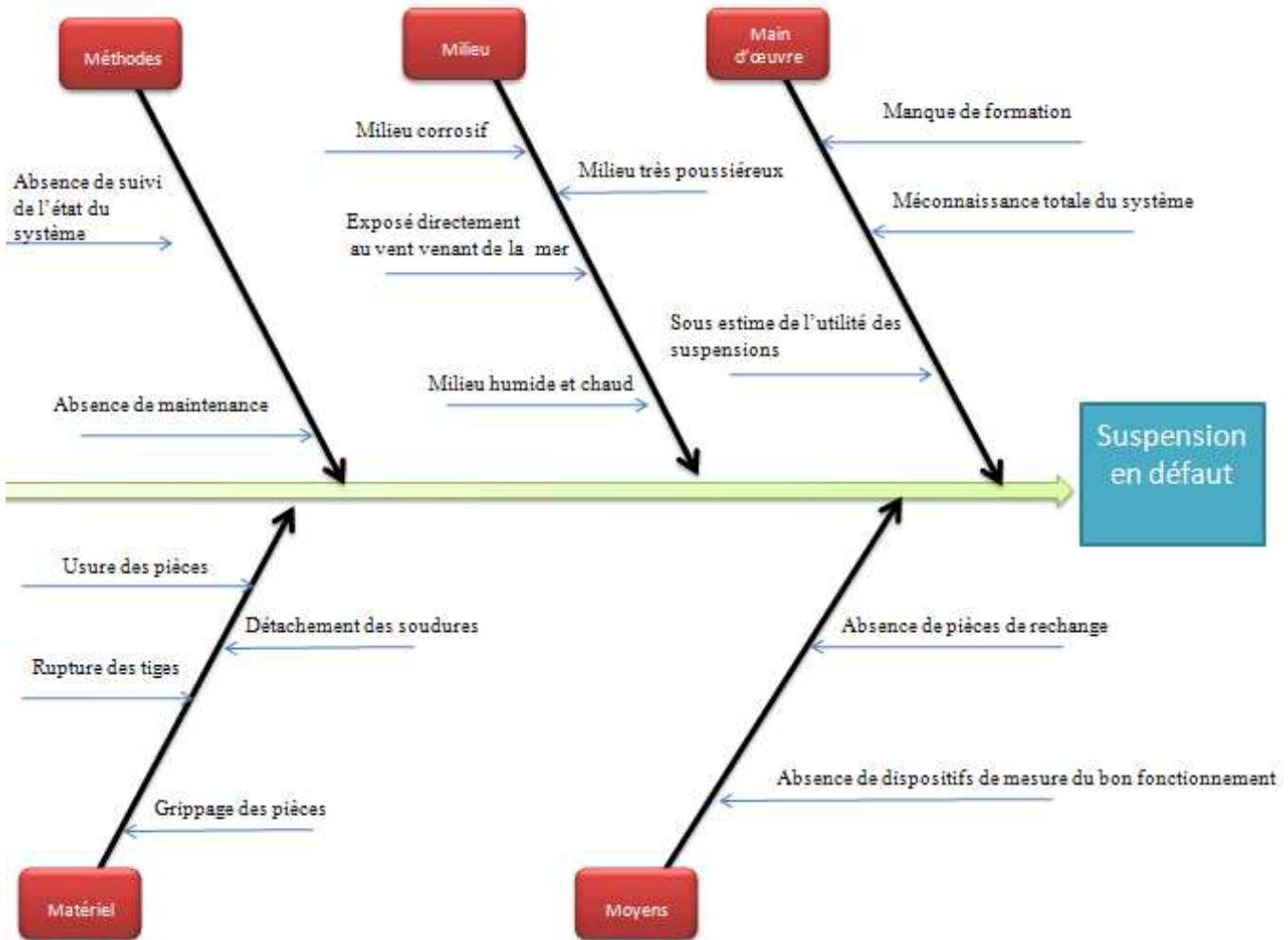


Figure 16: Diagramme D'Ishikawa

**Remarque :**

Ce diagramme nous a permis de faire une liste générale et probable de toutes les défaillances relatives au système.



**Analyse des modes de défaillances et de leurs effets**

Système : suspensions		Rédacteur : Sall Papa Sada			Date : 19/05/10				
Eléments	Fonction	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité			
						F	G	N	C
Ressort	Variation de la charge	-grippage -blocage -usure -perte de raideur	-surcharge -poussière -mauvais réglage	Déformation de la tuyauterie	Spires jointives	4	3	3	36
Contre écrou	Figer le réglage sur les longueurs des tiges	Dégradation du filetage Abimage des arrêts	Charges excessives	Détachement des tiges	Augmentation De la longueur des tiges	3	3	3	27
Tige coté charpente	Accrocher le support aux structures environnantes	-Usure -Fléchissement -Rupture	-Corrosion -Surcharge -Conditions de fonctionnement non adéquates	Support hors service	Visuel	3	3	2	18
Collier	Maintien des tuyauteries	Desserrage boulons de maintien	Fatigue et vieillissement	Mauvaise répartition des charges	Visuel	2	3	2	12
Tige coté équipement	Accrocher le support avec la tuyauterie	-Usure -Fléchissement -Rupture	-Corrosion -Surcharge -Conditions de fonctionnement non adéquates	Support hors service	Visuel	3	3	2	18
Chappe	Relier les raccords	-Usure -Rupture de l'axe	-Corrosion -fatigue -surcharge	Désengagement de la tige supérieure	Visuel	2	1	2	4
Rondelle maintien ressort	Bloquer le ressort	Usure	Vieillessement	Réglage non adéquat	Visuel	1	2	3	6
Tambour	Protéger le ressort et les pièces internes	Usure	-corrosion -vieillessement	ressort exposé à la poussière, au vent de la mer	Visuel	1	3	1	3
Œillet	Raccorder les tiges Réglages des tiges	Usure	Corrosion	Réglage quasi impossible des tiges	Visuel	1	3	3	9

Tableau 6 : Analyse AMDEC

Ces dégradations ont des conséquences négatives sur les installations. Parmi elles on peut citer :

- une fatigue plus importante des installations
- des risques de naissance de fissures au niveau des joints de soudure



- des déformations des tuyauteries
- des efforts et mouvements supplémentaires sur les raccords tels que (chaudières, turbine, brides etc. ....)
- des risques de rupture de point de supportage et par conséquent un supplément de charge qui est repris sur d'autres points, créant des efforts supplémentaires sur des éléments plus fragiles.
- Transmission des vibrations et des coups de bélier aux installations suspendues.

Pour éviter de subir de telles situations au niveau des installations, des plans de contrôles adéquats doivent être établis.

### 3. Analyse par diagramme PARETO

L'outil «Pareto» a pour but de sélectionner, dans une population, les sujets les plus représentatifs en regard d'un critère chiffrable. Généralement cette sélection sera effectuée pour simplifier l'étude d'un problème en ne retenant que les éléments les plus significatifs.

(Loi des 80/20)

Eléments	Criticité	%	Cumul
Ressort	36	27.06	20.06
Contre écrou	27	20.3	47.09
Tige coté charpente	18	13.53	60.62
Tige coté équipement	18	13.53	74.15
Collier	12	9.02	83.17
Œillet	9	6.76	89.93
Rondelle maintien ressort	6	4.51	94.44
Chappe	4	3	97.44
Tambour	3	2.56	100
TOTAL	133	100.00	

Tableau 7 : cumul des criticités

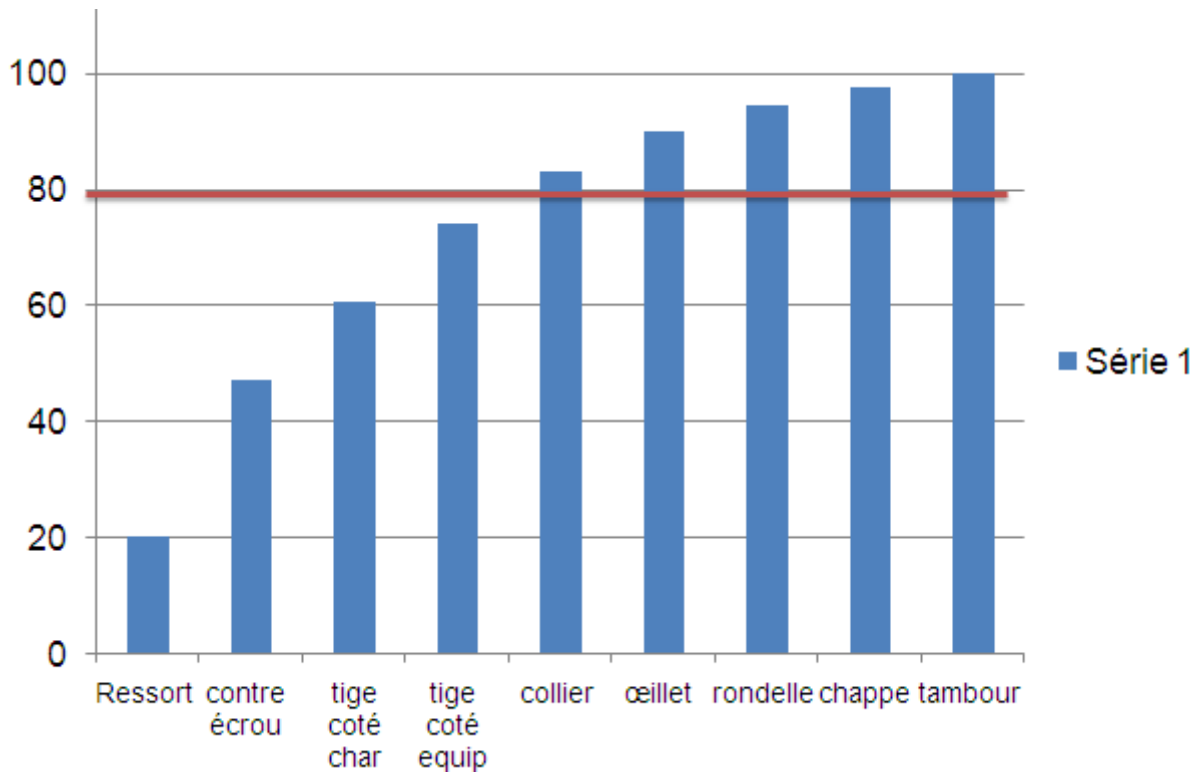


Figure 17 : Histogramme des criticités Conclusion :

Selon la loi de PARETO, les pièces qui ont une très grande influence sur la défaillance d'une suspension sont :

- Le ressort
- Les écrous (contre écrous)
- Les tiges (cotés charpente et coté équipement)
- Le collier

Donc un suivi particulier doit être apporté à ces pièces pour la fiabilité des support

#### 4. Plan d'action

Pour atteindre un niveau de fonctionnement optimal des installations et réduire les incidents probables qui peuvent être dus à un mauvais fonctionnement d'un support il faut :

- **Pour le personnel**

- Procurer une formation sur le supportage aux employés de la DTM
- Informer le personnel sur le rôle primordial que joue le supportage dans une installation
- Mettre en place) des plans de maintenance et les équipements nécessaires pour le contrôle des suspensions



- Sur les suspensions





### Documents de contrôle des suspensions

#### Suspension à charge variables et constatées

#### Equipements : SH1, SH2, SH3, Gaines

Pièces	Etat	Recommandation	Echéancier
<b>Ressort</b>	-Grippé -Perte de raideur -usure	-dégrippage -Changement du ressort -Vérification des raideurs	6mois
<b>Contre écrou</b>	-Détérioration du filetage -usure -corrosion	-changement -Nettoyages -graissage	9mois
<b>Tige coté charpente</b>	-Fléchissement -angle $>4^\circ$ par rapport verticale -rupture	-redressement -changement	9mois
<b>Tige coté équipement</b>	Fléchissement -angle $>4^\circ$ par rapport verticale Rupture	-redressement -rectification	9mois
<b>Collier</b>	-Boulons desserré - usure du collier -rupture	-serrage -remplacement	1 an
<b>Œillet</b>	-usure -fissure -filetage en défaut	-nettoyage -graissage	1 an
<b>Rondelle maintien ressort</b>	-cassure Corrosion	Changement	6mois
<b>Chappe</b>	-Rupture -Corrosion -soudure en défaut	-changement -Rétablir les points de soudure	6mois
<b>Tambour</b>	-Usure -poussière	-Protection Nettoyage	2ans



Tableau 8: Plan de control

### Chapitre III: Application de la méthode au système

In

#### roduction

Le présent chapitre portera sur l'application de la méthode de calcul simplifiée établie au chapitre II. Nous serons amenés à calculer les charges et les déplacements de chaque suspension afin de pouvoir déterminer son type. La démarche qu'on adoptera ne sera autre que la logique de



l'organigramme établi dans le même chapitre. Ce calcul sera exécuté pour la chaudière et sur une conduite d'eau

L'objectif de l'étude est de calculer ou rechercher les paramètres nécessaires (charges et déplacements) pour le choix d'un système de supportage et de proposer un modèle de supportage adéquat pour certaines installations (chaudière, collecteurs, gaines etc.)

## I. Cas de la chaudière

### 1. Définition des sollicitations

Les sollicitations qui seront prises en comptes pour le dimensionnement des suspensions des chaudières ne seront autres que les poids (poids des tubes écran, poids du liquide dans les tubes, poids du calorifuge et le poids des accessoires).

La contrainte engendrée par la pression interne des tubes écran ne sera pas prise en compte, car ceux-ci ne sont pas munis de compensateurs de dilatation et la pression interne ne sera donc pas traduite en force externe (voir III. 4. Chapitre II.)

Les sollicitations dues au vent et au seime pourront tout simplement être négligées car la chaudière étant abrité et les séisme inexistant.

### 2. Détermination des sollicitations

En consultant le bureau de dessin de la DTM, nous avons pu obtenir les données listées sur le tableau suivant :

- Sollicitations dues au poids

DESIGNATION	D/e	Matière	Long(m)	Total long.(m)
Tubes écran	Paroi frontale	63.5 /6.3	A210 A1	4834
	Paroi postérieure	"	"	5435
	Paroi Latérale droite	"	"	3317
	Paroi latérale gauche	"	"	3317
				18063

Tableau 9 : Dimensions des tubes écran

Et donc la masse totale des différentes parois :



Désignation	Masse des tubes	Masse de l'eau	Masse du calorifuge et des accessoires	Masse totale
Paroi frontale	38.3	12.4	1.1	51.8
Paroi postérieure	24	13.9	0.72	38.62
Paroi latérale gauche	60.2	8.5	1.8	39.7
Paroi latérale droite	60.2	8.5	1.8	39.7

Figure 10 : Sollicitations dues au poids

**Remarque :**

Le fluide à l'intérieur des tubes est de l'eau  $\rho=1000\text{kg/m}^3$

Le diamètre extérieur est 63.5 et l'épaisseur 6.3, donc le diamètre interne sera :

$$d = 63.5 - 6.3 = 57.2\text{mm}$$

Sachant que le volume V d'un cylindre est  $V = \frac{\pi d^2}{4} \times h$

Or  $\rho = \frac{m}{V}$  donc  $m = \rho \times V$  d'où la masse totale de l'eau dans chaque paroi.

La masse du calorifuge et des accessoires représentera 3% de la masse propre de chaque paroi.

**3. Calcul des charges :**

Considérons la poutre suivante qui représente une paroi de la chaudière : elle est suspendue en plusieurs points qu'on considérera comme étant les supports, la masse sera considérée comme uniformément répartie :



La distance entre support devant être constante sur chaque paroi (charge uniformément répartie), l'équilibre des forces et celui des moments permettent de calculer les charges à reprendre sur chaque support :

Tronçon a :



Equilibre des forces (entre S1 et S2) :

$$f_1 + f_2 = P_1$$

Equilibre des moments :

$$f_1 \cdot d/2 - f_2 \cdot d/2 = 0 \quad \text{avec } d \text{ la distance entre 2 supports}$$

$$\text{D'où } f_1 = f_2 = P_1/2$$

**Tronçon b :**

$$F_2 + f_3 = P_2 \quad \text{et} \quad f_3 \cdot d/2 - f_2 \cdot d/2 = 0 \quad \text{d'où } f_3 = f_2 = P_2/2$$

Et donc la charge à reprendre par le support S2 est égale à  $F_{2a} + F_{2b}$

Sur la paroi frontale (11m), on a relevé 10 supports

Sur la paroi postérieure (11m) on a relevé 10 supports

Sur les parois latérales gauche et droite (19.5m), on a relevé 15 supports

**Remarque**

**Au cours de la visite qui nous a permis de relever le nombre de support sur chaque paroi, nous avons remarqué que la distance entre 2 supports (sur chaque paroi) est réalisé de manière aléatoire .Nous avons considéré cela comme un défaut de réalisation de la part de l'entreprise qui établi les plan de supportage, en effet :**

**La conception de la chaudière étant faite de manière à ce que la masse globale soit répartie de manière uniforme, un bon établissement du plan de supportage devrait garder une distance constante entre les supports. Le calcul qui va suivre se fera sur cette base.**

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de charge :

Désignation	Nombre de supports	Distance entre support	Charge à reprendre(t)
Paroi frontale	10	110cm	5.37
Paroi postérieure	10	110cm	3.861
Paroi latérale gauche	15	130cm	2.57
Paroi latérale droite	15	130cm	2.57

Tableau 11 : Résultats

**Remarque**

Les valeurs des charges données dans le tableau précédent représentent celles des supports non extrêmes (qui ne se trouvent pas sur les extrémités). Pour les supports qui se trouvent aux extrémités, il faut songer à soit

- Faire la somme des valeurs des charges à reprendre sur les parois qui constituent le coin pour trouver la charge du support
- Soit multiplier le nombre de support sur les coins pour combler l'excès de charges

**Exemple**

Pour le support qui se trouve au point de raccordement entre la paroi frontale et la paroi latérale gauche, sa valeur sera  $5.37 + 2.57 = 7.9 \text{ t}$

Donc soit on prend un support équivalent à cette valeur, soit on utilise plusieurs supports dont la somme des charges est équivalente à cette valeur.

#### **4. Recherche des déplacements**

Un critère important sur le choix des supports est le déplacement. Celui-ci est causé par la dilatation et la flèche due au poids des équipements.

Pour le cas de la chaudière dans les tranches au charbon, en plein charge (150MW), on a

- Dilatation de 50mm



- Dilatation verticale
- Dirigée vers le bas

### Résultats

Les résultats de l'étude nous a permis de faire le choix suivant :

.Utilisation de supports constants pour le système de suspension de la chaudière avec les spécifications suivantes

### Spécifications

Pour une éventuelle rénovation ou changement de certains supports des chaudières (tranche fuel), la DXM doit faire figurer dans son cahier de charges les éléments suivants :

- Choix du support : Supports constants
- Valeur des charges :
  - ⊕ Paroi frontale : charge = 5,37 tonnes/support
  - ⊕ Paroi postérieure : charge = 3.861 tonnes/support
  - ⊕ Parois latérales gauche et droite : charge = 2.57 tonnes/support
- Distance entre support : équidistance entre supports

## II. Cas des tuyauteries

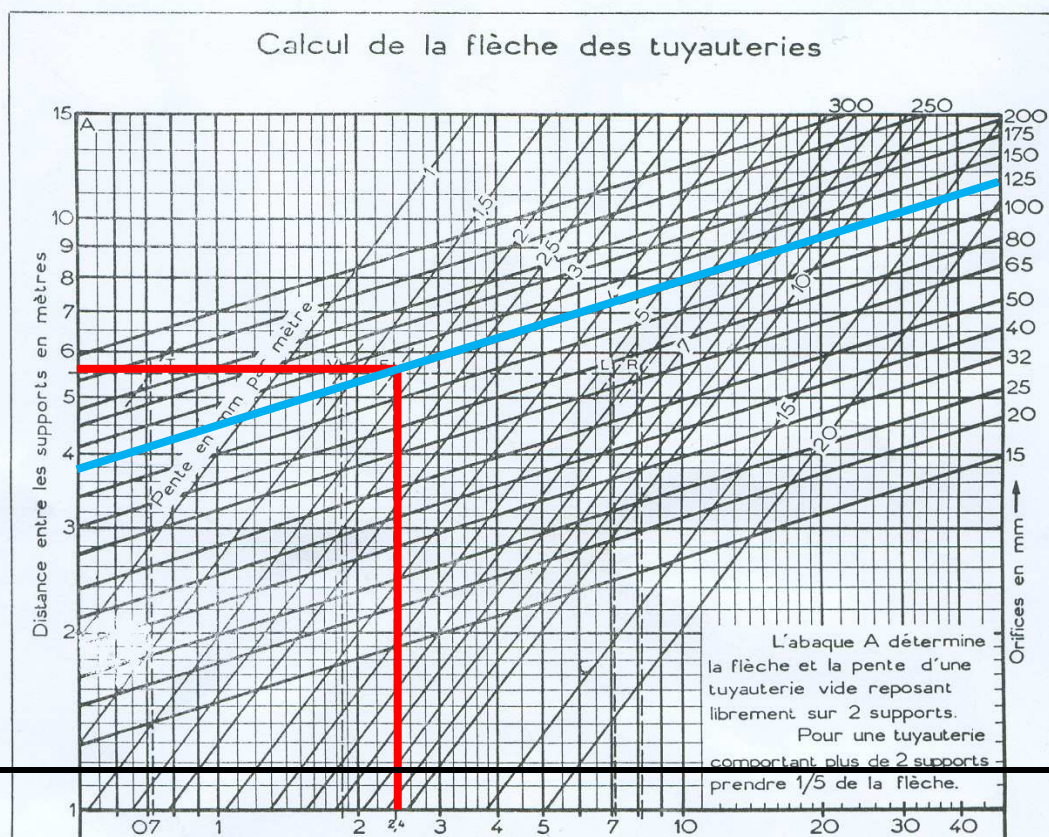




Figure 18 : Abaque de calcul de la flèche

C'est le cas des collecteurs et des conduites d'eau. Dans ce cas, des abaques spéciaux sont conçus pour calculer la flèche due au poids du fluide véhiculé.

En connaissant la distance entre les supports et le diamètre, on peut relever facilement la flèche de la tuyauterie

Comme application, nous allons utiliser ces abaques pour le calcul du système de supportage d'une conduite d'eau dans la tranche 3.

Cette conduite, pleine d'eau a pour diamètre 125mm et repose sur plusieurs supports

La distance entre support est de 5.5m.

Dans l'abaque A, du point 5.5 de l'échelle des distance, tracer une ligne horizontale jusqu'à son intersection en E avec la courbe oblique de l'orifice 125mm. De ce point E, descendre une ligne verticale sur l'échelle des flèches. On trouve 2.4mm.

La flèche de la tuyauterie reposant sur 2 supports étant 2.4mm, pour 5.5m, la flèche pour la même tuyauterie reposant sur plusieurs supports est :

$$2.4\text{mm} \times 1/5 = 0.48\text{mm}$$

La nouvelle flèche est donc 0.48mm.

La flèche de la tuyauterie vide reposant sur plusieurs supports étant 0.48mm, la flèche pour la même tuyauterie pleine d'eau sera :

Dans l'abaque C chercher le point 125 sur l'échelle des orifices, tracer une ligne horizontale jusqu'à son intersection avec la courbe de tuyauterie reposant sur plusieurs supports , tracer une ligne verticale sur l'échelle des facteur de correction. On trouve 3

Donc la nouvelle flèche sera :

$$0.48 \times 3 = 1.44\text{mm}$$



Cette tuyauterie transportant de l'eau à basse température ( $T^\circ$  ambiante), il n'existe presque pas de dilation.

Donc cette valeur de la flèche sera considérée comme étant le déplacement final.

### Conclusion

Le déplacement étant inférieur à 3mm, il conviendra de choisir des supports rigides pour cette tuyauterie.

Dans la plupart des cas :

- ✚ l'ensemble des tuyauteries transportant un fluide à température ambiante peuvent être suspendu avec des supports rigides, car le fluide transporté ne cause ni coup de bélier, ni dilation et ni vibration.
- ✚ Celles transportant des fluides à des températures élevées avec de grandes vitesses seront suspendues avec des supports constants.
- ✚ Et enfin celles avec des températures moyennes et des vitesses moyennes seront suspendues avec des supports variables.

## CHAPITRE V : Modélisation et calcul de structure

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons modéliser et effectuer un calcul de structure sur un type de suspension (support variable).

La modélisation ainsi que le calcul se feront par le logiciel de dessin CATIA

L'objectif de ce chapitre est de pouvoir effectuer un calcul de structure sur la pièce sur laquelle on applique directement la charge : La tige inférieure.

Et par conséquent déterminer la charge maximale que pour supporter le support sans pour autant se dégrader.

### I. Présentation du logiciel

Le domaine de la mécanique est historiquement l'un des premiers à s'être doté, dans les années 1960, de logiciels de CAO. Elle permet au concepteur d'exprimer et de modéliser un grand nombre de contraintes (fonctionnalités, matériaux, capacité d'assemblage, fabrication, etc.) pendant la phase de conception d'un ensemble mécanique. Les logiciels correspondants sont utilisés lors d'une ou plusieurs phases du développement (ex: spécifications produit/process, esquisses, dimensionnement, analyses cinématiques, analyses dynamiques, préparation de la fabrication, ...).

Les logiciels modernes permettent une conception directe en trois dimensions et sont surtout intéressants pour les fonctionnalités proposées : aujourd'hui une pièce de tôlerie est modélisée directement en pliant virtuellement une tôle, un perçage est placé d'un simple clic sans avoir à réfléchir sur le choix des formes volumiques - au sens mathématique - à adopter pour modéliser son





intention technologique. Si les premiers logiciels proposaient un historique figé (pas de retouche possible des formes déjà définies), les dernières versions utilisant la conception paramétrique autorisent toutes les modifications. Ces logiciels aident non seulement à la création des pièces mécaniques, ou à la mise en œuvre de leur fabrication, mais aussi à la simulation de leur comportement, et donc à la validation des solutions retenues. Parmi ces logiciels, on peut citer CATIA.

CATIA (« Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée ») est créé au départ par la société Dassault Aviation pour ses propres besoins sous le nom de CATI (acronyme de conception assistée tridimensionnelle interactive). La compagnie Dassault Systèmes fut créée en 1981 pour en assurer le développement et la maintenance sous le nom de CATIA, IBM en assurant la commercialisation. De par sa performance, il gagna bons nombres de marché comme : l'Aéronautique, la Construction navale, l'Architecture Automobile, le Ferroviaire l'Électronique, les Produits de grande consommation, le Manufacturing etc.

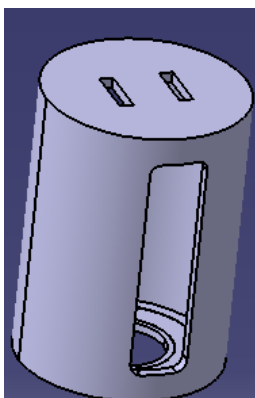
## II. Création des pièces

Comme énuméré précédemment, notre étude se portera sur les supports variables et les supports rigides.

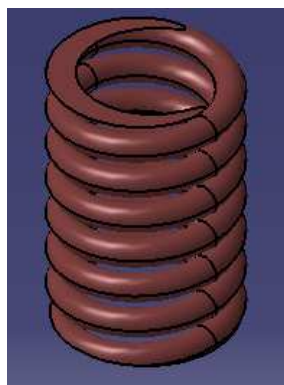
Les supports rigides sont essentiellement formés d'une tige soudée directement sur la charpente ou fixés par le biais d'un écrou.

Les supports variables, présentent les pièces suivantes :

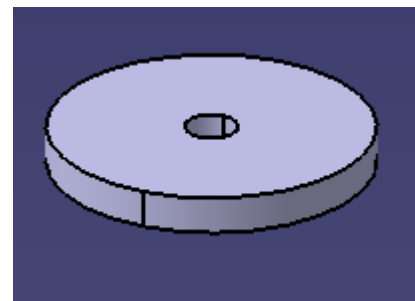
- Un tambour : sert d'enceinte et de protection des pièces internes
- Un ressort : variation de la charge et du déplacement
- Une rondelle de maintien : serrage de l'écrou au niveau de la plaque
- Des écrous et contres écrous : bloquer les déplacements
- Des tiges : liaison entre support, charpente et tuyauterie
- Œillet : réglage de la longueur des tiges
- Une chape : fixation



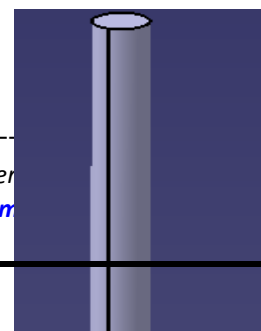
Tambour



Ressort

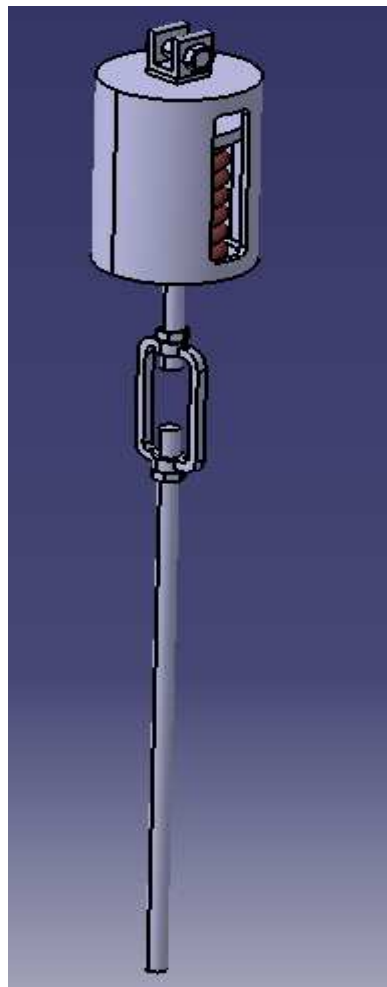


Rondelle de maintien





Et l'assemblage final :



### III. Calcul des maximales

charges

Dans cette partie nous allons repérer les parties les plus sollicitées du support et faire une simulation. Ce calcul nous permettra par la suite de relever la contrainte maximale de Von



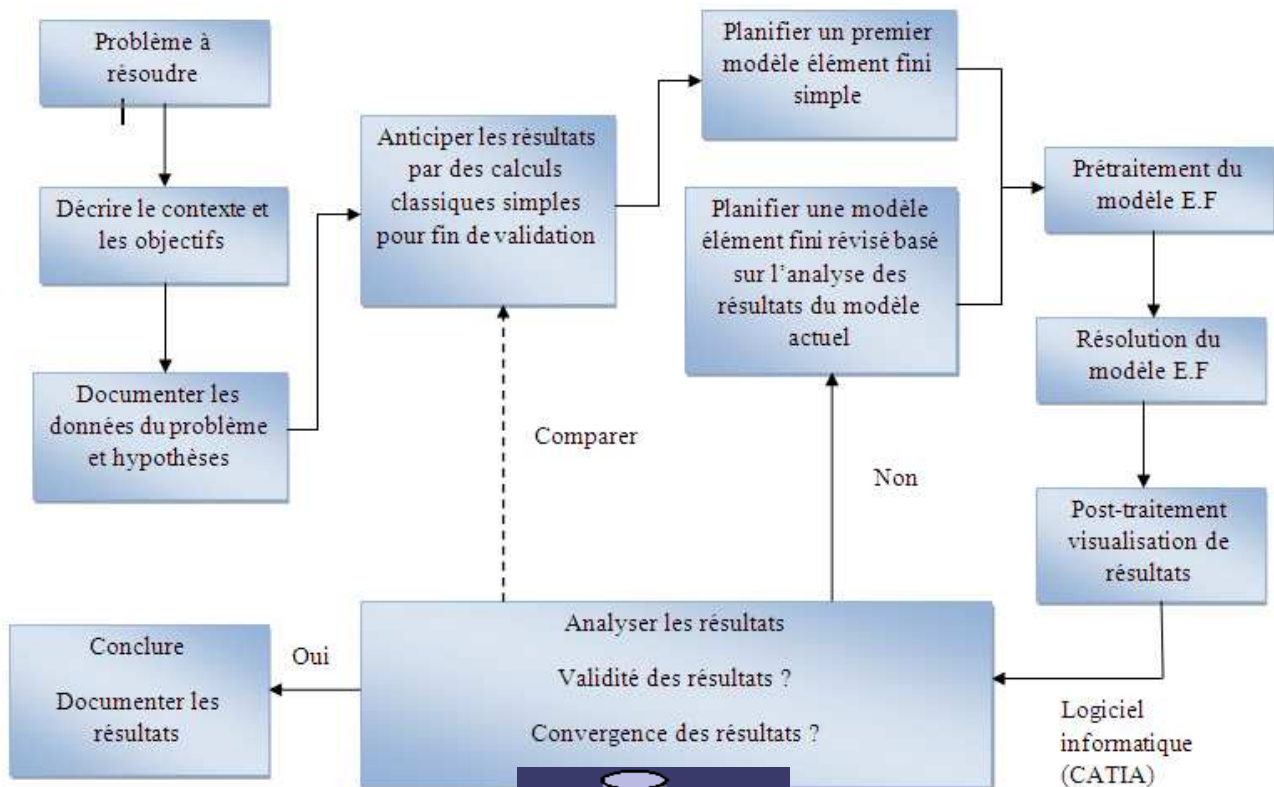
Mises et la comparer avec la limite élastique afin de pouvoir fixer les charges maximales de mise en service

Toute étude de calcul de structure doit contenir ces 9 étapes :

1. Modèle géométrique
2. Définitions des propriétés du matériau
3. Définition des propriétés physiques
4. Définition des forces de volume et conditions aux limites
5. Maillage (ou discrétisation spatiale) du modèle
6. Assemblage et construction du système matriciel
7. Résolution du système matriciel  $K.u=F$
8. Calcul des variables dérivées
9. Visualisation des résultats

Et ces étapes sont réalisées suivant l'organigramme suivant

Figure 19 : Procédure d'analyse numérique



✚ Tiges

1. Modèle géométrique :



## 2. Propriétés du matériau.

Acier :

- Matériau isotopique
- Coefficient de poisson :  $\gamma=0.266$
- Module de Young :  $\sigma=200\text{GPa}$
- Limite d'élasticité :  $\text{Re}=250\text{MPa}$
- coefficient d'expansion thermique :  $1,17\text{E}^{-5}\text{Kdeg}$
- Masse volumique :  $7860\text{Kg}_m^3$

## 3. Propriétés physiques

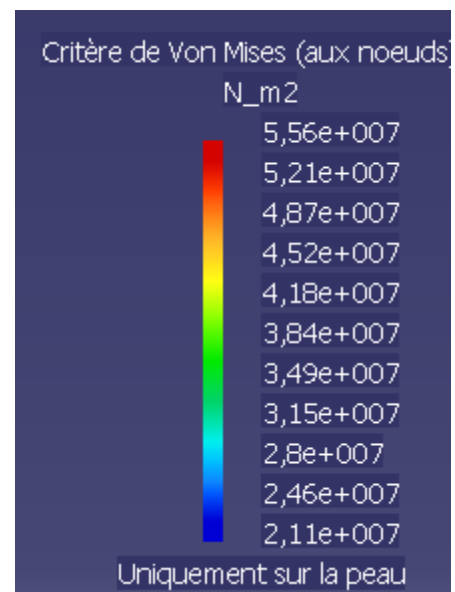
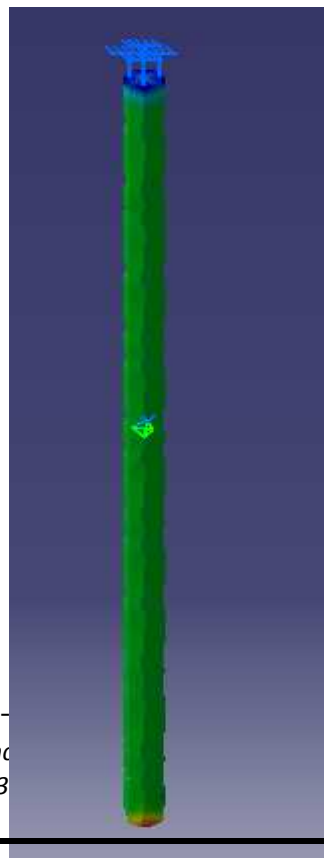
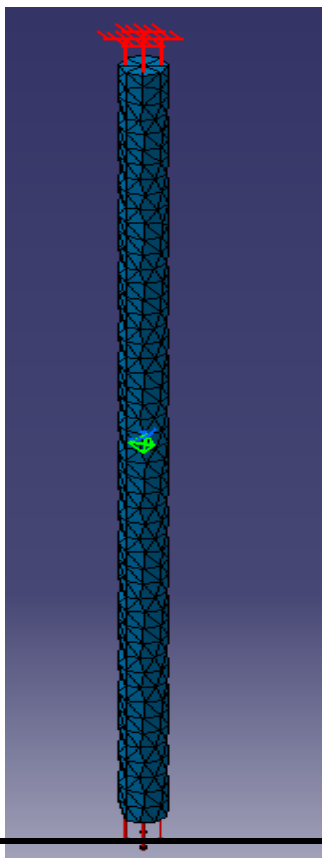
C'est directement les dimensions du matériau

## 4. Chargement et conditions aux limites et maillage et résultats

**Conditions aux limites** : encastrement d'une face

**Chargement** : force uniformément répartie sur l'autre face

**Premier cas** :  $F=10\text{KN}$

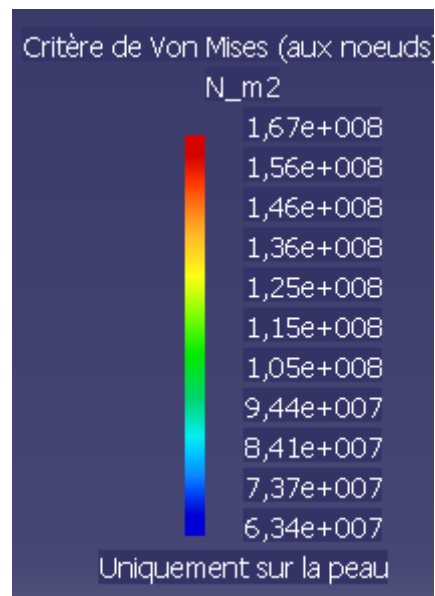




Conclusion :

Sous une charge de 10KN, la contrainte maximale de Von Mises est de 55.6MPa, donc le facteur de sécurité  $FS=250/55.6= 4.49$  : zone de fonctionnement adéquat

Deuxième cas : 30KN

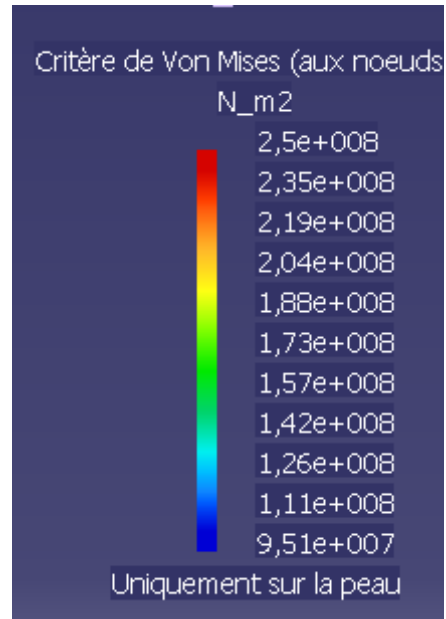


Conclusion :

Sous une charge de 30KN, la contrainte maximale de Von Mises est de 167MPa, donc le facteur de sécurité est de  $250/167=1.49$  : zone de fonctionnement sans risque



Troisième cas : 45KN



Conclusion :

Contrainte maximale de Von Mises 250MPa, le facteur de sécurité est égale à 1 et la zone de concentration de contrainte reste toujours la jonction ente la tige et la tuyauterie. Donc pour un bon fonctionnement, il faut que la charge en service ne dépasse pas 45KN c'est-à-dire une masse égale à 4.5tonnes.



## **CONCLUSION GENERALE :**

Au cours de ce stage de projet de fin d'études, nous avons pu traiter plusieurs aspects du système de supportage :

Premièrement, nous avons donné une base théorique qui constitue un support solide pour la compréhension du domaine des suspensions

Deuxièmement, vu la dégradation récurrente des supports, nous avons effectué une AMDEC du système afin de pouvoir fournir un document pour le contrôle des suspensions.

Nous avons ensuite fait une étude et nous avons fourni une méthode de calcul et tous les critères nécessaires pour le choix du système de supportage.

Et enfin une modélisation et un calcul de structure ont été réalisés dans le but de visualiser le comportement des supports.

D'autre part , ce stage nous permis une fois de plus de mieux approcher le monde professionnel et de développer nos aptitudes à évoluer dans ce milieu.

Nous avons eu aussi l'occasion de mettre en pratique toutes les connaissances théoriques acquises à la faculté des sciences et techniques de Fès.

## **Bibliographie :**

- ❖ Techniques d'ingénieur



- ✓ Supportage
- ✓ Contrôle et tolérance du supportage
- ❖ Documentation de l'office National de L'Electricité
  - ✓ Bureau de dessin
  - ✓ Bureau de méthodes
  - ✓ Rapport de stagiaire (Etude des suspensions de la chaudière)
- ❖ SNRI





## **Terminologie**

1. **Ancrage** : point fixe de tuyauterie généralement réalisé au raccordement d'un appareil et pouvant de ce fait subir des déplacements imposés.
2. **Butée** : dispositif limitant ou annulant une ou plusieurs composantes du déplacement ou de la rotation de la tuyauterie. La butée est définie par la direction du mouvement interdit.
3. **Butée dynamique** : dispositif, auto-freinant ou autobloquant, limitant dans une ou plusieurs directions le déplacement rapide de la tuyauterie sous l'effet d'efforts dynamiques, mais permettant dans ces directions les déplacements lents tels que ceux dus à la dilatation.
4. **Guide** : butée limitant la ou les composantes de déplacements perpendiculaires à l'axe du mouvement autorisé. Le guide est défini par la direction du mouvement autorisé.
5. **Dispositif élastique** : support à réaction variable ou constante destiné à reprendre tout ou partie des effets de la composante verticale des efforts.
6. **Point semi-fixe** : dispositif de supportage limitant toutes les translations de la tuyauterie par rapport à la structure environnante.
7. **Point fixe** : disposition de supportage limitant toutes les translations et rotations de la tuyauterie par rapport à la structure environnante.
8. **Suspension par pendard** : type de support comportant une ou plusieurs tiges de suspension et s'opposant à la composante verticale négative du déplacement.
9. **Support posé libre** : dispositif maintenant la tuyauterie contre l'effet de la composante verticale d'effort et ne s'opposant pas de façon notable à des déplacements ou rotations.



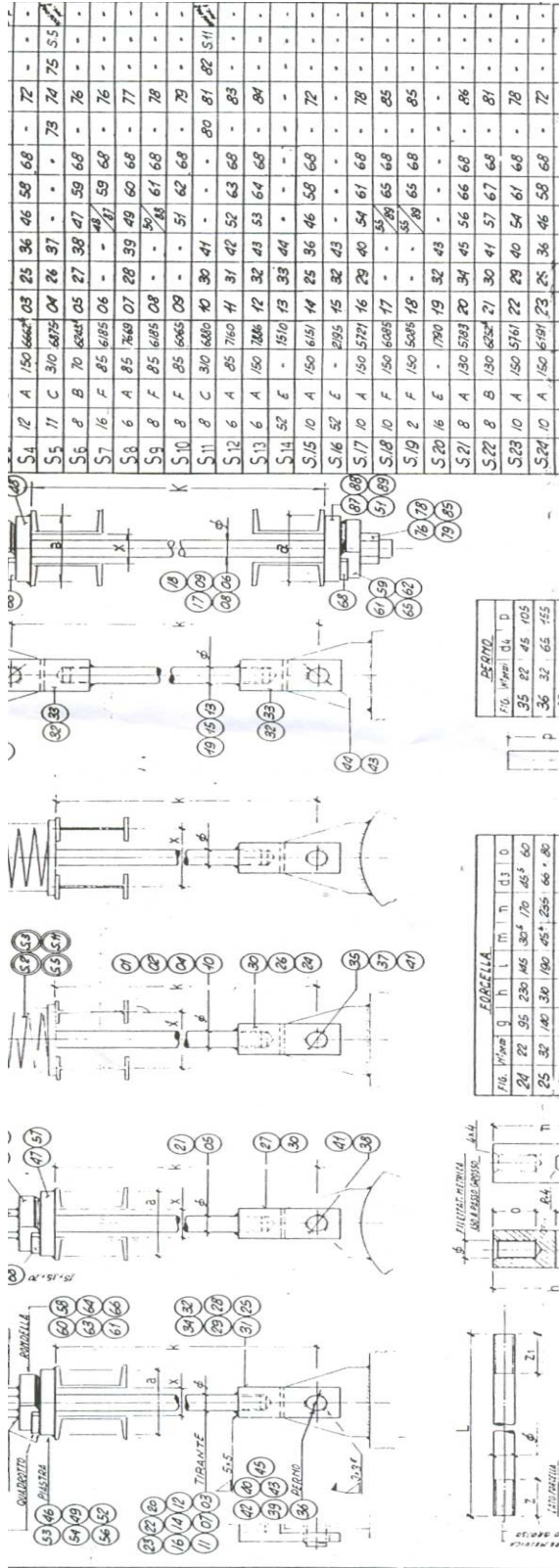
Ecartement normalisé entre support pour une tuyauterie en acier

**Tableau 1 - Écartement maximal entre supports  
(tuyauterie acier)**

Diamètre extérieur	Tuyauterie vide		Tuyauterie pleine d'eau	
	non calorifugée	calorifugée	non calorifugée	calorifugée
mm	m	m	m	m
17,2	1,5	1,1	1,1	0,9
21,3	2,5	2,2	2	1,8
26,9	2,7	2,4	2,2	2
33,7	3,2	2,8	2,5	2,2
48,3	4	3,5	3	2,5
60,3	4,5	4	3,5	3
88,9	5	4,5	4	3,5
114,3	5,5	5	4,5	4
141,3	5,5	5	4,5	4
168,3	6,5	6	5,5	5
219,1	7	6,5	6	5,5
273	7,5	7	6,5	6



Dimensions de quelques supports de la chaudière



NOTE:  
 - PER ASSIEME SOSPENSIONI - SECONDA LINEA DIMENSIONI DI SECONDO PIANO. n°1  
 - PER ASSIEME SOSPENSIONI - SECONDA LINEA DIMENSIONI DI SECONDO PIANO. n°2

RAGGRUPPAMENTO ANSALDO  
 ANSALDO S.p.A.  
 DIMENSIONI DI SECONDO PIANO  
 SOSPENSIONI CALDAIA  
 Particolari Tiranti

FORCELLA

Fig. n°	g	h	m	l	d3	l0
24	32	140	310	180	45	170
25	32	140	310	180	45	170
26	32	140	310	180	45	170
27	32	140	310	180	45	170
28	32	140	310	180	45	170
29	32	140	310	180	45	170
30	32	140	310	180	45	170
31	32	140	310	180	45	170
32	32	140	310	180	45	170
33	32	140	310	180	45	170
34	32	140	310	180	45	170

FORCELLA

Fig. n°	g	h	m	l	d3	l0
24	32	140	310	180	45	170
25	32	140	310	180	45	170
26	32	140	310	180	45	170
27	32	140	310	180	45	170
28	32	140	310	180	45	170
29	32	140	310	180	45	170
30	32	140	310	180	45	170
31	32	140	310	180	45	170
32	32	140	310	180	45	170
33	32	140	310	180	45	170
34	32	140	310	180	45	170

ROVILLA

Fig. n°	g	h	m	l	d3	l0
58	32	140	310	180	45	170
59	32	140	310	180	45	170
60	32	140	310	180	45	170
61	32	140	310	180	45	170
62	32	140	310	180	45	170
63	32	140	310	180	45	170
64	32	140	310	180	45	170
65	32	140	310	180	45	170
66	32	140	310	180	45	170
67	32	140	310	180	45	170

PIASTRE

Fig. n°	a	b	d1	d2
46	32	240	280	50
47	32	240	280	50
48	32	240	280	50
49	32	240	280	50
50	32	240	280	50
51	32	240	280	50
52	32	240	280	50
53	32	240	280	50
54	32	240	280	50
55	32	240	280	50
56	32	240	280	50
57	32	240	280	50
58	32	240	280	50
59	32	240	280	50

TIRANTE

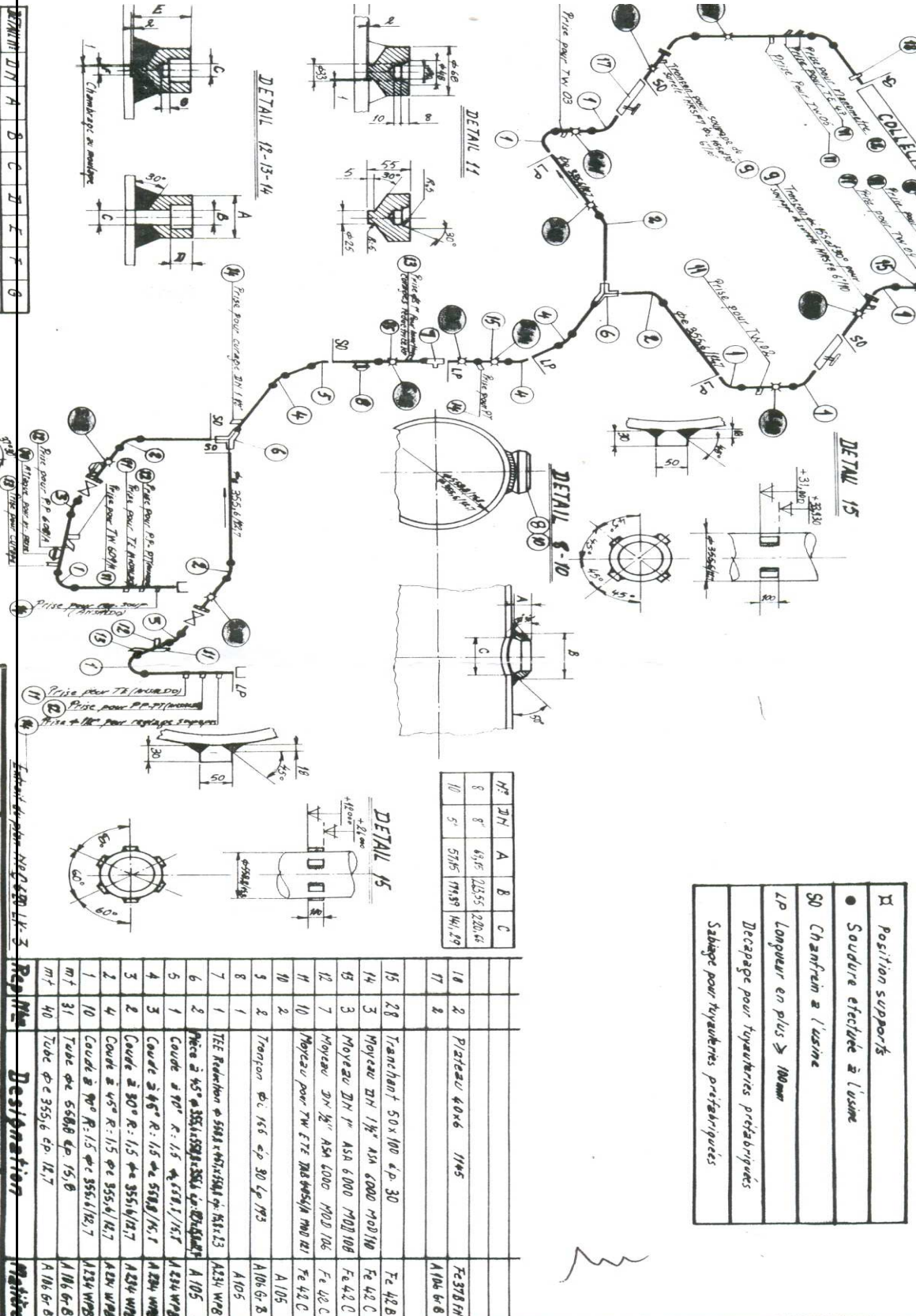
Fig. n°	g	h	m	l	d3	l0
01	4	48	730	55	40	180
02	4	48	670	55	40	180
03	4	48	610	55	40	180
04	4	48	550	55	40	180
05	4	48	490	55	40	180
06	4	48	430	55	40	180
07	4	48	370	55	40	180
08	4	48	310	55	40	180
09	4	48	250	55	40	180
10	4	48	190	55	40	180
11	4	48	130	55	40	180
12	4	48	70	55	40	180
13	4	48	10	55	40	180
14	4	48	0	55	40	180
15	4	48	0	55	40	180
16	4	48	0	55	40	180
17	4	48	0	55	40	180
18	4	48	0	55	40	180
19	4	48	0	55	40	180
20	4	48	0	55	40	180
21	4	48	0	55	40	180
22	4	48	0	55	40	180
23	4	48	0	55	40	180



Plan de supportage du collecteur de vapeur S

SUPPORT	DEPLACEMENT										DIT	EVALUATION	MATERIE	BMS	C	EN	M	PIL	ELECT	RECUT	BAND	
	X	Y	Z	1	2	3	4	5	6	7												
36	-3,3	-4,1	4,70																			
37	-4,1	-3,8	4,70																			
38	+3,8	+2,7	4,70																			
39	+2,7	+1,9	4,70																			
40	+1,9	+0,9	4,70																			
41	+0,9	+0,3	4,70																			
42	+0,3	+0,0	4,70																			
43	+0,0	-0,3	4,70																			
44	-0,3	-0,9	4,70																			
45	-0,9	-1,9	4,70																			
46	-1,9	-2,7	4,70																			
47	-2,7	-3,8	4,70																			
48	-3,8	-4,1	4,70																			

- Position supports
- Soudure effectuée à l'usine
- Charbon à l'usine
- LP Longueur en plus > 100mm
- Decapage pour tuyauteries préfabriquées
- Sablage pour tuyauteries préfabriquées



12	11"	4,0	21,7	12	15	40	7	5
----	-----	-----	------	----	----	----	---	---

DPY-PTB-CTM  
 OFFICE NATIONAL DE L'ELECTRICITE  
 Date: 22-7-94