



**HAL**  
open science

# Développement d'une ligne de découpe automatisée

Émerik Henrion

► **To cite this version:**

Émerik Henrion. Développement d'une ligne de découpe automatisée. Génie mécanique [physics.class-ph]. 2014. dumas-01360924

**HAL Id: dumas-01360924**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01360924>**

Submitted on 6 Sep 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

**Conservatoire National des Arts et Métiers  
Paris  
Centre régional de Lorraine**

---

**Mémoire**

Présenté en vue d'obtenir le

**DIPLÔME D'INGENIEUR CNAM**

en

**Mécanique**

Option MECANIQUE PARCOURS STRUCTURE – PROCESS

Par

**Emerik HENRION**

Soutenu à Metz le 25 septembre 2014

---

DEVELOPPEMENT D'UNE LIGNE DE DECOUPE AUTOMATISEE

---

**PRESIDENT DU JURY :**

Monsieur

**C.BLANZE**

**CNAM Paris**

**MEMBRES DU JURY :**

Messieurs

**A. D'ACUNTO**

**ENSAM Metz**

**R.BIGOT**

**ENSAM Metz**

**A.BASTIEN**

**ARTS Metz**

**M.A.GROSJEAN**

**MANOIR INSUSTRIE Custine**

---

---

**Conservatoire National des Arts et Métiers  
Paris  
Centre régional de Lorraine**

---

**Mémoire**

Présenté en vue d'obtenir le

**DIPLÔME D'INGENIEUR CNAM**

en

**Mécanique**

Option MECANIQUE PARCOURS STRUCTURE – PROCESS

Par

**Emerik HENRION**

Soutenu à Metz le 25 septembre 2014

---

DEVELOPPEMENT D'UNE LIGNE DE DECOUPE AUTOMATISEE

---

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés sous la direction de M. Régis BIGOT au sein du campus des Arts et Métiers de Metz.

---

## Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement, M.Caillaud, directeur du centre des Arts et Métiers de Metz, qui m'a autorisé et soutenu à effectuer mon Mémoire d'ingénieur au sein de l'école.

Je remercie mon encadrant Alain D'Acunto qui m'a conseillé, encouragé tout au long de mon cursus CNAM.

Je remercie mon encadrant Régis Bigot qui m'a accompagné pendant ce projet intéressant et riche en enseignements.

Merci à mon responsable Stéphane Mathieu, qui a réalisé son Mémoire en même temps que moi, et avec qui j'ai échangé tout le long de ce projet pour aller de l'avant.

Je souhaite remercier les personnels enseignant et ingénieurs qui m'ont apportés leurs connaissances. Parmi eux, Laurent Langlois, Antoine Bastien, Jean-Baptiste Crouet, Xavier Godot, Sandra Chevret, Grégory Buchheit, Olaf Malassé.

Merci à l'équipe d'usinage qui a réalisé une partie des pièces de la ligne, composée d'Olivier Baumond, Lionel Simon, Jérémy Bianchin et Daniel Boem. Une attention particulière à Christophe Lescalier qui m'apportait régulièrement des pièces détachées égarées par les étudiants.

Un grand merci à mes collègues de bureau Alexandre Fendler et Sylvio De Paolis qui ont repris une partie de ma charge de travail, me permettant de consacrer du temps pour ce projet.

Merci à Bruno Daille-Lefevres, Jacques Marsot et Jean-Paul Bello de l'Institut National de Recherche et de Sécurité pour leur expertise en la matière.

Merci à Charlotte Heslouin, Zakaria Allam, et Simon Jung qui se sont dévoués pour corriger mes erreurs de frappe.

Je remercie aussi Aurélie qui m'a soulagé de mes tâches quotidiennes pour me permettre de travailler tard le soir.

Enfin, je remercie toutes les personnes que j'aurai pu oublier de nommer, mais qui m'ont supporté au quotidien pendant un an.

---

## Sommaire

Introduction.....	6
1 Etat de l'art .....	8
1.1 Le procédé de découpage .....	8
1.2 Les moyens d'automatisation .....	20
1.3 La plateforme technologique Vulcain .....	26
1.4 Normes de sécurité .....	30
1.5 Bilan.....	32
2 Analyse fonctionnelle .....	34
2.1 Enoncé du besoin .....	34
2.2 Analyse du besoin.....	37
2.3 Fonctions de sécurité.....	40
2.4 Cahier des charges fonctionnelles .....	43
3 Conception architecturale .....	46
3.1 Partie structurelle .....	46
3.2 Partie puissance.....	56
3.3 Partie contrôle/commande .....	58
4 Conception détaillée :.....	66
4.1 Commande centrale.....	66
4.2 PressiX.....	68
4.3 Pince d'aménage .....	69
4.4 Redresseur.....	71
4.5 Dérouleur.....	72
4.6 Enceinte de protection .....	74
4.7 Bilan.....	75
5 Mise en œuvre et intégration .....	78
5.1 Phase 1 : validation du fonctionnement/prototype .....	79
5.2 Phase 2 : installation finale .....	83
Conclusion.....	85
Bibliographie.....	87
Annexe 1 Analyse fonctionnelle .....	89
Annexe 2 Evaluation des risques.....	91
Annexe 3 Logigrammes de fonctionnement .....	95
Annexe 4 Mise en plan .....	100
Annexe 5 Programmation automate .....	102
Annexe 6 Liste des composants matériels .....	105
Annexe 7 Devis.....	107

---

## **INTRODUCTION**

---

## Introduction

L'industrie moderne tend à automatiser de plus en plus sa production, et cela pour plusieurs raisons. Les tâches les plus pénibles et dangereuses peuvent ainsi être effectuées par des machines automatisées et dédiées. Cela permet une plus grande répétabilité du processus de fabrication. Une fois les paramètres de production maîtrisés, le taux de rebut s'en voit considérablement réduit.

L'automatisation permet d'augmenter les cadences de production. Il est évident qu'il serait impossible d'atteindre plusieurs centaines de pièces par minute avec un chargement sous presse manuel. L'automatisation devient incontournable pour la réalisation de tâches simples, en moyenne et grande série. Ce qui explique le fort taux d'automatisation dans les industries automobiles ou de l'électroménager entre autres.

Le développement, la mise au point et la maintenance de cette industrie automatisée, nécessite du personnel compétent. Il est important pour les grandes écoles de se doter de supports d'apprentissage. Dans le cadre de ses activités pédagogiques en déformation plastique, le centre des Arts et Métiers de Metz dispose de nombreux équipements : presse hydraulique 6000 kN, presse mécanique 500 kN, ainsi que des machines de préparation. L'établissement a une forte volonté de faire évoluer ses équipements pour adapter sa pédagogie au milieu industriel moderne, sous la forme d'une plateforme technologique, nommée Vulcain. Cette plateforme s'articule autour de l'automatisation des procédés de déformation plastique.

Le projet s'inscrit dans ce contexte et a pour but le développement d'une ligne de découpe automatisée autour de la presse mécanique PressiX CNR4. Les objectifs principaux de ce projet sont les suivants :

- réunir et synthétiser, à travers une étude bibliographique, tous les éléments permettant la maîtrise de ce procédé et le dimensionnement de la ligne.
- effectuer la conception, la mise au point, et la mise en place de la ligne automatisée de découpe dont le cahier des charges devra répondre aux contraintes techniques, environnementales, financières, et pédagogiques.
- rédiger des supports pédagogiques pour les étudiants des Arts et Métiers de première et deuxième année, permettant d'aborder les règles de conception d'une ligne, et de confronter les résultats issus de la modélisation de procédés à ceux obtenus par l'expérimentation.
- intégrer la plateforme au sein de « X.Remote.Manufacturing » (Cf. Chapitre 2) outils d'accès à distance à la plateforme Vulcain.



---

**CHAPITRE 1 :**  
**ETAT DE L'ART**

---

# 1 Etat de l'art

L'étude bibliographique permet de réunir les connaissances techniques et méthodologiques liées au projet. Elle réunit les notions élémentaires, tel que les définitions du procédé, de ses outils, des principes physiques. Elle donne des indications sur le savoir faire du métier de la découpe, avec les technologies et leurs applications. Il est tout aussi important de situer l'étude dans son contexte, et ainsi mieux prendre en compte les spécificités du centre des Arts et Métiers de Metz.

## 1.1 Le procédé de découpage

### 1.1.1 Définition

Pour la mise en forme des matériaux, il existe de nombreux procédés permettant soit d'aboutir à des produits finis soit à un produit sur lequel viendront s'ajouter d'autres étapes de formage. Parmi ceux-ci : le découpage de produits plats (produit dont l'épaisseur est faible devant leur largeur et leur longueur). Ils ont une épaisseur allant de quelques dixièmes à 300 mm. Il est principalement utilisé, pour l'obtention de préformes. Par exemple, la découpe de flans dédiés à l'emboutissage, ou des développés pour le pliage.

Le principe est de détacher un contour prédéfini d'une tôle. Par exemple, la coupe à longueur (Figure 1). Le résultat obtenu est la pièce découpée à la dimension voulue, ainsi que le reste de tôle. Lorsque les pièces ont un contour particulier il peut rester un surplus de matière : la chute (Figure 2 : découpe de pièces Figure 2).

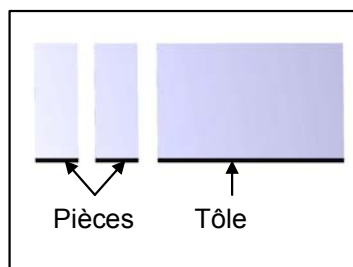


Figure 1 : découpe à longueur

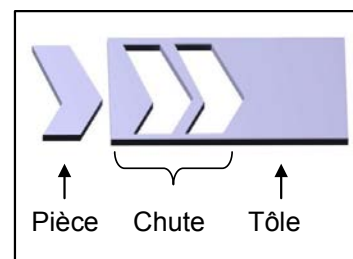


Figure 2 : découpe de pièces

### 1.1.2 Les techniques de découpe

Pour découper une tôle, il existe plusieurs solutions technologiques mettant en œuvre des principes physiques différents.

**La découpe plasma** met en œuvre une énergie électrique concentrée sous forme d'un jet de plasma à très haute température (15 000 à 20 000°C) qui fond le métal. L'énergie cinétique du jet éjecte le métal fondu de la saignée. Ce jet est généré par un arc électrique qui s'établit entre une électrode, interne à la torche de soudage, et la pièce, ce qui implique que le matériau découpé doit être conducteur. La découpe plasma ne s'applique donc qu'aux métaux.

**L'oxycoupage** porte la matière de la pièce à découper en fusion par l'énergie générée par la réaction chimique d'oxydation (réaction chimique exothermique). Les oxydes sont formés par un jet d'oxygène. De ce fait, il s'applique seulement sur les aciers de construction et faiblement alliés. L'énergie de découpe est générée par la découpe même.

**La découpe laser** met en œuvre une énergie de rayonnement sous forme d'une lumière monochromatique concentrée. L'absorption de l'énergie par la pièce provoque une fusion/vaporisation du matériau. Les fumées et éléments liquéfiés sont éjectés par un souffle de gaz. Le laser est en mesure de découper tous les matériaux fusibles, volatilisables ou combustibles.

**La découpe jet d'eau** met en œuvre un jet d'eau très fin à grande vitesse provenant d'une grande pression (3 000 à 5 000 bars). L'énergie cinétique du jet est capable de découper le matériau. L'addition de produits abrasifs peut être utilisée lors de découpe de métaux.

**La découpe mécanique** n'est ni un procédé thermique ni un procédé abrasif. Il engage un mécanisme de cisaillement de la matière, qui est créé par l'action de deux lames en opposition l'une de l'autre, et séparées d'un jeu entre les arrêtes de coupe (Figure 3). Contrairement aux procédés précédemment cités, il n'y a pas de saignée. Ce type de découpe s'applique aussi bien aux métaux, plastiques et à certains composites.

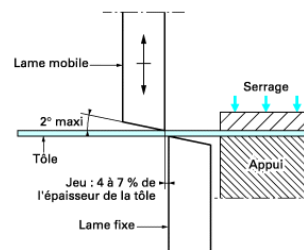


Figure 3 : Principe de la découpe mécanique (21)

**Tableau I : comparatif des différents procédés de découpe (1)**

Procédés	Qualité dimensionnelle (en mm)	Epaisseur (en mm)	Cadence	Flexibilité
Plasma	0,1 à 1	0,4 à 30 (aciers non alliés ou faiblement alliés) 0,4 à 150 (aciers inoxydables) 0,4 à 200 (alliages d'aluminium)	Plusieurs dizaines de secondes à plusieurs minutes par pièce	Haute
Oxycoupage	1 à 2	3 à 800 (aciers non alliés ou faiblement alliés exclusivement)	Plusieurs dizaines de secondes à plusieurs minutes par pièce	Haute
Laser	0,1	0,4 à 25 tout métaux, matériaux plastique, tissus, cuire		Haute
Jet d'eau	0,1	jusqu'à 10mm	Plusieurs minutes par pièce	Haute
Mécanique	0,01	0,01 à plusieurs centaines	De 1 à 1500 pièces par minute	A chaque forme un outillage

Le tableau I met en évidence que le choix du procédé s'effectue suivant le type de pièce à réaliser, l'épaisseur, le matériau, et la taille de la série. Les procédés dits à jet de fluide seront plutôt utilisés pour des séries de petite taille de part leur faible cadence, contrairement à la découpe mécanique. Son inconvénient réside dans son peu de flexibilité. Chaque forme différente nécessite la conception d'un nouvel outillage. Son amortissement sera réalisé sur le nombre de pièces à produire. Il est préférable de l'utiliser pour de grandes séries (1000 pièces et plus). Les procédés à jet de fluide utilisent une commande numérique pour suivre le contour à découper. Seule la trajectoire change, d'une pièce à l'autre.

---

### 1.1.3 La matière première

Issue de la coulée continue de l'aciérie, les produits longs, les blooms et brames, passent par des laminoirs. Ceci a pour objectif de se rapprocher de la géométrie finale, ainsi que de conférer les caractéristiques métallurgiques et mécaniques souhaitées au matériau. Suivant la demande du client, l'aciériste livre des produits semi-finis sous différentes formes. Les tôles fortes ont des épaisseurs allant de 50 mm à plusieurs centaines de millimètres. Elles sont sous la forme de plaques (Figure 4). Les dimensions peuvent aller jusqu'à plusieurs mètres.



Figure 4 : stockage de tôles fortes

Les tôles minces, quant à elles sont réalisées dans le train à bande. De multiples opérations de laminage à chaud et à froid sont apportées, pour obtenir des épaisseurs en sorties comprises entre 1 mm et 12 mm (2). Cette faible épaisseur autorise le stockage de la matière sous forme d'une bobine (ou « coil » en anglais). La tôle est enroulée sur elle-même. Il est ainsi plus facile de stocker la matière, puisque les bobines peuvent contenir plusieurs centaines de mètres (Figure 5) de tôle. Leur largeur s'étend de 600 à 2200 mm, et leur masse de 10 tonnes à 40 tonnes.



Figure 5 : Stockage de bobines (19)

Que ce soit en plaques ou en bobines, la matière est difficilement utilisable sous ces formes. Les tolérances sur la largeur des bobines sont de l'ordre du millimètre. Le poids et les dimensions importantes nécessitent des moyens de manutention conséquents. Le parachèvement est une étape supplémentaire permettant d'atteindre directement les dimensions souhaitées, ceci avec des tolérances plus fines : quelques dixièmes de millimètre.

Le choix des matériaux est très vaste. Les aciers doux, faiblement alliés peuvent être bruts de laminage ou avoir subi des traitements de surface (exemple d'acier électro-zingué ou galvanisé pour l'industrie automobile, ou encore des revêtements antimicrobiens pour l'industrie médicale et alimentaire). D'autres matériaux sont disponibles sous cette forme : les aluminiums, aciers inoxydables, les bases nickel. La seule limite serait le manque de ductilité d'un matériau. La fonte en est un exemple. De même pour les nuances de cuivre, qui doivent subir un traitement de recuit pour pouvoir être enroulées, dans la mesure où les caractéristiques mécaniques obtenues sont en accord avec leur utilisation finale.

#### 1.1.4 Le parachèvement

Suivant le produit final à obtenir, il existe plusieurs possibilités. La fabrication de bobines refendues est l'une d'entre elles. Durant ce processus, la bobine issue du laminage est déroulée pour être coupée en plusieurs parties appelées brins. La bande passe entre des rouleaux où sont disposées des lames circulaires (Figure 6). Ainsi la largeur de bande est réduite à des dimensions allant de 40 mm à 1550 mm (3). La maîtrise des jeux et de la position entre les différentes lames détermine les tolérances sur la largeur de la bobine, qui sont de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre. La dénomination « Feuillard » est couramment utilisée pour désigner le résultat obtenu.

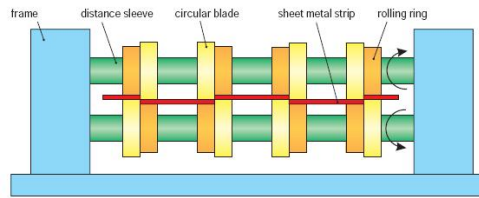


Figure 6 : refendeuse (12)

Il existe aussi des lignes de mise à longueur. Dans ce cas, la bobine déroulée passe par un redresseur. Des cintrages successifs entre des rouleaux sont appliqués à la matière, pour l'obtention d'un niveau de planéité sur la bande. Le deuxième effet est d'en diminuer les contraintes résiduelles (ces contraintes seront par la suite libérées pendant la découpe, la matière cherchant à revenir à son point d'équilibre naturel, ce relâchement entrainera des déformations néfastes sur la pièce obtenue). Après redressage, la bande de tôle est ensuite découpée pour obtenir des feuilles à la longueur et largeur souhaitée. Les feuilles sont empilées par paquet en vue de leur stockage (Figure 7)

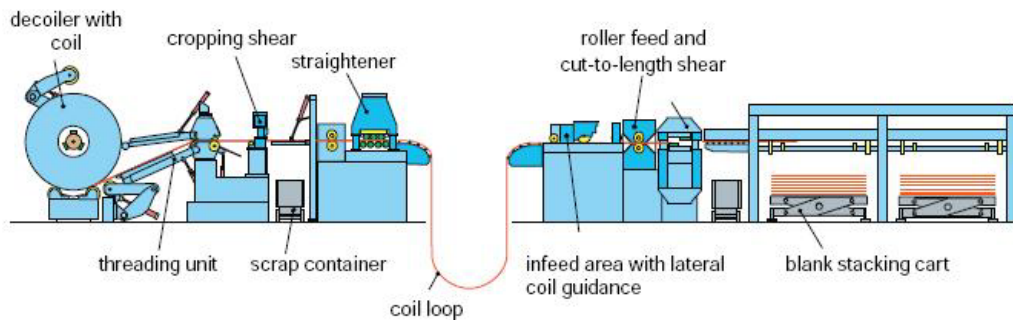


Figure 7 : Ligne de coupe à longueur (12)

### 1.1.5 La découpe mécanique sous presse

L'opération de découpage est réalisée par un outil sur lequel la presse applique un effort. Il est composé de deux parties : un poinçon et une matrice. L'une des parties est accrochée à la table de la presse et sera immobile : la matrice. L'autre partie est fixée au coulisseau et sera mobile : le poinçon. La tôle à découper est positionnée entre la matrice et le poinçon. La descente du poinçon provoque l'action de découpe.

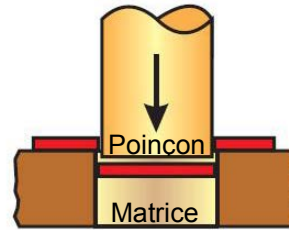


Figure 8 : Outils de découpe

Trois phases distinctes se succèdent :

- L'indentation du poinçon dans la tôle. Le poinçon commence à pénétrer la tôle et créer un bombé à l'entrée du bord découpé.
- Le cisaillement plastique. Le poinçon commence à créer une surface au bord de la pièce. Cette surface est parallèle au flan et d'aspect lisse. C'est la zone calibrée.
- La rupture. Des fissures se créent au niveau des arrêtes de coupe et conduisent à un arrachement de la matière. C'est la zone arrachée.

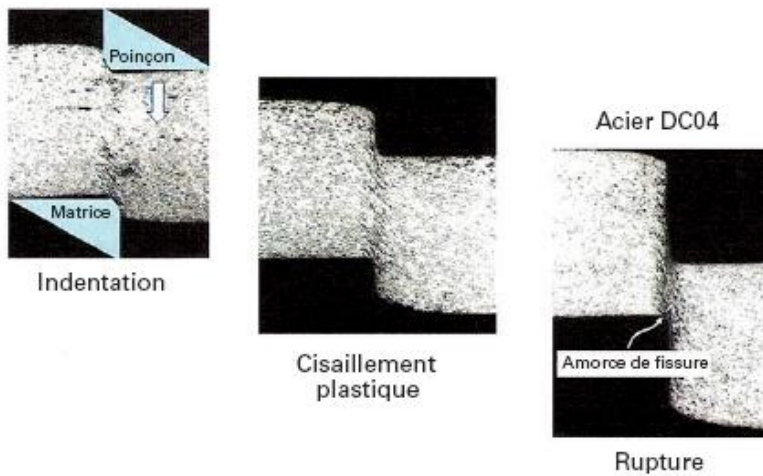


Figure 9 : les différentes phases de l'opération de découpage (13)

La pièce finale peut être la partie découpée par le poinçon, ou inversement, la partie extérieure sur laquelle l'outil réalise des poinçonnages. La partie découpée est alors appelée débouchure, et est poussée par le poinçon au travers de la matrice (Figure 8). La débouchure se déforme légèrement sur les bords libres, et reste bloquée dans la matrice jusqu'à ce qu'un autre flan la dégage et prenne sa place. Pour limiter leur accumulation, un cône de dégagement est créé sur la matrice. Elles sont évacuées par gravité. Le même phénomène de blocage se produit sur le poinçon. La partie non évacuée se resserre sur lui pendant la phase de remontée. Un dévêtisseur est utilisé pour dégager cette chute du poinçon. La Figure 10 montre un dévêtisseur utilisé pour le guidage du poinçon, et venant en contact de la tôle pour la maintenir pendant la découpe : le serre flan.

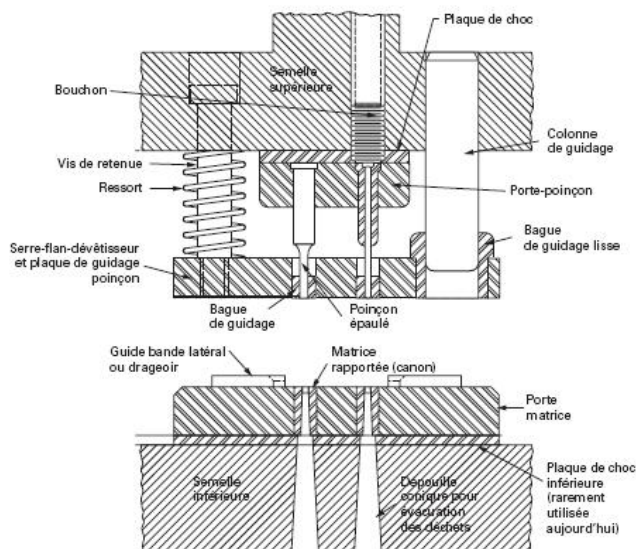


Figure 10 : ensembles composant un outils (4)

Le jeu est exprimé en fonction de l'épaisseur découpée. Il est la distance entre le poinçon et la matrice. Il influence beaucoup l'état de surface du profile de coupe, la taille de la bavure, et la répartition des zones bombées, calibrées et arrachées. En effet, plus le jeu est faible, plus la zone calibrée sera importante. C'est le principe utilisé en découpage fin. L'usure de l'outil, par contre est considérablement augmentée. Le concepteur devra faire un compromis entre ces paramètres pour dimensionner cette valeur. Plusieurs abaques du CETIM donnent des valeurs en fonction des matériaux, qui varient de 5 à 10% de l'épaisseur de découpe.



Selon la complexité des pièces à réaliser, plusieurs étapes peuvent se succéder pour réaliser la pièce. Il est intéressant de pouvoir réaliser cette succession d'étapes en un seul coup de presse. C'est le cas des outils à suivre. Ils sont composés de plusieurs jeux de poinçons et matrices qui permettront la réalisation d'autant d'opérations de découpe, de pliage, voir d'emboutissage (Figure 11). A chaque coup de presse, la bande est avancée, et une pièce finie est fabriquée. Elle est détachée à la dernière étape. Ce type d'outillage permet la réalisation de pièces complexes à des cadences pouvant dépasser les 1500 pièces par minute.

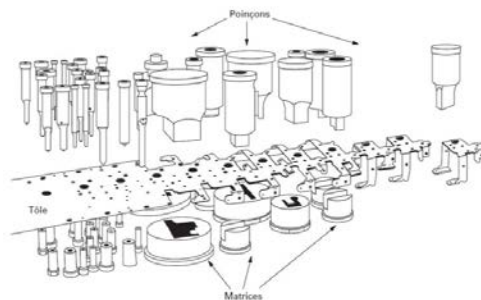
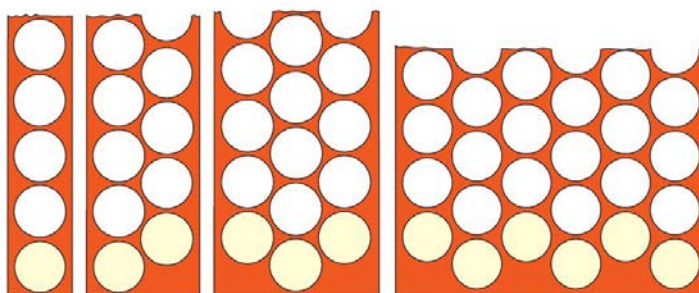


Figure 11 : jeux d'outils (4)

Le coût de matière première par pièce est de l'ordre de 30% à 40% et peut atteindre jusqu'à 90% (4). L'engagement matière est défini comme étant la quantité totale de matière nécessaire à la réalisation d'une pièce. Compte tenu du prix en constante évolution des matières premières, réduire sa quantité est un enjeu économique incontournable. C'est le rôle de la mise en bande. La Figure 12 montre qu'il peut être très variable suivant l'agencement des pièces entre elles. L'agencement « d » consomme près de 17% de matière en moins que le cas « a ». Toutefois dans le cas « d », l'outillage nécessite le découpage de 6 flans à chaque coup de presse. L'investissement en outillage est beaucoup plus important. L'énergie que doit fournir la presse est d'autant plus augmentée.



(a) 56.8% (b) 65.0% (c) 67.4% (d) 73.2%

Figure 12 : influence de la mise en bande sur l'engagement matière (11)

Avant d'effectuer la conception d'un outillage, il est important de déterminer l'effort de découpe maximum que devra fournir la presse. Il permettra de dimensionner également les outillages. Dans la grande majorité des cas, l'entreprise possède déjà une ou plusieurs presses. Cette effort calculé servira alors à définir le moyen de production le plus adapté, ou même de revoir la gamme de fabrication, de manière à équilibrer l'effort que devra fournir chaque poste.

Dans le cas d'un outil plat, l'effort résultant vertical de découpage est donné par la relation suivante :

$$F = e_0 \cdot L \cdot k \cdot R_m$$

Avec :

- F : force maxi en N.
- $e_0$  : épaisseur de la tôle en mm.
- L : périmètre de découpe en mm.
- $R_m$  : résistance mécanique en N/mm<sup>2</sup>.
- k un coefficient compris entre 0,5 et 1.

Le produit  $k \cdot R_m$  étant la résistance au cisaillement du matériau.

Le calcul de chacun de ces efforts, dans les cas de la découpe de plusieurs contours à chaque coup de presse, pourra être additionné en une résultante appliquée au barycentre. Pendant la mise en bande, on cherchera à la positionner au centre du coulisseau, sans quoi, cela pourrait aboutir à un désaxage. La Figure 13 représente les conséquences de ce désaxage : la casse de l'outillage, et dans le pire des cas, à un coincement du coulisseau dans ses glissières.

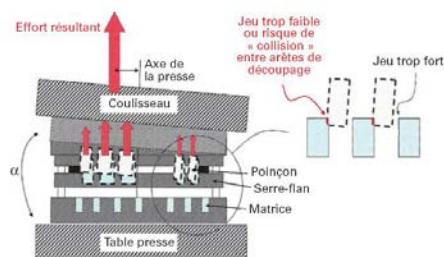


Figure 13 : conséquence du désaxage de la résultante par rapport à l'axe presse (13)

Un autre paramètre à prendre en considération est celui de l'énergie consommée en découpage. Il est déterminant dans le choix de la presse. Elle doit être inférieure à ce que la presse est capable de restituer.

$$E_n > E_e$$

Avec :

- $E_n$  : énergie nominale de la presse en Joules.
- $E_e$  : énergie dépensée pendant le formage en Joules.

---

En supposant que le déplacement est parfaitement colinéaire et opposé à l'effort, l'énergie consommée par une découpe est égale au travail de la force appliquée sur la distance parcourue :

$$E_e = \vec{F} \cdot \vec{T}$$

Avec :

- $\vec{F}$  : l'effort de formage en N.
- $\vec{T}$  : le déplacement pendant le formage en m.

### 1.1.6 Les technologies de presse

Il existe plusieurs technologies de presses présentes dans l'industrie, chacune ayant des caractéristiques bien spécifiques. Les plus courantes sont les presses hydrauliques, presses mécaniques, ou presses à vis. Elles sont caractérisées par l'effort maximal qu'elles peuvent subir sans être endommagées, ainsi que par leur énergie nominale. Elles se composent toutes d'un bâti, d'une partie mobile transmettant l'effort et l'énergie à l'outillage : le coulisseau. Ce qui les différencie, est l'actionneur et la transmission utilisés. La distance minimale entre le coulisseau et la table est appelée « point mort bas » (PMB), et la distance maximale, le « point mort haut » (PMH). L'écart entre ces deux positions est la course.

**Les presses hydrauliques** sont composées d'un vérin alimenté par un fluide mis sous pression par une pompe. Les efforts s'étendent de quelques kN à 700 MN. L'énergie est apportée en continue par un moteur électrique. Elle n'a pas de limite énergétique, ce qui en fait une presse adaptée aux procédés tels que le filage, l'emboutissage, le forgeage libre. Sa cadence étant faible, et sa taille imposante, elle est peu adaptée à la découpe des métaux. Elle est toutefois utilisée dans les forges pour l'ébavurage à chaud des pièces estampées.



Figure 14 : presse hydraulique  
ACB Loire de l'ENSAM de Metz

---

**Les presses à vis**, comportent une vis mise en rotation par un moteur électrique, et un écrou solidaire du coulisseau. La masse mobile est projetée à une vitesse donnée. L'énergie délivrée est égale à  $\frac{1}{2} mV^2$ , avec m la masse totale en mouvement et V sa vitesse. Les efforts peuvent aller de 1 MN à 30 MN. Ces presses sont plus compactes. La remontée du coulisseau s'effectue en inversant le sens de rotation de la vis. Les cadences restent faibles : 1 à plusieurs pièces par minute.

**Les presses mécaniques** sont composées d'un moteur électrique entraînant un volant d'inertie. C'est à dire une masse en rotation servant à accumuler de l'énergie cinétique. Un système de bielle-manivelle (ou vilebrequin et excentrique) transforme le mouvement de rotation du volant en un mouvement de translation alternatif du coulisseau. L'avantage de ce système est la rotation continue du volant, ainsi la majorité des masses en mouvement ne sont pas arrêtées d'un cycle à l'autre. Un système d'embrayage permet d'accoupler le volant au coulisseau lorsque le mouvement est demandé par l'utilisateur. Ceci permet à ce type de presse d'atteindre des cadences élevées dépassant les 1500 coups par minute, lorsque le coulisseau est accouplé au volant sans interruptions. Dans ce cas, le mode d'utilisation est dit « à la volée ». La presse mécanique est la plus adaptée au procédé de découpe automatisée. Le reste de l'étude lui sera consacré.



Figure 15 : presse à vis Lasco SPR400 de l'ENSAM de Metz

#### 1.1.7 Constitution d'une presse mécanique

**Le bâti** peut être de deux types. En col de cygne, il donne une bonne accessibilité à la table de la presse. Néanmoins sa déformation crée un angle d'ouverture entre la table et la semelle du coulisseau, ce qui se traduit par un défaut de parallélisme entre la partie inférieure et la partie supérieure de l'outillage. Il est appelé « cédage ». Pour le limiter, ce type de bâti est réservé aux presses de petite capacité (jusqu'à 0,6 MN).

En arcade, la déformation est répartie sur ses 4 montants. Si l'effort résultant est positionné au centre du coulisseau, le parallélisme est respecté, même avec des efforts élevés. Le cédage est compensé par le réglage du PMB, ou anticipé lors de la conception de l'outillage. Ce type de bâti est moins imposant, mais limite l'accès à la table. Les efforts atteignent jusqu'à 150 MN.

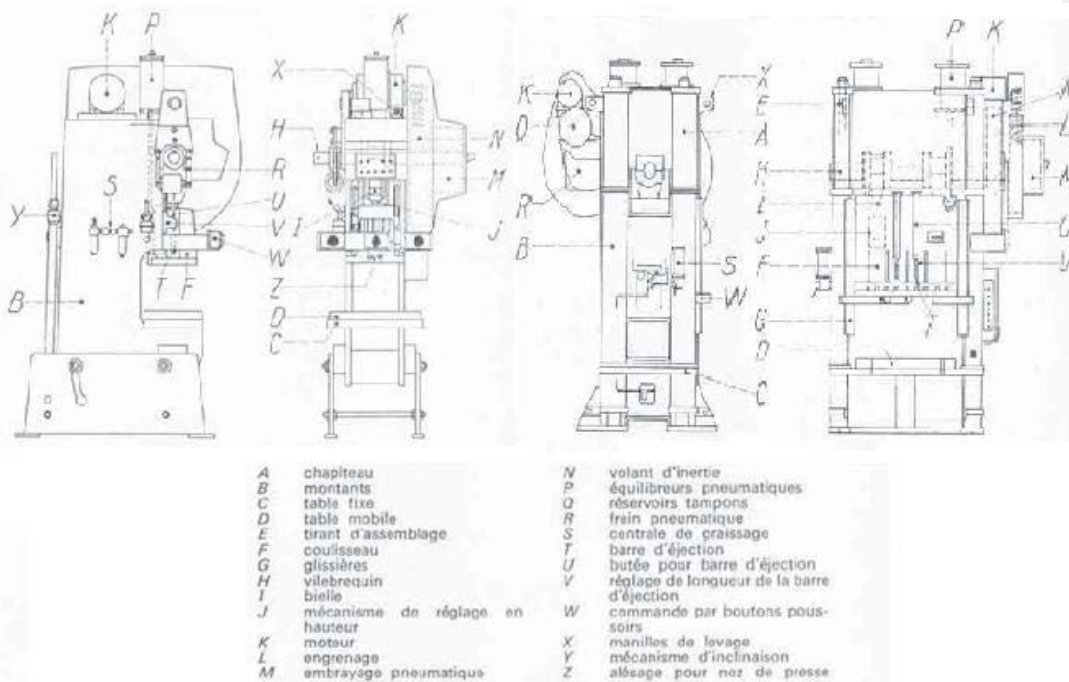


Figure 16 : constitution de presse à bâti en col de cygne et bâti à arcades (5)

L'**embiellage** détermine la loi de mouvement du coulisseau. La loi d'entrée/sortie d'un système bielle manivelle simple est caractérisée par l'équation suivante :

$$X = r \cdot \cos \alpha + \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha} \quad (5)$$

Avec :

- X : la position du coulisseau.
- $\alpha$  : la position angulaire du vilebrequin.
- L : la longueur de bielle.
- R : la longueur de l'excentrique.

Les presses peuvent posséder un coussin pneumatique, ou hydraulique. C'est un vérin disposé dans la table. Il est utilisé pour transmettre l'effort de serrage aux outillages possédant un serre-flan ou un éjecteur.

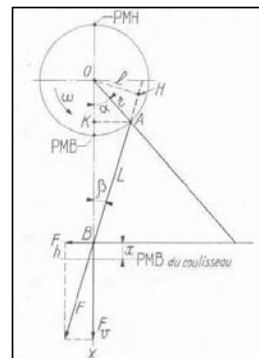


Figure 17 : système bielle-manivelle (5)

---

## 1.2 Les moyens d'automatisation

L'automatisation en découpe mécanique, vise à alimenter la presse en matière, par un flux continu et sans intervention de l'opérateur. La presse est l'élément le plus coûteux. La ligne est dimensionnée pour que la presse en soit le goulot d'étranglement. Son alimentation en matière doit s'effectuer de manière synchronisée avec l'opération de découpe. Cela se fait en trois phases :

- L'alimentation en matière.
- La découpe, comprenant la phase de dévêtissage, les outils étant encore engagés, la tôle doit être complètement immobile.
- L'évacuation de la pièce et des chutes.

La phase de découpe dépend entièrement des cadences de la presse. L'automatisation se concentre donc sur les deux autres phases. Suivant le format de la matière (cf.: 1.1.3), plusieurs solutions existent.

### 1.2.1 Cas des tôles en feuille

Un robot poly-articulé, chargé d'un préhenseur, prend la feuille directement au-dessus de la pile, pour la positionner dans l'outillage de la presse. Le préhenseur est constitué d'un châssis sur lequel sont disposés des ventouses. Les surfaces ne sont pas endommagées, et cela autorise des formes et des mises en positions complexes. La tôle est évacuée après formage par un second robot pour éviter les temps morts. Ainsi plusieurs presses peuvent être disposées en ligne pour effectuer des opérations successives de formage (Figure 18). Ces lignes sont imposantes et coûteuses. Elles sont préférées à la fabrication de pièces de grandes dimensions et à géométrie complexe. Exemple des parties de carrosserie et châssis de voiture. Les cadences de ce type de ligne sont de l'ordre de quelques pièces par minute.



Figure 18 : ligne de presse Schuler (19)

Remarque : l'intégration de la ligne de coupe à longueur peut se faire juste en amont de cette ligne de formage. Le flux devient alors tendu entre la coupe des tôles, et leur formage, ce qui réduit la manutention et le stockage de matière.

### 1.2.2 Cas des bobines de tôle

**Le dérouleur** permet comme son nom l'indique, le déroulage progressif de la bobine. Il assure l'apport continu de matière à la ligne. Le déroulage s'effectue par un moteur entraînant le mandrin. Il peut aussi être laissé en roue libre. Dans ce cas, le redresseur assure le déroulage. Le terme dévidoir est employé.

Les conceptions peuvent varier légèrement. Certains modèles autorisent une réserve d'une ou plusieurs bobines. L'objectif étant de réduire le temps d'arrêt de l'ensemble de la ligne durant les phases de changement de bobine.

Des accessoires sont ajoutés suivant les cas d'utilisation. Les fortes épaisseurs et certaines nuances à haute élasticité tendent à se dérouler toutes seules. Ceci provient du retour élastique de la matière. Elles sont cerclées par les fournisseurs pour éviter ce relâchement. Lors de sa mise en place sur le dérouleur, le bras presseur (Figure 19) est utilisé pour maintenir la bande et garantir la sécurité des opérateurs.

Des guides latéraux (Figure 19), sont utilisés dans le cas des feuillards de faible largeur. Ils permettent de garder une cohésion de l'ensemble des enroulements après décerclage.

**Le redresseur** est utilisé pour corriger le défaut de planéité de la bande créé par son enroulement. Il est composé de rouleaux inférieurs et supérieurs disposés en quinconce. Ils forment localement des systèmes de flexion trois points. Ainsi plusieurs opérations de cintrages successives permettent la mise à plat de la tôle. Suivant la qualité et le type de redressage souhaité, les redresseurs possèdent un nombre plus ou moins important de rouleaux. Cela va de 7 à 15 rouleaux. Le réglage en hauteur des rouleaux supérieurs est ajusté en fonction de l'épaisseur, du rayon à corriger, et du retour élastique de la tôle. Des rouleaux entraîneurs sont disposés à l'entrée et à la sortie du redressage. Ils entraînent la tôle par adhérence.



Figure 19 : dérouleur double DIMECO (14)

#### Redresseur 1675/11

1. Rouleaux supérieurs réglables en pénétration
2. Rouleaux inférieurs motorisés
3. Rouleaux d'entraînement motorisés
4. Rouleaux d'entraînement non motorisés
5. Pignons d'entraînement
6. Guide-bande entrée
7. Relevage pneumatique du rouleau d'entraînement
8. Réglage rouleau redresseur
9. Guide-bande sortie.

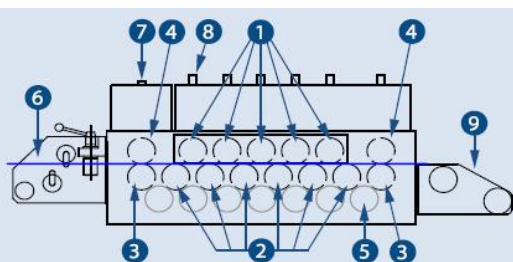


Figure 20 : éléments constitutifs d'un redresseur (14)

---

**Le système d'amenage** effectue l'avance de la bande de tôle dans l'outillage. Contrairement aux feuilles, le seul mouvement nécessaire pour une bande de tôle est une translation. Les systèmes d'alimentation sur ce type de ligne sont plus simples et de ce fait moins coûteux. Plusieurs technologies, existent pour effectuer l'avance.

**Les pinces pneumatiques** maintiennent la tôle par un vérin fixé sur un support mobile. Ce support est déplacé au pas souhaité par un second vérin. La tôle est relâchée du support mobile puis retenue sur un support fixe par un troisième vérin pendant que le support mobile retourne à sa position initiale. La mise en position et le réglage du pas s'effectue avec le placement de capteurs suivant l'axe de déplacement. L'avance est effectuée à 1 mm près. Plus la course est importante et plus le vérin actionnant la pince mobile devra être long.

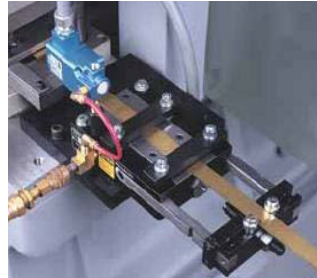


Figure 21 : Pince pneumatique (15)

**Les pinces à rouleaux** disposent de deux rouleaux motorisés, tournant en sens inverse. Ils pincent la tôle sans la déformer plastiquement, et l'entraînent par adhérence. Leur inconvénient est que la surface en contact dépend uniquement de la largeur de la bande, contrairement aux pinces pneumatiques où elle dépend des dimensions des pinces. Les systèmes à rouleaux permettent donc une force d'entraînement moins importante que les systèmes pneumatiques. En revanche, leur taille est indépendante de la course d'amenage.



Figure 22 : aménagement à rouleaux DIMECO (14)

**La synchronisation** de la pince avec la presse est réalisée suivant 4 étapes. En premier, une bande de tôle suffisante est en position pour être découpée. Pendant toute la phase de découpe et juste avant le dévêtissage, la tôle est immobile. La pince peut toutefois effectuer son retour : (étapes 2 et 3 de la Figure 23)**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Dès que le poinçon est dégagé, la pince amène la bande de tôle pour la découpe suivante.



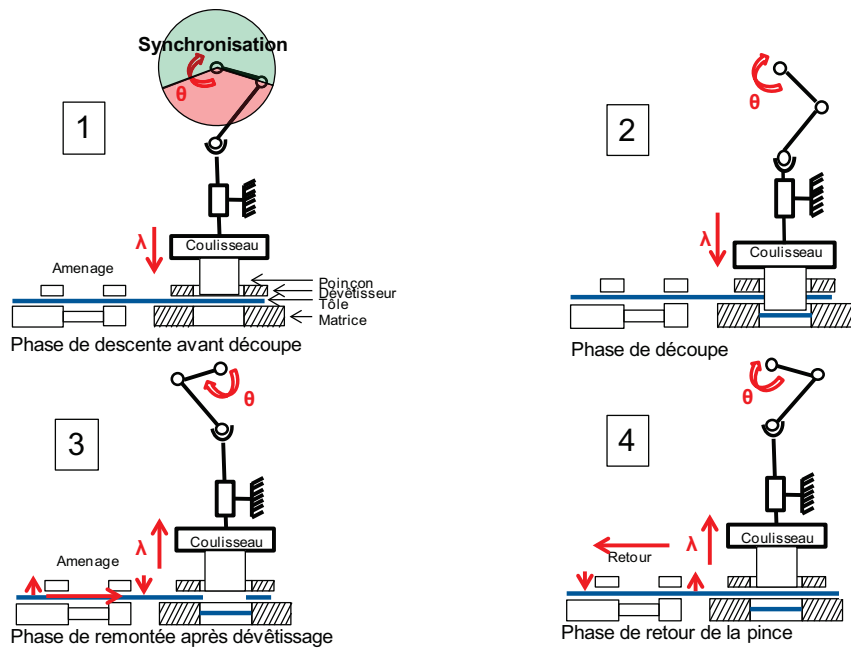


Figure 23 : cadencement des phases d'amenage sous presse

La communication entre la presse et la pince peut être réalisée de plusieurs manières. Certaines pinces pneumatiques sont actionnées par la descente du coulisseau, qui enclenche le distributeur pneumatique au PMB. D'autres sont enclenchées par une commande, qui prend en compte la position angulaire du vilebrequin à l'aide d'un codeur angulaire. Ces commandes permettent plus de flexibilités que les commandes mécaniques.



Figure 24 : capteurs de position vilebrequin sur Presse CNR4

**La boucle** est utilisée pour pallier le manque de synchronisation des différents éléments. Même si le dérouleur et le redresseur fonctionnent en continu, il est impossible d'avoir la même vitesse sur l'un et l'autre. Il y a une dérive de la vitesse entre les deux machines. Leur synchronisation ne peut pas être parfaite. Pour éviter ce problème une boucle fonctionnant comme une réserve tampon est insérée entre les deux machines. En position basse la boucle est remplie, le dérouleur se stoppe. Inversement, en position haute, le dérouleur est remis en marche pour alimenter la boucle. Le contrôle de la hauteur est assuré par un palpeur mécanique, ou un capteur à ultra son. Une autre boucle est insérée entre le redresseur et l'amenage. Ses caractéristiques sont :

- H sa hauteur.
- D sa longueur.
- L la longueur de tôle dans la boucle.
- S la réserve maximale de tôle qui équivaut à  $L_{maxi} - L_{mini}$ .

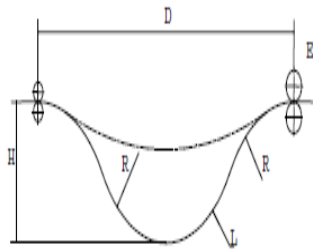


Figure 25 : Schéma d'une boucle (10)

### 1.2.3 Positionnement des différents éléments

L'architecture standard d'une ligne comporte les éléments de formage, déroulage, redressage, et d'amenage (Figure 26).

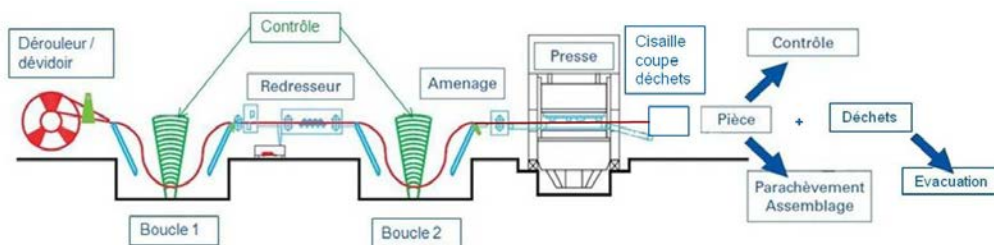


Figure 26 : architecture standard d'une ligne de découpe automatisée (4)

Les constructeurs proposent plusieurs variantes de cette organisation (Figure 27). Les lignes conventionnelles sont divisées en deux catégories. Dans le cas d'un dérouleur, c'est-à-dire, dans le cas où il y a une motorisation de la fonction de déroulage de la tôle, une synchronisation entre la vitesse de déroulage et la vitesse du redressage est nécessaire. La solution employée, est d'utiliser une boucle entre le dérouleur et le redresseur, ce qui implique un asservissement du dérouleur en fonction de la hauteur de boucle.

Il est possible de simplifier la ligne. C'est le cas du dévidoir. Le déroulage de la tôle n'est pas motorisé. C'est le redresseur qui remplit cette fonction. Pendant la phase d'arrêt du redresseur, un système de frein arrête la rotation du dérouleur. Le système de freinage peut être un frein à disques activé lors de l'arrêt, ou un frein permanent s'opposant au déroulage. Cette solution est proscrite pour les faibles épaisseurs de tôle. La résistance du frein engendre une contrainte de traction dans la bande de tôle qui peut conduire à la rupture (ce phénomène sera abordé plus en détail au chapitre (Choix de l'architecture de la ligne 3.1.1).

Avec l'avènement des commandes numérique, il est désormais possible d'asservir la rotation du redresseur. Il remplit alors la fonction de l'amenage à rouleaux. L'architecture est celle des lignes compacts (Figure 27).

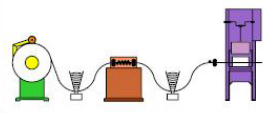
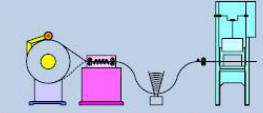
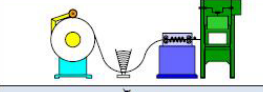
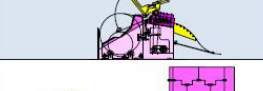
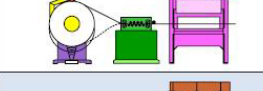
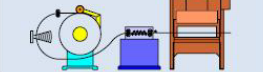
Type Configuration	Schéma Lay-out	Machines	Machines	Coil			Matériaux	Material type
				Larg. maxi Maxi width mm	Poids maxi Maxi weight mm	Épaisseur Thickness mm		
Ligne classique Conventional line		Dévidoir motorisé Redresseur motorisé Amenage MICROFEED	Motorized decoiler Motorized straightener MICROFEED servo-feed	660	3 000	0,1 / 3	Délicat Acier doux Alu Cuivre Laiton	Delicate Mild steel Aluminum Copper Brass
		Dévidoir freiné Redresseur motorisé Amenage MICROFEED	Braked decoiler Motorized straightener MICROFEED servo-feed	2 000	20 000	0,6 / 8	Peu délicat Acier doux Inox H.L.E.	Not delicate Mild steel Inox H.S.L.A. sheet metal
Ligne compacte Compact line		Dévidoir motorisé Redresseur-amenage MICROPRO	Motorized decoiler MICROPRO combined servo straightener-feeder	1 300	6 500	1 / 4	Tous matériaux	All material type
		Combiné dévidoir- redresseur caisson	Coil cradle (combined decoiler-straightener)	500	5 000	2 / 6	Peu délicat Acier doux	Not delicate Mild steel
		Dévidoir freiné Redresseur-amenage MICROPRO Sans boucle	Braked decoiler MICROPRO combined servo straightener-feeder Loopless	2 000	20 000	1 / 7	Tous matériaux Acier doux H.L.E.	All material type Mild steel H.S.L.A. sheet metal
		Dévidoir freiné Redresseur-amenage MICROPRO Boucle arrière	Braked decoiler MICROPRO combined servo straightener-feeder Rear loop system	2 000	20 000 (25 000)	2 / 8	Tous matériaux H.L.E.	All material type H.S.L.A. sheet metal

Figure 27 : architectures proposées par le fabricant DIMECO (14)

---

### 1.3 La plateforme technologique Vulcain

#### 1.3.1 Objectifs et moyens

La plateforme technologique VULCAIN, est née il y a quelques années de la volonté de fournir des moyens de mise en forme industriels pour la recherche et la pédagogie. La ligne de découpe s'intègre dans ce contexte, pour faire partie des démonstrateurs de la plateforme. Elle se doit de prendre en compte les interactions avec les autres éléments, pour rationaliser leur utilisation.

Vulcain dispose de plusieurs moyens de formage. Une presse hydraulique 6 MN qui est arrivée à l'ouverture du centre et représente l'outil le plus lourd et volumineux de l'atelier. Pour éviter de devoir la déplacer, la plateforme s'est donc construite autour de cette presse. Au début de l'année 2014, la plateforme accueille une presse à vis Lasco d'énergie maximale 31 kJ et d'un effort de 400 tonnes nominale. Deux fours à induction Celes 25 kW et 50 kW chauffent les lopins. Un robot ABB 6 axes assure leur transfert sous ces deux presses. La presse mécanique 500 kN a été déplacée à proximité de cet îlot, dans le but d'accueillir la ligne de découpage.

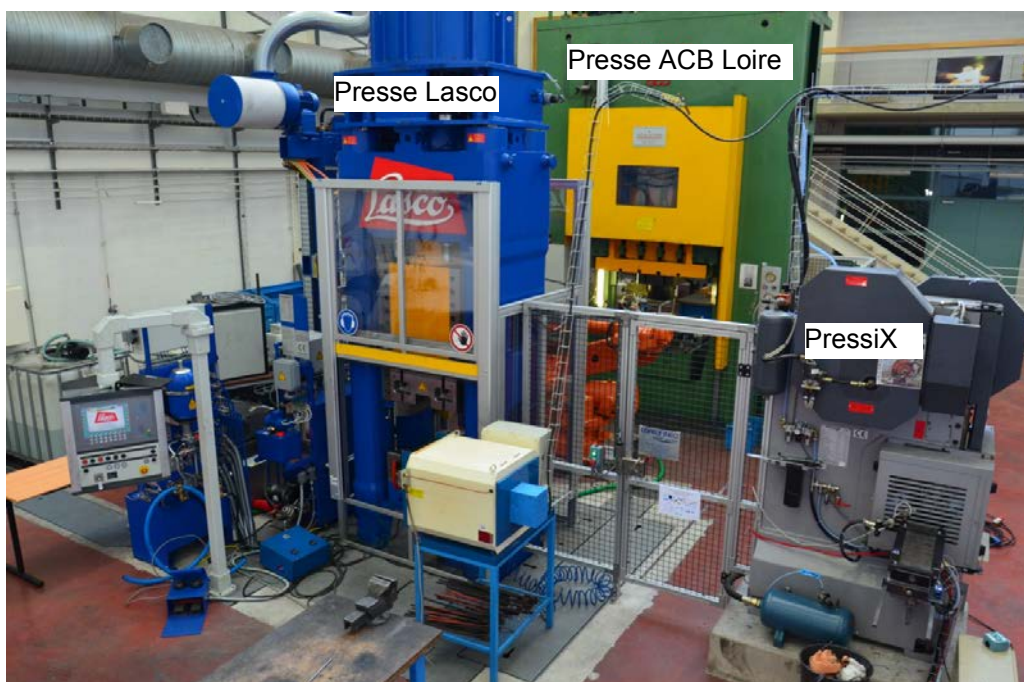


Figure 28 : plateforme Vulcain

Les outillages associés à ces équipements, sont lourds. Des racks de stockage sont entreposés à proximité. Leur manutention s'effectue au chariot élévateur. Les accès à ces équipements doivent être sauvegardés.

---

La plateforme regroupe également des moyens de contrôle. En raison de températures supérieures à 1000°C en sortie de presse, des techniques de contrôle sans contact sont majoritairement utilisées. Pour les mesures dimensionnelles, le système de mesure stéréoscopique (ATOS II TS de GOM) est utilisé. La partie contrôle thermique est réalisée par une caméra infrarouge (Flir), et par deux pyromètres monochromatiques (Irtech).

Vulcain étant un démonstrateur technologique à échelle industrielle, plusieurs projets viennent alimenter son évolution. L'un d'entre eux a pour objectif de créer un poste de contrôle automatisé. Le système de mesure est positionné sur un robot et fait l'acquisition des données juste après le formage sous presse. L'acquisition d'un four électrique haute température (jusqu'à 1600°C) est en cours. Il ouvrira le champ à la thématique innovante du thixoforgeage. Son chargement s'effectuera par le robot. La ligne ne devra pas seulement prendre en compte son environnement actuel, mais aussi son futur environnement.

### 1.3.2 Historique du projet de la ligne de découpe

Ce projet existe depuis 2009. Il a commencé par la récupération d'un ensemble constitué d'une pince pneumatique, d'une tête de redresseur et d'un dévidoir. Il a été confié à des étudiants lors de projets scolaires. Le volume horaire alloué à ces projets était trop faible pour qu'un groupe puisse l'effectuer dans sa totalité. Le travail était réparti par sous-projets, chacun répondant à une fonction de la ligne. Plusieurs investissements en matériel ont déjà été effectués : les motoréducteurs destinés au redresseur et au dérouleur, ainsi que leurs variateurs.



Figure 32 : PressiX CNR4



Figure 29 : dérouleur DIMECO 2310F



Figure 30 : pince RapidAir F20



Figure 31 : tête de redresseur DIMECO 1675B

Les sous-ensembles principaux de la ligne sont présents. Les projets étudiants ont abouti à une maquette numérique avec quelques conceptions. La partie contrôle commande n'est ni conçue ni réalisée. Il est préférable de garder un maximum des éléments déjà présents, dans la mesure où ils correspondent au besoin. Cela limitera l'investissement final.

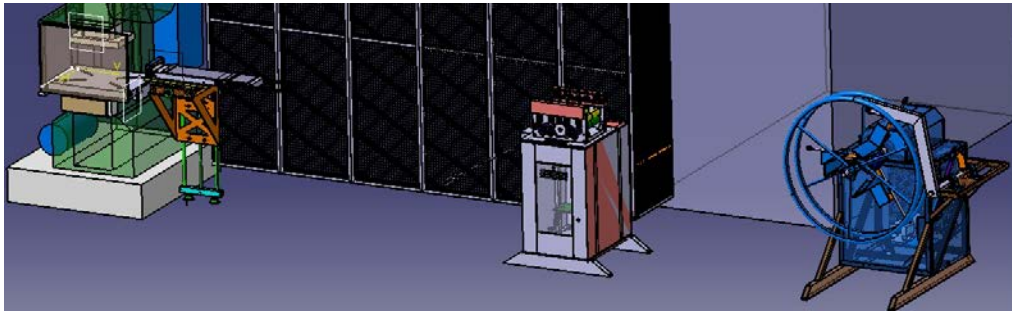


Figure 33 : maquette numérique des étudiants

### 1.3.3 La plateforme X-Remote Manufacturing

Les ressources matérielles de Vulcain ne sont pas utilisés pour de la production, telle qu'en milieu industriel. Leur taux d'utilisation est faible, puisqu'il est actuellement d'environ 20%. La plateforme X-Remote Manufacturing (XRM) a pour objectif d'augmenter ce taux, en facilitant la mise à disposition des ressources matériels et des compétences humaines. Son développement a commencé en 2012.

Le principe est le suivant : l'utilisateur client se connecte à une interface web. Suivant son niveau d'accès il peut accéder au serveur dédié à XRM, et prendre le contrôle des moyens de visions disposés dans l'atelier. Il peut acquérir les données process tel que l'effort en fonction du déplacement, les températures, et toute autre grandeur provenant d'un capteur. Il peut aller jusqu'à piloter la consigne en température des fours électriques, et la consigne de puissance des fours à induction.

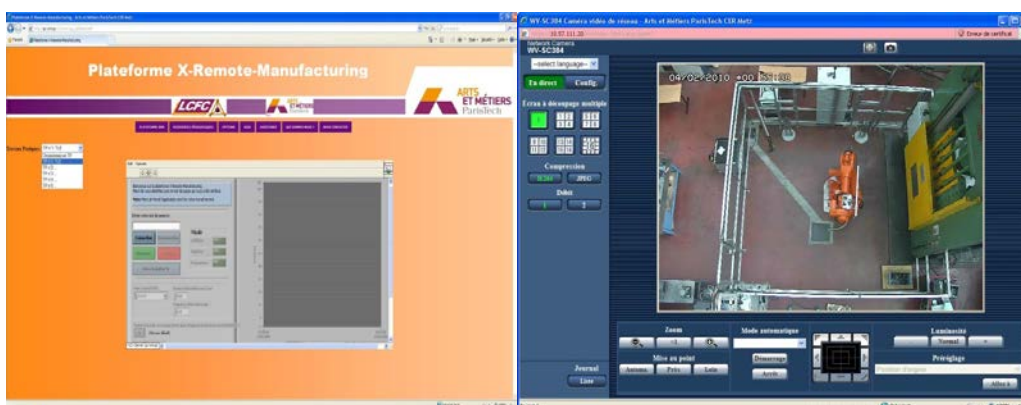


Figure 34 : acquisition de données et vision à distance via XRM

Un technicien sur place réalise les essais et s'assure du bon fonctionnement des différents éléments. Il dispose d'un casque audio et d'un micro pour communiquer, et donner des commentaires pendant les séances de travaux pratiques.

La plateforme XRM a été créée de manière à être extensible. Les caméras et les boîtiers d'acquisition National Instrument sont reliés au serveur XRM par l'intermédiaire d'un Switch (Figure 35). Il a été volontairement surdimensionné, ce qui laisse de la place pour l'intégration de nouveaux matériels, que ce soit des caméras, ou des systèmes d'acquisition pour de futures machines. Le mode de communication utilisé pour la plateforme est le modbus TCP/IP. C'est la seule contrainte pour pouvoir s'intégrer au réseau XRM.

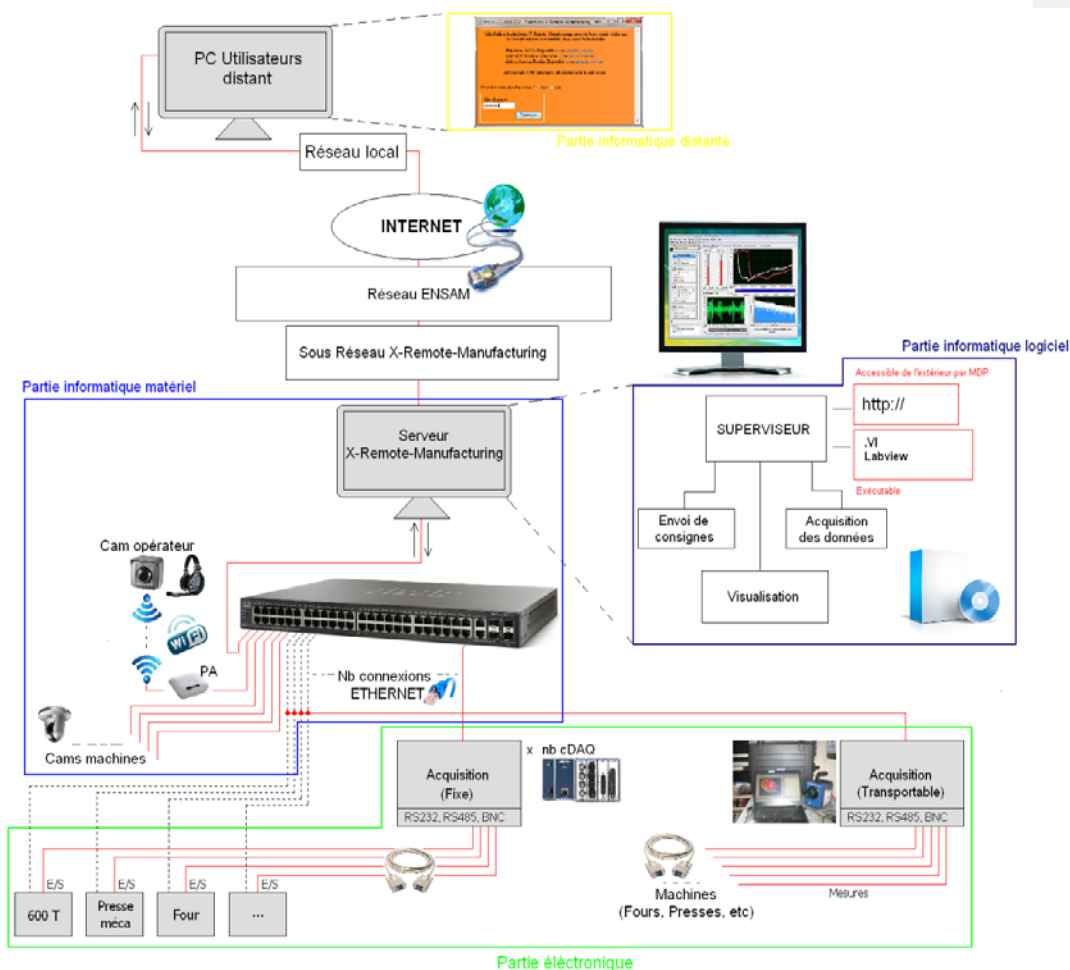


Figure 35 : architecture de la plateforme XRM

---

## 1.4 Normes de sécurité

*« Les équipements de travail destinés à être exposés, mis en vente, vendus, importés, loués, mis à disposition ou cédés à quelque titre que ce soit sont conçus et construits de sorte que leur mise en place, leur utilisation, leur réglage, leur maintenance, dans des conditions conformes à leur destination, n'exposent pas les personnes à un risque d'atteinte à leur santé ou leur sécurité » (6).*

L'équipement ne peut être mis à disposition par l'employeur qu'en présence du marquage CE. Lequel est apposé par le fabricant ou l'intégrateur de la machine. Celui-ci doit s'assurer que la machines est conçue conformément à la directive européenne machine 2006/CE/42. Elle définit le vocabulaire, les règles techniques de méthodologie de conception. Le constructeur s'il n'est pas compétent, peut demander la vérification de conformité par un organisme tiers, tel que les bureaux Véritas, et Socotec.

La ligne présente le cas typique d'un assemblage de quasi-machines, c'est à dire de composant standard déjà eux-mêmes certifiés CE. C'est le cas le plus simple prévu par la directive machine. «L'intégrateur doit justifier par un dossier technique pertinent de la conformité de la machine assemblée » (7). Ce dossier comprend entre autres :

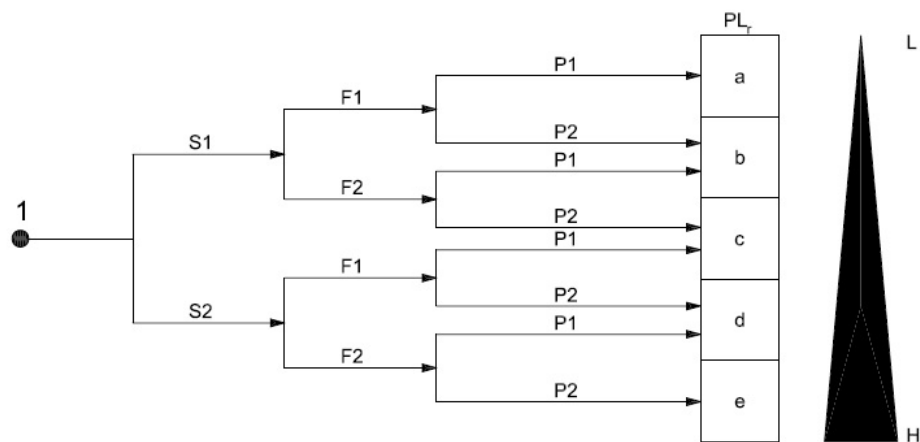
- Les plans détaillés des commandes électriques.
- L'évaluation des risques.
- Les procédures et moyens de prévention appliqués.

Pour aider le concepteur dans ses démarches, il existe des documents présentant des méthodologies, et des recommandations techniques : les normes.

**La norme ISO 12100** définit la terminologie et les principes de base pour intégrer la sécurité dans la conception des machines. Il contient la méthodologie d'évaluation des phénomènes dangereux et de réduction du risque. Chaque phase du cycle de vie de la machine doit être étudiée.

**La norme ISO 13849** traite de la conception des systèmes de commandes, du choix des composants de sécurité, et de leur intégration. Chaque fonction de sécurité, doit atteindre un certain niveau de performance (PLr). Il s'étendent de PL<sub>A</sub> à PL<sub>E</sub>, PL<sub>E</sub> étant le plus contraignant. Le niveau à atteindre dépend de l'évaluation du phénomène dangereux. Plus le phénomène est dangereux, plus la solution doit être drastique. La Figure 36 décrit le processus de détermination du niveau de performance d'une fonction de sécurité.





**Légende**

- 1 point de départ de l'estimation de la contribution à la réduction du risque
- L contribution à la réduction du risque faible
- H contribution à la réduction du risque élevée
- PL<sub>r</sub> niveau de performance requis

**Paramètres de risque:**

- S gravité de la blessure
- S1 blessure légère (normalement réversible)
- S2 blessure grave (normalement irréversible, y compris le décès)
- F fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux
- F1 rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition
- F2 fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition
- P possibilité d'éviter le phénomène dangereux ou de limiter le dommage
- P1 possible sous certaines conditions
- P2 rarement possible

**Figure 36 : méthodologie pour le choix du PLr (22)**

L'architecture de commande et les composants utilisés sont évalués par leur durée moyenne de fonctionnement avant défaillance dangereuse (Mttf<sub>d</sub>). La fonction réalisée doit être en dessous du seuil imposé par la norme.

Le logiciel SYSTEMA regroupe une base de données des caractéristiques et des composants de sécurité de plusieurs fabricants. Il calcule directement le Mttf<sub>d</sub> en fonction des câblages retenus.

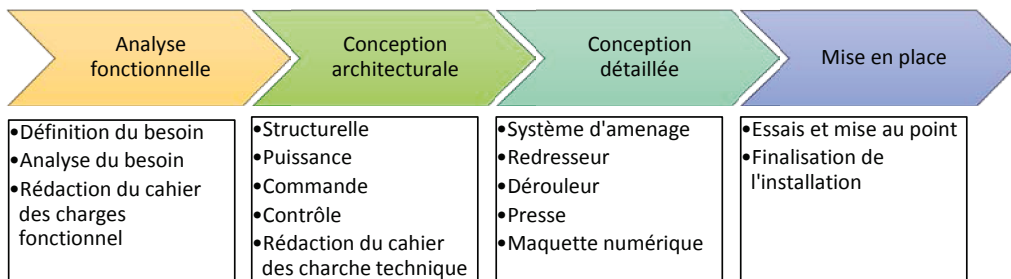
---

## 1.5 Bilan

L'Etat de l'Art montre que l'automatisation du procédé de découpage est bien connue du monde industriel. Les fabricants proposent de nombreuses solutions adaptés aux besoins spécifiques de l'industrie. Elles sont pensées pour la productivité. La difficulté de ce projet est de servir de démonstrateur tout en répondant aux exigences du milieu pédagogique.

Le projet d'automatisation de la découpe sous la presse mécanique CNR4, fait appel à plusieurs domaines tel que la mécanique, l'électrotechnique, l'automatisme, et les normes d'hygiène et de sécurité. Il s'intègre dans le cadre actuel de Vulcain, et XRM, qui n'existaient pas lors de son lancement en 2009. Malgré l'état de conception avancé de certains éléments, ce projet nécessite une remise à plat dans sa totalité. Cela permettra d'avoir une vue d'ensemble cohérente du projet, mais également revoir des choix de conception qui ne seraient pas les plus adaptés à ce nouvel environnement. Pour installer et mettre en service une ligne de découpe automatisée dans l'atelier de mise en forme il convient d'utiliser une démarche de conception. Le projet est découpé en quatre parties :

- L'analyse fonctionnelle définit le cahier des charges fonctionnelles.
- La conception architecturale définit le cahier des charges techniques.
- La conception détaillée effectue le choix des composants.
- La réalisation de la ligne dans l'atelier.



---

**CHAPITRE 2 :**  
**ANALYSE FONCTIONNELLE**

---

## 2 Analyse fonctionnelle

A ce stade de la conception, il est nécessaire de faire abstraction de toute solution technologique déjà utilisée. L'analyse fonctionnelle définit les fonctions que devra assurer la ligne de découpe. La méthode APTE (8) sera utilisée. Elle s'appuie sur les outils « bête à cornes » et « diagramme pieuvre », et consiste à énoncer le besoin, l'analyser puis rédiger le cahier des charges fonctionnelles.

La méthodologie de définition des fonctions de sécurité étant différente, elles seront traitées séparément. Cela ne signifie pas que ces fonctions doivent être séparées de la partie fonctionnelle, au contraire elles doivent être conçues en parallèle.

### 2.1 Enoncé du besoin

La ligne est destinée à un usage pédagogique dans les locaux des Arts et Métiers de Metz. Elle sert de support pour la réalisation des travaux pratiques de l'atelier de mise en forme des matériaux, et de démonstrateur lors de visites. Elle est le résultat de l'assemblage de plusieurs machines. L'ensemble du système doit être cohérent. Il est considéré dans un premier temps comme une machine unique répondant à un besoin.

#### 2.1.1 Diagramme bête à cornes

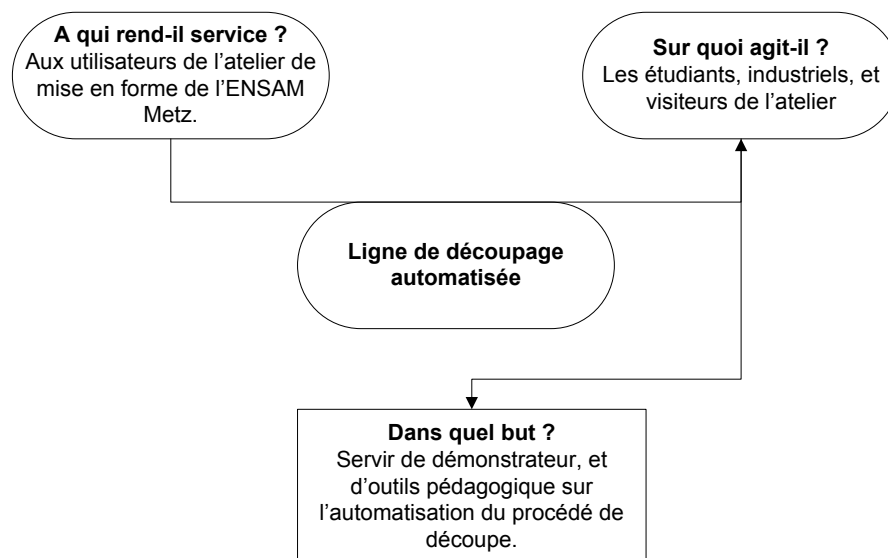


Figure 37 : diagramme bête à corne de la ligne de découpe

---

L'objectif premier de la ligne est de servir de support pédagogique. Le système doit correspondre à ceux présents en milieux industriels, dont la fonction principale est de découper des pièces de tôlerie automatiquement.

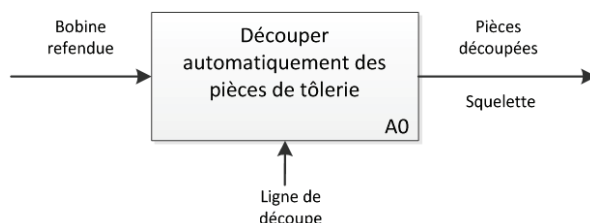


Figure 38 : IDEF0 de niveau A0

La matière d'œuvre entrante est la bobine de tôle refendue posée dans l'atelier, et la matière d'œuvre sortante est une série de pièces de tôleries découpées ainsi que le squelette de tôle. Entre ces deux états, plusieurs d'opérations sont nécessaires : montage de la bobine sur la ligne, engagement de la matière dans les différents éléments, et réglage des différents paramètres. La ligne doit avoir plusieurs modes de fonctionnement adaptés à ces chacune de ces phases.

### 2.1.2 Le cycle de vie

La commande de la ligne doit être prévue pour couvrir toute les phases possibles du cycle de vie de la presse. Quatre modes de fonctionnement distinct le permettent.

**Le réglage** de la ligne est effectué au lancement d'une nouvelle bobine. Soit parce que la précédente est consommée, soit pour le changement de matière. Pendant les essais, l'utilisateur vérifie que les paramètres opératoires sont corrects. La position du PMB, les course presse et pinces, le guidage matière font partie des paramètres à surveiller. L'opérateur doit avoir un accès séparé à la commande de chaque machine, pour les faire fonctionner en pas à pas. Pendant la mise en service d'une nouvelle bobine, l'opérateur la dépose sur le mandrin du dérouleur puis referme le bras presseur avant de décercler. Il doit ensuite dérouler juste ce qu'il faut de bande pour l'insérer manuellement dans le redresseur, puis dans la pince et la presse. Toutes les zones de la ligne doivent lui être accessibles. L'absence de protecteur pendant ce mode nécessite la connaissance des règles de sécurité des machines dangereuse de type presse.

Une fois la ligne en conditions initiales, l'utilisateur pourra accéder au découpage automatique. En « **mode Ligne** », l'opérateur déclenche la découpe à partir de la commande bi-manuelle de la PressiX. La descente du coulisseau est autorisée ou non, en fonction de l'état des autres machines, des énergies présentes et des organes de sécurité. Le déroulage, le redressage, et l'amenage de la bande sont effectuées sans intervention. L'opérateur n'a plus de raison d'intervenir dans les zones dangereuses.

---

Le fonctionnement nominal de la PressiX, à savoir un fonctionnement indépendant de la ligne de découpage doit être gardé. Il permet de rester ouvert aux autres procédés. Ainsi l'emboutissage réalisé pendant les travaux pratiques de première année pourra toujours être effectué, et le laboratoire pourra continuer le développement d'essais de mise en forme sur cette presse. C'est le « **mode Presse** » Pour éviter toute interférence pendant ce mode, le reste de la ligne sera rendu inopérant.

A ces modes de fonctionnement prévisible, devra s'ajouter la possibilité d'effectuer des travaux de maintenance qui surviendront suite à d'éventuelles pannes. Ce qui pourra par exemple nécessiter la coupure des énergies dans le cas du changement d'actionneur électriques ou pneumatiques, mais aussi couper tout mouvement pendant le changement de parties mécaniques. Le « **mode maintenance** » réunira toutes les contions pour intervenir en toute sécurité sur la ligne.

**Remarque :** ces modes sont indépendant des modes déjà existant sur la PressiX, qui pourrons être utilisés indépendamment de ceux sélectionnés pour la ligne.

### 2.1.3 Les utilisateurs

Les Arts et Métiers sont amenés à accueillir du publique, en plus des étudiants formés. Plusieurs types d'utilisateurs seront donc amenés à être en contact avec la ligne. Ils se différencient par leur niveau de formation, et leurs équipements de protection ce qui entraine un champ d'accès variable d'un utilisateur à l'autre. Il convient de bien les identifier, et de définir leur niveau d'accès dès le début du projet.

**Les personnels techniques** de l'atelier sont formés à l'utilisation des matériels. Leur rôle étant d'assurer leur mise en service, leur maintenance de premiers niveaux, et leurs réglages, ils doivent bénéficier de tous les niveaux d'accès à la machine.

**Les étudiants** viennent pour étudier le fonctionnement de la ligne, et par définition n'en n'ont aucune connaissance. Pendant les séances de travaux pratiques effectués sur toutes les autres machines de l'atelier, ils n'ont accès qu'au mode de fonctionnement automatique, et uniquement en présence d'un enseignant, ou personnel technique, qui pourra vérifier le respect des consignes de sécurité.

**Les enseignants** ont de multiples profils. Il y a des enseignants chercheurs, des doctorants, des intervenants extérieurs. Leur connaissance et expérience de l'atelier varient de l'un à l'autre. Cela nécessitera d'attribuer des niveaux d'accès au cas par cas.

**Le public extérieur** venant lors de visites, ou journées portes ouvertes, vient sans équipement de protection individuel, et n'a aucune connaissance du matériel. Il ne bénéficiera par conséquent d'aucun accès.

**Les intervenants extérieurs** doivent remplir un plan de prévention des risques. Leur intervention sur la ligne se fait en présence d'un personnel technique.

## 2.2 Analyse du besoin

Les modes de fonctionnement précité impliquent des contraintes techniques sur la conception. Leur analyse permettra d'effectuer l'organisation fonctionnelle de la ligne.

### 2.2.1 Diagramme pieuvre :

Le diagramme pieuvre est un outil qui définit de manière exhaustive, tous les éléments de l'environnement du système. Cela permet de les intégrer dès le début de la conception. Il est valable pour tous les modes de fonctionnement de la ligne.

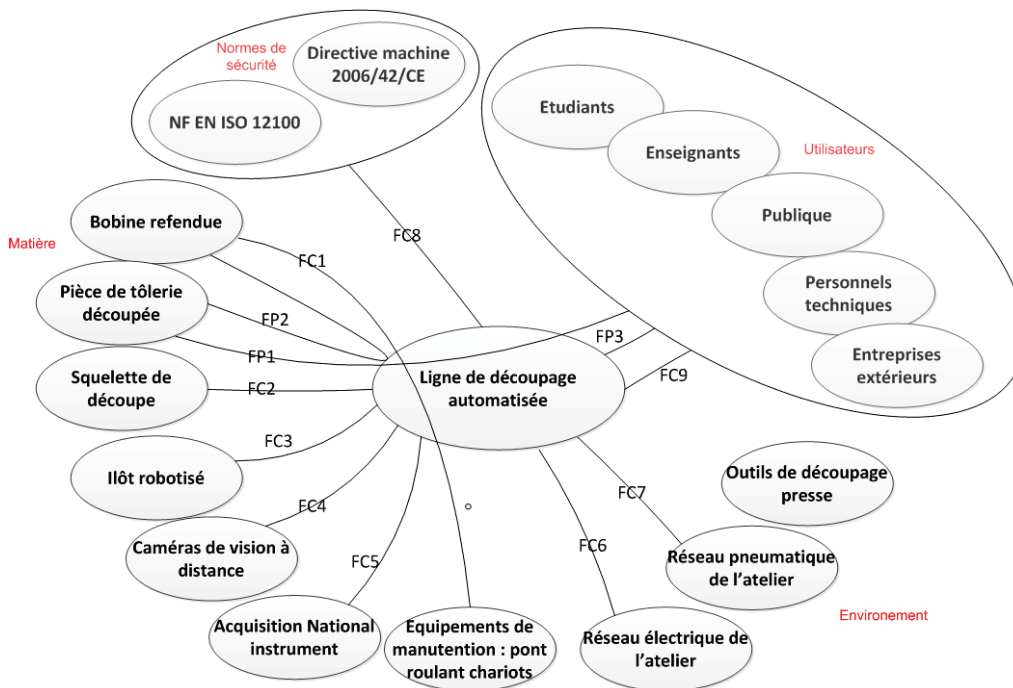


Figure 39 : diagramme pieuvre de la ligne de découpe

- FP1 : Permettre aux utilisateurs d'effectuer la découpe de pièces de tôlerie automatiquement.
- FP2 : Permettre la découpe de pièces de tôlerie à partir de bobines refendues.
- FP3 : Permettre aux utilisateurs une approche de l'automatisation de procédés.
- FC1 : Permettre le changement de bobine avec les moyens de manutention de l'atelier.
- FC2 : Permettre l'évacuation du squelette de découpe.
- FC3 : Permettre l'évolutivité de l'ilot robotisé.
- FC4 : Permettre la visualisation à distance du procédé avec les caméras.
- FC5 : Permettre l'acquisition de données à distance (effort, déplacement, état des capteurs).
- FC6 : S'adapter au réseau électrique de l'atelier.
- FC7 : S'adapter au réseau pneumatique de l'atelier.
- FC8 : Répondre aux normes de sécurité.
- FC9 : Permettre les actions de maintenances sur la ligne.

Cette première phase d'analyse donne une vision macroscopique de la ligne dans son environnement. La décomposition des fonctions pour chacun des sous-ensembles sera suivie d'une l'analyse descendante détaillée.

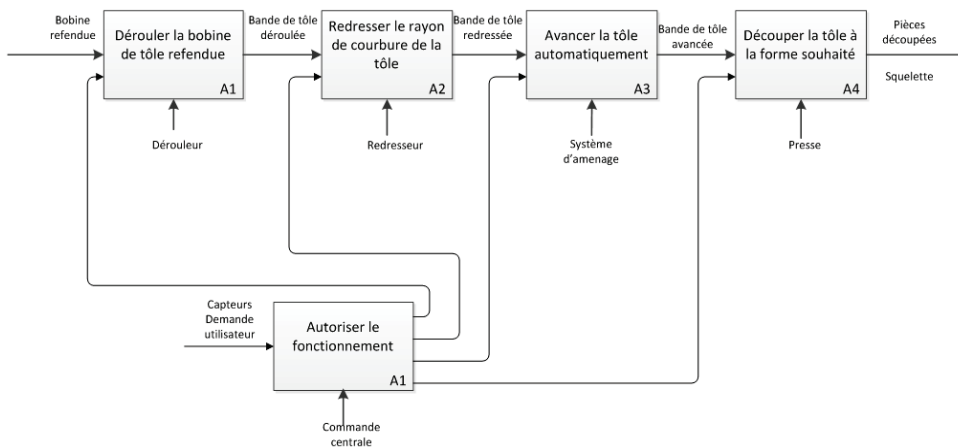


Figure 40 : diagramme IDEF0 de niveau A-1



Cette étude détaillée amène à étudier les interactions entre chaque sous ensemble. Elles n'apparaissent pas avec une étude macroscopique. L'exemple qui suit est celui du système d'amenage. Ce travail est réalisé sur chaque sous ensemble (Annexe 1 ).

## 2.2.2 Etude détaillé du sous-système d'amenage

En rapportant l'étude à la pince pneumatique, le redresseur, la presse et le dérouleur deviennent des éléments d'environnement.

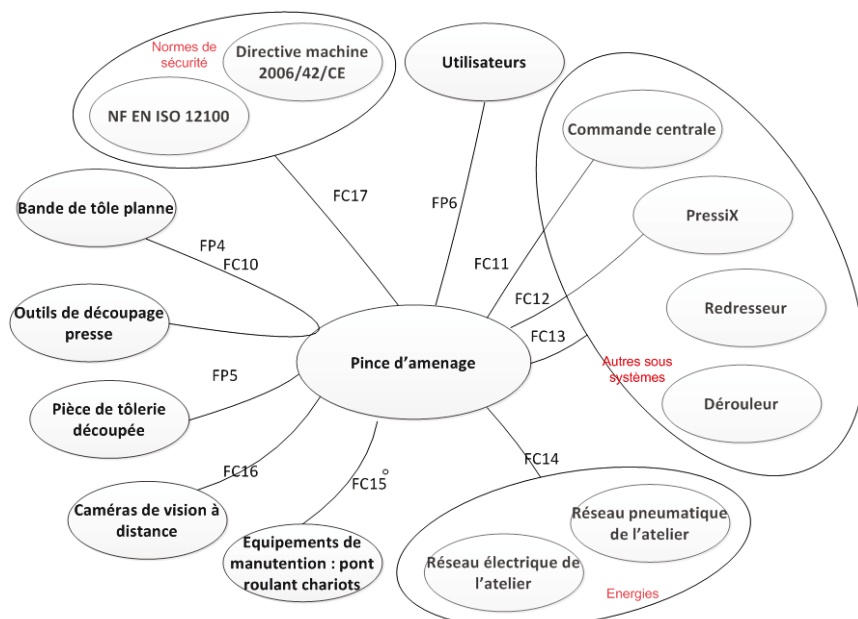


Figure 41 : diagramme pieuvre de la pince d'amenage

FP4 : Avancer automatiquement la bande de tôle plane dans l'outillage.

FP5 : Garantir le juste pas d'amenage.

FP6 : Permettre à l'utilisateur de comprendre l'automatisation de l'amenage sous presse.

FC10 : Permettre le réglage en hauteur de la bande.

FC11 : Permettre le pilotage par la commande centrale.

FC12 : Etre synchronisée avec la PressiX.

FC13 : Prendre en compte le bon fonctionnement du redresseur, dérouleur et de la presse.

FC14 : S'adapter aux énergies disponibles dans l'atelier.

FC15 : Etre déplaçable par les moyens de manutention de l'atelier.

FC16 : Permettre la visualisation à distance du procédé avec les caméras.

FC17 : Répondre aux normes de sécurité.

## 2.3 Fonctions de sécurité

### 2.3.1 Analyse des risques du redresseur

L'évaluation des risques détermine les organes de machine pouvant potentiellement occasionner des dommages à l'opérateur. Il détermine le type, l'occurrence, et la gravité du danger.

Le processus d'action sur les phénomènes dangereux est défini par la directive machine selon trois étapes :

- éliminer ou réduire les risques dans la mesure du possible.
- prendre les mesures de protections nécessaires vis-à-vis des risques ne pouvant être éliminés.
- informer les utilisateurs des risques résiduels et signaler s'il est nécessaire de prévoir un équipement de protection individuelle.

L'étude qui suit fait état de l'analyse des risques, et des mesures de protection envisageable sur le cas du redresseur. Pour un même phénomène dangereux, les solutions peuvent être différentes suivant les modes de fonctionnement. Chacun d'eux doit être étudié. Ils sont détaillés dans le Tableau II.

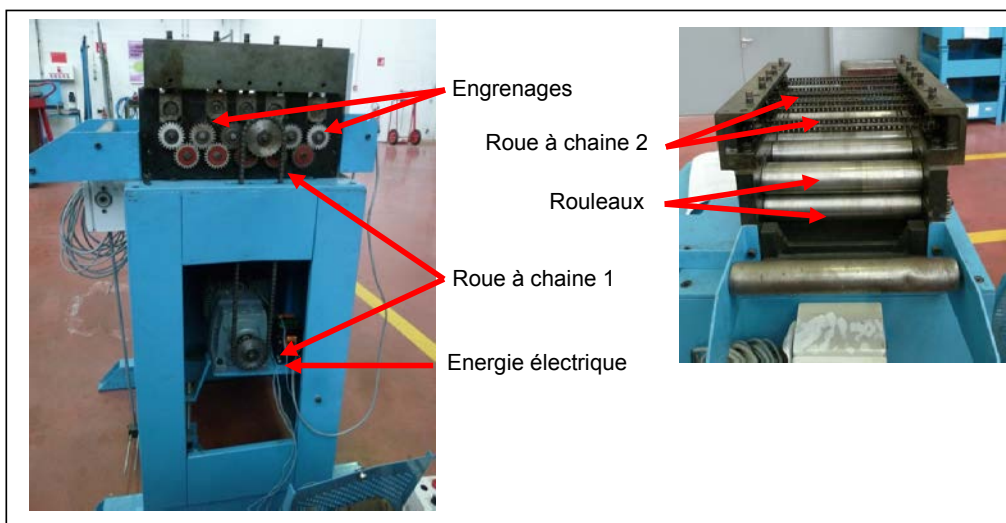


Figure 42 : identification des risques du redresseur

**Tableau II : Evaluation des risques du redresseur (9)**

Eléments Dangereux	Phénomène(s) dangereux	Gravité du dommage	Occurrence d'exposition	Suppression possible ?	Réduction du risque en mode production	Réduction du risque mode réglage	Réduction du risque possible en mode maintenance
Engrenage	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Sévère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse Protecteur Pince homme mort	Couper les énergies
Roue à chaîne 1	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Sévère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse protecteur	Couper les énergies
Roue à chaîne 2	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Légère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse protecteur	Couper les énergies
Rouleaux	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Sévères	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse Protecteur*	Couper les énergies
Proximité dérouleur	Ecrasement,	Sévère	100%	Oui : espacement suffisant entre les machines	Protecteur		Couper les énergies
Energie électrique	Electrocution	Sévère	En cas de défaillance du câble	Non	Goulotte électrique	Goulotte électrique	Goulotte électrique

---

Remarque :

- en mode production, il est impossible, pour des raisons fonctionnelles, de réduire les énergies et vitesses des machines. L'accès n'étant pas nécessaire pour l'opérateur, le protecteur semble la solution la plus appropriée.
- en mode réglage, il est possible de diminuer les vitesses du redresseur mais pas le niveau d'énergie. Le protecteur est inapproprié. L'opérateur doit avoir accès aux parties de réglage des rouleaux, et des points de graissage. Son intervention est nécessaire pour engager la tôle en cas de nouvelle bobine, mais aussi après un dysfonctionnement (exemple d'un bourrage ou un cisailage de la tôle où le dégagement manuel est inévitable).
- la maintenance sera définie comme le changement de parties mécaniques : rouleaux, transmission, moteur électrique, et tout autre composant. Ces opérations ne nécessitent aucun mouvement des actionneurs. Il est possible pendant cette phase d'opération de couper toutes les énergies entrantes (électriques), et donc les mouvements.

Sur le cas du dérouleur, deux solutions sont à mettre en place pour prévenir des risques. Des protecteurs empêcheront le contact avec les parties dangereuses pendant le mode production. Ils seront mobiles, pour libérer l'accès aux zones pendant la phase de réglage. La deuxième solution est de limiter la vitesse des mouvements en mode réglage pour permettre à l'opérateur de réagir en cas d'anomalie.

L'analyse effectuée sur les autres éléments constitutifs de la ligne révèle les mêmes dangers. Les phénomènes sont essentiellement mécaniques. La solution de protecteur mobile se retrouve sur la pince, et le dérouleur. Cette solution est déjà présente sur la PressiX.

Les fonctions de sécurité que devra assurer la ligne sont les suivantes :

FS1 : surveillance des protecteurs mobiles de la ligne de découpage.

FS2 : imposer des mouvements lents aux différents sous-ensembles.

FS3 : permettre l'arrêt d'urgence.

Le niveau de performance de ces fonctions est évalué suivant la méthodologie décrite au chapitre 1.4. Pour tous les éléments, le paramètre « S » est de niveau deux, les paramètres « F » et « P » sont de niveau 1. Le niveau de performance de la ligne est de type « PLc ».

---

## 2.4 Cahier des charges fonctionnelles

La ligne n'étant pas prévue pour la fabrication d'une pièce particulière, les limites de fonctionnement seront choisies afin d'exploiter au maximum les capacités de chacun des sous éléments déjà disponibles. Le Tableau III caractérise le domaine de fonctionnement de la ligne.

**Tableau III : domaine de fonctionnement de la ligne**

Paramètre	Niveau
Gamme d'épaisseur	0.6 mm à 3 mm
Largeur de bande	30 à 152 mm
Matière	métaux
Vitesse d'avance maxi	17 m/min
Avance maxi	508 mm
Cadence maxi	35 à 90 cps/min
Poids maxi couronne	500 kg
Capacité d'aménagement	45 kg
Effort de découpe	5 kN
Energie de découpe	2 kJ
Hauteur d'alimentation outillage	50 mm à 200 mm

Le cahier des charges fonctionnelles est un document reprenant l'ensemble des fonctions que doit réaliser le système. Il précise le critère d'acceptation de la fonction ainsi que son niveau. Le niveau de flexibilité permet de définir l'importance d'une fonction. Le Tableau IV est le résultat de l'analyse détaillée de la ligne de découpage dans son environnement.

Tableau IV : cahier des charges fonctionnelles de la ligne de découpage

Fonction	Critère d'évaluation	Niveau	Flexibilité	Niveau de flexibilité	
FP1	Niveau d'intervention de l'opérateur	0 à 20%	F0	F0	Impératif
FP2, FP9	Dimensions de bobines acceptable	500 kg, Ø1000 mm	F1	F1	Peu négociable
FP3, FP6, FP8, FP10,	Compréhension des phénomènes et paramètres clés	50 à 100%	F1	F2	Négociable
FC1, FC15, FC24, FP11, FC33	Type de moyens utilisés	Pont roulant, chariot élévateur	F1	F3	Très négociable
FC2	Traitement du squelette	100%	F3		
FC3	Evolutivité de Vulcain	80 à 100%	F0		
FC4, FC16, FC25, FC34	Vision globale de la ligne	50 à 100%	F2		
FC5	Variables mesurables	Effort presse, Déplacement coulisseau, état des capteurs de la ligne	F1		
FC6, FC14, FC23, FC32	Utilisation de l'énergie disponible disponibles	100%	F1		
FC7, FC14, FC32	Utilisation de l'énergie disponible disponibles	100%	F1		
FC8, FC19, FC28	Respect des normes	100%	F0		
FC9	Maintenabilité du système par le personnel SATER	80 à 100%	F2		
FC10	Distance entre la bande et la table presse	50 mm à 150 mm	F1		
FC11, FC20, FC29	Pilotage autonome de la commande centrale	80 à 100%	F1		
FC12	Synchronisation avec la presse	100%	F0		
FC13, FC21, FC30	prise en compte des défaillance des autres machines de la ligne	100%	F0		
FP7	Rayon de courbure après redressage	> 10m	F0		
FC18	Epaisseur de tôle admissible	0,6 mm à 3 mm	F1		
FC22	Remplissage autonome de la boucle	100%	F0		
FC26	Maintien de bobines de faible largeur	Jusqu'à largeur 30 mm	F2		
FC27	Maintien de la bobine décerclée	100%	F0		
FC31	Facilité d'engagement matière	Engagement manuel par un opérateur unique	F1		

---

**CHAPITRE 3 :**  
**CONCEPTION ARCHITECTURALE**

---

## 3 Conception architecturale

La liste exhaustive des fonctions de la ligne doit être étudiée en détail pour aboutir aux solutions technologiques. Dans le but de faciliter leur appréhension, et d'être certain qu'elles soient cohérentes entre elles, elles seront regroupées en trois parties.

**La partie structurelle** est composée des éléments tels que les châssis, support d'actionneurs et protecteurs.

**La partie puissance** regroupe les flux d'énergie et les actionneurs.

**La partie contrôle/commande** regroupe les éléments de contrôle machine, et les pré actionneurs.

### 3.1 Partie structurelle

#### 3.1.1 Choix de l'architecture de la ligne

Le redresseur, déjà en notre possession, ne dispose pas d'asservissement en position. Seule une ligne de type conventionnelle est réalisable (cf : 1.2.3.). Le choix est à faire entre une solution avec dévidoir et une solution avec dérouleur.

##### **Solution dérouleur :**

###### Avantage :

- Suppression de la contrainte de traction dans la bande.

###### Inconvénients :

- Motorisation et asservissement supplémentaire.
- Coût supplémentaire important.

##### **Solution dévidoir :**

###### Avantages :

- Suppression de la boucle 1 : ligne raccourcie.
- Asservissement de la boucle en moins : mise en œuvre simple.

###### Inconvénients :

- Traction créée dans la tôle : risque de déformation plastique voir de rupture.
- Couple de freinage répercuté sur le réducteur : puissance active de celui-ci réduite.
- Engagemment d'une bande difficile : l'opérateur doit vaincre le couple de freinage.



Le dévidoir est une solution très attractive de par sa simplicité de mise en œuvre, et son faible coût. Il comporte tout de même des inconvénients majeurs. Une solution intermédiaire serait de motoriser le mandrin pendant la phase de réglage, et débrayer cette motorisation pendant le fonctionnement automatique. Le problème de démarrage serait résolu, et il n'y aurait pas d'asservissement supplémentaire. La ligne s'en verrait réduite.

Le dévidoir déjà en possession est muni d'un frein permanent. Pour l'utiliser sans motorisation, la problématique est de déterminer la contrainte de traction induite dans la tôle.

### 3.1.2 Modélisation de l'ensemble dévidoir redresseur

Il existe deux phases dans lesquelles la bande est sollicitée en traction. Dans le premier cas, le redresseur est en régime établi, et ne soumet aucune accélération à la bobine. Dans le deuxième cas, le redresseur est en phase de démarrage. La bobine accélère.

Le principe fondamental de la statique est appliqué à la bande. Elle est un solide soumis à deux forces égales et opposées : l'effort de traction du redresseur et la réaction du dévidoir. Pendant sa tension, la bande est tangente à la bobine. La masse du mandrin est négligeable. Le couple de freinage est constant.

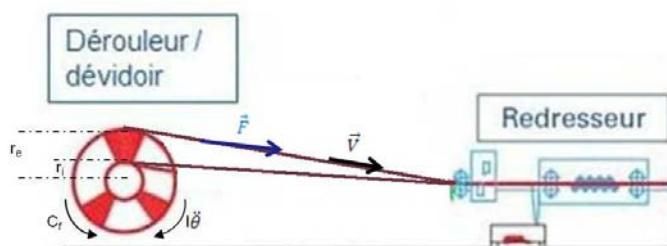


Figure 43 : modélisation de l'ensemble dévidoir redresseur

L'ensemble des paramètres du système sont les suivants :

$C_f$  : couple issu du frein permanent (Nm).

$V_a$  : vitesse d'avance de la tôle (m/s).

$\rho$  : masse volumique du matériau ( $\text{kg/m}^3$ ).

$h$  : largeur de la tôle ou couronne (m).

$r_e$  : rayon extérieur de la couronne (m).

$e$  : épaisseur de la bande (m).

$r_i$  : rayon intérieur de la bobine (m).

$\Delta\theta$  : angle d'accélération de la bobine (rad).

$F$  : effort de traction du redresseur (N).

$I$  : moment d'inertie de la couronne sur son axe de rotation ( $\text{kgm}^2$ ).

$M$  : masse de la couronne (kg).

---

### 3.1.3 Phase de régime permanent :

Dans cette phase, l'effort de traction dans la bande est dû au couple de freinage permanent. L'utilisation des lois fondamentales de la dynamique donnent l'équation du mouvement de la couronne.

$$C_f = I\ddot{\theta} \quad (1)$$

$$\text{Soit : } \ddot{\theta} = \frac{C_f}{I}$$

L'équation 1 est intégrée pour obtenir la vitesse angulaire.

$$\dot{\theta} = \frac{C_f}{I}t + \dot{\theta}_0$$

$$\text{Avec } \dot{\theta}_0 = \frac{V_a}{r} \quad \text{et} \quad r_i \geq r \geq r_e$$

$$\dot{\theta} = \frac{C_f}{I}t + \frac{V_a}{r} \quad (2)$$

L'équation 2 est intégrée pour obtenir la position angulaire.

$$\theta = \frac{C_f}{I} \frac{t^2}{2} + \frac{V_a}{r}t + \theta_0$$
$$\Delta\theta = \frac{C_f}{I} \frac{t^2}{2} + \frac{V_a}{r}t \quad (3)$$

$$\text{Avec } \theta_0 = 0 \quad \text{et} \quad \Delta\theta = \theta - \theta_0$$

Les équations 1, 2, et 3 sont les équations du mouvement de la bobine. La valeur de  $C_f$  est inconnu.  $C_f$  est défini comme le couple résistif nécessaire pour que la bobine s'arrête automatiquement. Soit pour  $\dot{\theta} = 0$

t est isolé dans l'équation (2) :

$$t = -\frac{V_a}{r} \frac{I}{C_f} \quad (4)$$

(4) est remplacée dans (3) :

$$\Delta\theta = \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{r^2} \frac{I}{C_f}$$

$C_f$  est isolé :

$$C_f = \frac{V_a^2 I}{2r^2 \Delta\theta} \quad (5)$$

$$\text{Avec : } I = \frac{1}{2} m(r_e^2 + r_i^2) \quad \text{et} \quad m = \rho\pi h(r_e^2 - r_i^2)$$

$$I = \frac{1}{2} \rho\pi h(r_e^4 - r_i^4)$$

$$C_f = \frac{V_a^2 \rho\pi h(r_e^4 - r_i^4)}{4r_e^2 \Delta\theta} \quad (6)$$

D'après l'équation (6), le couple de freinage sera :

$$C_{fmaxi} = \frac{V_a^2 \rho_{maxi} \pi h_{maxi} (r_{emaxi}^4 - r_{imini}^4)}{4r_{emaxi}^2 \Delta\theta} \quad (7)$$

Il n'existe aucune contrainte sur l'angle d'arrêt. La condition de sécurité est que le système doit s'arrêter avant que l'opérateur ait possibilité d'accéder à la zone dangereuse. Le calcul de  $C_{fmaxi}$  est réalisé pour plusieurs valeurs de  $\Delta\theta$  à l'aide du tableur Excel. Le graphique « a » de la Figure 44 représente les résultats et le tableau « b » correspond aux valeurs critiques utilisées (cf. chapitre : 2.4).

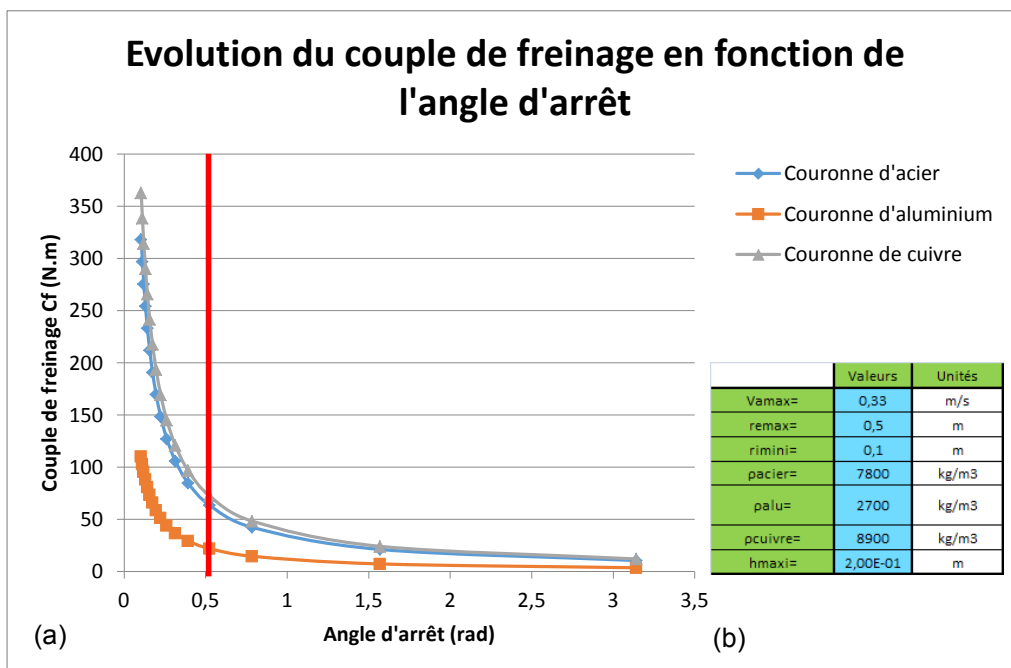


Figure 44 : évolution du couple de freinage en fonction de l'angle d'arrêt

Les résultats démontrent que plus l'angle d'arrêt est petit, plus le couple de freinage augmente. L'angle  $\pi/6$  radian est choisi pour la suite des calculs. Il est un bon compromis entre la vitesse d'arrêt et un couple de freinage trop élevé.

Pendant cet angle d'arrêt du dérouleur, la bobine continue de se dérouler, et s'accumule entre le dérouleur et le redresseur. La longueur de tôle déroulée pour cet angle est :

$$S = \frac{\pi}{6} r_e \quad (8)$$

Application numérique :

$$S = \frac{\pi}{3} 1 = 0.5 \text{ m}$$

Cette longueur est définie pour un arrêt instantané de la traction sur la bande. En réalité le redresseur décélère avant l'arrêt. La valeur réelle de tôle accumulée est inférieure à celle calculée. 0,5 m ne semble pas excessif, mais il est difficile de se prononcer. Le paramètre de décélération du dérouleur est à définir expérimentalement.

### 3.1.4 Vérification de la contrainte de traction

La contrainte de traction  $\sigma_T$  est le résultat de l'effort de traction sur la section de la bande. Son unité est le MPa.

$$\sigma_T = \frac{F}{he}$$

$$\sigma_T = \frac{C_f}{r_i he}$$

$$\sigma_T = \frac{V_a^2 \rho \pi (r_e^4 - r_i^4)}{2r_e^2 \Delta \theta e r_i} \quad (9)$$

Remarque : la largeur de tôle se simplifie. Le problème est plan.

Dans l'équation (9) la contrainte de traction sera maximum pour :

$$\sigma_{Tmaxi} = \frac{V_a^2 \rho_{maxi} \pi (r_{emaxi}^4 - r_{imini}^4)}{2r_{emaxi}^2 \Delta \theta e_{mini} r_{imini}} \quad (10)$$

L'application numérique donne des valeurs respectives de 5,3 MPa, 1,83 MPa et 6,05 MPa pour les matériaux acier, aluminium et cuivre.

### 3.1.5 Puissance amputée au redresseur

La puissance utilisée par le redresseur pour effectuer la mise en rotation de la bobine ne sert pas au redressage. Cette proportion ne doit pas être trop importante pour ne pas diminuer les capacités de redressage.

$$\%P = \frac{P_{total} - P_{amputé}}{P_{total}} \quad (11)$$

$$\%P = \frac{C_{total} \times \dot{\theta}_{total} - C_{amputé} \times \dot{\theta}_{amputé}}{C_{total} \times \dot{\theta}_{total}}$$

La variation de vitesse avec la charge est négligeable :

$$\%P = \frac{C_{total} - C_{amputé}}{C_{total}} \quad (12)$$

Le couple amputé au moteur est le couple d'entraînement de la bobine rapporté à l'arbre moteur. La différence entre le rayon de la bobine et celui des rouleaux d'entraînement ont l'effet d'un réducteur dont le rapport est le suivant :

$$\frac{C_a}{r_e} = \frac{C_{amputé}}{r_2}$$

$r_2$  : rayon des rouleaux d'entraînement.

$C_a$  : couple d'entraînement de la bobine à l'arbre du dérouleur.

$r_e$  : rayon extérieur de la bobine.

$$C_{amputé} = \frac{C_a r_2}{r_e} \quad (13)$$

Le couple d'entraînement sera maxi pour  $r_e = r_{mini} = r_i$ .

$$C_{amputé} = \frac{60 - 0,03}{0,1} = 19 \text{ N.m}$$

Application numérique sachant que le constructeur donne un couple maximal en sortie du réducteur de 210 N.m :

$$\%P = \frac{210 - 19}{210} \approx 91\%$$

Cette valeur est obtenue dans le cas le plus défavorable. Elle sera plutôt de l'ordre de 95% en fonctionnement normal. En effet tous ces calculs ont été réalisés avec les dimensions de bobine les plus défavorables. Ces dimensions sont les caractéristiques limites du mandrin du dérouleur. Une bobine de cuivre ayant ces caractéristiques, soit un rayon intérieur 0,1 m, un rayon extérieur de 0,5 m et une largeur 0,2 m, aurait une masse de 2,6 tonnes. Le mandrin est prévu pour une charge maximale de 500 kg.

### 3.1.6 Phase de démarrage :

La même démarche est appliquée dans le cas d'un démarrage de bobine. Les relations obtenues sont les suivantes :

$$C_{mmaxi} = \frac{V_a^2 r_2 \rho \pi h_{maxi} (r_{emaxi}^4 - r_{imini}^4)}{4 \Delta \theta r_{emaxi} r_{imini}} + \frac{C_f r_2}{r_{imini}}$$

$$\sigma_T = \frac{C_{mmaxi}}{r_{imini} h_{emini}}$$

L'application numérique donne des valeurs respectives de 8,87 MPa, 5,14 MPa et 9,68 MPa pour les matériaux acier, aluminium et cuivre.

---

Dans la phase d'accélération et en régime stabilisé, les contraintes engendrées sur la bande de tôle sont très faibles par rapport à la limite élastique admissible par les matériaux utilisés sur la ligne. La position configuration avec dévidoir sera retenue (cf. : 1.2.3).

### 3.1.7 Dimensionnement de la boucle 2 :

Le dimensionnement de la boucle est donné par des abaques constructeurs (10). Aucune information n'est donnée sur l'obtention des résultats, ni même les hypothèses utilisées. Le paramètre calculé est la longueur maximale de la boucle. L'hypothèse imaginée serait qu'en dépassant cette longueur, la tôle se déformerait plastiquement sous son propre poids. Sa dimension est définie par les abaques du constructeur. Des essais pendant la mise en place permettent de vérifier que la matière ne subit pas de dommage.

Données constructeur Figure 46 :

R : rayon de courbure

H : hauteur de boucle = 1100mm

D : distance Machines

S : réserve maxi dans la tôle

L : longueur de tôle en boucle

E : épaisseur de tôle  $0.6\text{mm} < E < 3\text{mm}$

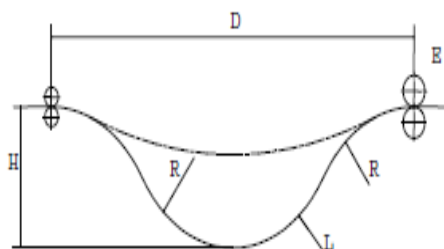


Figure 45 : paramètre de la boucle (10)

Résultats obtenus :

Epaisseur critique : 0.6mm

$R \approx 600\text{mm} \leq$  abaque constructeur

$D_{\text{maxi}} = 4R = 2400\text{mm}$

$S = 2.28R = 1368\text{mm}$

Soit environ 3 cycles d'amenage en course maxi

20 cycles pour outils de découpe de flan (course 82mm)

### 3.1.8 Protecteurs

L'analyse des risques révèle que la solution de protecteur mobile est utilisable pour toutes les parties dangereuses de la ligne. Chaque protecteur devra être surveillé. Il y aura au moins autant de systèmes de surveillance que de protecteurs. Plutôt que d'utiliser un protecteur par zone dangereuse, il est possible de les regrouper, ce qui aura pour effet de diminuer le nombre de capteurs, éléments les plus couteux.

---

**La première solution** consiste en un protecteur fixe à taille humaine entourant complètement la ligne, et comportant un seul point d'accès (cadre rouge de la Figure 46). Comme c'est le cas sur l'îlot robotisé. L'espace à l'intérieur de l'enceinte doit permettre d'effectuer le réglage et la maintenance de la ligne.

#### Avantages :

- Un seul accès à la zone à surveiller donc un seul capteur.
- Simplicité de mise en œuvre. Un grillage de 2200mm de haut, sans fermeture du toit suffit.

#### Inconvénients

- Capteur dimensionné au plus haut niveau de performance : coût élevé (500 EUR le capteur).
- Les distances entre les zones à risque et l'enceinte de protection doivent être supérieures à 600 mm (11).
- Influence du comportement de l'opérateur pendant les interventions sur la ligne. Risque d'avoir un opérateur aux commandes et un autre dans l'enceinte refermée pour intervenir pendant le fonctionnement : cas de mauvaise utilisation prévisible.
- En cas de défaillance pendant le réglage l'opérateur peut difficilement prendre ses distances.
- Inadapté pour les TP. Faire entrer et sortir un groupe de huit étudiants pendant les explications peut s'avérer dangereux.

**La deuxième solution** est d'utiliser un ou plusieurs protecteurs mobiles disposés au plus près possible de la ligne (cadre gris de la Figure 46). Ils sont déplacés pendant les phases de réglage et de maintenance, pour libérer l'accès aux zones de réglage.

#### Avantages

- Capteurs de surveillance adaptés au bon PL pour chaque zone.
- Occupation de l'espace au sol réduit.
- Accès aux réglages redresseurs sans ouvrir de protecteurs.
- Permet aux étudiants d'être plus près lors des phases de fonctionnement, donc de mieux voir les phénomènes (FP3, cf. 2.2.2).
- Accès plus rapide pendant les phases de réglage, et les TP.

---

### Inconvénients

- Multiplication des protecteurs à surveiller, plus grand nombre de capteurs.
- Mise en œuvre plus complexe. Liaisons pour la mobilité des protecteurs.

Les deux solutions sont viables techniquement. L'utilisation de protecteurs fixes est privilégiée pour le confort des séances de TP. La structure mécanique est réduite. Cependant, l'augmentation des capteurs fait augmenter le coût de cette solution.



Figure 46 : comparaison entre l'implantation d'une solution de protecteurs fixe ou mobile

La fréquence d'accès à la zone du dérouleur dépend de la fréquence de changement de bobines, et du taux de défaillance dans cette zone. Les changements sont estimés à trois bobines par an. Même si le taux de défaillance n'est pas connu, les épaisseurs de tôles travaillées sont importantes (1,5 mm). Il y a peu de probabilité pour qu'il y ait une rupture. La solution choisie consiste en un protecteur fixe pour la zone du dérouleur et un protecteur mobile pour les zones redresseur et aménagement. Dans le cas où la fréquence d'accès à cette zone deviendrait trop importante, il serait toujours possible de modifier le protecteur du dérouleur pour lui ajouter une porte d'accès.



---

### 3.1.9 Positionnement de la ligne

Pour la configuration choisie, trois solutions de positionnement sont possibles.

**La première solution** est d'implanter la ligne coté presse à vis de l'emplacement actuel de la PressiX.

#### Avantages

- Îlot robot dispose d'un cotés supplémentaire (poste de contrôle, four HT,...).
- Possibilité de positionner le dévidoir de deux manières pour implanter la ligne dans un autre endroit de l'atelier.
- Dans le cas de chargement par le coté presse à vis, il y a suffisamment d'espace pour le chariot élévateur.
- Commandes presse accessibles.
- L'enceinte de protection est déjà existante en cas de déplacement futur de toute la ligne.

#### Inconvénients

- Coupure atelier, obligation de passer par le hall soudage pour accéder à la presse hydraulique, avec le chariot élévateur. Accès quasi quotidien.

**La deuxième solution** est d'implanter la ligne coté presse hydraulique de l'actuel emplacement de la PressiX.

#### Avantages

- Encombrement dans l'atelier.

#### Inconvénients

- Suppression d'un côté d'accès à l'îlot robotisé.
- Chargement de la bobine possible d'un seul coté passage étroit (bungalow et poteau pas loin).
- Commandes et tableau électrique de la presse inaccessibles : déportation nécessaire.

**La dernière solution** est de déplacer la PressiX de sa position actuelle pour implanter la ligne.

#### Avantages

- Aucune gêne pour l'îlot robotisé.
- L'atelier n'est pas coupé.

---

### Inconvénients

- Déplacement de la PressiX : nécessite une entreprise spécialisée (coût : 3000 EUR).
- Cela fait apparaitre un trou dans l'enceinte de protection du robot. Nécessité de le reboucher.

La solution coté presse hydraulique est éliminée. Il est inconcevable de déplacer la commande de la presse ainsi que de supprimer le dernier accès à l'îlot robotisé.

Le déplacement de la PressiX est couteux. La position coté presse à vis est la plus adaptée. Le déplacement ultérieur sera toujours possible.

## 3.2 Partie puissance

### 3.2.1 Réseau électrique

Plusieurs rampes d'alimentation sont disposées tout autour de l'atelier. L'alimentation de la PressiX est faite sur la plus proche de sa position. Plusieurs emplacements sont encore disponibles sur cette rampe. La solution la plus simple et moins coûteuse est d'alimenter les autres éléments de la ligne avec l'un des emplacements encore disponibles. Pour que ce soit possible, la puissance consommée par la ligne doit être inférieure à celle disponible sur la rampe. Dans le cas inverse il faudrait utiliser une autre rampe disposant de la bonne puissance. Dans le cas le plus défavorable, tirer une alimentation directement depuis la salle de brassage, ce qui représente 80 m de câble, et la location d'une nacelle et un personnel qualifié.

Deux coffrets électriques sont déjà branchés sur la rampe. La figure 13 représente la solution optimale d'alimentation électrique. Les éléments de puissance de la ligne ont une charge maximale de 24 Ampères (deux motoréducteur de 12 A). La charge de la partie contrôle/commande est faible. Le totale de la ligne sera arrondi à 30 A. La charge totale maximale sur la rampe est de 100 A.

$$C = 32 + 30 + 16 + 16 \approx 94 \text{ Ampères}$$

La solution de la figure 13 est validée.

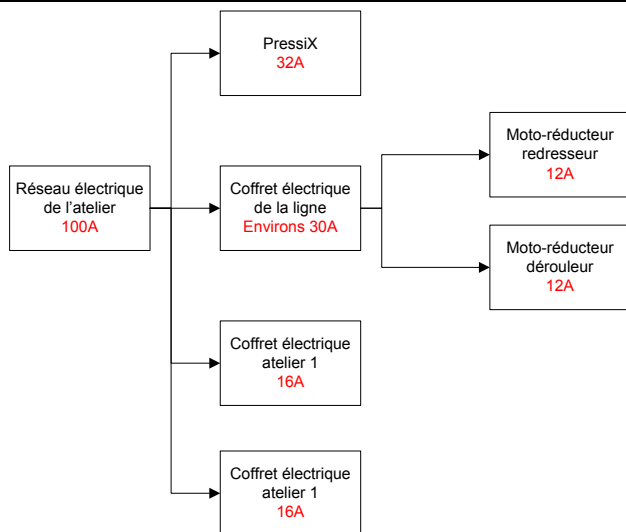


Figure 47 : schéma de principe de la distribution électrique de la ligne

### 3.2.2 Réseau pneumatique

La solution privilégiée est de s'alimenter au plus près. La Pressix est déjà alimentée en énergie pneumatique. Il est possible de faire un piquage sur l'arrivée pneumatique de la PressiX. De même que pour l'énergie électrique, il convient de s'assurer que l'atelier dispose de suffisamment d'énergie pneumatique pour alimenter la ligne.

Plusieurs caractéristiques rentrent en jeu. La pression maximale disponible sur le réseau, qui est de 7 bars maximum au manomètre d'entrée de la PressiX. Le débit d'air disponible doit être supérieur au débit consommé. Le réseau pneumatique de l'atelier étant complexe, il est impossible d'avoir cette valeur. Toutefois, le constructeur indique une consommation maximale d'environ 280 l/min pour la pince d'amenage, ce qui est inférieur à une simple soufflette d'atelier. Le bras presseur est maintenu en pression et n'aura aucune consommation. La solution est validée.

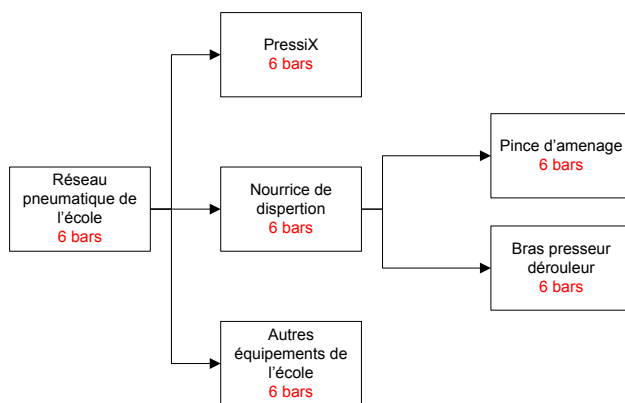


Figure 48 : schéma de principe de la distribution pneumatique de la ligne

### 3.3 Partie contrôle/commande

Les organes de contrôle et de commande remplissent les fonctions d'automatismes. Les actions, leur enchainement, et l'état de chaque sous ensemble doivent être décrits pour chaque phase du cycle de vie. Le logigramme est un outil qui permet de formaliser le fonctionnement détaillé de la ligne.

La Figure 49 fait état des différentes interactions des sous-ensembles. Chacun d'eux est relié à la commande centrale. Elle reçoit toutes les informations sur l'état de chaque sous ensemble, les intègre et envoie les ordres de fonctionnement en conséquence (exemple du redresseur, qui est piloté en fonction de l'état de remplissage de la boucle). Cette architecture garantit une synchronisation entre tous ces sous-ensembles.

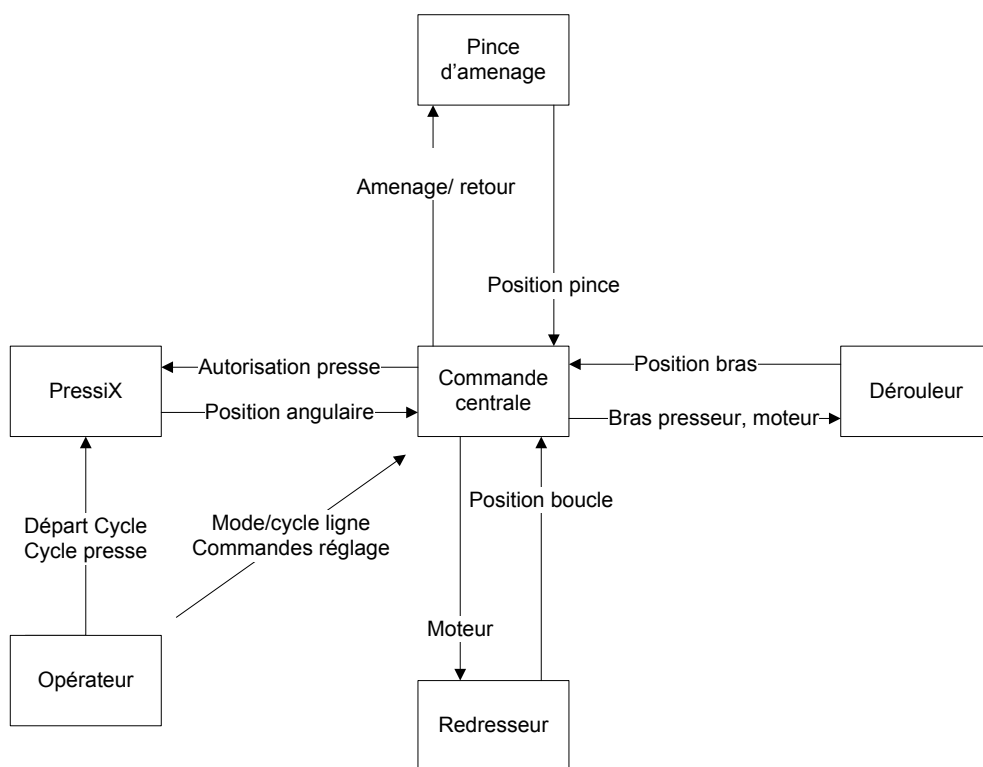


Figure 49 échange de la partie contrôle commande de la ligne

Chacun de ces échanges est modélisé en détail pour chaque phase de vie et chaque mode de la ligne. Tout le fonctionnement de la ligne est formalisé sous cette forme graphique. Elle permet une compréhension simple et rapide en s'affranchissant des connaissances techniques liées au pneumatique, l'électrotechnique, ou encore l'automatisme. L'exemple le plus représentatif pour illustrer l'aide qu'apporte cet outil correspond à la synchronisation entre la presse et la pince d'amenage. Elle est issue de deux conditions. La presse doit rester immobile lorsque la tôle est en mouvement, et la pince ne doit pas effectuer d'amenage lorsque le poinçon est engagé dans la tôle.

Dans les explications qui suivront, les autres logigrammes de fonctionnement ne seront pas développés. Il sont toutefois accessibles à l'Annexe 3 .

Le cas de la PressiX est particulier puisque la logique de fonctionnement existe déjà. Aucun document ne l'explique de manière complète. Ses fonctions sont réalisées par l'assemblage logique de capteurs et relais. La première étape pour comprendre son fonctionnement, est de décomposer le circuit électrique en fonctions élémentaires (Figure 51) ce qui simplifiera le raisonnement, pour la suite.

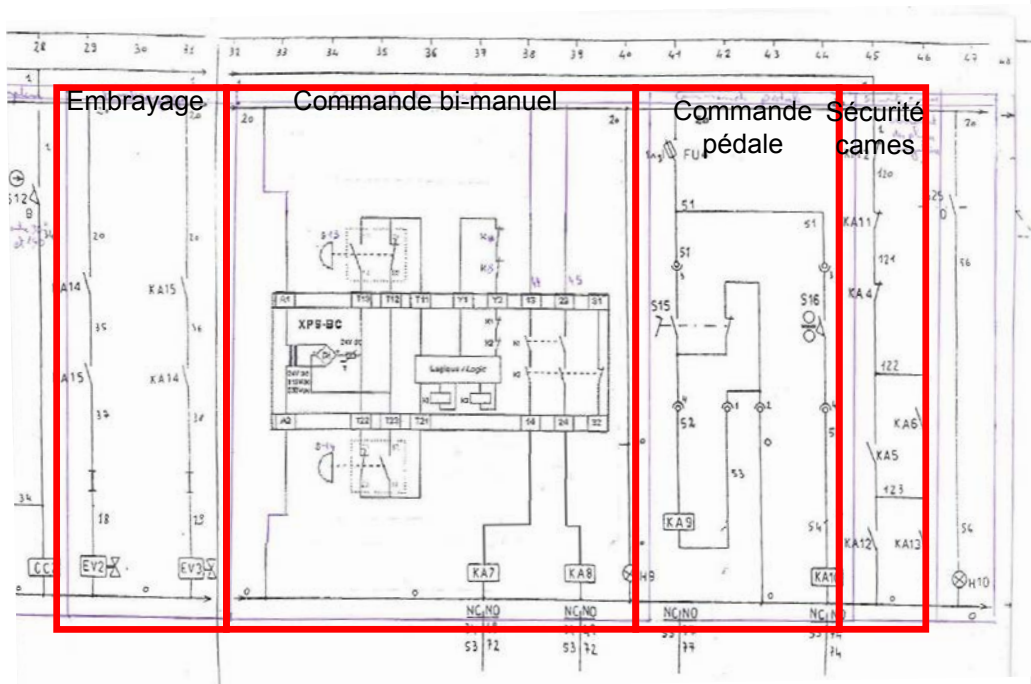


Figure 50 : décomposition des fonctions de la presse CNR4

Dans le découpage des fonctions, toutes ne sont pas utiles pour l'intégration de la ligne. Seul le circuit de sécurité, le circuit de commande, et le choix des différents cycles de la presse serviront à la ligne. Les fonctions du circuit électrique et leur cadencement est traduit en logigrammes. La Figure 51 N°1 décrit le cheminement et la validation de la demande départ cycle faite par l'opérateur avant l'intégration de la ligne de découpe (mode presse). Le moteur doit être en marche, ainsi que la presse armée (auxiliaires en fonction). L'appui sur le bi-manuel (boutons poussoirs) valide le départ cycle quels que soient les éléments extérieurs de la presse.

L'ajout de la ligne, impose des conditions supplémentaires. La presse doit rester immobile pendant les mouvements de la tôle. Une fonction supplémentaire d'attente (autorisation presse), est ajoutée au circuit de commande de la presse. L'appui sur la bi-manuelle n'est plus la condition suffisante pour le fonctionnement départ cycle N°2. L'opérateur doit réitérer sa demande jusqu'à ce que l'autorisation lui soit donnée.

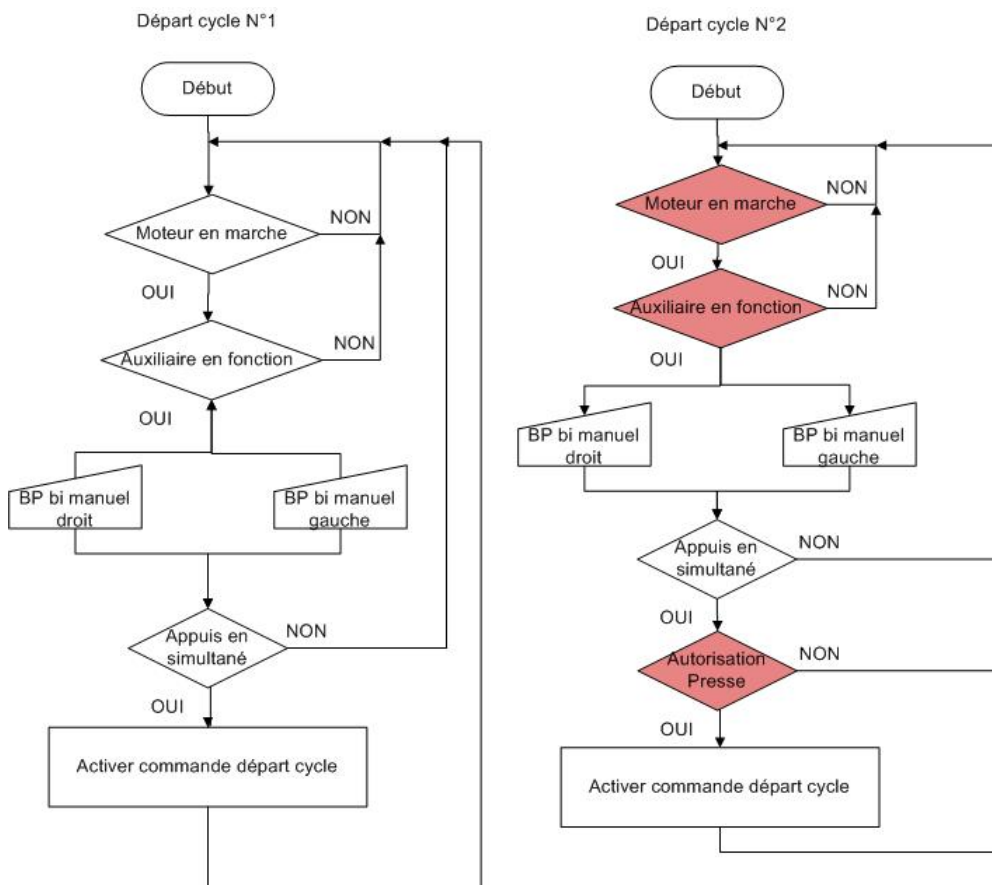


Figure 51 : fonction départ cycle de la presse CNR4 avant (N°1) et après (N°2) intégration de la ligne

Les modifications apportées aux logigrammes de fonctionnement de la presse sont traduites dans le schéma électrique. Cette méthodologie permet de n'oublier aucun mode de fonctionnement. La sortie automate appliquant la fonction « autorisation presse » prend naturellement sa place entre les autres fonctions du schéma électrique.

Contrairement à la presse, les logigrammes de fonctionnement de la pince ont été entièrement créés. Le mode de réglage (Figure 53) offre la possibilité à l'opérateur d'activer le mouvement d'avance ou le mouvement de retour de la pince quel que soit l'état des autres sous ensembles. C'est à l'opérateur de veiller à ce que ses choix n'entraînent pas de danger pour lui-même ou le matériel. Les autres sous ensembles n'ont aucun mouvement. L'opérateur procède manuellement en vue de commander les autres machines.

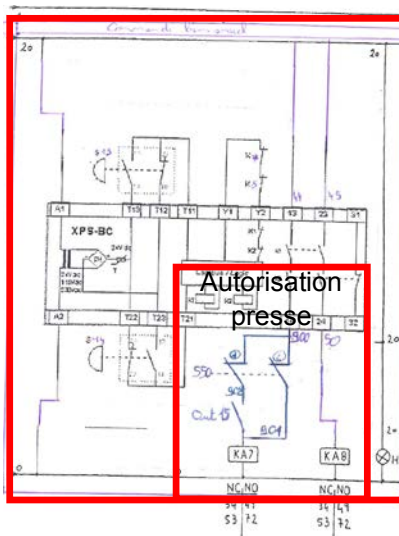


Figure 53 : modification électrique de la presse

### Mouvements cycle réglage

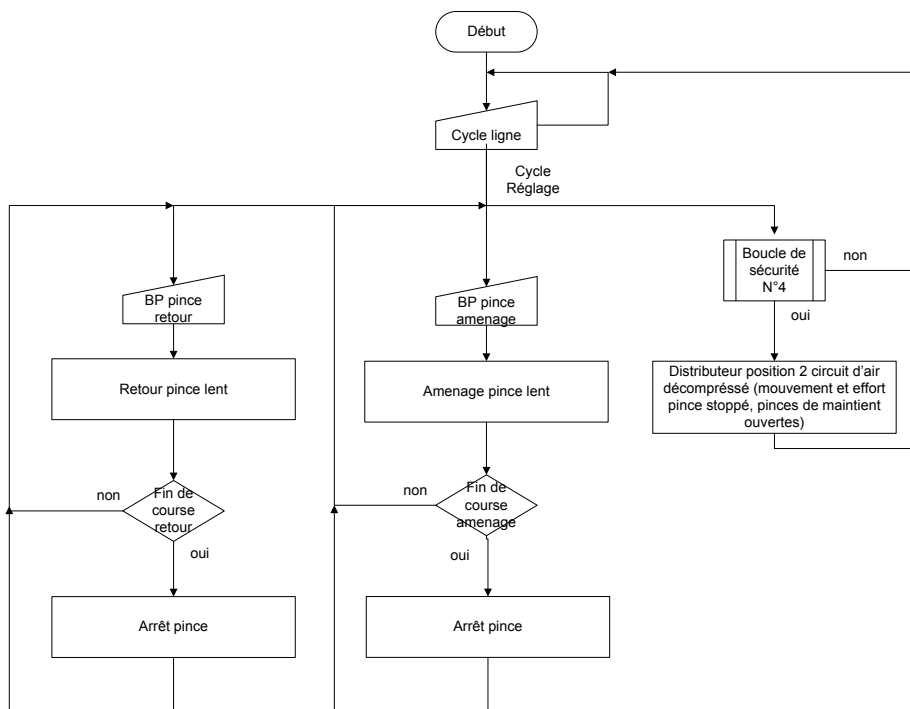


Figure 52 : logigramme du fonctionnement en mode réglage de la pince

Pendant le cycle production, l'opérateur n'a plus accès directement à la commande de la pince. La commande centrale vérifie que la presse n'est plus engagée pour démarrer le cycle d'amenage automatiquement. La pince effectue son cycle de retour immédiatement après avoir terminé l'amenage.

## Mouvements cycle production

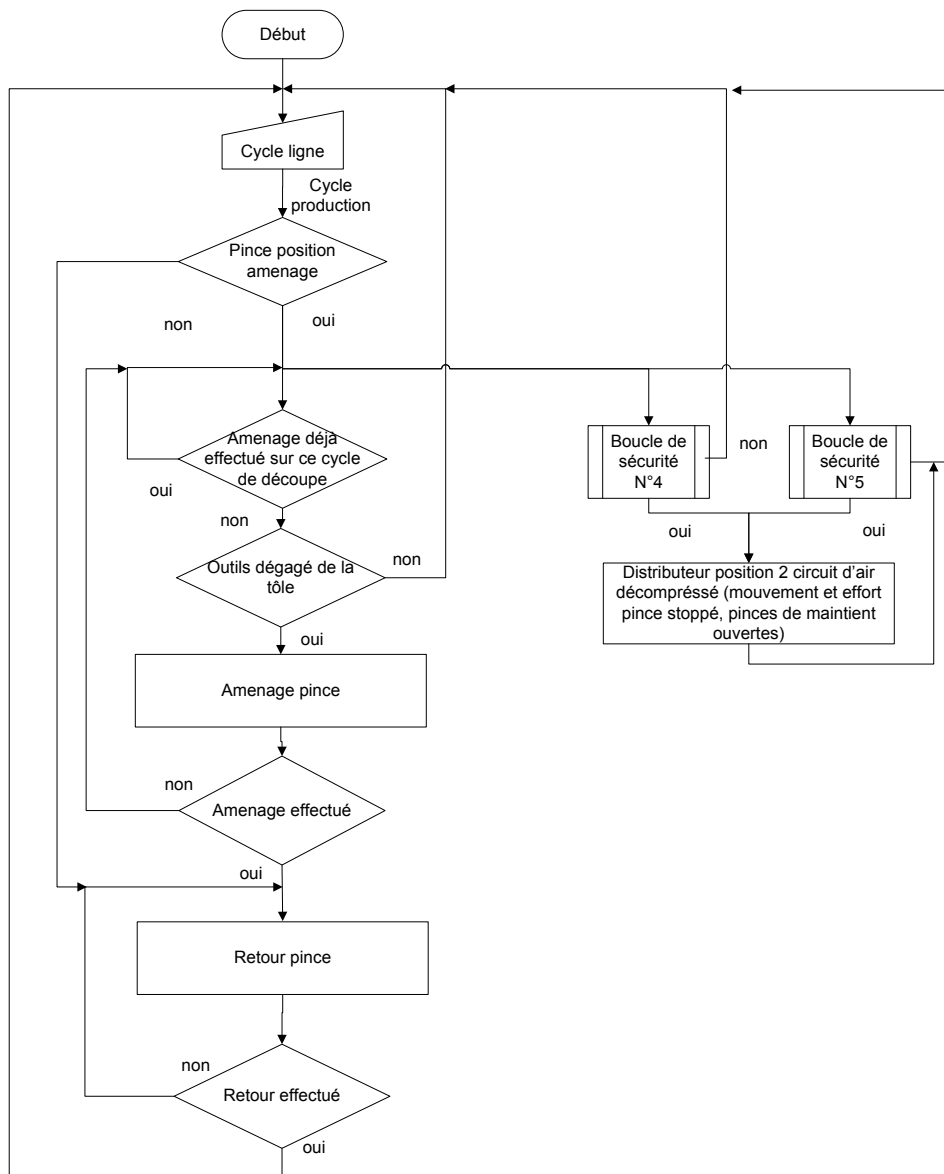


Figure 54 : logigramme de fonctionnement de la pince en mode production



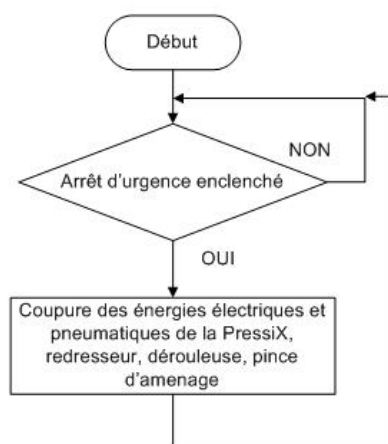
La combinaison de la fonction d'attente de la presse et le fonctionnement automatique de la pince priorise l'amenage. L'intérêt est que quel que soit la cadence de la pince, la quantité de tôle avancée dans l'outillage est toujours correcte. La presse ne peut interrompre la pince.

Les deux fonctions de sécurité de la ligne sont également traduites en logigrammes. Les arrêts d'urgence interviendront directement sur les énergies de la ligne, soit pour les couper (exemple de l'alimentation pneumatique de la pince, ou tout mouvement doit être stoppé ou inversement dans le cas du bras presseur du dérouleur, la pression doit être maintenue ; dans ce cas, couper l'énergie pneumatique serait source de danger et l'énergie doit être maintenue).

La boucle de sécurité 4 (Figure 56) réalise la fonction de sécurité FS3 (cf. chapitre 2.3.1). Cette fonction de sécurité est active dans tous les modes de fonctionnement de la ligne. Elle coupe instantanément les énergies des sous-ensembles. Tandis que la Boucle N°5 traduit la fonction FS1. La commande centrale surveille les protecteurs de la ligne et stoppe les mouvements des machines en cas d'ouverture de l'un d'entre eux. Cette fonction est présente pour les modes de chaque machine, mais non utilisée pour les modes de réglage (par exemple, elle est absente du logigramme de la figure 53).

### Boucle de sécurité N°4

(Coupure des énergies et pneumatiques)



### Boucle de sécurité N°5

Coupure des auxiliaires

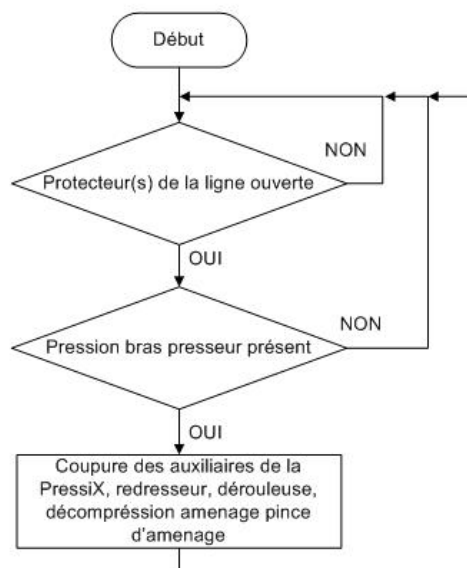


Figure 55: logigramme des fonctions de sécurité de la ligne

### 3.3.1 Cahier des charge technique

Le cahier des charges technique explicite les résultats attendus du projet. Il est fractionné en plusieurs sous ensemble. Chacun d'eux peut ainsi être traité indépendamment.

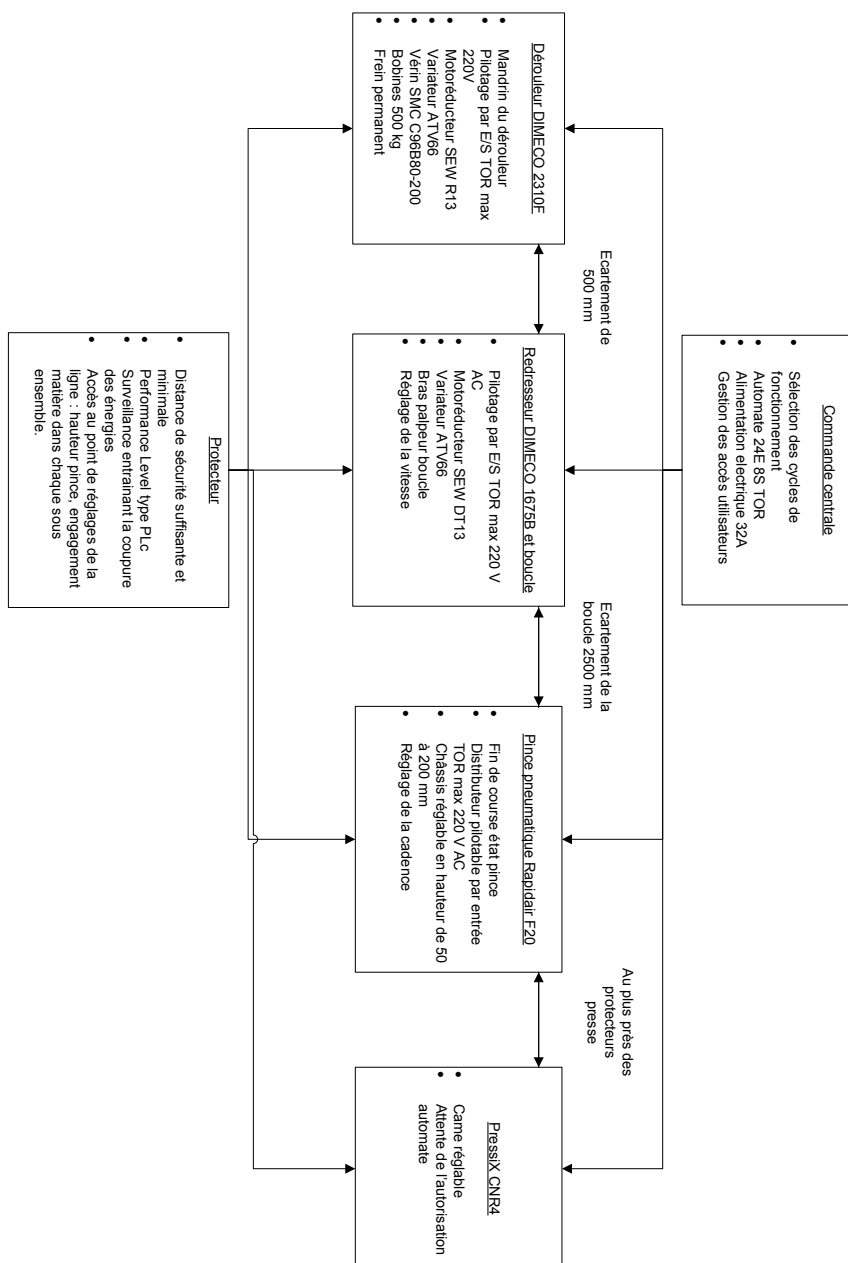


Figure 56 : Cahier des charges techniques de la ligne

---

**CHAPITRE 4 :**  
**CONCEPTION DETAILLEE**

---

## 4 Conception détaillée :

### 4.1 Commande centrale

Tous les éléments de contrôle, commande, et la répartition de la puissance électrique passent par l'armoire électrique centrale. Afin d'optimiser au mieux les câblages, elle doit être positionnée de sorte à être le plus près de tous ces éléments. Les commandes de la ligne seront fixées sur l'armoire centrale. Elle est positionnée du même côté et à proximité des commandes de la Presse. Les déplacements, pendant les explications des TP, seront réduits, puisque tous les actionneurs se situent sur ce même côté de la ligne.

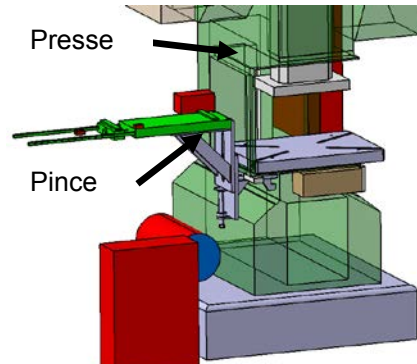


Figure 57 : position commande centrale

La commande centrale abrite les commandes, l'alimentation électrique, l'automate, les variateurs électriques, et les composants de sécurité (détaillés au chapitre 4.6).

**Les commandes** des modes et cycles, ainsi que les vitesses sont disposés sur le dessus de l'armoire. Le contrôle d'accès sera fait par des commutateurs à clés trois positions : les positions « mode ligne », « mode presse », la position centrale est utilisée pour empêcher le mouvement. Le type de clé est « Ronis 455 ». Il est le type de clé déjà présent sur toutes les autres machines de l'atelier de mise en forme. Le personnel n'aura pas besoin d'avoir des clés supplémentaires pour le réglage de la ligne.

La partie réglage dispose de commandes séparées. L'opérateur est amené à prendre la tôle d'une main pour l'engager et commander le mouvement du dérouleur, puis le redresseur et enfin la pince. Il transporte la bande d'une machine à l'autre. Compte tenu des distances entre chaque machine, les commandes doivent être mobiles, et avec suffisamment de câble pour se déplacer jusqu'à la machine suivante. Des boutons poussoirs seront utilisés pour les commandes. En cas de danger, l'opérateur relâche le bouton et le mouvement s'arrête immédiatement. Le risque étant plus élevé pour le bras presseur, sa commande sera réalisée avec une clé.

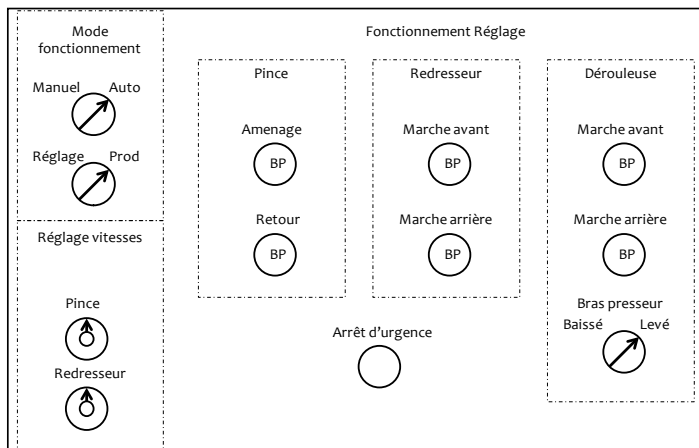


Figure 58 : commande centrale de la ligne de découpe

**L'énergie électrique** arrivant du répartiteur de l'atelier est transportée jusqu'à l'armoire centrale. Un sectionneur permettra de couper les énergies pendant les phases de maintenance, et d'intervention électriques. Un répartiteur triphasé distribue l'énergie aux organes. Une source 24V sert à l'alimentation des parties pneumatiques.

L'automate doit posséder les Entrées/Sorties tout ou rien (TOR) nécessaires. Les types de signaux doivent être respectés. Il doit posséder un mode de communication « modbus TCP/IP » pour pouvoir communiquer avec la plateforme XRM. Les automates qui équipent la plateforme Vulcain, sont de marque Schneider Electric. Dans un souci de compatibilité, et pour éviter la formation des personnels sur plusieurs logiciels de programmation, l'automate choisi est de cette marque. Le modèle Twido TWDLCA40DRF possède le bon nombre d'E/S. Il est extensible par modules et reste ouvert à l'évolutivité de la ligne.

---

## 4.2 PressiX

La position de dévêtissage varie d'un outillage à l'autre. Pour éviter d'avoir une came différente par outillage, une came modulaire est privilégiée. La rotation totale de l'arbre presse est divisée en secteurs de 20°. Les secteurs de début et de fin sont déclinés en 10°, 15°, et 20°. Ils offrent un réglage plus fin : 5°. Cet angle correspond à une distance parcourue par le coulisseau d'environ 1,5 mm pour la plus grande course disponible sur la PressiX. Il existe dans le commerce des systèmes programmables avec codeur angulaire. Leur prix est relativement élevé. Le fabricant Omrun propose une solution à 1500 EUR. Le coût de fabrication de la came à secteur est estimé à 450 EUR.

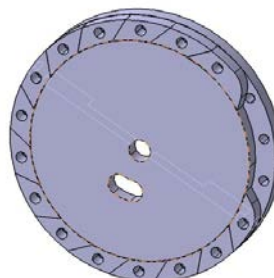


Figure 59 : came à secteurs

L'outil de découpe d'éprouvettes de l'atelier n'est pas directement utilisable avec la ligne. Il nécessite une largeur de bande de 200 mm, tandis que la ligne est limitée par la capacité de la pince à 150 mm. L'outillage peut être modifié de façon à fonctionner avec cette largeur. La solution est de remplacer les cales de guidage par de nouvelles plus larges. Elles seront découpées suivant la forme du poinçon au milieu pour éviter des interférences et collisions. L'éprouvette découpée est réduite sur les prises de mors. La partie utile reste intacte. L'ancienne configuration découpait la tôle en laissant un squelette. La nouvelle configuration découpe complètement la tôle à chaque coup de presse. Un chanfrein (en orange sur la Figure 60) est réalisé sur la matrice pour évacuer la chute par gravité. Les plans sont en Annexe 4 .

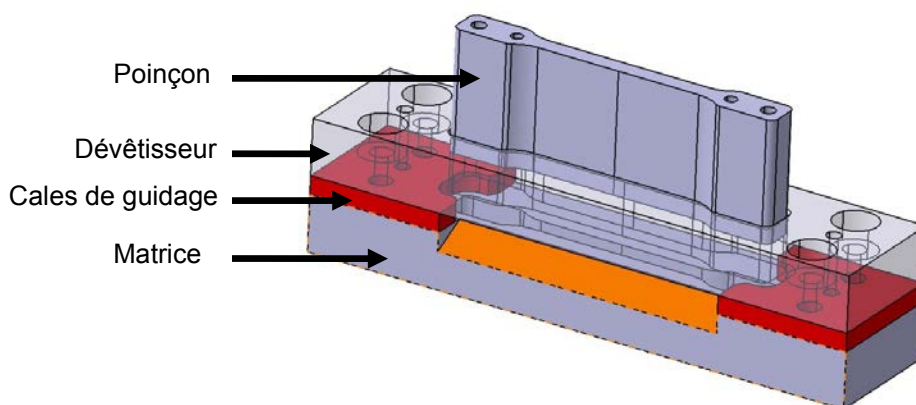


Figure 60 : modèle CAO de l'outillage de découpe d'éprouvettes modifié

---

### 4.3 Pince d'amenage

La pince est généralement fixée à la table de la Presse. Celle de la Presse CNR4 est inaccessible. Les carters de protection sont tout autour et leur ouverture provoque l'arrêt de la presse. La bande de tôle peut passer dans des lumières situées sur les carters. La pince sera devant le carter de protection et l'empêchera de s'ouvrir. Le châssis doit permettre de retirer l'ensemble « facilement » dans le cas où il faudrait y accéder. Un point d'accroche est disponible sur le châssis en dessous de la table.

Le réglage en hauteur sera assuré par deux plaques donnant une liaison appui plan et supprimant 3 degrés de liberté. L'une est fixe et l'autre coulisse. Deux bagues sont ajustées dans la plaque fixe, et permettent avec un trou oblong sur la plaque coulissante de supprimer 2 degrés de liberté. Le dernier degré de liberté en translation permet le réglage en hauteur. Un écrou est soudé sur la plaque fixe. Une vis en liaison ponctuelle, dans l'axe de la glissière, assure la mise en position en hauteur. Deux vis passant par les bagues de serrage assurent le maintien du réglage par adhérence.

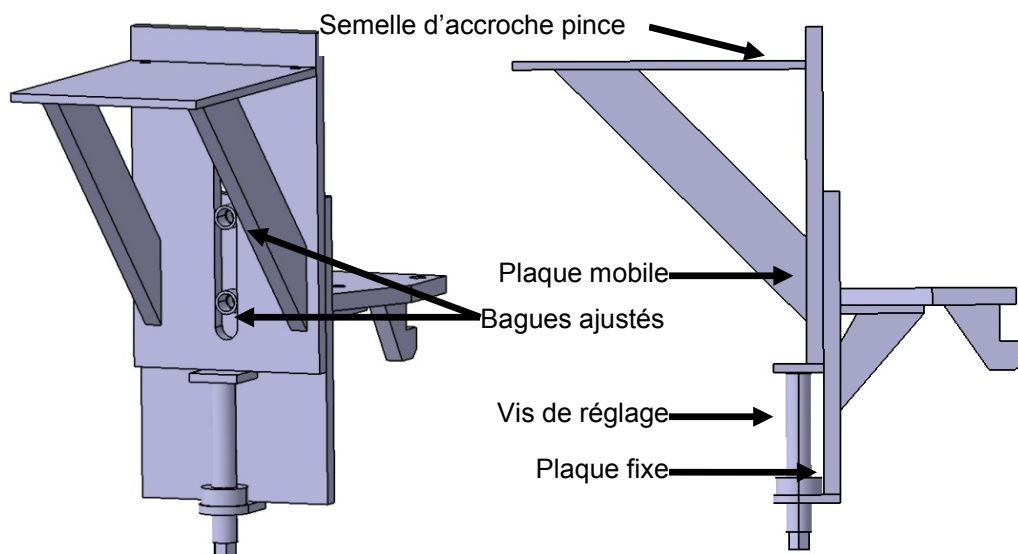


Figure 61 : modèle CAO du châssis d'accroche de la pince d'amenage

L'alimentation pneumatique est reprise en amont de la PressiX. Un ensemble filtre, régulateur et graisseur (FRL) assure le traitement de l'air. Un manomètre permet de visualiser rapidement la pression disponible. Elle est ensuite distribuée à la pince et au dérouleur. L'atelier dispose d'outillages pneumatiques (meuleuse droite, boulonneuse). Un raccord rapide est ajouté pour pouvoir utiliser ce matériel dans l'environnement de la ligne.

Le distributeur pilotant la pince est le même standard utilisé sur Vulcain (référence SY7520-5W1U-02F). Sa commande est en 24V pour pouvoir le piloter avec les sorties automate. Le fonctionnement de la pince est découpé en 5 étapes (Figure 62).

- Etape 1 : serrage de la pince fixe et maintien de la bande.
- Etape 2 : desserrage puis retour de la pince mobile.
- Etape 3 : retour de la pince mobile.
- Etape 4 : serrage de la pince mobile.
- Etape 5 : desserrage de la pince fixe et aménagement de la pince mobile.

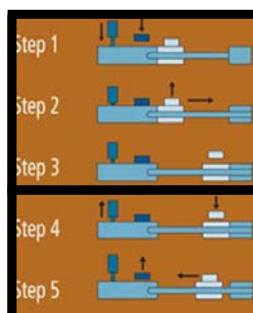


Figure 62 : cycles de la pince F20 (18)

Sur ces 5 cycles seuls deux étapes sont pilotables par l'automate. Des distributeurs mécaniques internes à la pince, enchainent les étapes 1, 2, et 3 automatiquement. Le fonctionnement de la pince sera limité à deux cycles (encadré noir de la Figure 62).

Les logigrammes de fonctionnement peuvent être traduits en grafcet. Ils permettent la formalisation de l'automatisme. Pour un gain de temps, cette étape n'est pas effectuée. Les logigrammes sont directement traduits en langage automate : le LADDER. Il relie les entrées aux sorties en faisant appel à des contacts logiques. La programmation est graphique et reste relativement proche du grafcet.

En cycle manuel, la pince prend en compte les informations des sélecteurs à clés « mode ligne » et « cycle manuel ». Suivant le bouton poussoir que l'opérateur utilise, la pince effectuera le cycle d'avance ou le cycle de retour (Figure 63). Dans toutes les autres configurations, aucun mouvement manuel ne se fait. Aucune autre ligne de programmation ne relie les boutons au distributeur.

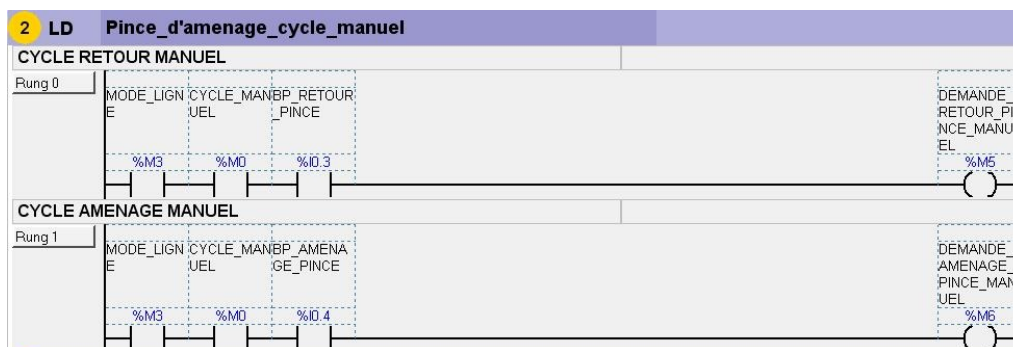


Figure 63 : programmation LADDER du cycle manuel d'aménagement



Le cycle production est plus complexe. L'automate doit déclencher automatiquement l'amenage. Deux capteurs de fin de course à galet détectent la position rentrée et la position sortie de la pince. Le retour peut être réalisé à n'importe quel moment puisqu'il n'engage aucun mouvement de la tôle. Il sera déclenché directement par le fin de course pince rentrée. L'amenage doit prendre en compte la position angulaire de la presse (contact « cam\_arbre\_presse » sur la figure 64). Une fonction mémoire est ajoutée pour qu'il y ait qu'un seul amenage par cycle de presse.

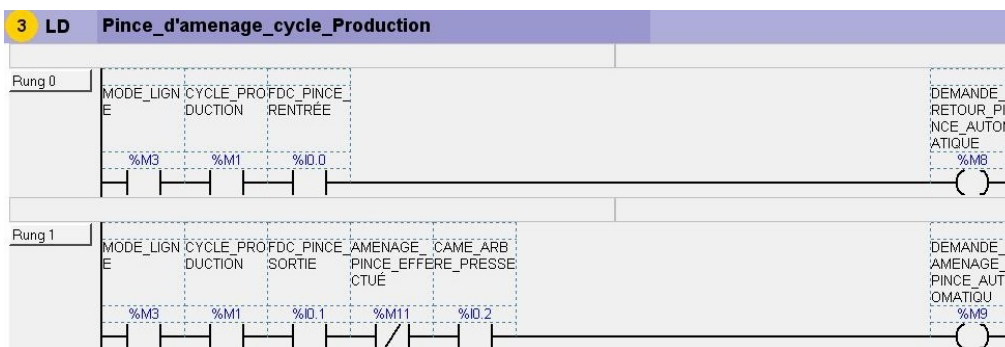


Figure 64 : programmation du cycle production de la pince

#### 4.4 Redresseur

Le variateur ATV66 (Altivar) permet d'alimenter le moteur SEW DT13 utilisé pour la ligne. Il dispose d'entrées tout ou rien (TOR) pour le pilotage des consignes de marche avant et marche arrière. Elles sont reliées directement à l'automate. Une consigne analogique d'entrée donne la vitesse de rotation. La base de l'automate ne dispose pas de sorties analogiques. Il faut pour cela ajouter un module d'extension, dont le prix est de 290 EUR. Le variateur est prévu pour être piloté par un potentiomètre à 5 EUR. En passant par l'automate, la consigne de vitesse pourrait être visualisée et pilotée par XRM. Pour des raisons de coût, la solution du potentiomètre est préférée dans l'immédiat. Le changement pourra toujours se faire par la suite.

En cycle manuel, le fonctionnement est similaire à celui de la pince. Les deux boutons commandent les marches avant et arrière du redresseur. En cycle automatique, les conditions de la boucle doivent être vérifiées et seule la marche avant est nécessaire. Un bras contrôle la position de la boucle. Lorsque la boucle atteint sa position haute, le redresseur se met en marche et alimente la boucle. Lorsqu'elle atteint sa position basse, le redresseur s'arrête. Une mémoire est utilisée pour que le redresseur ne se remette en marche que lorsqu'il remonte en position haute. Dans le cas d'une défaillance ou la boucle continuerait à monter même après démarrage du redresseur, un fin de course sécurité stoppe les mouvements de la ligne (variable Défaut ligne de la figure Figure 65).



---

La conception du châssis est de sorte qu'il soit le moins encombrant possible. La longueur de l'arbre et le diamètre des guides sont les valeurs d'encombrement minimum que pourra atteindre le dérouleur. Il est réalisée en tubes mécano-soudés. Son architecture est réalisée pour répartir au maximum la charge des roulements. Des renforts sont disposés pour reprendre la flexion créée par la bobine. La transmission est disposée entre les roulements. Le moteur est disposé dans le châssis avec un système de réglage de la tension de la chaine similaire au redresseur.

Le bras presseur est disposé à l'arrière du dérouleur. La distance entre le point de contact du galet et l'entrée du redresseur est maximale. La longueur déroulée à l'arrêt du redresseur sera mieux stockée. Le système est conçu pour être contenu dans un plan, et ainsi éviter les contraintes de torsion dans les liaisons.

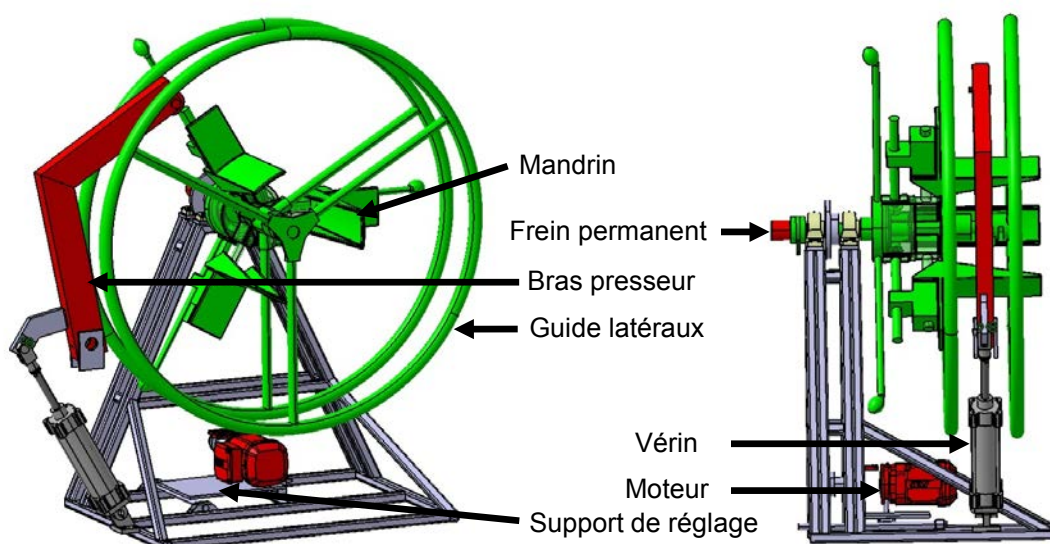


Figure 67 : maquette numérique du dérouleur

## 4.6 Enceinte de protection

La ligne est divisée en trois zones. La première va de la pince au redresseur, la seconde est celle du redresseur et la dernière, le dérouleur. Les protecteurs peuvent englober complètement une zone dangereuse ou être une simple barrière. La barrière doit atteindre une hauteur minimale de 2200mm (NF EN ISO 13857 :2008 paragraphe 4.2.2).

Le redresseur et la pince sont situés à une faible hauteur (inférieur à 1,2 m). Les deux premières zones sont refermées complètement, pour éviter d'avoir un protecteur haut de 2,2 m. La zone du dérouleur sera entourée d'une simple barrière. Dans un souci de cohérence visuelle, le grillage utilisé sera le même que celui de l'îlot robotisé. Les mailles du grillage sont de 25mm\*3mm. Pour ce type d'ouverture, la distance entre le protecteur et la zone dangereuse doit être supérieure à 120mm (NF EN ISO 13857 :2008 paragraphe 4.2.4.1).

Le protecteur est réalisé de manière à respecter cette distance pour la première zone. Il est divisé en deux parties. Une partie fixée au sol, et une partie mobile pour l'accès en mode réglage. La configuration du réglage minimum en hauteur de la pince est utilisée pour déterminer la limite entre ces deux parties. La configuration en position haute détermine la hauteur du protecteur mobile. La partie mobile du protecteur est divisée en deux tronçons pour limiter l'effort d'ouverture. Chaque tronçon à une masse d'environ 30kg. La vis de réglage en hauteur de la pince est accessible par une trappe d'accès (Figure 68).

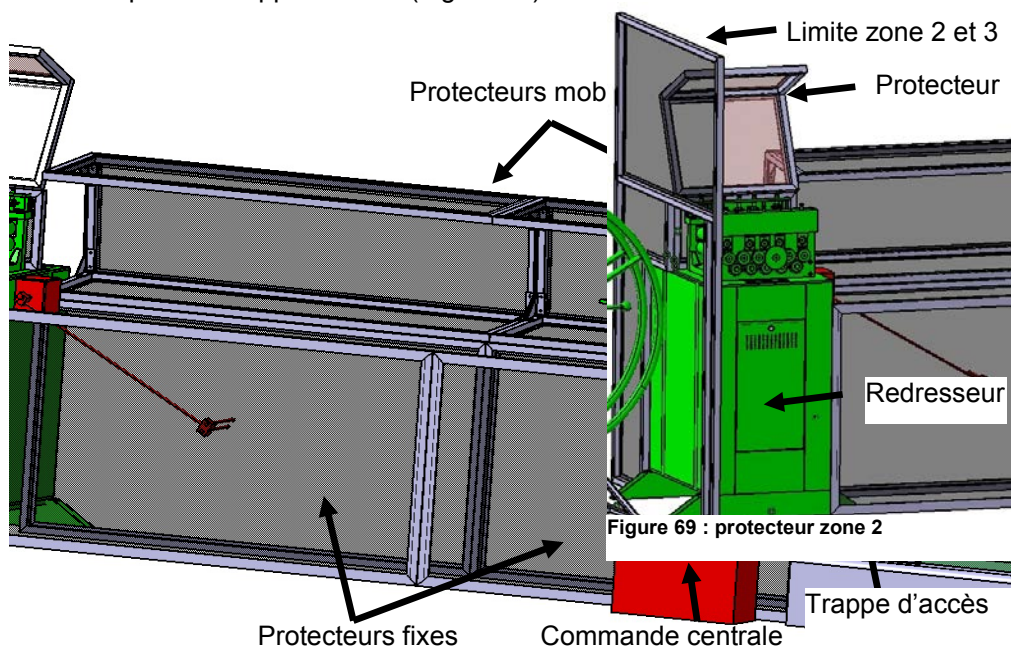


Figure 68 : protecteur Zone 1

Si le protecteur respect cette distance de 120 mm, dans la zone du redresseur, il dépassera du châssis et sera plus encombrant que celui de la zone 1. La solution est

---

d'utiliser une plaque de protection en polycarbonate. Ce matériau est utilisé pour la protection des presses, et résiste à la projection de pièces métalliques. Le protecteur n'ayant plus d'ouverture, il n'y a plus de distance minimale à respecter. Le deuxième avantage est qu'il protège le redresseur de la poussière extérieure. Les chaînes de réglage en hauteur des rouleaux sont graissées, et sont sensibles à l'environnement. Cette solution permet également d'avoir des dimensions dans la continuité de celles du protecteur de la Zone 1. Seule la liaison pivot est déplacée.

La dernière zone est fixe (cf. chapitre 3.1.8). Une partie droite fait la limite entre le redresseur et la zone du dérouleur (Figure 69) et une partie démontable encapsule le dérouleur.

Des capteurs de sécurité surveillent chacun des protecteurs mobiles. Pour des raisons pratiques, des capteurs à clés sont utilisés. Ils permettent de verrouiller le protecteur mécaniquement. La clé est en possession du personnel technique. L'accès est limité ce qui permet d'éviter des arrêts intempestifs de la ligne.

La structure de l'enceinte de protection de l'îlot robotisé est en profilé aluminium. Le coût de ce type de structure est élevé. La société ABB propose une enceinte de protection au prix de 3000 EUR (cf. Annexe 7). La structure utilisée pour la conception des protecteurs est de type tube en acier à ailettes. L'atelier de mise en forme dispose de tous les moyens pour réaliser les protecteurs (tronçonneuse, poste à souder, presse plieuse). Ce choix permet de diminuer le coût de la structure à 1000 EUR.

#### 4.7 Bilan

L'ensemble de la ligne est dimensionné. Une partie est représentée sur la maquette numérique de la ligne, principalement la partie structurelle et puissance. La partie contrôle/commande est constituée de petits éléments. Pour ne pas surcharger le modèle numérique, les câblages électriques, pneumatiques n'ont pas été modélisés.

---

Le centre ENSAM ne dispose pas de logiciel d'édition de plans électrique. Le logiciel libre d'utilisation « Qelectrotech » permet cette édition. Son utilisation est longue. Suivant sa complexité, il faut une demi-journée à une journée pour l'édition d'un plan A4. Pour gagner du temps, ils ont été fait à la main pendant la phase de conception. Une mise au propre est nécessaire. Ils ne seront pas présentés dans ce rapport.

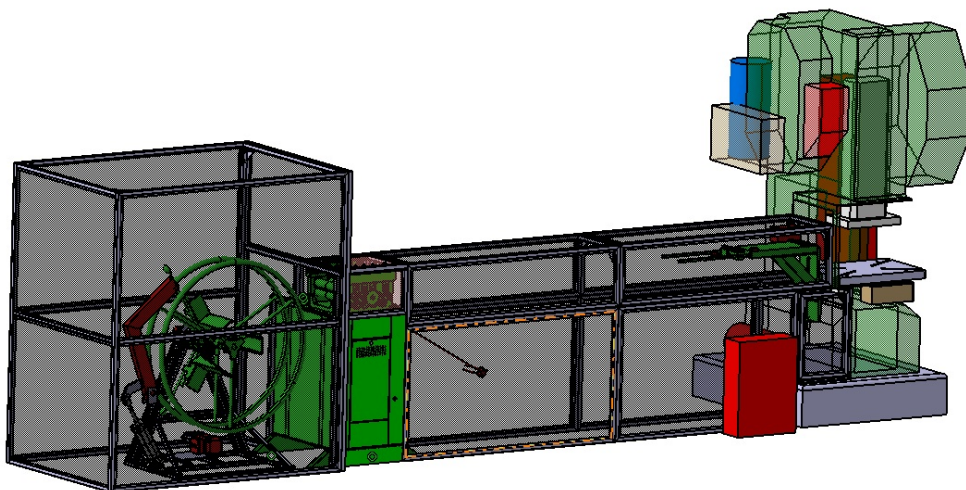


Figure 70 : modèle CAO de la ligne de découpe, protecteurs fermés

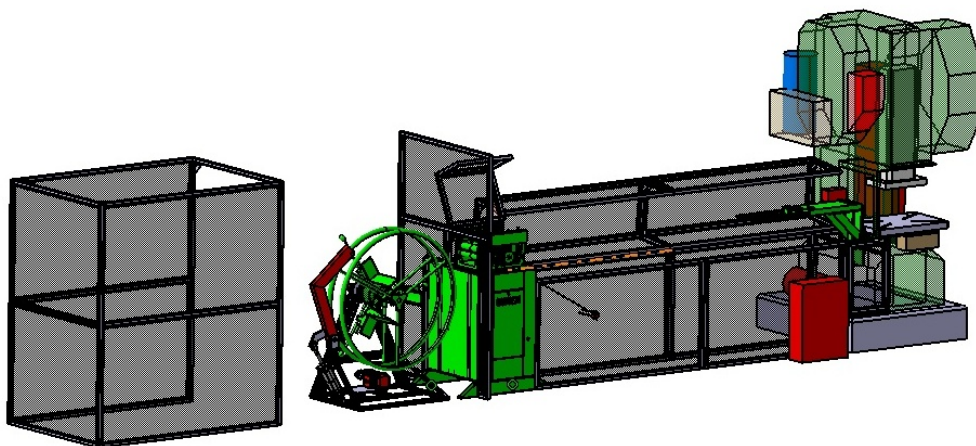


Figure 71 : modèle CAO de la ligne de découpe, protecteurs ouverts

---

**CHAPITRE 5 :**  
**MISE EN ŒUVRE ET INTEGRATION**

---

## 5 Mise en œuvre et intégration

La conception de la ligne est réalisée. La liste de tous les composants standards a été effectuée. Ils ont été triés suivant le type de fournisseur susceptible de les livrer. Des offres de prix ont été demandées sur ces matériels (cf. Annexe 6 ). L'investissement financier est relativement conséquent. Plutôt que d'acheter la totalité des équipements en une seule fois, les achats sont divisés en deux phases. La première a pour objectif de valider le fonctionnement des différents éléments.

Le Tableau V : répartition des coûts de réalisation décrit la répartition du coût de réalisation et l'état d'avancement des différents éléments. La dernière colonne est un indicateur sur l'investissement en rapport avec le travail à fournir pour installer l'élément. Par exemple, le redresseur présente un investissement faible par rapport au travail à réaliser sur cet élément. L'élément qui apparaît le moins intéressant à mettre en place dans un premier temps est le dérouleur. La commande centrale est indispensable. La pince d'amenage et le redresseur sont réalisés dans la phase 1. Avec 2200 EUR, la phase 1 représente environ un tiers du coût total et permet de valider le fonctionnement de 3 machines sur les 4 de la ligne.

**Tableau V : répartition des coûts de réalisation**

Eléments	Coût en €	% coût total	état d'avancement en%	Etat d'avancement par rapport au coût de réalisation
Presse	100	2%	90%	54
amenage	500	8%	30%	3,6
redresseur	100	2%	50%	30
dérouleur	1000	17%	5%	0,3
Enceinte de protection et sécurité électrique	2500	42%	0%	0
Commande centrale	1100	18%	0%	0
divers (gaine, presse étoupe, alimentation centrale,...)	700	12%	0%	0
Total	6000	100%		

L'outillage de découpe de flans sera utilisé pour la phase de test. La course d'amenage pour chaque flan est d'environ 82 mm contre 25 mm pour l'outil de découpe d'éprouvettes. Une plus grande course permettra d'avoir un plus grand temps pour observer et valider le bon fonctionnement de l'automatisme.



## 5.1 Phase 1 : validation du fonctionnement/prototype

Pendant toute la phase d'essais, une attention particulière est portée à la sécurité du personnel. De nombreuses personnes passent quotidiennement dans l'atelier. Plusieurs ingénieurs, techniciens utilisent les moyens de l'atelier. D'après les conseils du responsable hygiène et sécurité, un mail a été envoyé pour prévenir les utilisateurs des modifications en cours. Une signalisation a été mise en place sur la presse. Les énergies pneumatiques et électriques sont coupées dès l'instant où aucune personne ayant connaissance des modifications en cours n'est présente.



Figure 72 : signalisation machine

La stratégie adoptée pour la mise en place de la ligne est d'installer les fonctions une par une. Elles sont validées avant l'ajout d'une autre fonction. Cette stratégie simplifie la résolution de problèmes. Une erreur de câblage ou de programmation serait plus compliquée à détecter si la ligne était installée dans son intégralité puis testée seulement en dernier.

### 5.1.1 Installation de la pince

L'installation de la partie structurelle de la pince est réalisée en premier. La pince étant en position, la première étape consiste à valider le fonctionnement de chaque élément indépendamment. Du fait de sa simplicité, le mode de réglage est le premier mode de fonctionnement mis en place. Il reprend les mouvements élémentaires de chaque sous ensemble.

Les premiers éléments installés sont l'automate, le réseau pneumatique. Les coffrets électriques de l'atelier disposent de leurs propres éléments de sécurité électrique (disjoncteur différentiel). L'un d'entre eux est utilisé pour alimenter l'automate et les variateurs sans avoir besoin d'installer les sécurités de l'armoire centrale de la ligne.



Figure 74 : câblage automate de la ligne

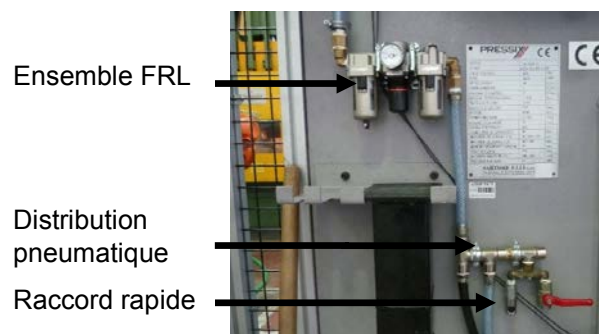


Figure 73 : alimentation pneumatique de la ligne

---

La commande manuelle de la pince est câblée dans sa version finale. Un étiquetage de chaque bouton ainsi que la numérotation des câbles sont effectués. Les mouvements sont validés. Le mode production peut être programmé. Il reprend les fonctions de déplacement de base du mode réglage, avec des conditions supplémentaires : la position de la presse. La came à secteurs est fixée à l'arbre de la presse. Le capteur à galet est câblé puis testé.



Figure 75 : commandes manuelles du redresseur et de l'amenage

Pour définir le bon réglage de la came, la presse est utilisée en mode régulation. Elle est arrêtée dans la position où le poinçon vient juste d'être dévêtu. Le secteur de départ est installé à l'emplacement du galet du capteur fin de course. La même opération est réalisée pour le secteur de fin mais cette fois avec la position qui précède légèrement le moment où le poinçon découpe la tôle. Les emplacements entre les secteurs de début et de fin sont comblés par des secteurs intermédiaires.



Figure 76 : came à secteur

La dernière étape de la synchronisation de la pince avec la presse consiste à ajouter l'information « autorisation presse » dans son circuit de commande. Elle est d'abord effectuée sur les cycles de réglage, coup par coup et semi automatique de la presse. Le cycle automatique est validé par la suite.

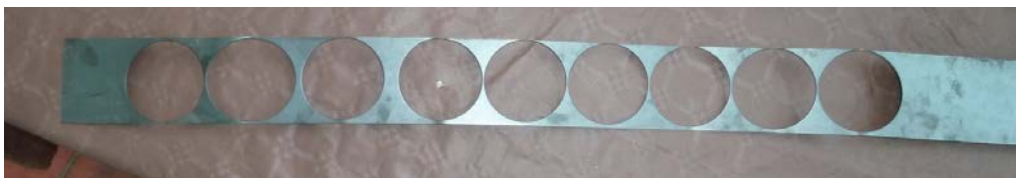


Figure 77 : Flan découpés dans une bande de tôle

### 5.1.2 Installation du redresseur

La même procédure est réalisée pour le redresseur. Le mode réglage permet de faire un premier essai sur le réglage de la hauteur des rouleaux. Une bande de tôle d'épaisseur 1,5mm (épaisseur prévue pour l'outillage de découpe de flan) est roulée, pour lui conférer un rayon de courbure d'environ 1m (diamètre de bobine), puis redressée. Les abaques constructeurs ne précisent pas le réglage pour l'épaisseur voulue (Figure 78). Ils sont interpolés. La position des rouleaux est ajustée jusqu'à ce que la tôle soit plane.

Epaisseur tôle mm	Rouleau n° 1	Rouleau n° 2	Rouleau n° 3
0.5	-3	-1,5	+0,5
1	-2	-0,5	+1
2	-1	+0,5	+2
3	+0.5	+1,5	+3
4	+2	+3	+4



Figure 78 : abaque constructeur de réglage du redresseur (à gauche) et système de réglage (à droite)

Le mode production du bras presseur prend en compte le niveau de la boucle. Le bras palpeur est situé sur un axe composé de cames. Elles activent des capteurs fins de cours en fonction de la position angulaire du bras. Les cames doivent être réglées pour que les fins de courses soient déclenchés dans les positions critiques de la boucle. La Figure 80 illustre le boîtier contenant les capteurs du bras palpeur.



Figure 79 : bras palpeur

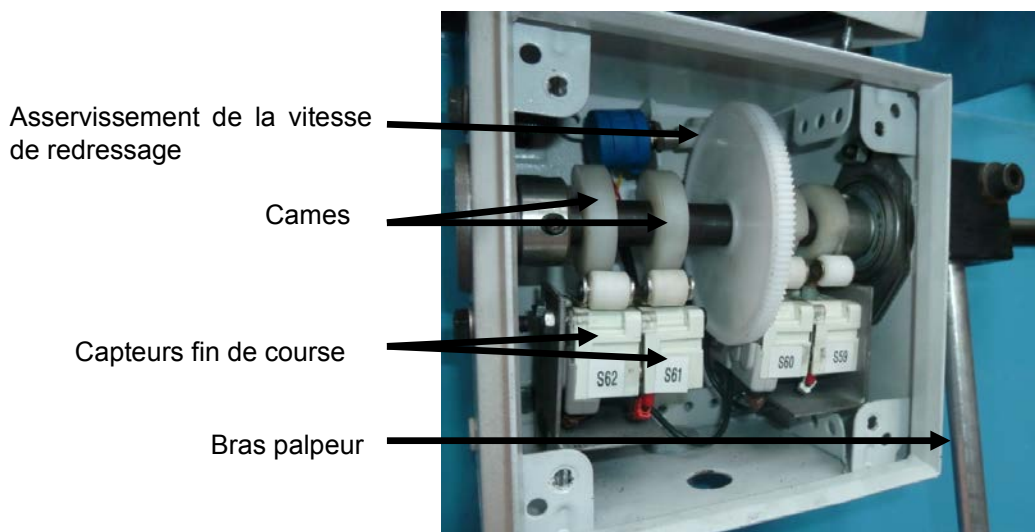


Figure 80 : boîtier du bras palpeur redresseur

---

## 5.2 Phase 2 : installation finale

La deuxième phase d'installation regroupe l'installation dans l'ordre du dérouleur, de la partie électrique finale, et des protecteurs. Les composants manquants sont en demande d'achat. Leur installation n'est pas possible dans l'immédiat.

**Le dérouleur** sera à réaliser en premier. La partie châssis sera assemblée. Les actionneurs et leur l'alimentation en énergie seront fixés. La partie contrôle commande sera branchée et vérifiée en même temps que la programmation des mouvements, conformément aux logigrammes de fonctionnement. Des essais sur le bras presseur permettront de valider son bon fonctionnement.

**L'installation électrique** finale est effectuée en seconde partie. Elle concerne l'alimentation de la ligne à partir de la rampe électrique de l'atelier, ainsi que l'ajout du sectionneur, des disjoncteurs, et du répartiteur triphasé. L'ensemble des câblages doit être protégé dans les gaines métalliques prévues à cet effet.

**L'enceinte de protection** est la dernière partie à mettre en œuvre. Les ensembles mécaniques seront mis en place puis les systèmes de surveillance. Des essais permettront de vérifier le bon comportement des différentes machines en cas d'arrêt d'urgence, ou d'ouverture d'un protecteur.

La dernière étape du projet concerne la finalisation du dossier technique de la ligne de découpage. Il rassemble :

- les notices techniques de chaque composant et sous système de la ligne.
- Les plans et assemblages des parties conçues.
- Les schémas de câblage électrique.
- Les notices d'utilisation.
- Tout autre document pouvant servir à la compréhension de la ligne.

Le mois suivant le rendu de ce rapport servira à la constitution de ce dossier technique. Les plans électriques et pneumatiques seront édités au propre.

---

## **CONCLUSION**

---

## Conclusion

Une année s'est écoulée depuis le lancement du projet. Ce temps a permis d'étudier le fonctionnement d'une ligne de découpe automatisée et d'en comprendre les paramètres clés. L'étude de la plateforme Vulcain a permis l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnelles adapté à l'environnement spécifique de l'atelier de déformation plastique du centre « Arts et Métiers de Metz ».

La conception de la ligne a été réalisée suivant ce cahier des charges, et a abouti à une maquette numérique de l'ensemble de la ligne. Des essais ont démontrés que la pince d'amenage et le redresseur sont opérationnels et réalisent les fonctions souhaités. Les composants pour la finalisation de la ligne ont été dimensionnés et sont en cours d'achat. Leur réception permettra la finalisation de la ligne. Le dossier technique est en cours réalisation.

Par manque de temps, les supports pédagogiques initialement prévus n'ont pas été réalisés. De même pour la communication avec la plateforme XRM. Ces points n'ont pas été développés, mais ont toutefois été intégrés à la réflexion pendant la conception (exemple du choix des protecteurs adaptés aux séances de travaux pratiques).

Sur un plan plus personnel, ce projet m'a permis de conforter et de développer mes connaissances techniques et technologiques. La conception de fonctions de sécurité, la programmation d'un automate, le câblage d'une armoire électrique ont été un défis. Je n'ai compris la complexité de ce projet qu'au fil de sa réalisation. Ce projet a également été l'occasion pour moi d'échanger mes idées et le résultat de mon travail avec de nombreux spécialistes.

---

## **BIBLIOGRAPHIE**



---

## Bibliographie

1. **Lucien, VIGNARDET.** Découpage au jet de fluide, Oxycoupage, jet de plasma, laser et jet d'eau sous pression. *Techniques de l'ingénieur.* 1989, Vol. b7340.
2. **Robert, ALBERNY.** Laminage à chaud des produits plats sur train à bandes. Partie 1. *Techniques de l'ingénieur.* 2007, m7940.
3. **Marc, PERRIN.** Parachèvement des tôles minces. *Techniques de l'ingénieur.* 1996, m7980.
4. **André, MAILLARD.** Outils de presse. *Techniques de l'ingénieur.* 2012, bm7520.
5. **René, MARTIN.** Presses. 1979, b7570.
6. **travail, Code du.** Code du travail. L4311-1.
7. **2006/CE/46, Directive Machine.** 2006.
8. **Dantan, Jean-Yves.** *Analyse fonctionnelle, methode APTE.*
9. *ISO 12100.*
10. **DIMECO.** Notice constructeur DIMECO 1675.
11. *NF EN 349+A1.*
12. *Metal forming hadbook Schuller.* 1998.
13. **André, MAILLARD.** Découpage des tôles à la presse. *Techniques de l'ingénieur.* 2009, m7500.
14. **Alipress, DIMECO.** *Alimentation de presses.* 2009.
15. **RapidAir.** *RapidAir Product.* 2014.
16. Code du travail. L4311-1.
17. **Sandra, Chevret.** *La découpe thermique.* 2013.
18. **RapidAir.** *Notice technique Pince pneumatique F20.*
19. **Groupe, SCHULER.** <http://www.schulergroup.com/>. [En ligne]
20. **Halmos, GEORGE T.** *Roll forming handbook.*
21. *Techniques de l'ingénieur.* [En ligne]
22. *NF EN ISO 13849-1 annexe A.*

---

## **ANNEXES**

## Annexe 1 Analyse fonctionnelle

### Etude détaillée du sous système de redresseage

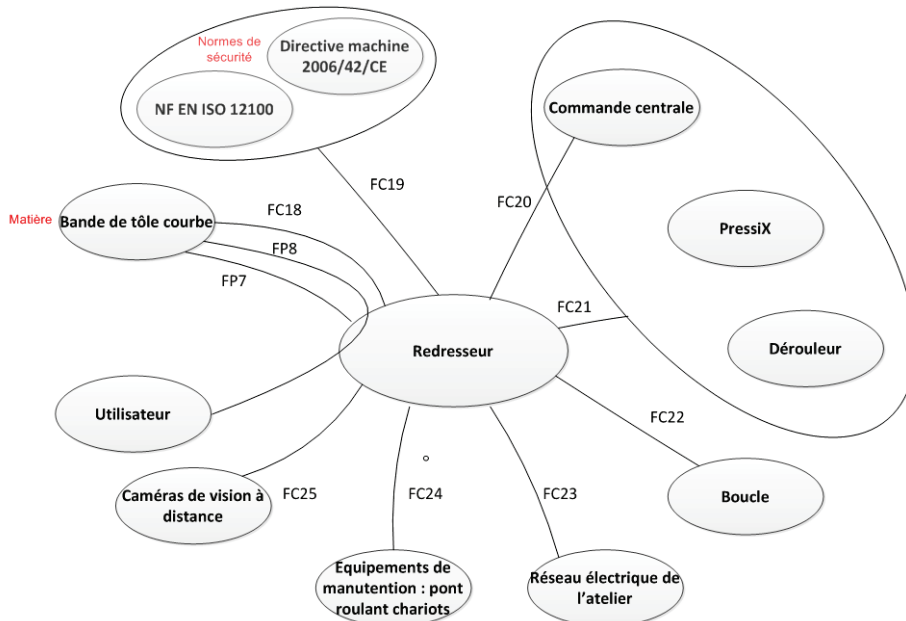


Figure 81 : diagramme pieuvre du sous-système de redresseage

FP7 : Corriger le rayon de courbure de la bande de tôle

FP8 : Permettre à l'utilisateur de comprendre l'asservissement du redresseur

FC18 : S'adapter à l'épaisseur de la tôle

FC19 : Répondre aux normes de sécurité

FC20 : Permettre le pilotage par la comande centrale

FC21 : Prendre en compte le bon fonctionnement de la pince, du dérouleur et de la presse

FC22 : Permettre l'asservissement en fonction de l'état de remplissage de la boucle

FC23 : S'adapter à l'énergie électrique de l'atelier

FC24 : Etre déplaçable par les moyens de manutention de l'atelier

FC25 : Permettre la visualisation à distance du procédé avec les caméras

## Etude détaillée du sous système dérouleur

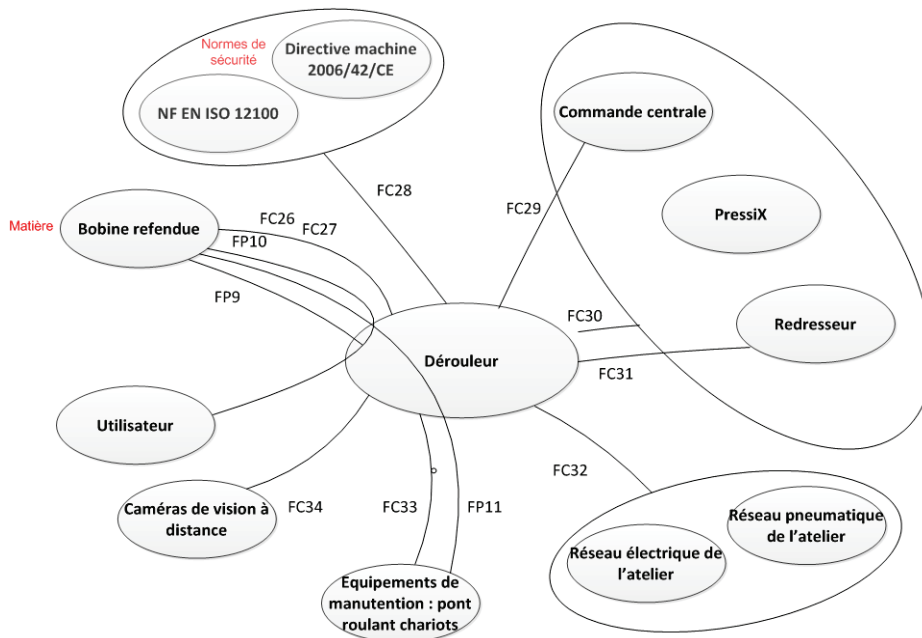


Figure 82 : diagramme pieuvre du dérouleur

FP9 : Permettre le déroulage de bobines refendues

FP10 : Permettre à l'utilisateur de comprendre les problématiques de déroulage de bobines

FP11 : Permettre le chargement de bobines refendues avec les équipements de manutention de l'atelier.

FC26 : Permettre le maintient latérale de la bobine

FC27 : Contenir le retour élastique de la bobine

FC28 : Répondre aux normes de sécurité

FC29 : Permettre le pilotage par la commande centrale

FC30 : Prendre en compte le bon fonctionnement de la pince, du redresseur et de la presse

FC31 : Permettre l'insertion de la bande dans le redresseur

FC32 : S'adapter aux énergies disponibles dans l'atelier

FC33 : Etre déplaçable par les moyens de manutention de l'atelier

FC34 : Permettre la visualisation à distance du procédé avec les caméras

Annexe 2 Evaluation des risques

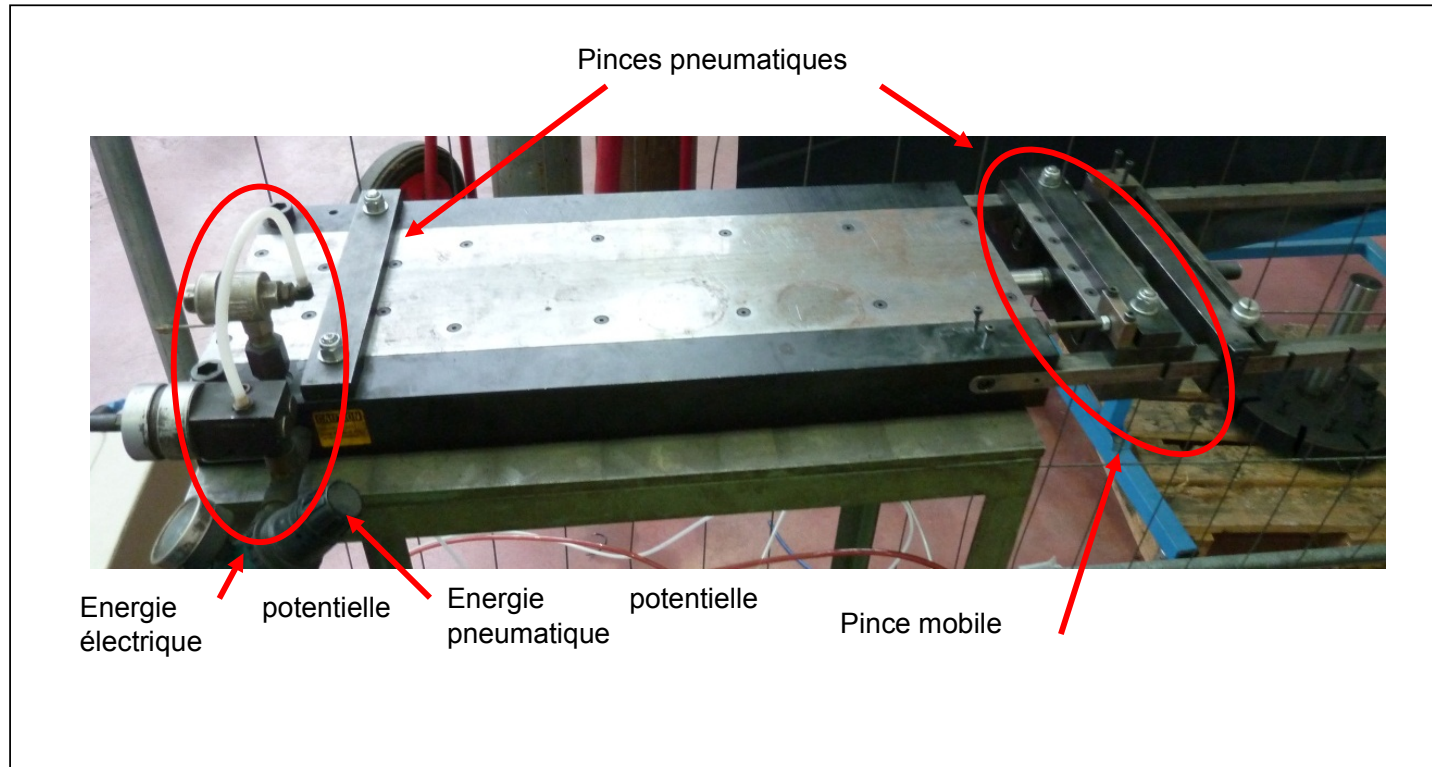


Figure 83 : phénomènes dangereux de la pince d'amenage

**Tableau VI : évaluation des risques de la pince d'aménagement**

z	Phénomène(s) dangereux	Gravité du dommage	Occurrence d'exposition	Suppression possible ?	Réduction du risque en mode production	Réduction du risque mode réglage	Réduction du risque possible en mode maintenance
Pince pneumatique	Pincement	Sévère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse Protecteur Pince homme mort	Couper les énergies
Pince mobile	Ecrasement happement	Sévère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse Protecteur Pince homme mort	Couper les énergies
Energie Pneumatique		Légère	100%	Non	Protecteur	Protecteur	Couper les énergies
Energie électrique	Electrocution	Sévère	En cas de défaillance du câble	Non	Goulotte électrique	Goulotte électrique	Goulotte électrique

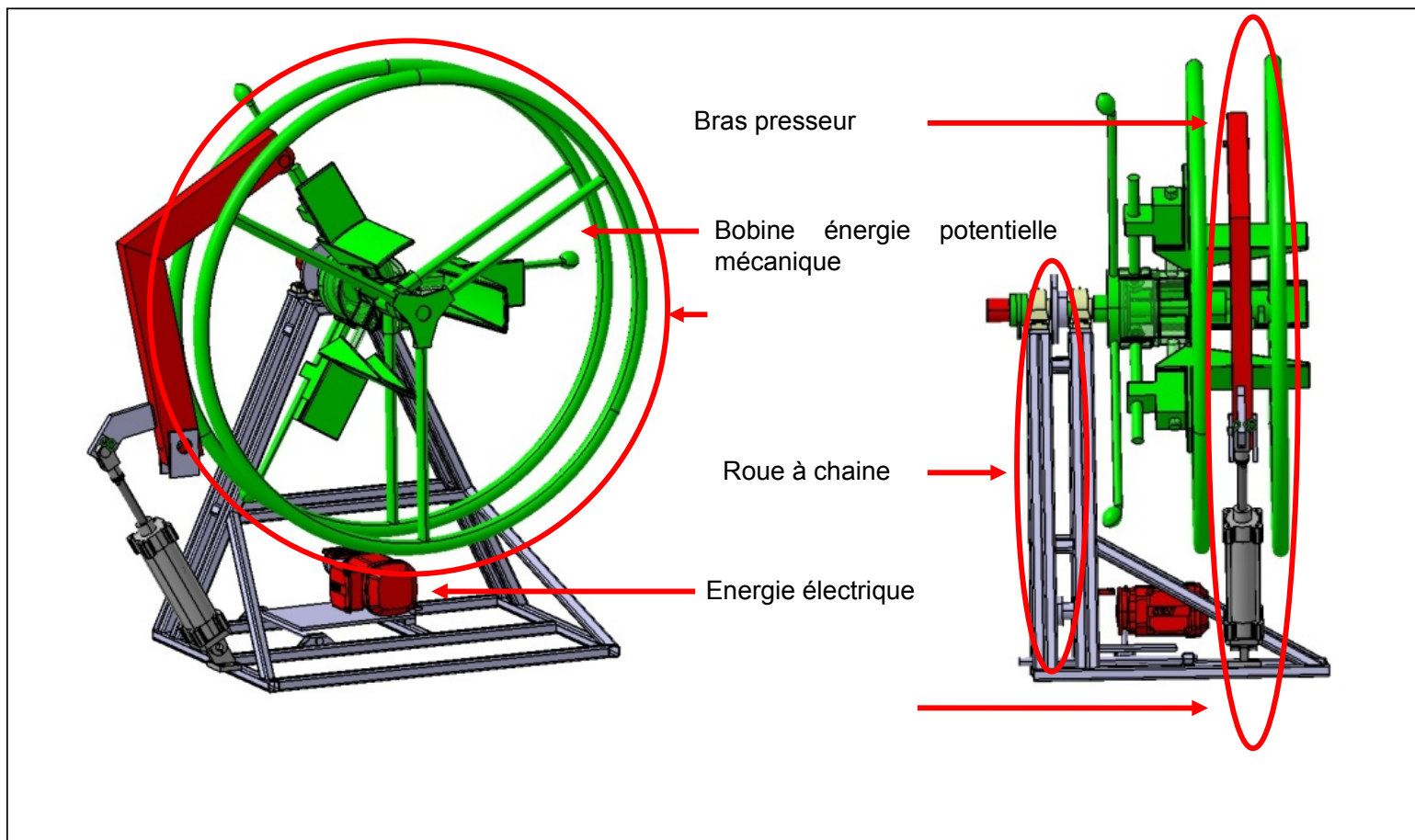


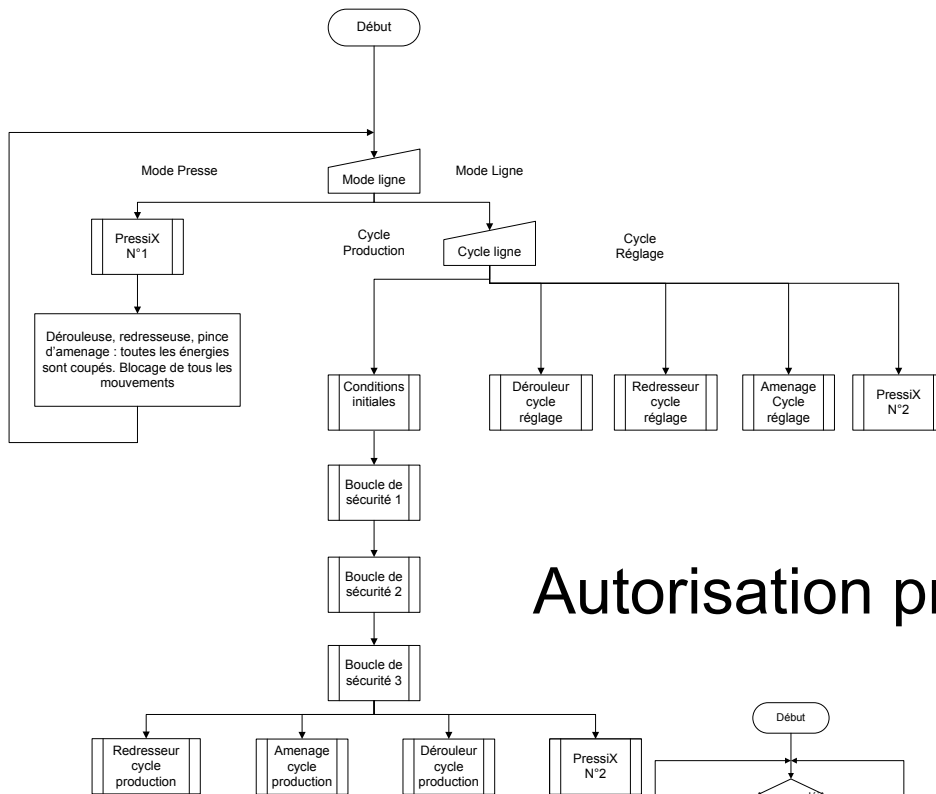
Figure 84 : phénomènes dangereux du dérouleur

**Tableau VII : évaluation des risques du dérouleur**

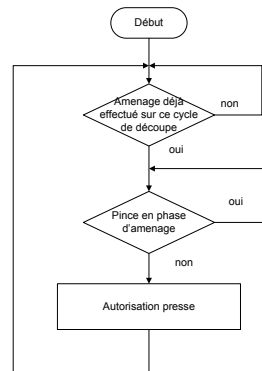
Eléments Dangereux	Phénomène(s) dangereux	Gravité du dommage	Occurrence d'exposition	Suppression possible ?	Réduction du risque en mode production	Réduction du risque mode réglage	Réduction du risque possible en mode maintenance
Bras presseur	Ecrasement,	Sévère	100%	Non	Protecteur	Commande à clé	maintenir les énergies
Bobine		Sévère		Non	Bras presseur	Bras presseur	Maintenir le bras presseur
Mandrin	entraînement, happement, enroulement	Sévère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse protecteur	Couper les énergies
Roue à chaîne	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Légère	100%	Non	Protecteur	Réduction de la vitesse protecteur	Couper les énergies
Energie électrique	électrocution	sévères	En cas de défaillance du câble	Non	Protecteur	Goulotte électrique	Couper les énergies
Energie pneumatique		Sévère	En cas de défaillance des systèmes	Non	Protecteur	Protecteur	Couper les énergies
Proximité redresseur	Ecrasement, entraînement, happement, enroulement	Sévère	100%	Oui : espacement suffisant entre les machines	Oui : espacement suffisant entre les machines	Oui : espacement entre les machines	Oui : espacement suffisant entre les machines



# Ligne de découpage

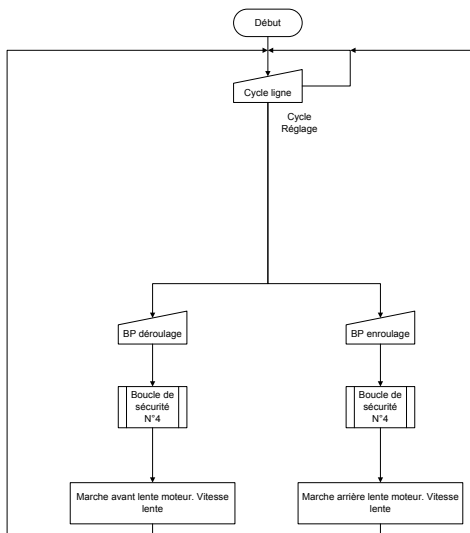


## Autorisation presse

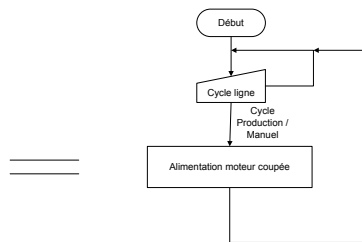


# Dérouleur

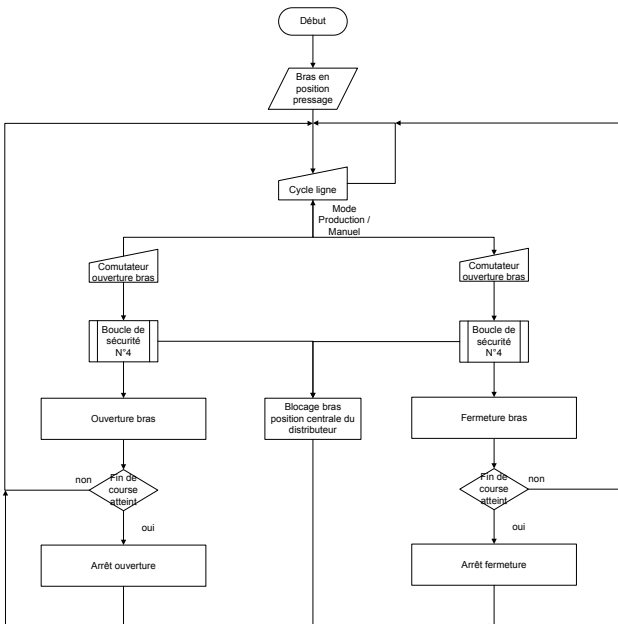
Rotation bobine cycle réglage



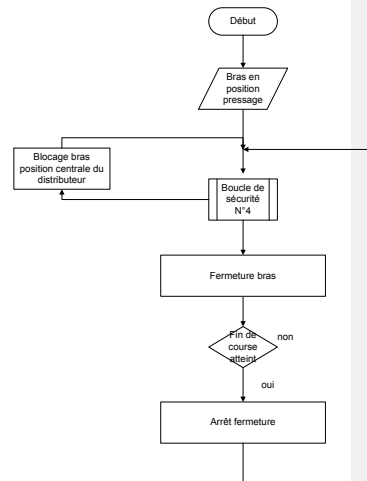
Rotation bobine cycle production



Bras presseur mode réglage

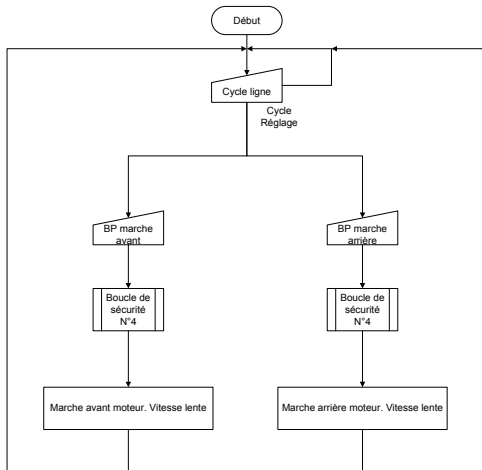


Bras presseur mode production

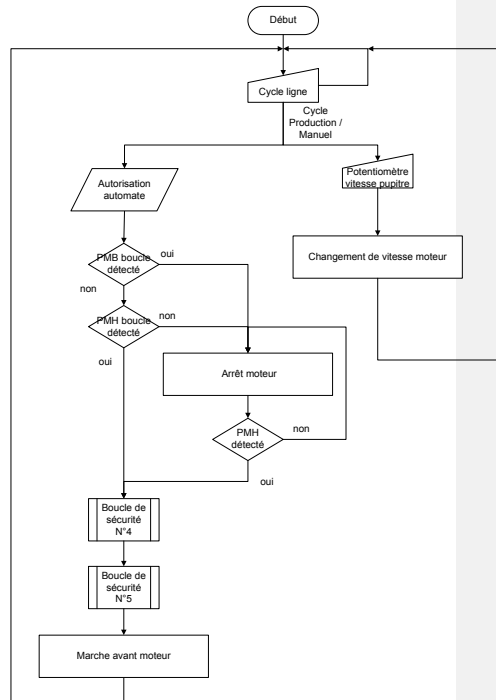


# Redresseur

Redresseur cycle réglage

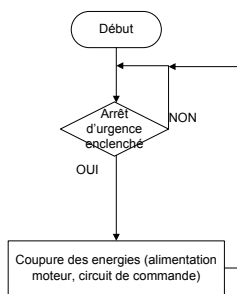


Redresseur cycle production



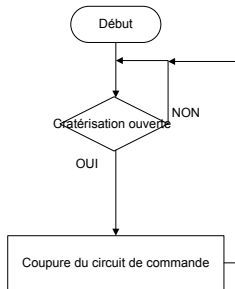
### Boucle de sécurité N°1

Arrêt d'urgence



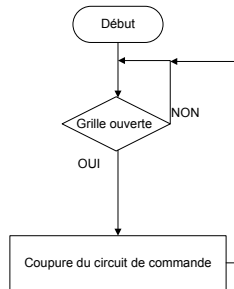
### Boucle de sécurité N°2

Coupure auxiliaires

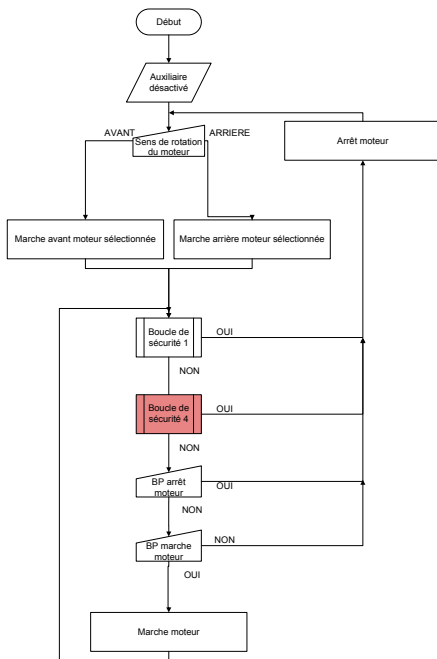


### Boucle de sécurité N°3

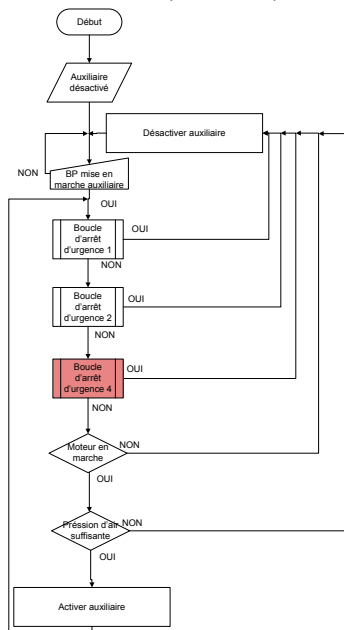
Coupure auxiliaires



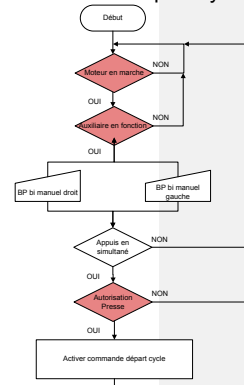
### Mise en marche moteur



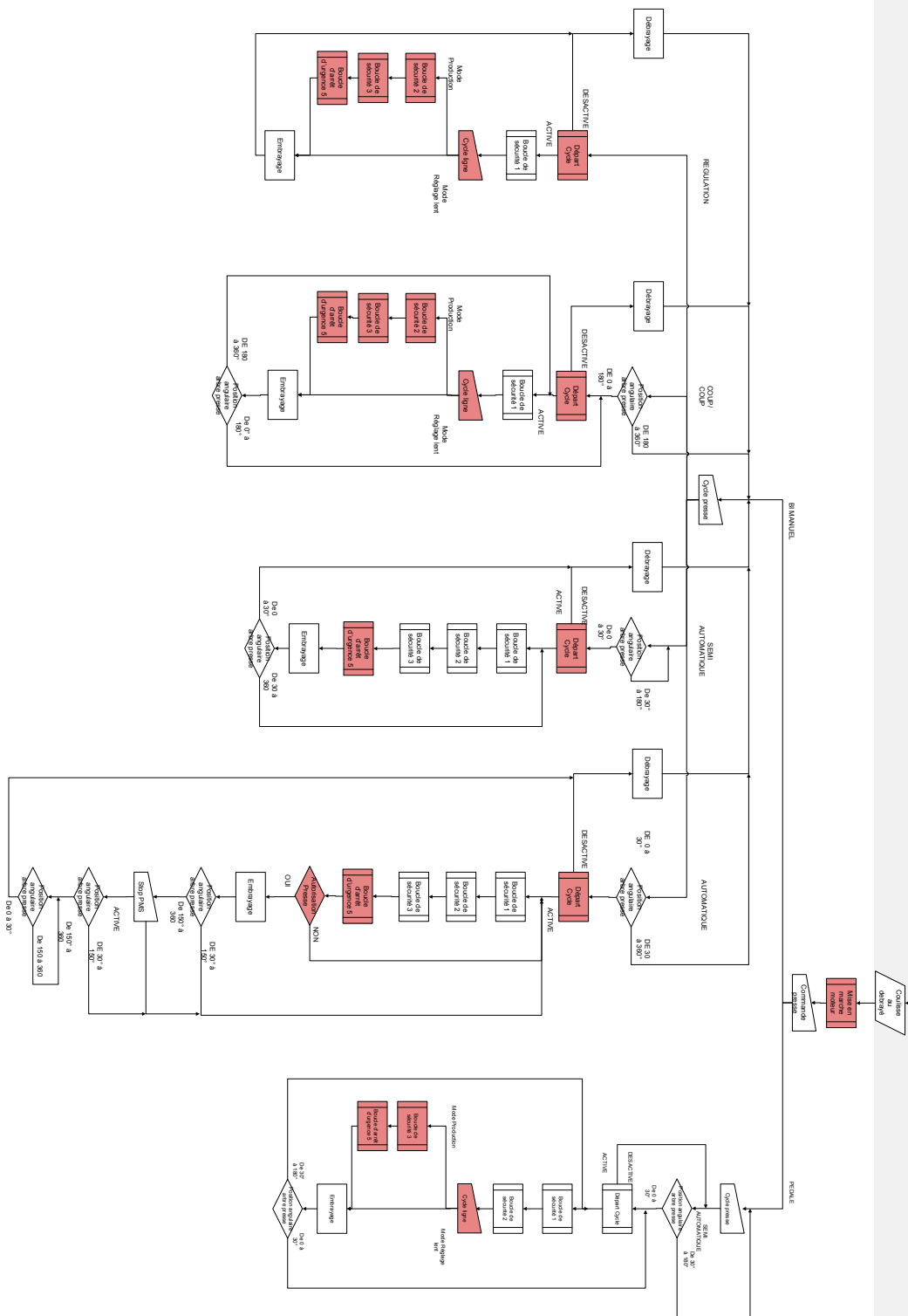
### Mise en marche auxiliaires (armement)



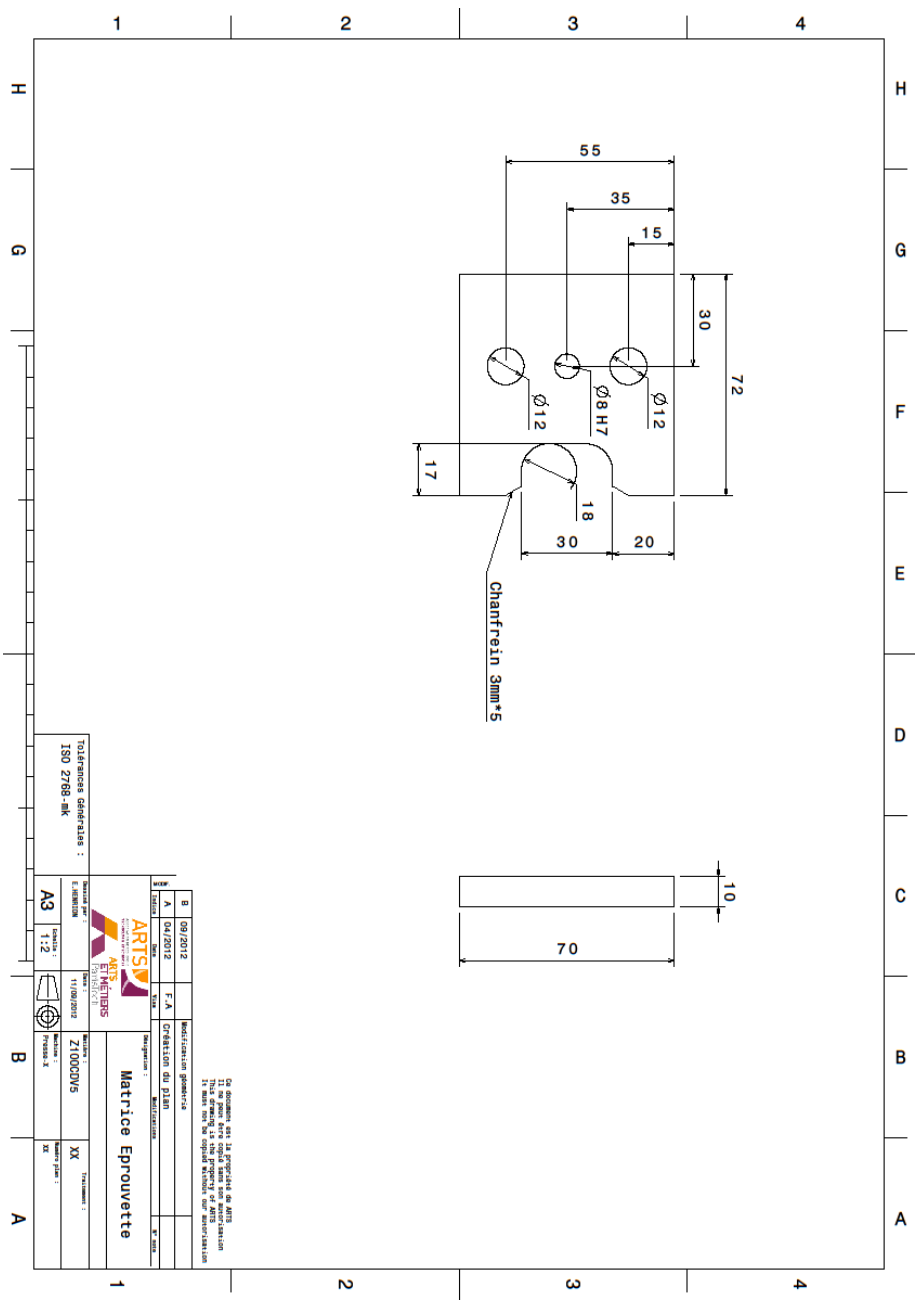
### Départ cycle



### Mouvement Presse mode ligne



# Annexe 4 Mise en plan



**tolérances générales :**  
ISO 2768-mK

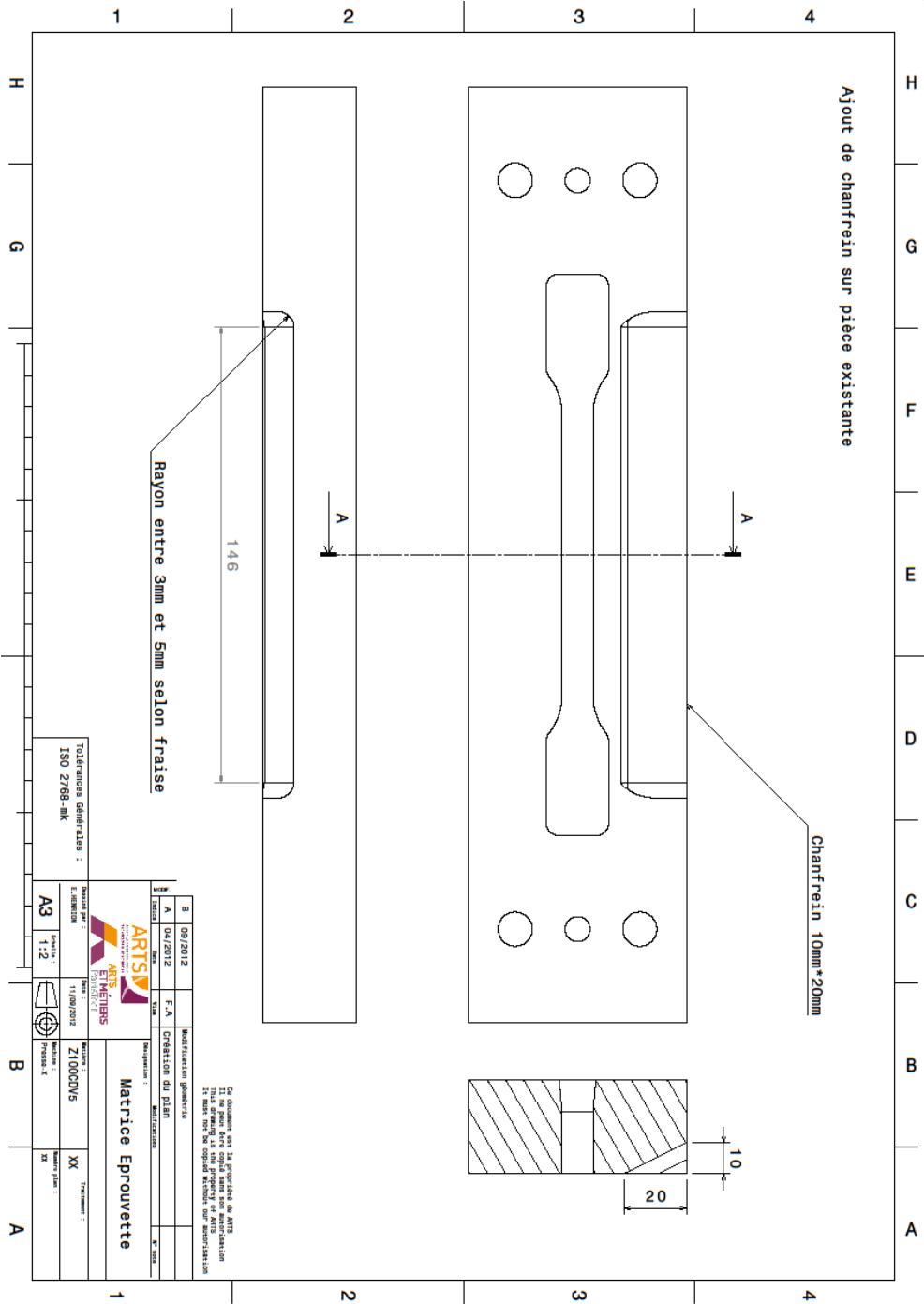
<b>A</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>B</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>C</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>D</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>E</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>F</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>G</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN
<b>H</b>	SA/2012	F.A	ORIENTATION DU DRAIN

**ARTS & METIERS**  
UNIVERSITÉ  
TECHNOLOGIQUE

**Matrice Eprouvette**

Matériau : Z1000V5  
Tolérance : XX  
N° série : XX

11/10/2012  
Presses X



Tolérances générales :  
ISO 2768 -Mk

Échelle	A3	1:2
État	09/2012	04/2012
Version	F.A	Création du plan
Matériau	Z10000V8	
Norme	XX	
Précision	2X	

Matrice Eprouvette

Ce document est la propriété de ARTS  
Il ne peut être copié sans autorisation  
de la direction des études de ARTS  
Il ne peut être copié ailleurs que sur autorisation

## Annexe 5 Programmation automate

### Programmation des variables virtuelles partie 1 :

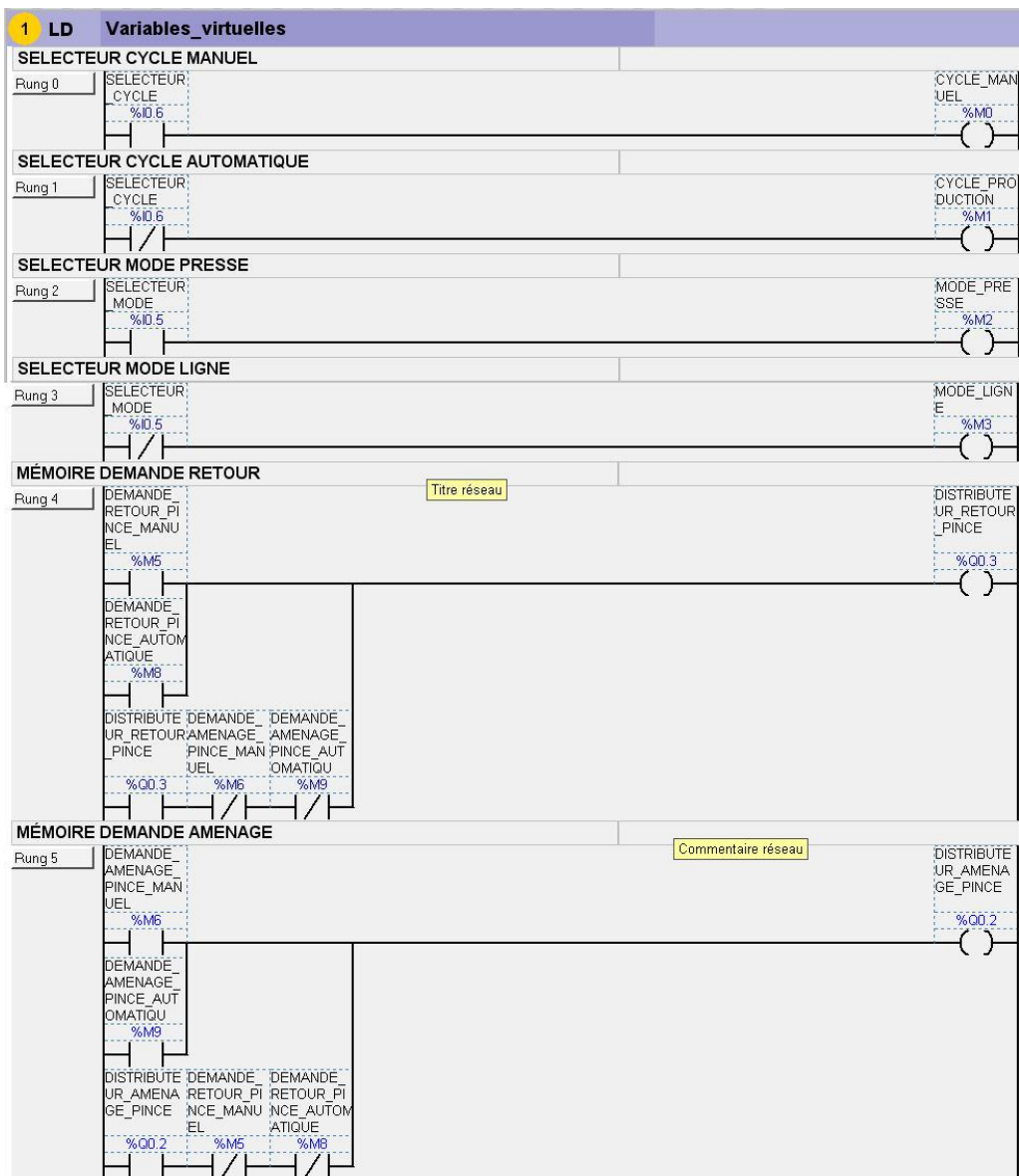


Figure 85 : Programmation des variables virtuelles partie 1



Programmation des variables virtuelles partie 2 :

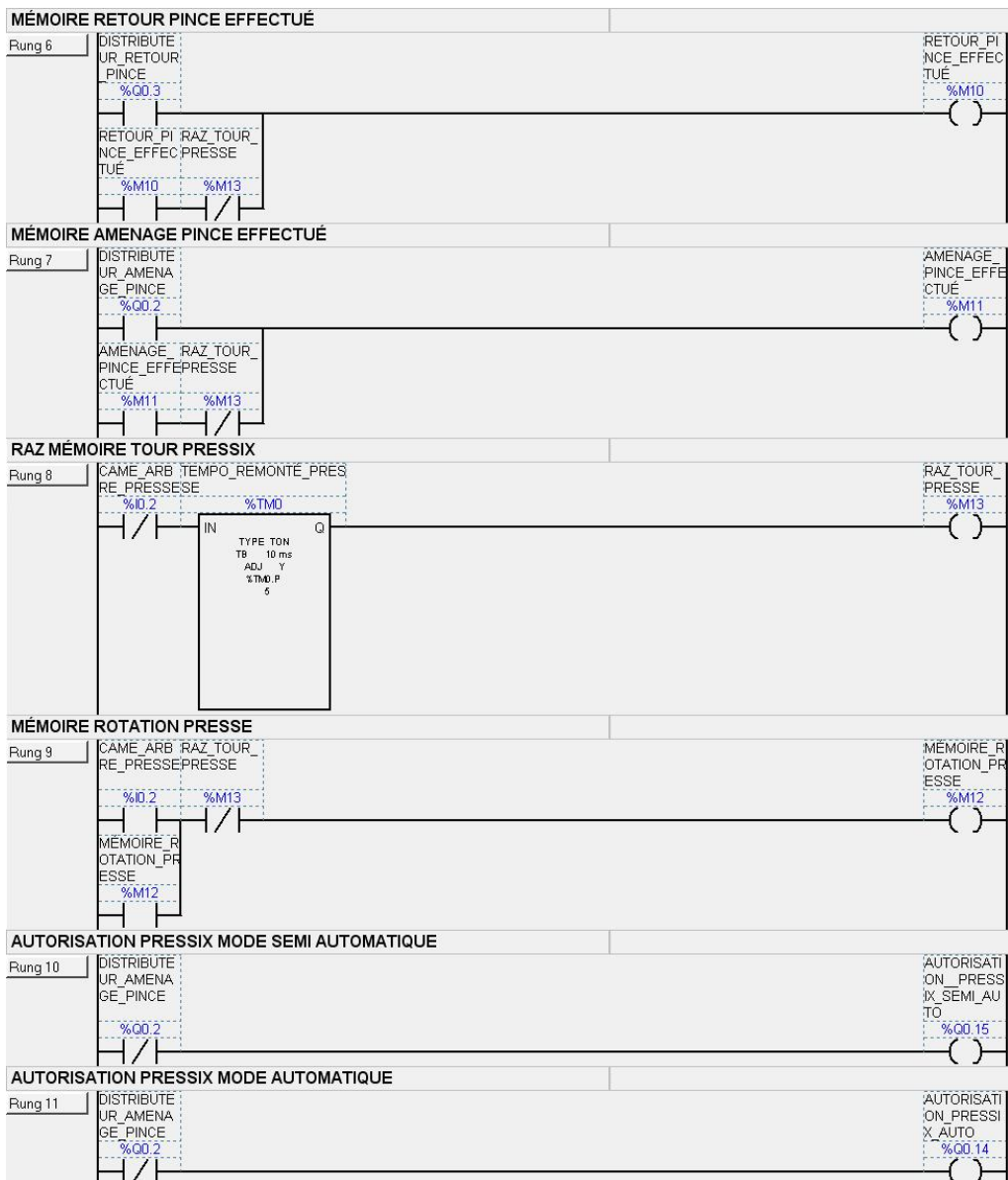


Figure 86 : Programmation des variables virtuelles partie 2

Programmation des variables virtuelles partie 3 :

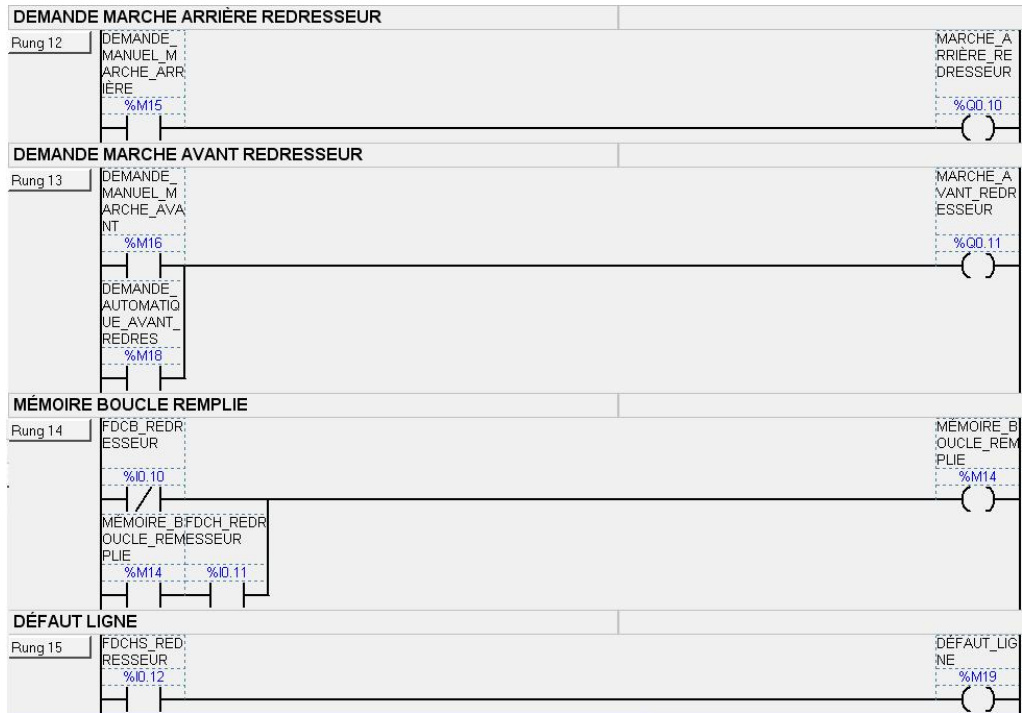


Figure 87 : Programmation des variables virtuelles partie 3

## Annexe 6 Liste des composants matériels

### Liste du matériel phase 1

Commentaire [E1]:

Automate	Base controler twido TOR 14 IN 10 OUT	SCHTWDLCAE40DRF	674,38	1	674,38
	Logiciel de programmation Twido suite	SCHTWDDBTFU10M	74,34	1	74,34
	Câble de communication	SCHTWDFCW30K	21,59	1	21,59
PressiX	Interupteur à gallet mécanique NO	XCK-J105013	43,95	1	43,95
Amenage	Electro-distributeur 5/3 centre fermé	SY7520-5W1U-02F	65,13	1	65,13
	Interrupteur de position	Schneider : XCPR2118G1	21,87	2	43,74
Commande centrale	Commutateur 2 positions + 1 contact NO	XB4BD21	12,04	2	24,08
	Commutateur à clé 3 positions + 1 contact NO	XB4B4BG33	29,99	4	119,96
	Bouton poussoir vert + 1 contact NO	XB4BA31	8,5	4	34
	Bloc contact NO	ZBE101	3,1	10	31
	Bloc contact NF	ZBE102	3,1	10	31
	Ensemble FRL	AC30 F03G	1	74,85	74,85
Pneumatique	tuyau transparent d8 20m	TU0805C-20	1	23,73 €	23,73
	tuyau transparent d4 20m	TU0405C-20	14,65 €	1	14,65
	Y d8	KQ2U08-00A	2,99 €	5	14,95
	Y Ø4	KQ2U04-00A	1,68 €	5	8,4
	embase distributeurs 4 emplacements	SS5Y7-20-04-00F-Q	56,43 €	1	56,43
	Bouchon d'embase	FP02	0,59 €	6	3,54
	raccord droit différent Ø6 Ø4	KQ2H04-06A	1,77 €	4	7,08
	raccord droit différent Ø8 Ø6	KQ2H06-08A	2,46 €	4	9,84
	Connecteur mâle Ø8	KQ2H08-02AS	1,39 €	4	5,56
	silencieux 1/4"	AN203-02	2,59 €	4	10,36
	Plaque d'obturation	SY7000-26-1A-Q	4,96	2	9,92
	tube flexible PVC transparent renforcé Ø13,5mm 25m		63	1	63
	raccord laiton 1/2" en T femelle		5,41	3	16,23
	Raccord laiton droit 1/2" vers cannelé mâle pour tuyaux 13mm		1,57	3	4,71
	Bouchon laiton 1/2"		1,71	4	6,84
	Raccord laiton droit 1/2" mâle vers cannelé mâle pour tuyaux 13mm		1,57	4	6,28
	Raccord laiton mal 1/2" vers 1/4" mal		1,55	2	3,1
	raccord laiton femelle 1/4" vers raccord cannelé mâle pour tuyaux 13mm		2,99	2	5,98
	Limiteur de débit	AS3301F-03-08S	12,49	2	24,98
	raccord laiton 1/2" droit mal		1,63	3	4,89
Electrique	Marquages chiffres de 0 à 9 pour câbles 0,5² à 1,5² (assortiment 200)	HellermannTyton 561-05010	7,29	5	36,45
	Marquages chiffres de 0 à 9 pour câbles 1,5² à 2,5² (assortiment 200)	HellermannTyton 561-05030	7,45	2	14,9
	Marquages chiffres de 0 à 9 pour câbles 2,5² à 6² (assortiment 200)	HellermannTyton 561-05050	7,16	1	7,16
	Fil 1mm² rouge rouleau 100m	RS : 361-721	27,27	1	27,27
	Fil 1mm² bleu rouleau 100m	RS : 361-759	27,27	1	27,27
	File rigide 1mm² jaune et vert rouleau 100m	RS : 361-743	27,27	1	27,27
	H23-6M 15 turns counting dial 22mm	Bourns	11,87	2	23,74
	POTENTIOMETRE 10 TOURS SERIE 3590-S2 10K	Bourns	13,72	2	27,44
	Câblage 3P + T rigide 25m		32,94	1	32,94
	COSSE RONDE BLEU 1.5-2.5 D.6(100)		7,66	1	7,66
	COSSE RONDE ROUGE 0.25-1.5 D.6(100)		7,49	1	7,49
	Conduit métallo-plastique FA 25m Dint 26mm	Legrand : 0635 45	161	1	161
	Raccord universale 5pièces	Legrand : 0636 06	16,74	1	16,74
	Clips ecrou pour plaque perforée et vis M6 sachet 100	Legrand : 36442	43,18	1	43,18
	Goulotte lina25 40x60 2m	Legrand : 36207	13,55	1	13,55
Bloc de jonction pour rail DIN	Schneider : NSYTRV22	0,44	20	8,8	
Bloc de jonction de mise à la terre pour rail DIN	Schneider : NSYTRV22PE	1,75	2	3,5	
Embout de câblage 1mm² rouge sachet 100	schneider : DZCE010	1,45	5	7,25	
Embout de câblage 2,5mm² rouge sachet 100	schneider : DZ5CE025	1,82	5	9,1	
Divers	Serres câbles 100mm	RS : CVR-100BK	0,76	10	7,6
	Serres câbles 200mm	RS : RSTY200-18-100	2,81	10	28,1
	Ruban PTFE	RS : 612-235	1,23	2	2,46
	Presse étoupe D5-10mm sachet de 10	BIZ205011	4,11	1	4,11
	Presse étoupe D10-14mm sachet de 5	BIZ205016	2,37	1	2,37
Boite à bouton réglage redresseur	Schneider : XAPM1202	28,49	2	56,98	
				Total	2142,82
	Rexel				
	thomé				
	Radiospares				



## Annexe 7 Devis



VÉRIFICATIONS TECHNIQUES ÉQUIPEMENTS  
CP-EQT-100-1-13

Proposition n° : P14/88/1/BRR

Dossier n° :

Page n° 2

**CONDITIONS PARTICULIÈRES DE LA CONVENTION**

**ARTICLE 1 : MISSION CONFIEE À SOCOTEC**

L'intervention de SOCOTEC s'exerce conformément aux dispositions des conditions générales visées à l'article 2 ci-après.

Le tableau d'ordre de mission ci-dessous précise la nature des équipements ou installations qui, à la demande du client, font l'objet de prestations et comporte, au regard de chacun d'eux, l'indication :

- des conditions spéciales dans lesquelles sont définies les modalités particulières d'exécution de la mission,
- de la périodicité de la mission confiée à SOCOTEC lorsque cette mission fait l'objet d'un abonnement,
- du montant des honoraires dus à SOCOTEC pour chacune des interventions.

TABLEAU D'ORDRE DE MISSION						
Nature des équipements ou installations concernés	Codification des conditions spéciales	Périodicité retenue par le client (en mois)	Nombre (Equip./Instal.)	Prix unitaire HT	Honoraires pour chaque intervention	
					HT	TTC
<b>Equipements de travail - Machines</b> <b>Assistance technique à l'autocertification d'une ligne presse</b> <b>OPTION 1 : Assistance à la validation du dossier technique, notice instruction, marquage et déclaration CE</b> <b>OPTION 2 : Assistance à l'élaboration et validation du dossier technique, notice d'instruction</b> NOTA : Quelque soit le choix de l'option, les documents en question sont intégralement rédigés par l'ENSAM. Cette mission d'assistance technique se fait intégralement depuis nos bureaux (échanges mail, compte rendus Installation concernée : Ligne presse comprenant Presse CNR4, aménagement F20, redressage 1675BV, déroulage 2310F		Sans objet				
			1	980.00	980.00	1 176.00
			1	1 620.00	1 620.00	1 944.00
<b>Equipements de travail - Machines</b> <b>Examen de conformité de machines marquées "CE"</b> Installation concernée : Ligne presse comprenant Presse CNR4, aménagement F20, redressage 1675BV, déroulage 2310F	CS-EQT-HHAC-100-1-12	Sans objet	1	1 200.00	1 200.00	1 440.00

La présente convention comporte donc 1 document "conditions spéciales"



CONDITIONS PARTICULIÈRES DE LA CONVENTION

ARTICLE 1 : MISSION CONFÉE À SOCOTEC

L'intervention de SOCOTEC s'exerce conformément aux dispositions des conditions générales visées à l'article 2 ci-après.

Le tableau d'ordre de mission ci-dessous précise la nature des équipements ou installations qui, à la demande du client, font l'objet de prestations et comporte, au regard de chacun d'eux, l'indication :

- des conditions générales dans lesquelles sont définies les modalités particulières d'exécution de la mission,
- de la périodicité de la mission confiée à SOCOTEC lorsque cette mission fait l'objet d'un abonnement,
- du montant des honoraires dus à SOCOTEC pour chacune des interventions.

TABLEAU D'ORDRE DE MISSION						
Nature des équipements ou installations concernés	Codification des conditions générales	Périodicité retenue par le client (en mois)	Nombre (Equip./Instal.)	Prix unitaire HT	Honoraires pour chaque intervention	
					HT	TTC
<b>Equipements de travail - Machines</b> <b>Assistance technique à l'élaboration de l'analyse des risques ligne presse (partie intégration)</b> avec fourniture d'un rapport détaillé. NOTA : La présente mission comprend 2 groupes de travail d'une demie journée dans vos locaux (vidéo projecteur à fournir par l'ENSAM) 20 % à la commande 80 % à la fin de la mission Installation concernée : Ligne presse comprenant Presse CNR4, aménagement F20, redressage 1675BV, déroulage 2310F		Sans objet			2 860.00	3 432.00
			1	572.00		
			1	2 288.00		
<b>Equipements de travail - Machines</b> <b>Assistance technique à l'établissement d'un rapport SISTEMA validant la fiabilité des circuits commande</b> des fonctions de sécurité de l'intégration de la ligne presse avec fourniture du rapport SISTEMA Installation concernée : Ligne presse comprenant Presse CNR4, aménagement F20, redressage 1675BV, déroulage 2310F		Sans objet	1	1 080.00	1 080.00	1 296.00
La présente convention comporte donc 1 document "conditions générales"						

PARAPHES :



DISTRIBUTION DE MATERIEL ELECTRIQUE - AUTOMATISME ET DE REGULATION

## ELEC - A.P.I.

S.A.R.L au capital de 7623 Euro. - R.C. Metz 402.091.961 - N°SIRET 402 091 961 00068

23-27 Rue des Drapiers

Actipôle de Metz-Borny

57070 METZ

Tél : 03.87.31.71.60

Fax: 03.87.31.71.69

E-Mail :elecapi-metz@etn.fr

Offre de prix n° **156473** (N° à rappeler lors d'une éventuelle commande)

Votre référence :

Destinataire : **M. HENRION emerik**  
Ecole Nationale d'Art et Métiers  
57070 METZ TECHNOPOLE

Le 31/03/2014  
Fax :03-87-37-54-70  
Tél : 03-87-37-54-54

Emetteur : **Fabrice Dodin**

Votre commercial(e) : Jerome DELEAU

Validité : 1 MOIS - sauf hausse des matières premières

POUR TOUTE COMMANDE, MERCI DE RAPPELER LE NUMERO D'OFFRE

\*\*\*\*\*  
ATTENTION LIVRAISONS PARTIELLES.UNIQUEMENT SUR DEMANDE .  
\*\*\*\*\*

Suite à votre demande pour laquelle nous vous remercions, veuillez trouver ci-joint nos meilleures conditions pour :

U=prix unitaire/C=prix au cent

### CARTERISATION LIGNE DE DECOUPAGE

SUITE VISITE DE M.DOMANGE

Poste	Quantité	code article, référence , désignation	Prix HT en EUR	Unité	Délai
1	1	2TLA040000R1900 ABB QUICK-GUARD SUIVANT PLAN 100000487a01	3152.50/	U	

#### Participation aux frais de gestion, port et emballage :

30.00 EUR Pour toute commande inférieure à 50.00 EUR  
10.00 EUR Pour toute commande inférieure à 210.00 EUR  
(Sauf expédition particulière)

Total : **3152.50 EUR**

Espérant que ces conditions retiendront favorablement votre attention, et restant à votre entière disposition pour d'éventuels renseignements.

Nous vous prions de croire, Madame, Monsieur, en l'assurance de nos sincères salutations.

Nos prix s'entendent, nets hors taxes pour du matériel emballé départ de nos magasins. Ils sont établis suivant les conditions économiques actuellement en vigueur et sont susceptibles d'être modifiés selon les variations de celles-ci au moment de la livraison.

Nos délais sont donnés à titre indicatif et ils peuvent être modifiés sans préavis

- CLAUSES DE RESERVE DE PROPRIETE - Nous nous réservons la propriété de la marchandise et le droit de la reprendre jusqu'à complet paiement du prix de vente, les risques incombant néanmoins à l'acheteur, dès la mise à disposition de ladite marchandise.





## **RESUME**

L'industrie moderne tend à automatiser de plus en plus sa production, et cela pour plusieurs raisons. Les tâches les plus pénibles et dangereuses peuvent ainsi être effectuées par des machines automatisées et dédiées. L'automatisation permet également d'augmenter les cadences de production ainsi que la répétabilité du processus de fabrication.

Le développement, la mise au point et la maintenance de cette industrie automatisée, nécessite du personnel compétent. Il est important pour les grandes écoles de se doter de supports d'apprentissage. Le centre des Arts et Métiers de Metz souhaite se doter d'un démonstrateur pour ses activités pédagogiques.

Les lignes de production automatisées sont incontournables pour les procédés de découpe en moyenne et grande série. Les cadences peuvent aller jusqu'à 1500 pièces par minute, la découpe sous presse mécanique représentent le sujet d'étude idéale pour illustrer les méthodologies de conception.

Mots clés : automatisation, conception, ligne de découpe, presse mécanique.

---

## **SUMMARY**

Nowadays, Modern manufacturing industry uses more and more automatic. Dangerous and painful tasks are done by dedicated autonomous machines. Automation allows bigger production rate and process repeatability.

The innovation, the creation and the maintenance of this automated industry need qualified staff. It is necessary for engineering schools to give students the appropriate learning supports. Arts et Metiers campus wants to create a demonstrator

Having an automatic workshop for the cutting process is essential for medium and big production rate. Production rate can reach 1500 part per minute. The automation of cutting process using mechanical press is the ideal project to illustrate design methodologices.

Key words :automation, design, cutting line, mechanical press.

---