



**HAL**  
open science

# Industrialisation d'un procédé de perçage-ébavurage sur lisses et rails

Laëtitia Goues

► **To cite this version:**

Laëtitia Goues. Industrialisation d'un procédé de perçage-ébavurage sur lisses et rails. Génie mécanique [physics.class-ph]. 2014. dumas-01329202

**HAL Id: dumas-01329202**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01329202>**

Submitted on 8 Jun 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**

---

**MEMOIRE**

Présenté en vue d'obtenir

le **DIPLOME D'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : Mécanique**

**PARCOURS : Structures - Process**

par

Laëtitia GOUES

---

**INDUSTRIALISATION D'UN PROCEDE DE PERCAGE-EBAVURAGE**

**SUR LISSES ET RAILS**

Soutenu le 5 novembre 2014

---

**JURY**

**PRESIDENT :**

M Georges Venizelos, Responsable de l'équipe pédagogique « Système mécanique » du département ISME de l'école du département SITI du CNAM.

**MEMBRES :**

M Christophe Berthou, Dirigeant de Kasadenn, Cabinet de Conseil en Pilotage Industriel.

M Lionel Grillet, Professeur Agrégé en Mécanique en Classes Préparatoires.

M Sébastien Surriray, Industriel Expert Méthodes Métier Usinage à Aerolia.

M Gérard Wollensack, Directeur pédagogique au CNAM d'Orléans.

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été réalisé au sein du service Méthodes & Procédés de l'entreprise Aerolia dans lequel je suis en prestation pour la société d'ingénierie Kasadenn depuis juillet 2012.

Ainsi je tiens à remercier mon employeur, Christophe Berthou, l'ensemble du personnel du CNAM Centre et Pays de la Loire pour m'avoir soutenu tout au long de ma formation et mon donneur d'ordre, Patrick Savigne, pour m'avoir permis d'effectuer mon mémoire au sein d'Aerolia.

Je tiens également à remercier Sébastien Surriray, Expert Méthodes Usinage qui m'a guidée sur ce sujet, Vincent Unal Tok, Apprenti Technicien Méthodes, et Julien Boisseau, Technicien Industrialisation, Gwenaël Lerno, Technicien Outils Coupants, ainsi que tous les technicien et opérateurs qui ont œuvré pour la réussite de ce projet.

---

## GLOSSAIRE

CAURALIS : Centre Autonome d'Usinage des RAils et LISses

PPS : Profils Petites Sections

MUPEX : Machines d'Usinage de Pièces Elémentaires complexeS

SPARX : 5 axes PARc machines pièces élémentaires complexeS

EAP : Equipe Autonome de Production



## TABLE DES MATIERES

1.	Mise en situation.....	8
1.1.	Présentation de l'entreprise .....	8
1.1.1.	Activité globale.....	8
1.1.2.	Clients et programmes .....	9
1.2.	Le projet CAURALIS.....	10
1.3.	Présentation du secteur Profilés Petites Sections (PPS).....	11
2.	Présentation du sujet .....	13
3.	Historique du projet .....	14
3.1.	Avant le projet, usinage sur MUPEX .....	14
3.2.	Les préludes du perçage-ébavurage sur CAURALIS.....	15
3.3.	Etat des lieux à la reprise du projet – fin mars 2014 .....	16
3.3.1.	Problèmes concernant l'outil Burraway .....	16
3.3.2.	Contraintes planning.....	16
4.	Initialisation du sous-projet perçage-ébavurage « front & back ».....	17
4.1.	Les acteurs du projet.....	17
4.2.	Les outils de pilotage .....	18
4.2.1.	L'avancement interne .....	18
4.2.2.	Les indicateurs de pilotage .....	18
5.	Expression du besoin .....	20
6.	Paramètres clés et contraintes du projet.....	21
6.1.	Caractéristiques Machines .....	21
6.2.	Caractéristiques matière pièces .....	21
6.3.	Diamètres de perçages et conditions de coupe actuels.....	22
6.4.	Spécifications Clients concernant le cassage d'angle.....	22
6.5.	Contraintes délais de lancement production des CAURALIS.....	24
7.	Etude des différentes solutions de perçage-ébavurage .....	25
7.1.	Paramètres influents la qualité d'arête usinée .....	25
7.2.	Résultats de la recherche bibliographique .....	27

8.	Mise au point de la solution VEX-S .....	28
8.1.	Présentation de l’outil .....	28
8.2.	Première série d’essais : validation du principe .....	29
8.3.	Etude des problématiques dues au changement d’outil .....	30
8.3.1.	Problématiques sur la gestion du projet .....	30
8.3.2.	Problématiques techniques .....	31
8.3.3.	Gestion des durées de vie différentes embout forêt / lame d’ébavurage .....	35
8.4.	Deuxième série d’essais : validation des propriétés dimensionnelles de l’ébavurage et estimation de la durée de vie de l’outil .....	36
8.5.	Troisième série d’essais : validation des conditions de coupe avec l’outil combiné VEX-S .....	37
9.	Le lancement industrialisation CAURALIS .....	38
9.1.	Conséquences de l’outil de perçage-ébavurage sur la gamme de production .....	38
9.2.	Les flux .....	39
9.3.	Les métiers .....	41
10.	Essais de validation qualification procédés .....	41
10.1.	Objectif .....	41
10.2.	Essais à réaliser .....	41
10.2.1.	Mise au point de la méthode de mesure .....	42
10.2.2.	Essais de répétabilité de mesure .....	45
10.3.	Déroulement des essais sur machine .....	48
10.3.1.	Réglage des outils .....	48
10.3.2.	Déroulement des essais .....	49
10.3.1.	Conclusion partielle sur l’impact du réglage de la pression .....	50
11.	Les étapes d’industrialisation à venir .....	52
	Bibliographie .....	53
	Conclusion .....	54

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 – Caractéristiques forêts et ébavureurs actuels sur CAURALIS.....	22
Tableau 2 – Exigences générales clients – cassage d’angle.....	23
Tableau 3 – choix du couteau ébavureur en fonction du diamètre à ébavurer.....	29
Tableau 4 – Inventaire solutions attachement.....	33
Tableau 5 – Comparaison solutions embout spécial.....	35
Tableau 6 – Description éprouvettes première série d’essais.....	36
Tableau 7 – Calcul du $\Delta T$ (simulation CFAO, avec facteur correcteur) sur la référence D532.34976.200.00 (6 trous $\varnothing 6\text{mm}$ ).....	39
Figure 1 – Site AEROLIA Saint-Nazaire, répartition activité.....	8
Figure 2 – Sous-ensembles client AIRBUS.....	9
Figure 3 – Sous-ensembles client BOMBARDIER, Global version 7000.....	9
Figure 4 – Panneau du fuselage E2 réalisés pour Embraer.....	10
Figure 5 – Réorganisation site AEROLIA Saint-Nazaire, impact CAURALIS.....	10
Figure 6 – Exemple de rails de sièges.....	11
Figure 7 – Exemple de lisse.....	11
Figure 8 – Fuselage Airbus 319, L’intérieur de la cabine provient d’un dessin d’André Bréand paru dans Air & Cosmos en 1996. – © L’avionnaire.....	11
Figure 9 – Exemple de gamme pour pièce CAURALIS.....	12
Figure 10 – Synoptique machines MUPEX.....	14
Figure 11 – Poupées de fenêtrage sur MUPEX.....	14
Figure 12 – Planning initial projet CAURALIS.....	17
Figure 13 – Acteurs du projet perçage-ébavurage sur CAURALIS.....	18
Figure 14 – Macro-planning de validation du procédé.....	20
Figure 15 – Profondeurs de cassage d’angle et de rayonnage.....	23
Figure 16 – Bavures en entrée et en sortie de perçage.....	25
Figure 17 – Bavures typiques en perçage suivant [Kim J, Min S, Dornfeld D].....	26
Figure 18 – Paramètres influents pour la formation de bavures [Link R].....	26
Figure 19 – Les différents moyens d’ébavurage [Gillepsie 1999].....	27
Figure 20 – composition de l’outil VEX-S [Heule].....	28

Figure 21 – Séquences de travail de l’outil VEX-S [Heule] .....	28
Figure 22 – Zones critiques d’encombrement procédé perçage-ébavurage .....	31
Figure 23 – Encombrement outil CAURALIS, longueur maximale .....	32
Figure 24 – Attachement frettage « type mouliste » .....	32
Figure 25 – Principe montage outil par frettage mécanique .....	33
Figure 26 – Coupe macrographique, mouchage hors tolérance .....	37
Figure 27 – Coupe macrographique, mouchage dans la tolérance .....	37
Figure 28 – Fichier suivi changement outils .....	38
Figure 29 – Flux actuel Zone CAURALIS .....	40
Figure 30 – Flux cible Zone CAURALIS .....	40
Figure 31 – Mesures pression sur outils d’essai neufs .....	42
Figure 32 – Fixation équerre sur banc de préréglage .....	43
Figure 33 – Fixation dynamomètre sur équerre .....	43
Figure 34 – Outil monté dans l’attachement sur le banc .....	44
Figure 35 – placement du dynamomètre par rapport au couteau .....	44
Figure 36 – Essais répétabilité, VEX-S Ø6 après 3000 trous .....	46
Figure 37 – Essais répétabilité, VEX-S Ø8,5mm .....	47
Figure 38 – Mode opératoire, réglage du déplacement de 0,2mm suivant l’axe X .....	48
Figure 39 – Hypothèses et plage de pression testée .....	49
Figure 40 – Clichés éprouvettes essais qualification .....	50
Figure 41 – Résultats partiels essais pression .....	50

## 1. Mise en situation

### 1.1. Présentation de l'entreprise

#### 1.1.1. Activité globale

AEROLIA, Site de Saint-Nazaire (44)

Historiquement site composants AIRBUS, ce site industriel dispose d'une superficie de 7 hectares (Figure 1), et d'un effectif de 750 personnes. Ses 2 atouts majeurs sont la maîtrise technologique dans ses métiers et l'expertise spécifique des productions aéronautiques à forts volumes.



Figure 1 – Site AEROLIA Saint-Nazaire, répartition activité

Une première unité de production est spécialisée dans l'étirage et l'usinage mécanique des grands panneaux de fuselage en 3D et des cadres structurels.

L'usine de Saint-Nazaire est le seul acteur des aérostructures à avoir franchi le pas de l'usinage chimique à l'usinage mécanique. Ce nouveau processus apporte des améliorations significatives en termes de qualité et d'environnement.

La seconde unité de production livre chaque jour 15 000 pièces issues de profilés extrudés et de tôles fines. Une démarche de progrès permanent lui a permis d'optimiser continuellement ses processus pour satisfaire au mieux ses clients. L'intégration des traitements de surfaces et de la logistique dans les processus permet au site de Saint-Nazaire de livrer chaque année 3 millions de pièces à l'heure, au bon endroit et au bon niveau de qualité.

Le site de Saint-Nazaire constitue enfin une usine de référence européenne quant au développement de technologies aéronautiques et industrielles respectueuses de l'environnement : amélioration des traitements de surfaces et de la peinture, substitution de l'usinage mécanique à l'usinage chimique.

### 1.1.2. Clients et programmes

Aerolia fournit désormais trois clients en pièces élémentaires et sous-ensembles aéronautiques : Airbus, Bombardier et Embraer

Sur tous les programmes Airbus (y compris l'A350 XWB et l'A400M), les pointes avant (tronçons 11 et 12, Figure 2) sont réalisées par Aerolia. Aerolia produit également les tronçons 13-14 (section située à l'arrière du cockpit) sur l'ensemble des avions monocouloirs Airbus (A318 à A320) ainsi que les barques des tronçons 15-21 des long-courriers Airbus A330, A340 et A380

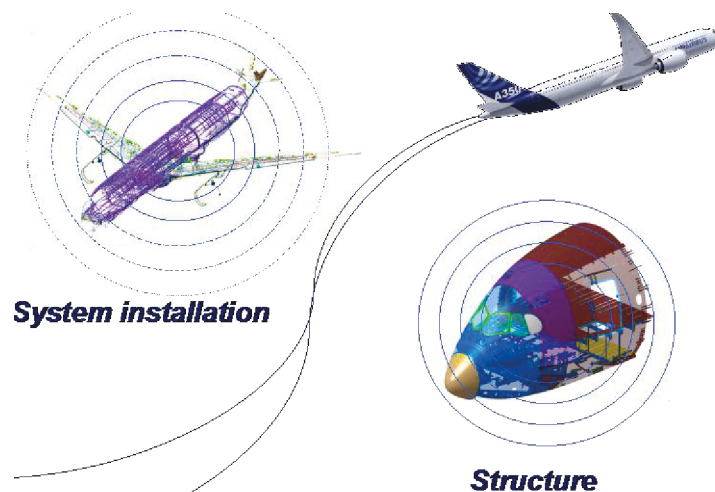


Figure 2 – Sous-ensembles client AIRBUS

Pour le client Bombardier, Aerolia est responsable depuis 2011 de la conception et de la production du fuselage central (Figure 3) du Global 7000 et Global 8000 (avions d'affaires).

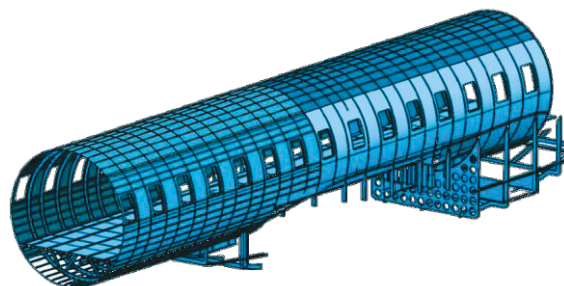


Figure 3 – Sous-ensembles client BOMBARDIER, Global version 7000



Dans sa version 7000, long de 14 mètres, ce fuselage sera livré à Bombardier entièrement équipé des systèmes et tuyauteries

Depuis 2013, Aerolia produit pour Embraer des panneaux de fuselage de son programme militaire KC 390 au travers d'un contrat signé avec les aérostructuriers OGMA et Aero Vodochody. Il réalise également depuis 2014 des tuyauteries équipées.

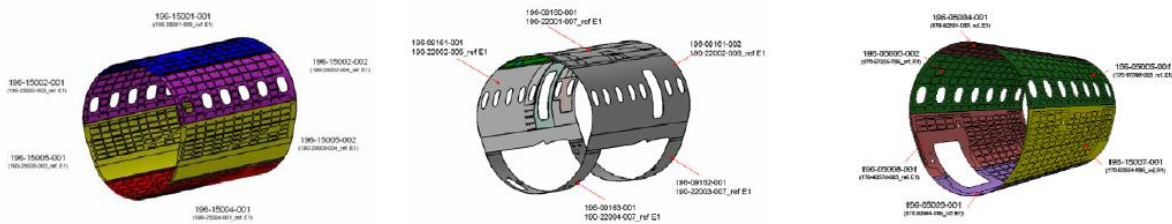


Figure 4 – Panneau du fuselage E2 réalisés pour Embraer

## 1.2. Le projet CAURALIS<sup>1</sup>

La raison d'être du projet est le remplacement du parc machine MUPEX<sup>2</sup> devenu obsolète.

Le schéma directeur AEROLIA prévoit un investissement de 100 millions d'euros sur 5 ans.

Ce budget a été alloué à deux principaux pôles : **SPARX<sup>3</sup>** pour l'usinage des pièces élémentaires complexes, et l'assemblage. En effet, l'usinage de pièces « simples » telles que les rails et lisses n'a pas de « valeur ajoutée » pour AEROLIA face à la concurrence d'entreprises dont le cœur de métier est l'usinage. Or devant l'augmentation du nombre de clients, il faut réorganiser les surfaces du site pour l'assemblage des différents sous-ensembles (Figure 5).

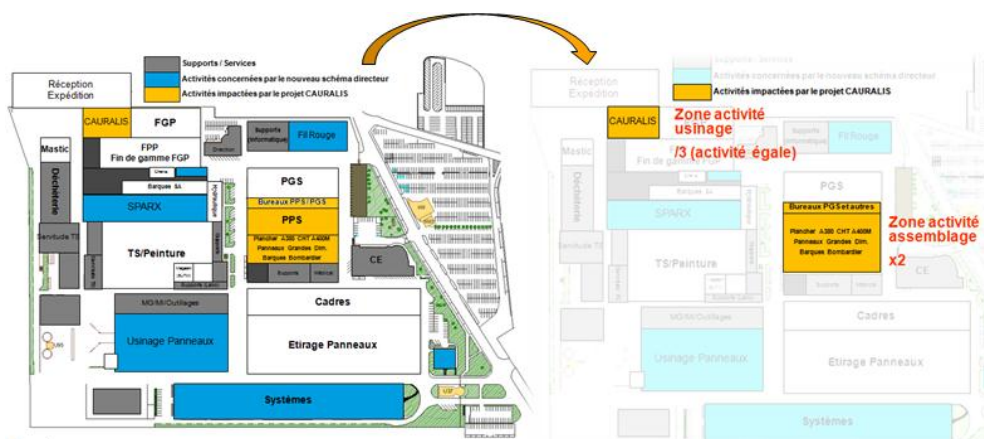


Figure 5 – Réorganisation site AEROLIA Saint-Nazaire, impact CAURALIS

<sup>1</sup> CAURALIS : Centre Autonome d'Usinage des Rails et LISses

<sup>2</sup> MUPEX : Machine pour l'Usinage des Profils EXtrudés

<sup>3</sup> SPARX : 5 axes PARc machines pièces élémentaires complexes

La stratégie d'AEROLIA est donc de rationaliser le secteur tôlerie usinage de profilés pour se concentrer sur les activités maitresses de l'entreprise à savoir : le Fil Rouge, le mastic, les panneaux 3D, les systèmes hydrauliques et la protection de surface.

### 1.3. Présentation du secteur Profilés Petites Sections (PPS).

Les pièces concernées par la problématique de perçage-ébavurage sont principalement les rails de sièges (Figure 6) et lisses (Figure 7) qui servent à l'assemblage des cadres et revêtement des fuselages d'avion (voir situation sur avion en Figure 8).



Figure 6 – Exemple de rails de sièges

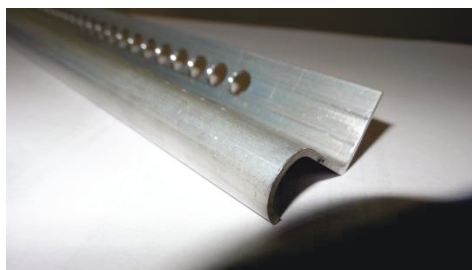


Figure 7 – Exemple de lisse

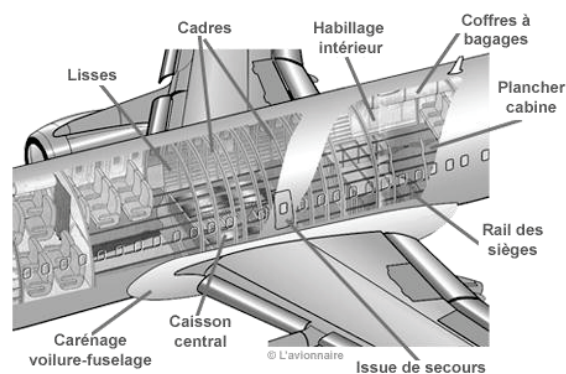


Figure 8 – Fuselage Airbus 319, L'intérieur de la cabine provient d'un dessin d'André Bréand paru dans Air & Cosmos en 1996. – © L'avionnaire



Le nombre de perçages par pièces peut varier de quelques unités à plusieurs dizaines de perçage pour des pièces allant jusqu'à dix mètres de longueur. L'ébavurage sur ces pièces doit permettre une meilleure insertion des éléments d'assemblage et supprimer les arêtes vives pouvant causer des blessures.

Actuellement, le cassage d'angle est effectué durant une phase d'ajustage manuel avec contrôle visuel. La solution automatisée doit permettre un gain de temps et une meilleure maîtrise du procédé. Dans un premier temps une phase d'ajustage sera conservée afin de garantir au client la qualité de la pièce. A terme, la validation du procédé grâce à une maîtrise statistique devra garantir cette qualité et ainsi permettre de supprimer la phase d'ajustage. Le contrôle qualité des pièces se fera alors par échantillonnage.

La gamme type de fabrication des pièces est présentée en Figure 9 ci-dessous.



Figure 9 – Exemple de gamme pour pièce CAURALIS

## 2. Présentation du sujet

Le perçage et l'ébavurage des trous sur lisses et rails sont actuellement effectués en 2 phases. Le perçage est réalisé sur Centre d'Usinage et l'ébavurage est réalisé manuellement durant une phase d'ajustage (perçage débouchant, les 2 faces doivent être ébavurées). Plus de 450 références de pièces sont concernées.

Cette opération d'ajustage est très chronophage mais est la seule solution à l'heure actuelle pour garantir au Client la qualité de l'ébavurage et la qualité finale de la pièce (auto-contrôle). Fin 2013, une solution pour effectuer l'ébavurage sur machine lors de l'opération de perçage a été proposée, il s'agissait d'adapter une solution utilisée en manuel chez Aerolia : le « Burraway ». Des campagnes d'essais menées par le Service Industrialisation ont mis en évidence des problématiques de qualité de la pièce finale et de fiabilité de l'outil, celui-ci n'ayant pas été étudié pour fonctionner en centre d'usinage.

Le projet ayant été lancé sans étude/chiffrage préalable par manque de temps, et de moyens, j'ai été chargé de faire le relais avec le Service Méthodes et Procédés qui doit valider le procédé.

Mon rôle est d'une part de vérifier les exigences Clients actuelles afin de s'assurer que l'on produit bien la qualité requise, sans faire de sur-qualité pour le Client historique Airbus mais aussi pour les nouveaux Clients Bombardier et Embraer.

D'autre part, je collabore à la mise au point du procédé et à la recherche de solutions jusqu'à sa validation (identification des paramètres influents et limites du process).

### 3. Historique du projet

#### 3.1. Avant le projet, usinage sur MUPEX

Avant le projet CAURALIS, les profilés étaient usinés sur les Machines MUPEX. Ces centres d'usinage spécialisés dans l'usinage de profilés d'aluminium sont équipés d'un portique 3 axes (X, Y et Z) qui déplace quatre broches porte-outils dans la zone d'usinage. Le profilé est positionné dans la zone d'usinage par quatre « poupées » A, B, C et D (Figure 10) assurant trois fonctions différentes décrites ci-après.

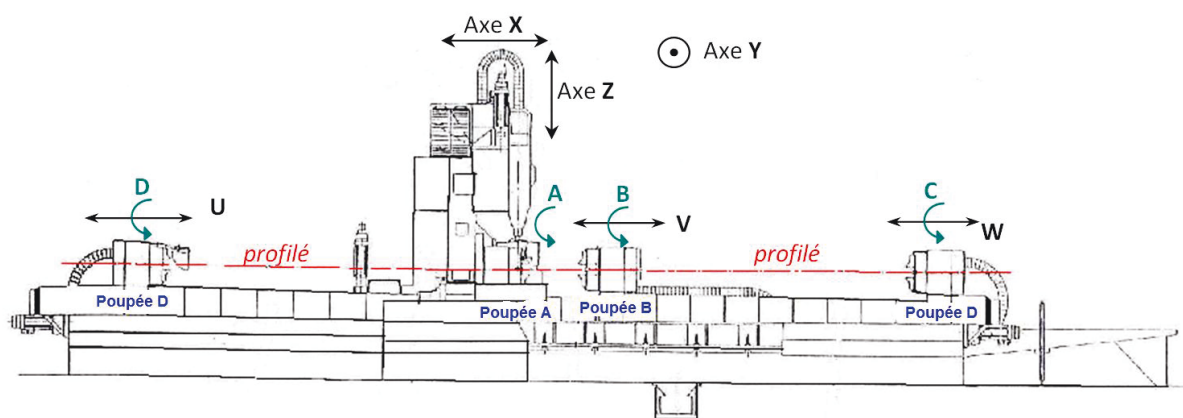


Figure 10 – Synoptique machines MUPEX

- Poupées pilotes :

Les poupées C et D sont aussi appelées "poupées pilotes". En effet, dans la majeure partie des cas, elles assurent le positionnement du profilé ("Avance barre", "Recul barre").

- Poupées de fenêtrage (Figure 11) :

Les poupées A et B sont aussi appelées "poupées de fenêtrages". Elles assurent le maintien et/ou le guidage du profilé lors des phases d'usinage.

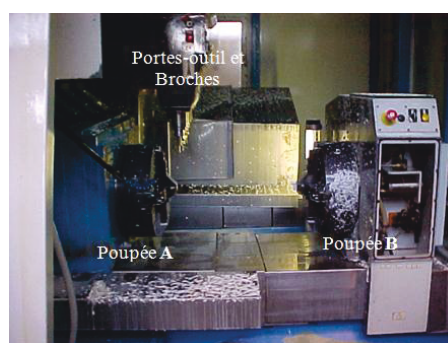


Figure 11 – Poupées de fenêtrage sur MUPEX

Nota : La poupée B assure, dans certains cas, les mouvements du profilé, notamment quand le profilé ne peut plus être piloté par la poupée C.

- Poupée Fixe :

La poupée A est aussi appelée poupée fixe.

- Axe « A » / Axes synchronisés :

Chacune des poupées d'une MUPEX est équipée d'un plateau rotatif :

- Poupée A → Plateau A

- Poupée B → Plateau B

- etc.

Chaque plateau est doté d'une motorisation indépendante.

Dans une utilisation en cycle des MUPEX, ces plateaux sont "synchronisés", on parle alors de l'axe « A ». Le pilotage de l'axe A entraîne la rotation simultanée de l'ensemble des plateaux.

Nota : cette "synchronisation" est assurée par la commande numérique.

Les centres d'usinage CAURALIS reprennent le même principe avec deux poupées 'A' et 'B' seulement et avec en plus un système de chargement/déchargement automatique des pièces. Par ailleurs ceux-ci ont en partie été mis en place pour palier l'obsolescence des logiciels utilisés par les commandes numériques des machines MUPEX.

### **3.2. Les préludes du perçage-ébavurage sur CAURALIS**

A mon arrivée sur le sujet « perçage-ébavurage des rails et lisses » une solution du fournisseur Cogsdill, le Burraway, était en cours de développement. Cet outil n'étant pas conçu à la base pour de l'usinage sur machine, plusieurs éléments posaient problèmes, à savoir : le blocage des copeaux dans le corps de l'outil, la goupille qui saute pendant l'usinage (force centrifuge trop importante) et un réglage de la pression variable suivant la géométrie de l'outil.

Les paramètres influents sur la qualité de l'ébavurage étaient alors :

- Le réglage de la pression sur la lame de l'outil
- Les conditions de coupe (vitesse de rotation et avance)
- Diamètre de l'ébavureur par rapport au diamètre de perçage

### 3.3. Etat des lieux à la reprise du projet – fin mars 2014

#### 3.3.1. Problèmes concernant l'outil Burraway

Afin d'obtenir des profondeurs et largeurs de mouchage dans les tolérances définies par le Client ( $+0,2\text{mm}/^{+0,5\text{mm}}$ , voir §6.4), la pression de la lame doit être réglée pareillement sur chaque outil. Ceci pose le problème de la mise en œuvre d'un procédé de réglage fiable pour régler la pression de l'outil mais aussi d'un procédé de mesure de pression fiable et répétable. Or les moyens du banc de réglage ne sont pas adaptés à ce jour.

Ces problèmes de réglage de pression engendrent un manque de répétabilité en termes de qualité visuelle et dimensionnelle. Les essais effectués ont montré des signes de chanfreins vibrés, de facettes ou de chanfreins trop profonds. Ces défauts sont dus à la fois à des défauts de réglage initial de la lame par rapport au diamètre de perçage, mais aussi au manque de robustesse de la lame qui la rend sensible et fragile en utilisation sur machine.

Par ailleurs, des anomalies telles que des bruits au niveau du forêt ou des sifflements ont été constatées lors de l'usinage ce qui indique que les conditions de coupe essayées sur machine ne sont pas adaptées.

Enfin le blocage de copeaux dans la fente du corps d'outil a nécessité le démontage de l'outil voire rendu ce dernier inutilisable à plusieurs reprises.

#### 3.3.2. Contraintes planning

La solution « Burraway » est en développement depuis octobre 2013 avec des problématiques récurrentes : incapacité à régler la pression de manière fiable et fragilité de l'outil. Le délai dans le développement pouvant être en partie impacté au manque de ressources dédiées au projet.

Les premières industrialisations de lisses sont prévues fin mai 2014 (initialement février 2014 suivant planning (Figure 12 ci-après). Dans un premier temps, les productions seront précédées d'une démonstration et suivies d'une phase d'auto-contrôle par un ajusteur. A terme, les machines fonctionneront seulement en cadence production et la phase d'auto-contrôle sera si possible supprimée si l'on peut prouver que l'on maîtrise le procédé pour produire 100% de pièces bonnes.

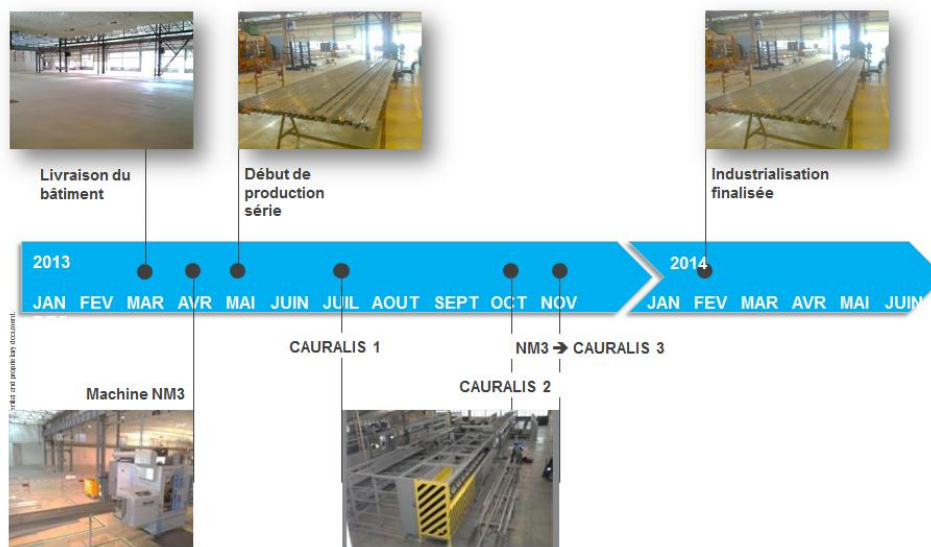


Figure 12 – Planning initial projet CAURALIS

## 4. Initialisation du sous-projet perçage-ébavurage « front & back »

### 4.1. Les acteurs du projet

Les moyens humains pour ce projet sont répartis dans 3 services : le service Méthodes, le service Industrialisation et le service Outils Coupants.

Le service Méthodes avec, pour ce projet, un expert usinage, un apprenti technique méthode et un chargé de projet méthodes, a pour mission de mener à bien la validation du procédé : détermination des conditions d'utilisation, essais et mesures, recherche des limites du procédé pour supprimer la phase d'ajustage. Le manque de ressource jusqu'ici n'a pas permis de mener à bien le projet.

Le service Industrialisation avec un technicien EAP<sup>4</sup> et un chargé de projet, et une équipe de programmeurs met au point les conditions d'usinage afin que le procédé soit industrialisable (garantir le lancement en production suivant les délais imposés).

Enfin le service Outils Coupants garanti la qualité du montage des outils et leur disponibilité.

<sup>4</sup> EAP : Equipe Autonome de Production

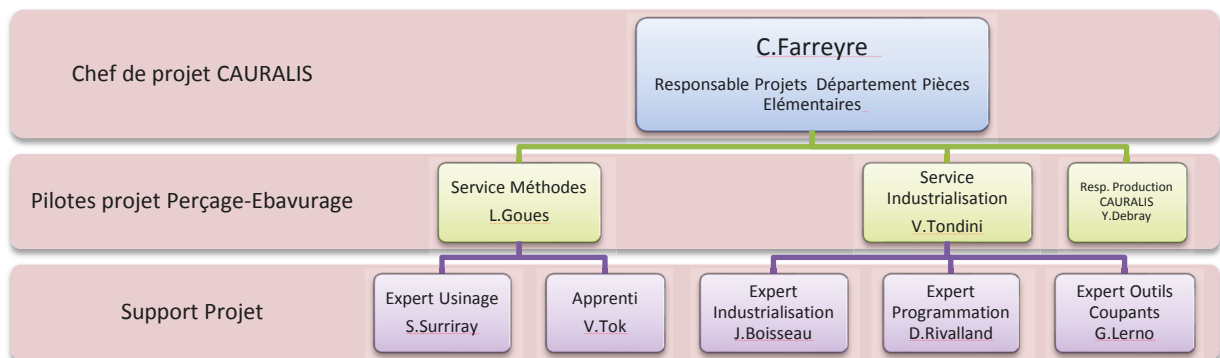


Figure 13 – Acteurs du projet perçage-ébavurage sur CAURALIS

## 4.2. Les outils de pilotage

### 4.2.1. L'avancement interne

Du fait de l'urgence du projet due aux retards expliqués précédemment, je me suis chargée de faire le point sur l'avancement des différents essais, échanges avec le fournisseur de manière hebdomadaire dans les périodes de stagnation du projet (attente réception matériel par exemple). Le suivi s'est fait quotidiennement quand nécessaire, il a fallu instaurer un dialogue entre le service Méthodes et le service Industrialisation afin de ne pas perdre d'informations. En effet, sans point quotidien certaines informations du service industrialisation n'étaient pas transmises.

### 4.2.2. Les indicateurs de pilotage

Afin d'assurer le suivi du projet et dans le but d'anticiper au mieux les risques liés au changement d'outil de perçage-ébavurage qui a résulté de la recherche bibliographique (voir §7.2), nous avons mis en place plusieurs indicateurs permettant de suivre les performances/la gestion des risques, le budget et le planning.

#### 4.2.2.1. Les indicateurs de performance et la gestion des risques

Les indicateurs de performance pour ce projet ont pour objectif d'évaluer si la solution technique répond aux critères de qualité exigés par le cahier des charges (spécifications Clients) et si cette solution est économiquement viable.

Les indicateurs concernant la gestion des risques ont quant à eux servi à évaluer tous les aspects relatifs à un changement de solution technique en cours de projet.

Dans un souci de facilité de gestion deux critères ont été évalués : la criticité vis-à-vis du produit et le degré de maîtrise atteint :

- Criticité 1 : sans cela, on sait fabriquer une pièce « bonne »
- Criticité 2 : sans cela, on ne sait pas fabriquer une pièce « bonne » de façon rentable
- Criticité 3 : sans cela, on ne sait pas fabriquer une pièce « bonne »
- Maîtrise 1 : la solution est disponible sur le marché ou a été mise au point
- Maîtrise 2 : il reste à mettre au point la solution retenue et nous avons les ressources
- Maîtrise 3 : nous avons un panel de solutions qu’il faut évaluer et tester ou il reste à mettre au point la solution retenue et nous n’avons pas les ressources
- Maîtrise 4 : nous sommes à la recherche de solutions

#### ***4.2.2.2. Le budget***

Sur ce projet, les dépenses sont de plusieurs natures :

- Les dépenses d’investissement
- Les dépenses de développement technologique
- Les dépenses de fonctionnement

Les dépenses d’investissement font l’objet d’un financement obtenu à l’issue de la validation d’un dossier démontrant la rentabilité du projet. Ce financement couvre les dépenses suivantes :

- Acquisition des moyens
- Réalisation des infrastructures nécessaires à leur fonctionnement (génie civil, modification de bâtiment, alimentation électrique, etc.)
- Prestations externes (ergonomie, organismes agréés APAVE, VERITAS, etc.)
- Fourniture et développement de logiciels spécifiques

Les montants alloués à ce financement sont fixés très tôt dans le projet, dès les premières prospections et bien avant les commandes. Il est très difficile de faire réévaluer les montants attribués, d’où l’importance de suivre avec précision l’engagement des dépenses et d’anticiper ainsi toute dérive. Dérive qui a eu lieu par exemple avec le développement côté Industrialisation d’un procédé non validé par le service Méthodes. Ces montants ont été gérés



par les services Industrialisation Process Nouveaux de même que les dépenses concernant les essais et simulations sur machine.

Les dépenses de fonctionnement (formations, déplacements, fournitures diverses pour les essais, contrôles, etc.), sont imputées sur les budgets des différents services.

### 4.2.2.3. Le planning

Le planning ci-dessous retrace les principales étapes de la validation du procédé de perçage ébavurage.

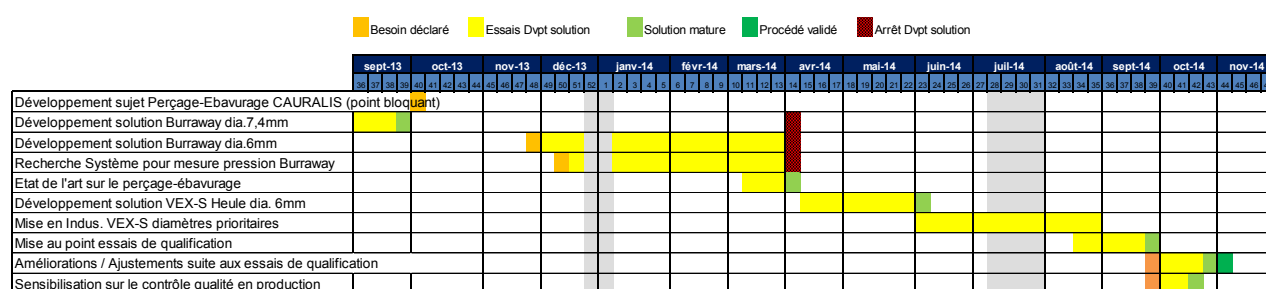


Figure 14 – Macro-planning de validation du procédé

## 5. Expression du besoin

Réaliser les perçages et ébavurages sur rails et lisses en une seule phase de part et d'autre des pièces conformément aux exigences Clients. La validation du procédé doit en garantir la maîtrise vis-à-vis du client.

Le choix de l'opération en une seule phase a été décidé avant mon arrivée sur le projet, celui-ci doit permettre en outre de régler les problèmes de repositionnement d'outil pouvant altérer la qualité de l'ébavurage.

Rôle du service Méthode :

- Trouver une solution industrialisable
- Valider le procédé :
  - Recherche des paramètres influents
  - Recherche des limites du procédé
  - Effectuer les contrôles garantissant la qualité des pièces produites
  - Donner les recommandations de contrôle par échantillonnage

## 6. Paramètres clés et contraintes du projet

La solution d'ébavurage mise en œuvre sur CAURALIS devra tenir compte des caractéristiques machines, caractéristiques matières, diamètres à percer/ébavurer et spécifications d'ébavurage détaillés ci-après.

### 6.1. Caractéristiques Machines

Les CAURALIS sont des centres d'usinages dédiés à l'usinage à partir de profilés extrudés, elles disposent d'un système d'embarrage et de débarrage permettant un chargement et déchargement automatisé des pièces. Un système de poupées mobiles permet l'avance de la pièce lors de l'usinage. L'usinage se faisant « en l'air », AEROLIA utilise des forêts spéciaux afin d'éviter le glissement des outils sur la pièce, et ainsi garantir les entraxes.

Les centres d'usinages sont des centres CHIRON MPS12 équipés de diviseurs 150\*150, et d'une commande numérique Fanuc 31iA5 avec une capacité magasin de 48 outils et un équipement barre MICHEL PIOCH.

Les caractéristiques de la broche mécanique sont :  $S_{max} = 15\,000$  tours par minute et  $P = 7,5\text{kW}$  à 100% et  $11\text{kW}$  à 10%. Les mandrins utilisés sont de type HSK 50 'A'

La longueur maximale d'outil en Z dans le magasin est 250mm, dans notre cas l'encombrement doit être réduit à 180mm afin d'éviter les collisions avec les poupées dans certains cas.

Les outils sont montés frettés et réglés sur bancs.

Le fenêtrage maximal d'usinage des pièces est de 1 100mm.

### 6.2. Caractéristiques matière pièces

Les profilés usinés sont en alliages d'aluminium extrudé, (nuances 2299/2196, 7175), d'épaisseur variant de 1,2mm à 12mm.

### 6.3. Diamètres de perçages et conditions de coupe actuels.

Le

Tableau 1 donne les caractéristiques de conditions de coupe, d'attachement et

Désignation	Ø	Lc	Lu	Z	Ls	Ø Attachement	Rotation (tr/mn)	Vc (m/mn)	Avance (mm/mn)	a (mm/dt)	Durée de vie	limite de durée de vie	Limite Rotation max. (tr/mn)
Foret Ø 6	6	15	20	2	50	6	15000	283	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 5.1	5,1	15	20	2	50	6	15000	240	1200	0,040	1500	50	15000
Foret Ø 7.4	7,4	15	20	2	50	8	15000	349	1800	0,060	1500	50	15000
Foret Ø 8.5	8,5	15	20	2	50	10	13000	347	1800	0,062	1500	50	15000
Foret Ø 6.1	6,1	15	20	2	50	8	15000	287	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 5.5	5,5	15	20	2	50	6	15000	259	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 6.235	6,235	15	20	2	50	8	15000	294	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 6.5	6,5	15	20	2	50	8	15000	306	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 6.9	6,9	15	20	2	50	8	15000	325	1500	0,050	1500	50	15000
Foret Ø 7.1	7,1	15	20	2	50	8	15000	335	1800	0,060	1500	50	15000
Foret Ø 5.6	5,6	15	20	2	50	6	15000	264	1200	0,040	1500	50	15000
Foret Ø 5	5	15	20	2	50	6	15000	236	1200	0,040	1500	50	15000
Foret Ø 5.2	5,2	15	20	2	50	6	15000	245	1200	0,040	1500	50	15000
Foret Ø 7	7	15	20	2	50	8	15000	330	1500	0,050	1500	50	15000
Ebavureur Ø7.3 Lc 20	7,3	20	63	1	52	Porte pince Ø 8	3000	69	3000	1,000	1500	50	5000
Ebavureur Ø5 Lc 18	5	18	55	1	71	Porte pince Ø 6		0		#DIV/0!			
Ebavureur Ø6 Lc 22	6	22	63	1	55	Porte pince Ø 6	4000	75	4000	1,000	1500	50	5000
Ebavureur Ø9.5 Lc 25	9,5	25	63	1	91	Porte pince Ø 10		0		#DIV/0!			
Foret Ebavureur Ø7.4 Lc8	7,4	8	67	2	67	Porte pince Ø7-8		0		#DIV/0!			

d'encombrement des forêts et ébavureurs actuellement utilisés sur CAURALIS.

Tableau 1 – Caractéristiques forêts et ébavureurs actuels sur CAURALIS

### 6.4. Spécifications Clients concernant le cassage d'angle.

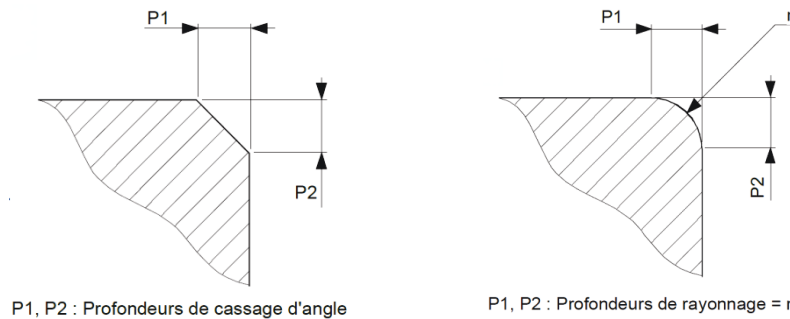
Aerolia fournit à ce jour trois clients : Airbus, Bombardier et Embraer.

Les pièces actuellement concernées sont exclusivement pour Airbus, cependant ce sujet est l'occasion de prendre connaissance des exigences des autres clients afin d'anticiper de futurs besoins et de pouvoir se positionner par rapport aux exigences de ces clients.

On emploie souvent par déformation le terme de chanfrein en lieu et place du mouchage, cependant nous rappellerons les termes définis par la norme en ce qui concerne les procédés d'ébavurage :

- Ebavurage : Opération préliminaire consistant à ôter un excédent de métal, l'arête de la pièce reste vive.

- Cassage d'angle (ou mouchage) : opération manuelle ou mécanique non cotée consistant à atténuer sur un bord de pièce l'arête vive pour la rendre non coupante avec  $P1$  et  $P2 \leq 0,5\text{mm}$  (Figure 15).



**Figure 15 – Profondeurs de cassage d'angle et de rayonnage**

- Chanfreinage : similaire au cassage d'angle mais avec  $P1$  et  $P2 > 0,5\text{mm}$ .
- Rayonnage : Opération manuelle ou automatique consistant à effectuer un arrondi sur les arêtes des pièces. Si le rayon est supérieur à 0,5mm, il doit être coté au plan ou signalé dans le cartouche.

Les opérations de finition sont toujours réalisées avant d'effectuer les traitements de protection.

Dans notre cas, l'opération consiste à casser les angles, le terme ébavurage étant largement utilisé par dérive de langage, nous utiliserons de manière égale les termes ébavurage et cassage d'angle ou mouchage pour désigner l'opération de cassage d'angle dans le reste de cette étude.

Les valeurs concernant le cassage d'angle étant plus restrictives pour Airbus, et étant le seul client actuel pour ce type de pièces, nous nous baserons sur ces valeurs, à savoir un cassage d'angle compris entre 0,2mm et 0,5mm pour le cas général. La profondeur de chanfrein ne devra pas dépasser 0,4mm pour les tôles d'épaisseur 1,6mm.

Epaisseur 'e' des tôles	0,6mm < e < 2mm		e > 2mm	
	Valeur P1	Valeur P2	Valeur P1	Valeur P2
Clients - programmes				
AIRBUS – Legacy ADET0031	≥ 0,15mm	≤ 0,25*e	≥ 0,2mm	≤ 0,5mm
AIRBUS – A350 AIPI0311003	≥ 0,15mm	≤ 0,25*e	≥ 0,2mm	≤ 0,5mm
BOMBARDIER – Global 7/8000 BAPS188-001	0,13mm ≤ P1, P2 ≤ 0,76mm Trous pour passage fils sécurité : 0,38mm ≤ P1, P2 ≤ 0,76mm			
EMBRAER – KC390 NE03-063	P1, P2 ≤ 0,5mm, angle 45° +/-1°			

**Tableau 2 – Exigences générales clients – cassage d'angle**

### **6.5. Contraintes délais de lancement production des CAURALIS**

50% de la charge doit être transférée à fin juin 2014 (pièces de priorité 1\*).

\* pièces avec perçages Ø5mm, Ø5,5mm, Ø6mm, Ø6,5mm et Ø8,5mm

L'ensemble de la charge doit être transféré à fin septembre 2014 (autres pièces\*\*)

\*\* pièces avec alésages et double tenons, autres diamètres concernés par la ligne CAURALIS

(

Tableau 1).

La validation du procédé doit être réalisée à fin septembre 2014 afin de statuer sur le maintien ou non de la phase d'ajustage et permettre l'allocation des ressources sur d'autres secteurs.

## 7. Etude des différentes solutions de perçage-ébavurage

Etant novice sur le sujet, j'ai entrepris une recherche bibliographique afin de connaître les avancées concernant l'usinage et l'ébavurage de pièces en alliages d'aluminium.

### 7.1. Paramètres influents la qualité d'arête usinée

La qualité des arêtes sur les pièces produites en usinage, notamment lors de productions à cadences élevées, est un réel enjeu pour les fabricants et les clients. Elle met en exergue la difficulté à modéliser en CFAO<sup>5</sup> de manière fidèle à la réalité. Pourtant la qualité des arêtes produites est essentielle pour assurer la fonctionnalité de la pièce. C'est pourquoi de nombreux procédés, qui coûtent du temps et de l'argent, sont mis en œuvre pour assurer la qualité finale de la pièce.

Les entreprises s'intéressent de plus en plus à ce problème qui fait dépenser de l'argent pour une opération qui n'a pas de valeur ajoutée sur la pièce et par ailleurs et qui peut causer une usure prématurée des outils de coupe.

On différencie dans les opérations de perçage débouchant deux types de bavures : celles en entrée de perçage et celles en sortie. Les bavures en entrée de perçage peuvent provenir d'un déchirement de la matière, d'une action de flexion suivi d'un cisaillement propre ou d'une extrusion latérale. La bavure en sortie de perçage est communément appelée bavure de Poisson, résultant d'un frottement avec le bord coupant de l'outil.

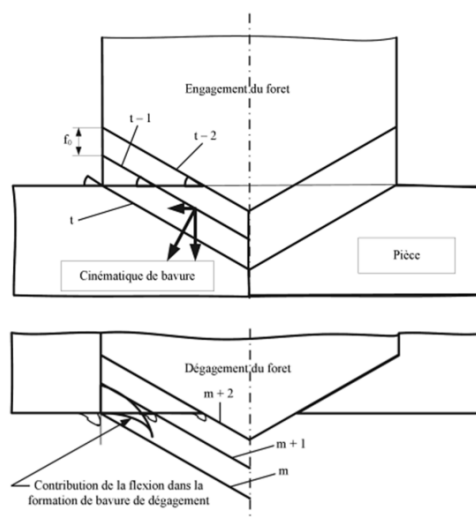


Figure 16 – Bavures en entrée et en sortie de perçage

<sup>5</sup> CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

De nombreuses études ont permis de définir les paramètres influents sur la bavure générée, cependant l'ébavurage reste souvent indispensable, notamment dans notre cas où un mouchage est demandé au plan.

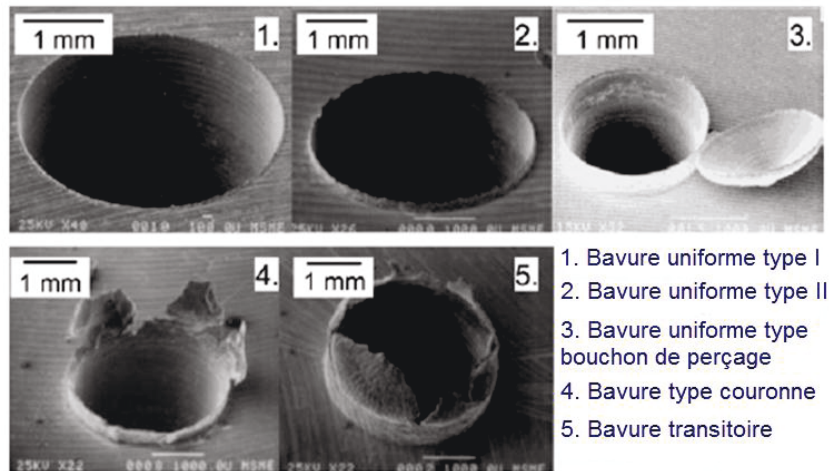


Figure 17 – Bavures typiques en perçage suivant [Kim J, Min S, Dornfeld D]

Les différents paramètres influents la qualité des arêtes produites et leurs interactions sont représentées dans le schéma Figure 18. Ainsi les trois éléments en présence sont représentés : la pièce (géométrie et matériau), l'outil de coupe (géométrie, matériau, usure et rapport longueur sur diamètre) et les paramètres du procédé (paramètres de coupe, et lubrification/refroidissement).

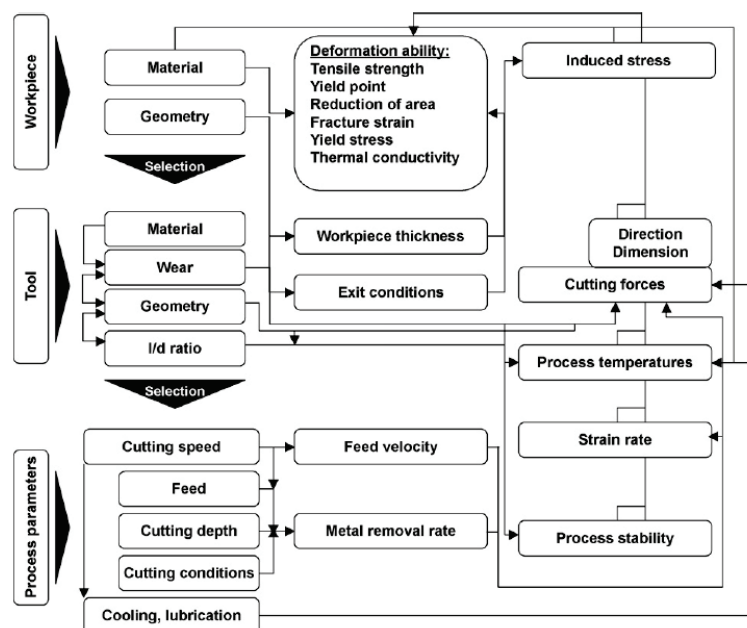


Figure 18 – Paramètres influents pour la formation de bavures [Link R]

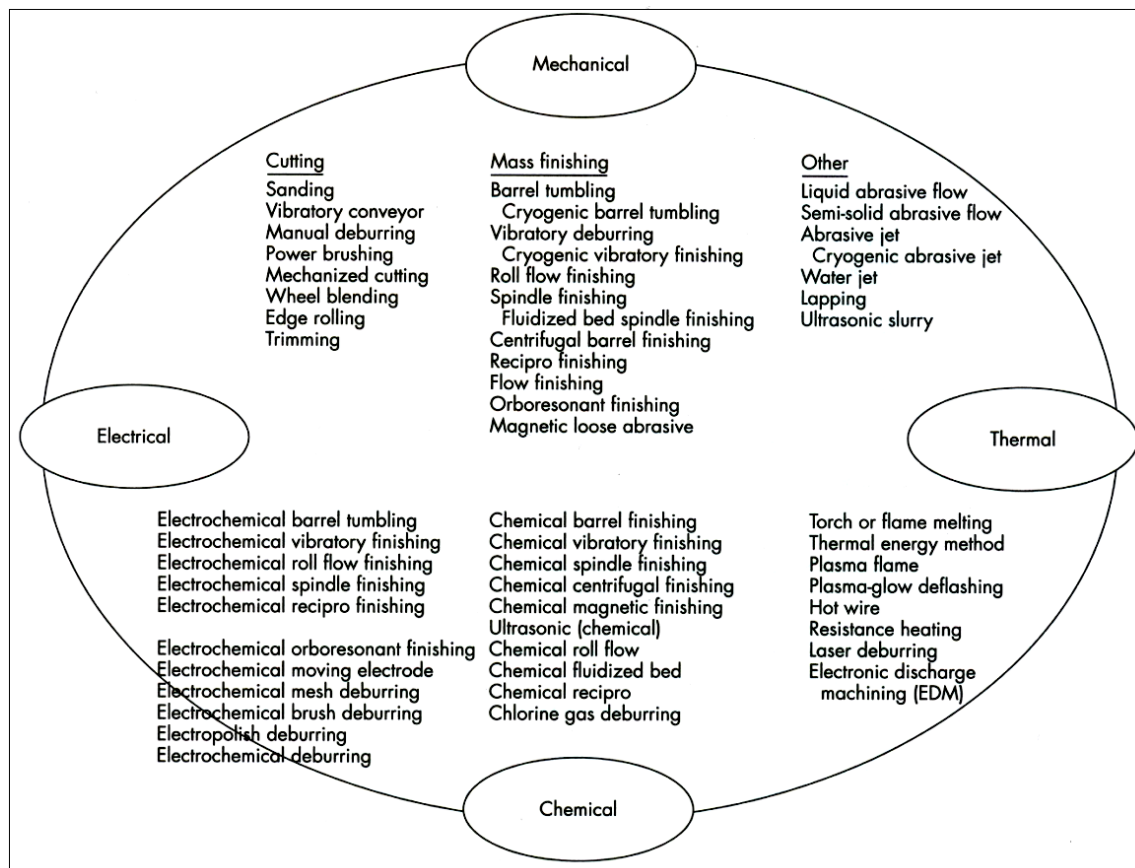


Figure 19 – Les différents moyens d'ébavurage [Gillepsie 1999]

Les techniques d'ébavurage sont nombreuses comme nous pouvons le voir Figure 19 et ont chacune leur domaine d'applicabilité. Pour preuve, sur les pièces nous concernant pas moins de trois types d'ébavurage sont utilisés : la tribofinition, le brossage et l'ébavurage mécanique manuel pour lequel nous recherchons une solution automatisée fiable.

## 7.2. Résultats de la recherche bibliographique

Ainsi une solution du fournisseur Heule s'est dégagée de ces recherches. En effet l'outil VEX-S proposé par Heule a les mêmes fonctions que l'outil Burraway actuellement étudiés par Aerolia, à savoir le perçage et l'ébavurage en une phase de part et d'autre de la pièce. Cette solution étant développée pour les centres d'usinage, contact a été pris avec le fournisseur afin de savoir s'il était apte à répondre à notre problématique. La réponse étant positive, la solution Burraway qui connaissait une impasse a été mise de côté au profit du VEX-S. A ce stade, la problématique du projet a donc changé, en effet le corps de l'outil VEX-S n'a pas de rainure, donc risque à priori nul de blocage des copeaux, le système de lame est différent, il n'y a pas de goupille pouvant sauter pendant l'usinage et selon le



fournisseur il n’y a pas de réglage de pression à faire sur la lame. Afin de valider ce procédé, plusieurs séries d’essais ont été effectuées.

## 8. Mise au point de la solution VEX-S

### 8.1. Présentation de l’outil

L’outil proposé par le fournisseur Heule a les mêmes fonctions que le Burraway tout en présentant une meilleure robustesse et une conception étudiée pour l’usinage grande vitesse. Dans la Figure 20 ci-dessous nous pouvons voir les différents éléments qui composent l’outil combiné VEX-S. Le corps de l’outil (1) est creux pour recevoir l’ensemble vis de serrage (5) – tige (4) – ressort (3). Le rôle du ressort relié au pion (2) est de permettre le mouvement de la lame aussi appelée couteau (3) qui se rétracte lorsqu’elle passe dans le trou percé par l’embout de forêt (7).

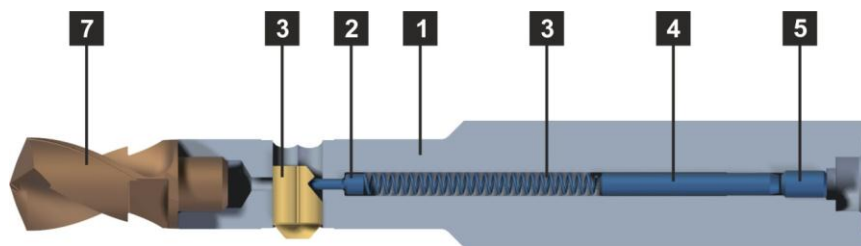


Figure 20 – composition de l’outil VEX-S [Heule]

Sur la Figure 21, nous pouvons voir les différentes séquences du travail de l’outil permettant le perçage et l’ébavurage en une seule phase unique.

La profondeur du chanfrein est fonction de la lame utilisée. En effet il existe plusieurs tailles de lames.



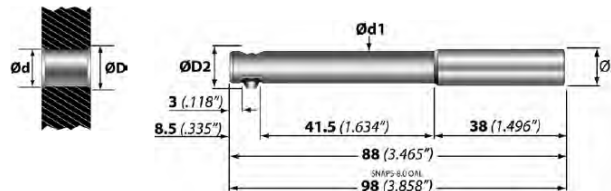
Figure 21 – Séquences de travail de l’outil VEX-S [Heule]

Trois séries d’essais ont été effectuées. Les deux premières avec l’outil SNAP seul, l’embout spécial de forêt devant être ré-usiné, le délai ne permettait pas d’attendre l’outil combiné VEX-S. Par ailleurs, les essais ont été effectués pour le diamètre 6mm et 7,4mm qui sont les principaux diamètres à utiliser sur les premières lisses à lancer en production.

### 8.2. Première série d’essais : validation du principe

La première série d’essai, réalisée avec un outil couteau SNAP prêté par la société DPM Boulland (fournisseur HEULE), avait pour but de valider la fonction ébavurage « Front & Back » sur le principe en vérifiant les paramètres suivants : répétabilité de l’outil, évacuation des copeaux, régularité cassage d’angle, et non-altération de la surface percée lors du passage de l’outil. On a pu observer le comportement de l’outil, l’influence des conditions de coupe ainsi que la qualité (contrôle visuel) du cassage d’angle.

Avant de réaliser les essais sur éprouvettes, il a fallu vérifier la référence de couteau à utiliser suivant le diamètre à percer et le mouchage à effectuer. Trois références couteaux ont été envoyées pour essai par le fournisseur suivant les indications fournies sur les pièces à produire. Les résultats, indiqués dans le Tableau 3, montrent que le couteau adapté pour le diamètre 7,4mm est le SNAP Référence GH-Q-M-30209.



*pas de couteau inférieur pour dia. 5, (les couteaux de la gamme font un chanfrein trop prononcé)*

*attente développement par Heule*

**SNAP Series 5**

(ØD2 = ØD + 0.6mm)

Minimum Hole Ø mm inches	Tool Diameter Ød1 mm inches	Tool Holder	Shank Diameter ØS mm	Blade Options* GH-Q-M-	Front and Back Cutting Gs, 90°, Carbide, TiAlN Chamfer ØD (mm)
5.0 .197	4.9 .193	SNAP5-5.0	Ø8mm	-30204 (5.5)	-30205 (6.0) -30206 (6.5) -30207 (7.0)
5.5 .217	5.4 .214	SNAP5-5.5	Ø8mm	-30205 (6.0)	-30206 (6.5) -30207 (7.0) -30208 (7.5)
6.0 .236	5.9 .232	SNAP5-6.0	Ø8mm	-30206 (6.5)	-30207 (7.0) -30208 (7.5) -30209 (8.0)
6.5 .256	6.4 .252	SNAP5-6.5	Ø8mm	-30207 (7.0)	-30208 (7.5) -30209 (8.0) -30210 (8.5)
7.0 .276	6.9 .272	SNAP5-7.0	Ø8mm	-30208 (7.5)	-30209 (8.0) -30210 (8.5) -30211 (9.0)
7.5 .296 <i>pour Ø7.4</i>	7.4 .291	SNAP5-7.5	Ø8mm	-30209 (8.0)	-30210 (8.5) -30211 (9.0) -30212 (9.5)
8.0 .315	7.8 .307	SNAP5-8.0	Ø10mm	-30210 (8.5)	-30211 (9.0) -30212 (9.5) -30213 (10.0)
8.5 .335	8.3 .331	SNAP5-8.5	Ø10mm	-30211 (9.0)	-30212 (9.5) -30213 (10.0) -30214 (10.5)
9.0 .354	8.8 .346	SNAP5-9.0	Ø10mm	-30212 (9.5)	-30213 (10.0) -30214 (10.5) -30215 (11.0)
9.5 .374	9.3 .366	SNAP5-9.5	Ø10mm	-30213 (10.0)	-30214 (10.5) -30215 (11.0) -30216 (11.5)

\* Blade sold separately

**Tableau 3 – choix du couteau ébavureur en fonction du diamètre à ébavurer**

Cette série d'essais a permis de tester les conditions de coupe préconisées par le fournisseur, de valider une référence de lame ainsi que de juger de l'usure de l'outil. La référence de lame est fonction de la matière à usiner et de la quantité de matière à enlever, ce sont la matière et la forme de la lame qui vont influencer sur la qualité finale du cassage d'angle. Les conditions de coupe et la pression du ressort n'ont pas d'influence sur la profondeur de mouchage d'après le fournisseur. Ceci sera remis en cause durant les essais de qualification finaux du procédé.

### 8.3. Etude des problématiques dues au changement d'outil

Le changement radical de la solution de perçage-ébarbage a nécessité de ré-étudier les contraintes de mise en œuvre, de gestion sur la machine ainsi que les contraintes liées à la gestion de ressources du projet.

Le tableau recense les problématiques décrites dans les paragraphes suivant ainsi que leurs niveaux de criticité et de maîtrise.

	<b>Problématique</b>	<b>Criticité</b>	<b>Maîtrise</b>	<b>Risque identifié</b>
<b>Gestion de projet</b>	Ressources projet	2	3	Turnover important sur le projet : risque de perte d'informations
	Délai	1	3	Retard dans l'industrialisation
<b>Technique</b>	Encombrement outil	3	2	Collision outil/pièce
	Gestion embout forêt spécial	3	1	Glissement sur la pièce dans le cas de forêts normaux
	Différence durée de vie embout/ébarbateur	1	1	Erreurs dans les délais de changement des outils
	Pas de solution ou solution ne couvrant pas entièrement le risque		Solution disponible mais nécessitant des moyens pour la mettre en œuvre	Solution disponible

#### 8.3.1. Problématiques sur la gestion du projet.

La remise en cause de la solution « Burraway » a nécessité d'arrêter la programmation de toutes les références de pièces en CFAO. Par ailleurs les programmeurs ont dû attendre que le procédé soit validé pour entreprendre la programmation avec le nouvel outil. De même la

personne en charge de la modélisation des outils étant passée sur d'autres projets, sa disponibilité sur le projet CAURALIS était amoindrie.

Les délais ont quant à eux été impactés par les nouvelles commandes d'outils, de cônes, mandrins, et embouts de forêts.

Ces contraintes de délais ont nécessité un travail en parallèle entre le Service Méthodes et le Service Industrialisation. En effet, parti a été pris côté Industrialisation de lancer la programmation des nouveaux outils sans la validation officielle du procédé.

### 8.3.2. Problématiques techniques

#### 8.3.2.1. Encombrement outil par rapport aux contraintes machines

Problématique : Les outils VEX-S doivent être montés sur des cônes HSK-A50 en frettage classique suivant les préconisations du fournisseur Heule. Ces cônes étant plus larges que porte-pinces utilisés pour le développement des « Burraways », des problèmes d'accessibilité à certaines zones de perçages ont été mis en évidence (Figure 22).



Figure 22 – Zones critiques d'encombrement procédé perçage-ébavurage

Le changement d'outil et le changement d'attache induisent également un changement de la longueur totale « attache + outil », la contrainte étant que l'outil ne doit pas dépasser les 180mm pour pouvoir être monté en machine (Figure 23).

Pour répondre à ces problématiques, on utilisera dans la mesure du possible, des outils standards.

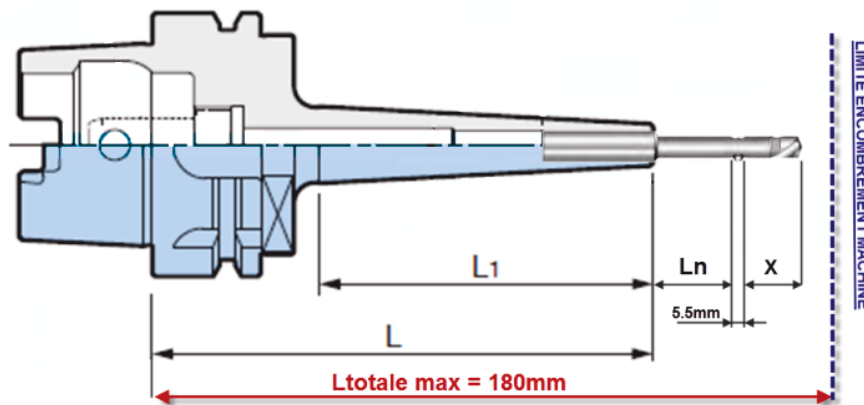


Figure 23 – Encombrement outil CAURALIS, longueur maximale

Côté Industrialisation des attachements de « type mouliste » (Figure 24) ont été proposés. Ces attachements ont l'avantage d'être plus longs et plus fins, réduisant ainsi le diamètre en bout d'attachement, supprimant ainsi le problème d'encombrement.



Figure 24 – Attachement frettage « type mouliste »

Cependant le frettage thermique nécessaire au montage sur ce type d'attachement pose d'autres problématiques :

- Obligation de démonter le système interne de l'outil avant de fretter
- Si démontage du système pour fretter, réglage de la pression à réaliser
- Frettage acier / acier donc défrettage très compliqué
- Si échec de défrettage, l'attachement et le corps outil sont à remplacer

Afin de répondre à l'ensemble des problématiques, un inventaire des solutions d'attachement a été effectué côté Méthodes par V.Tok (Tableau 4).

	L rallonge	L attachement	Ls	Lt	L "en trop"	Cause
Solution actuelle	-	105	43	148	0	$\varnothing$ du corps outil max accepté < $\varnothing$ du corps outil actuel
Rallonge 1	160	46	43	249	74	Rallonge beaucoup trop longue (entraîne une impossibilité de frettage)
Attachement 1	-	130	43	173	0	Attachement dispo en HSK 63 A uniquement
Attachement 2	-	120	43	163	0	Attachement dispo en HSK 40 E uniquement
Rallonge frettage mécanique	100	49	43	192	17	Rallonge trop grande
Rallonge 3	135	49	43	227	52	Rallonge trop grande (entraîne une impossibilité de frettage si retouche)
Attachement 3	-	85	43	128	0	Attachement dispo en HSK 63 A uniquement
Rallonge 4	100	49	43	192	17	Rallonge trop grande
Attachement 4	-	152	43	195	20	Attachement dispo en HSK 40 / 63 / 100 A uniquement et trop long
Rallonge 5	110	46	43	199	24	Rallonge trop grande
Attachement 5	-	85	43	128	0	Attachement dispo en HSK 63 A uniquement
Attachement 6	-	100	43	143	0	-
Rallonge Fournel 6	80	49	43	172	0	-

Tableau 4 – Inventaire solutions attachement

Une seule solution permet d'éliminer le frettage thermique en le remplaçant par du frettage mécanique avec une rallonge, mais l'ensemble est alors trop long de 17mm par rapport à la longueur maxi que l'on peut monter en machine.

Principe de fonctionnement du frettage mécanique :

1. La forme intérieure est un polygone
2. Application d'une force en 3 points
3. On place l'outil dans la rallonge en maintenant l'effort
4. On relâche la force en 3 points et l'outil est serré

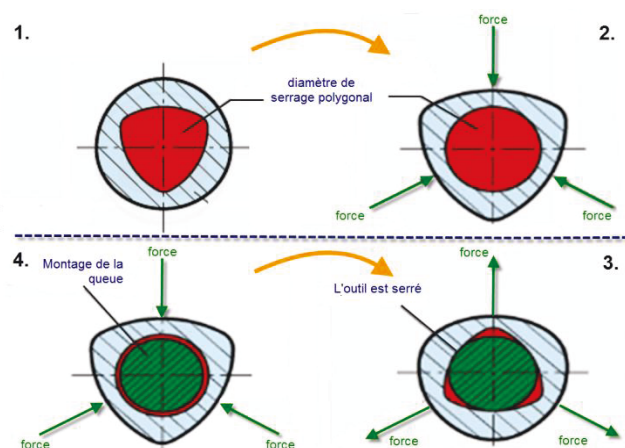


Figure 25 – Principe montage outil par frettage mécanique

Les avantages du frettage mécanique :

- Pas de démontage du système interne de l'outil pour le montage
- Réglage de pression non modifié
- Simplicité de défrettage

La longueur étant trop importante, trois solutions sont envisageables pour la réduire :

- Reprise en usinage de la longueur de la rallonge
- Reprise en usinage de la longueur de l'attache
- Demande auprès des fournisseurs pour un attache spécifique avec une longueur inférieure aux standards

La solution retenue est de commander des attaches spécifiques soit :

- Porte-pinces avec longueur réduite + rallonge de fretage mécanique
- HSK-A50 de fretage avec longueur réduite + rallonge de fretage mécanique (fretage thermique de la rallonge dans l'attache et fretage mécanique de l'outil dans la rallonge)

D'un point de vue économique, les attaches spécifiques avec les rallonges sont environ 20% moins chers que la solution trouvée par la production.

Pour conclure sur cette problématique, c'est l'attache HSK-A50 de fretage avec une longueur réduite qui a été choisie car le diamètre en bout d'attache est plus faible qu'avec l'attache porte-pinces, donc cela permet d'améliorer l'accessibilité de l'ensemble. Le fretage mécanique apporte de nombreux avantages, avec un prix moins élevé que la solution de fretage thermique et répond à la problématique d'encombrement et d'accessibilité.

Cependant il n'est pas assuré que cette solution puisse être mise en œuvre pour des contraintes organisationnelles. Les attaches type mouliste étant déjà dans le circuit, il faudrait reprogrammer tous les outils, cela est faisable techniquement mais nécessiterait des besoins en ressources qui à priori ne sont pas disponibles compte tenu des autres programmes en cours dans l'entreprise. Par ailleurs, suite à la période d'industrialisation, certains outils ont pu être défretés d'attache type mouliste a priori sans difficulté et sans dommage apparent. Ceci sera à confirmer lors de l'utilisation sur machine et la durée de vie de l'outil sera à vérifier.

### 8.3.2.2. Gestion de l'embout forêt spécial (reprise ou demande création Heule)

Les têtes de forêts actuelles ont une géométrie qui a été spécialement étudiée et validée pour éviter le glissement du forêt sur la pièce et réduire la dispersion sur les tolérances de localisation des perçages lors de l'usinage grande vitesse.

Ces embouts n'étant donc pas standard, le fournisseur du VEX-S n'est pas en mesure de les fournir à l'heure actuelle. Par ailleurs, le système d'assemblage de l'embout forêt sur le corps d'outil VEX-S étant aussi non standard, on ne peut pas adapter les embouts actuels sur le corps d'outil VEX-S. Deux solutions sont donc possibles : demander au fournisseur Heule de créer des embouts spéciaux ou faire reprendre les embouts Heule par la société qui fabrique les embouts spéciaux actuels. Une comparaison des deux solutions est faite dans le Tableau 5.

	Fabrication embout spécial Heule	Reprise des embouts Heule par la société Ryo affûtage
Délai	Quelques semaines	Quelques jours
Coût	Non connu	Connu
Qualité	Non connue	Connue, ok Toutefois détérioration du revêtement DLC <sup>6</sup> du forêt
<b>Solution choisie</b>	<b>A suivre</b>	<b>Ok</b>

Tableau 5 – Comparaison solutions embout spécial

### 8.3.3. Gestion des durées de vie différentes embout forêt / lame d'ébavurage

Suite aux essais de répétabilité, il a été démontré que les couteaux SNAP peuvent ébavurer jusqu'à 6000 trous en gardant le même niveau de qualité. Cependant la durée de vie des embouts forêts est de 1500 trous. Dans un premier temps on changera les couteaux tous les 3000 trous par précaution pour vérifier leur tenu après usinage. La gestion de la différence de durée de vie est intégrée au fichier outillage,

<sup>6</sup> DLC : Diamond-Like Carbon, revêtement type couche mince (< 5µm) et dure (> 2300 HV) réalisé par les technologies de dépôt plasma sous vide.



#### 8.4. Deuxième série d'essais : validation des propriétés dimensionnelles de l'ébavurage et estimation de la durée de vie de l'outil.

Ces essais se sont déroulés sur MUPEX pour des raisons de disponibilité machine. Par ailleurs, l'outil combiné n'étant pas encore disponible, l'usinage s'est déroulé en deux phases, d'abord le perçage puis l'ébavurage avec l'outil SNAP.

La seconde série d'essais a permis de vérifier la durée de vie de l'embout d'ébavurage annoncée par le fournisseur, soit 6000 trous. La vérification visuelle a permis de valider cette hypothèse, les 6000 trous ayant été réalisés sans incident et avec une qualité constante sur l'ensemble des mouchages. Une éprouvette de 50 trous ébavurés a été prélevée durant ces essais afin de pouvoir mesurer le mouchage au microscope.

Différentes conditions de coupe ont donc été testées. Sachant que pour l'outil combiné on ne peut pas programmer deux vitesses de rotation différentes, on a seulement fait varier la vitesse d'avance. On a alors cherché la vitesse d'avance permettant la qualité d'ébavurage requise et se rapprochant le plus de celle du forêt pour être sûr d'atteindre la vitesse définie.

Les essais ont été réalisés sur les éprouvettes décrites dans le Tableau 6 ci-dessous.

N° éprouvette	Référence SNAP	Rotation (tr/mn)	Avance	Forêt	Rotation (tr/mn)	Avance	Contrôle qualité
1	GH-Q-M-30210	15000	3000	« Type MUPEX »	15000	1100	Mesure macrographique
2	GH-Q-M-30209	15000	3000	« Type MUPEX »	15000	1100	Mesure macrographique
3	GH-Q-M-30209	15000	3000	« Type MUPEX »	15000	1100	Mesure Zeiss
#	Essai 6000 trous : 10*600 trous						

Tableau 6 – Description éprouvettes première série d'essais

Les éprouvettes préparées ont permis de comparer les résultats sur deux références de lames. La première lame non validée (GH-Q-M-30209) produit des mouchages en limite haute de la tolérance et hors tolérance (Figure 26). Pour rappel, le cassage d'angle doit être compris entre 0,2 et 0,5mm (0,4mm de profondeur pour les pièces d'épaisseur inférieure à 1,6mm).

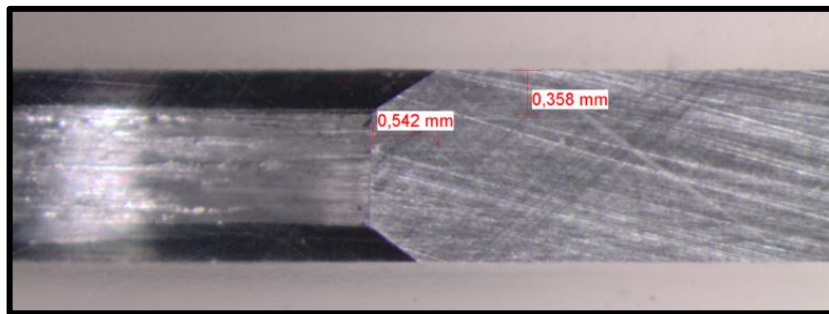


Figure 26 – Coupe macrographique, mouchage hors tolérance

La deuxième lame, qui était la lame validée, a produit des mouchages en limite basse, voire hors tolérance (exemple d'un mouchage dans les tolérances en Figure 27 ci-après)

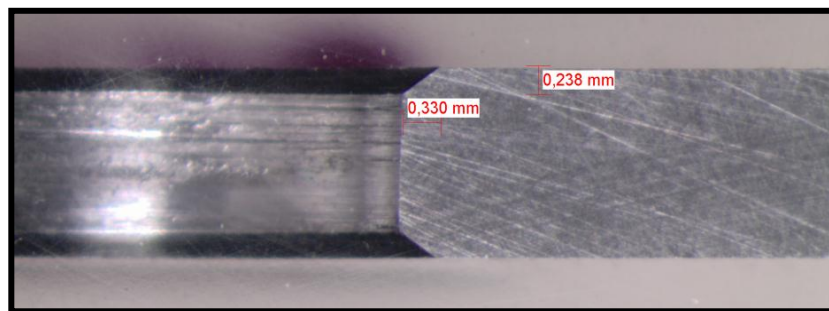


Figure 27 – Coupe macrographique, mouchage dans la tolérance

### 8.5. Troisième série d'essais : validation des conditions de coupe avec l'outil combiné VEX-S

Ces essais ont été réalisés sur CAURALIS afin de valider les paramètres d'usinage en conditions réelle de production. Le perçage et l'ébavurage se sont déroulés en une seule phase grâce à l'outil combiné, cela a également été l'occasion de vérifier la durée de vie des embouts forêts et de vérifier la répétabilité de l'outil sur 6000 trous.

Le premier point mis en évidence a été les différences de conditions de coupe entre l'outil ébavureur seul et le combiné. En effet les premiers trous ébavurés effectués avec les paramètres de coupe mis au point pour l'outil ébavureur étaient beaucoup trop chanfreinés.

Après différents essais, les conditions de coupe adaptées au nouvel outil ont été mises au point et l'on a pu lancer la série de perçages-ébavurages. Les éléments suivants ont été validés :

- Conditions de coupe pour le diamètre 6mm :  $F_{\text{forêt}} = 750\text{mm/min}$ ,  $F_{\text{couteau}} = 500\text{mm/min}$ ,  $S = 5000\text{tr/min}$

- Durée de vie outil : Lame = 6000 trous, Embout-forêt = 3000 trous : on a donc une durée de vie supérieure a priori à la durée de vie annoncée, dans un premier temps les outils seront vérifiés lorsque la durée de vie annoncée sera atteinte avant d’être remis en service si aucune anomalie n’est constatée.

La différence de durée de vie entre les lames d’ébavurage et les embouts-forêts sera gérée au travers de Tableaux de suivi (Figure 28) par les opérateurs du banc de préréglage lorsqu’ils changent une partie de l’outil en indiquant la date, si la durée de vie est atteinte ou non, et prendre une décision quant à la remise en service de l’élément en fonction de son usure.

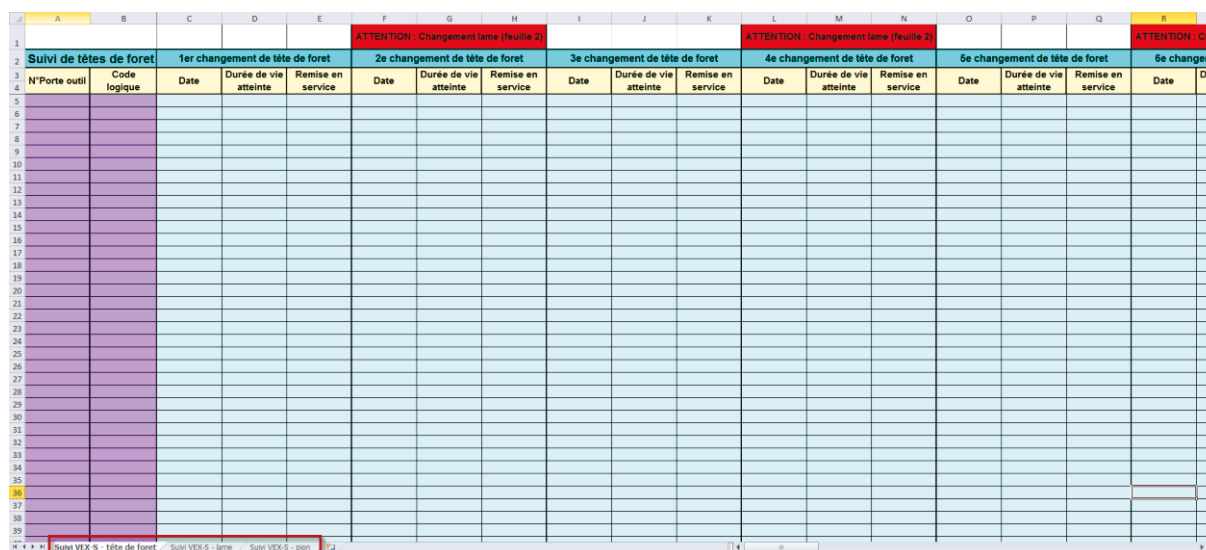


Figure 28 – Fichier suivi changement outils

## 9. Le lancement industrialisation CAURALIS

### 9.1. Conséquences de l’outil de perçage-ébavurage sur la gamme de production

L’un des enjeux du perçage ébavurage en une passe était le gain de temps sur le cycle de fabrication de la pièce. Hors les temps de fabrication n’ayant pas été relevés avant le début du développement des solutions de perçage-ébavurage (sur le « Burraway » à l’époque), il est difficile de calculer de manière sûre le temps de fabrication sans forêt ébavureur. Le calcul a donc été effectué en simulation grâce au logiciel de CFAO (Tableau 7). On remarque que l’on a une perte de temps « brut » opération de 2,30 minutes avec le forêt ébavureur. Cependant plusieurs facteurs ne sont pas pris en compte dans le calcul des temps. En effet, on doit ajouter d’autres temps relatifs à l’existence de la phase d’ajustage :

- Logistique machine-ajustage
- attente entre usinage et ébavurage manuel (selon disponibilité ajusteur),
- dépose/repose pièce,
- retournement éventuel de la pièce pendant l’ajustage

A l’heure actuelle, il n’y a pas assez de recul sur l’activité CAURALIS pour apprécier la différence de temps entre les deux procédés.

	Sans forêt ébavureur (ébavurage manuel en phase ajustage)	Avec forêt ébavureur (ébavurage sur CN)
Temps NC simul	3min	4.43min
Temps réel	Temps machine estimé $3 \times 2.33 = 7$ min	10.30min
Ratio	2.33 calculé à partir de la pièce usiné et simulation avec ébavureur	2.33
Avance forêt	1500 mm/min	750 mm/min
Avance ébavurage	Temps manuel estimé : 1 min pour 6 trous	500 mm/min
Temps total opération	8 minutes	10,30 minutes

Tableau 7 – Calcul du  $\Delta T$  (simulation CFAO, avec facteur correcteur) sur la référence D532.34976.200.00 (6 trous Ø6mm)

Le deuxième enjeu du projet perçage-ébavurage était la garantie de la qualité finale de la pièce pour le client. Les différents essais menés et la première phase d’industrialisation ont été très concluants sur ce point. En effet, les mesures sur les pièces d’essai ont montré d’une part, la conformité des dimensions de mouchage réalisées et d’autre part, la faible dispersion des résultats (ANNEXE 1). Par ailleurs, on a pu se rendre compte lors de cette phase d’industrialisation que la baisse des vitesses de rotation et d’avance avait considérablement augmenté la durée de vie des outils. Ceci aura pour effet un gain de temps sur les changements d’outils (moins fréquents).

## 9.2. Les flux

Les flux de la zone de production CAURALIS sont également impactés par ce projet. On peut voir en Figure 29 des flux croisés et une zone d’ajustage étendue. Si la phase d’ajustage peut être supprimée (cible du projet), la zone dédiée pourra être réduite (Figure 30), une partie doit être conservée en cas de pièce non conforme qui nécessiterait une reprise. La réduction de

cette zone permettra des zones de stockage supplémentaires qui seront nécessaires lorsque les machines fonctionneront à 100% en production.

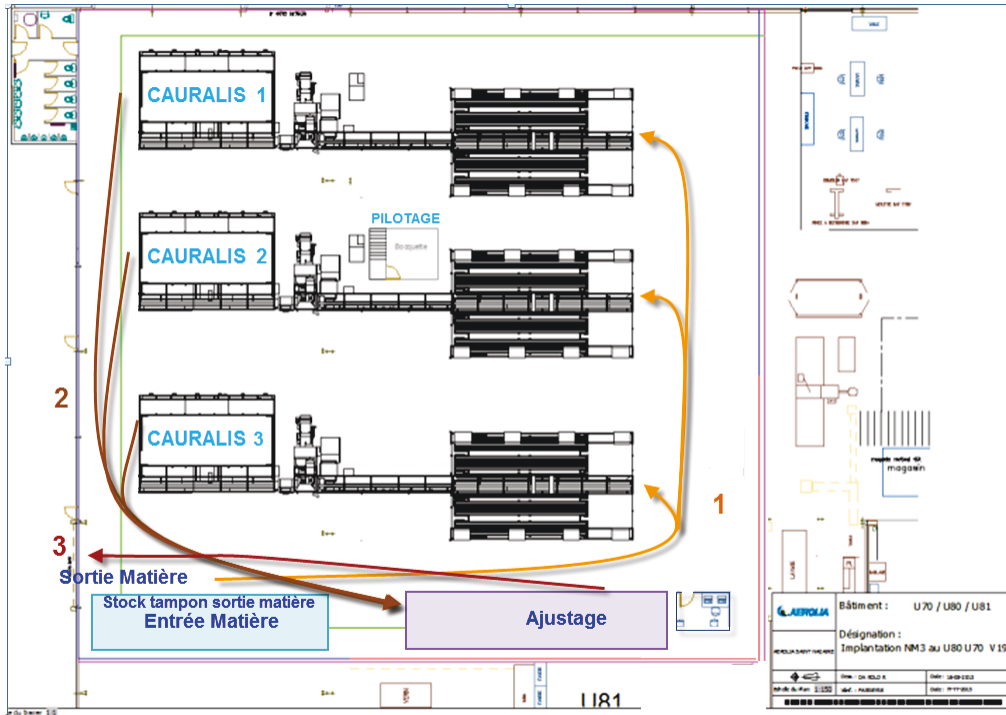


Figure 29 – Flux actuel Zone CAURALIS

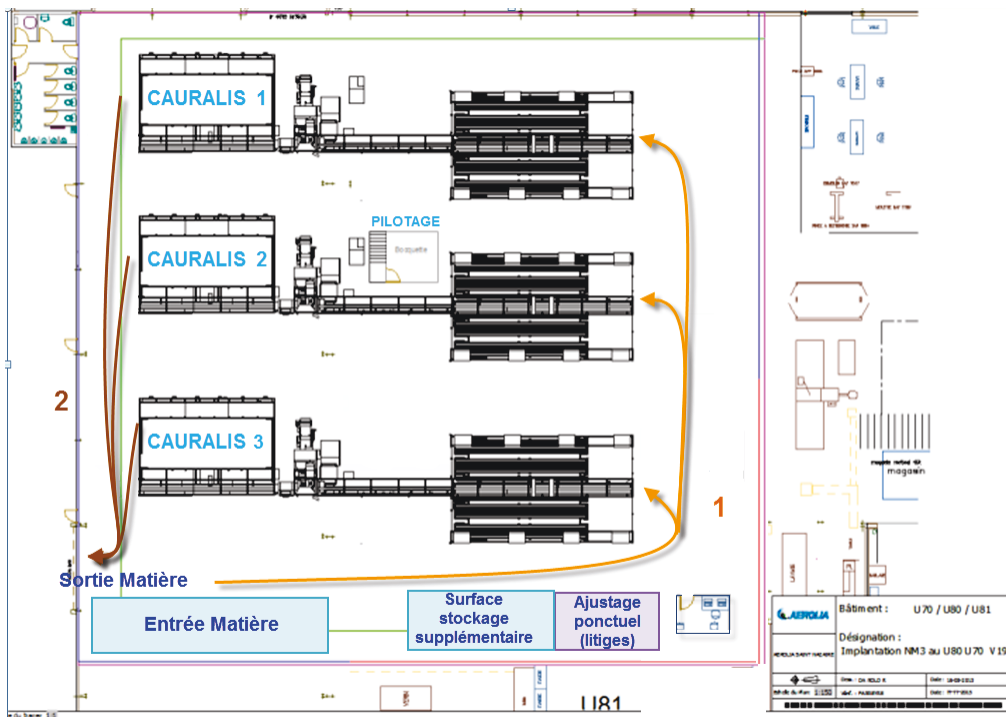


Figure 30 – Flux cible Zone CAURALIS

### **9.3. Les métiers**

Supprimer la phase d'ajustage signifierait que l'on a un besoin moindre en ajusteurs (personnel qualifié). Il a été montré lors de la semaine de production test que l'augmentation de la cadence induit un besoin accru en logistique.

## **10. Essais de validation qualification procédés**

### **10.1. Objectif**

Les conditions de coupe ayant été déterminées et insérées dans les programmes machines, le seul paramètre encore susceptible de varier et donc de dériver au cours du temps et suivant les outils est la pression du couteau.

Le but de ces essais est donc de valider si le réglage de la pression a un impact sur la qualité d'ébavurage des outils combinés VEX-S. Afin de garantir la traçabilité des mesures, le numéro d'attachement et le code logique<sup>7</sup> de l'outil doivent être relevés.

### **10.2. Essais à réaliser**

Les essais se feront sur les différents diamètres d'outils de perçage-ébavurage disponibles sur CAURALIS : Ø6 - Ø6,5 - Ø8,5.

La matière usinée est du profilé aluminium (nuance suivant disponibilité au moment des essais).

Avant les essais d'usinage, plusieurs séries de contrôles seront effectuées au banc de réglage outils coupants.

Une méthode de mesure sur banc avec un capteur de pression à précédemment été mise au point pour la mesure de pression des Burraway. Celle-ci sera vérifiée et adaptée à la mesure des outils VEX-S.

Les VEX-S sont annoncés réglés par le fournisseur, les valeurs de pression des outils réceptionnés seront mesurées afin de vérifier la dispersion éventuelle et d'avoir une valeur de référence pour juger de la variation au cours de la durée de vie de l'outil. Les mesures effectuées sur les 8 outils neufs utilisés pour les essais de réglages de pression ont montré une

---

<sup>7</sup> Code logique : Code associé à chaque montage d'outil (exemple : T11400 pour le montage corps-couteau-insert diamètre 6mm).

certaine dispersion (Figure 31). Les essais devront montrer si cette dispersion a une incidence sur la qualité finale de l'ébavurage.

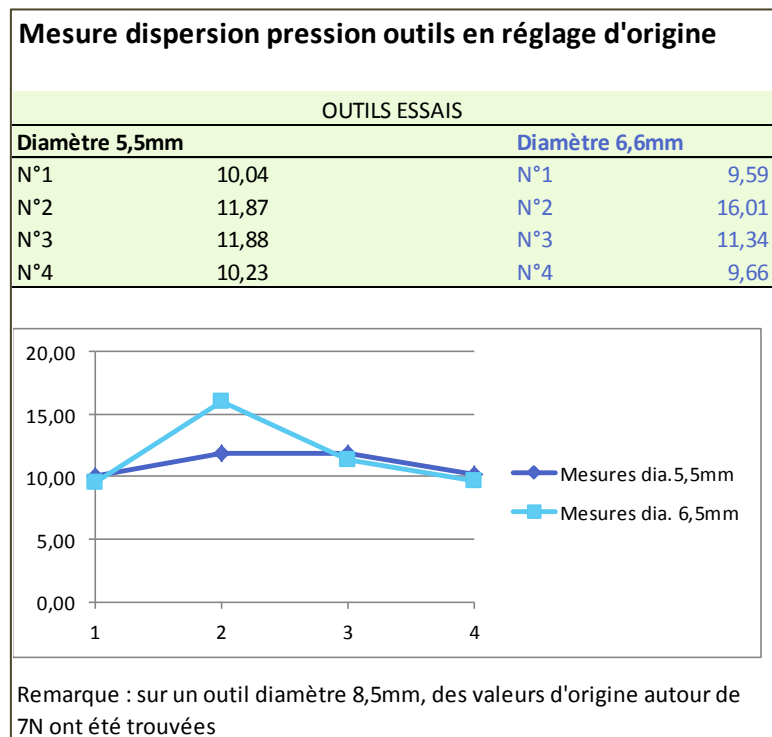


Figure 31 – Mesures pression sur outils d'essai neufs

En production, les outils étant montés frettés à chaud contrairement aux recommandations fournisseur, la mesure de pression sera également effectuée après montage sur porte-outil afin de vérifier l'impact du fretage.

Enfin les valeurs minimum et maximum de réglage réalisable avec le ressort seront déterminées ainsi que leur impact sur la qualité de cassage d'angle.

### 10.2.1. Mise au point de la méthode de mesure

Une méthode de mesure a précédemment été mise au point pour les outils Burraway, cependant deux paramètres nécessitent d'adapter cette méthode. La valeur de sortie du couteau est beaucoup moindre sur le VEX-S (0,2mm contre environ 1,5mm pour le Burraway) on ne peut donc pas avoir la même valeur de déplacement du capteur de pression. De plus l'ordre de grandeur de pression n'est pas le même, 5N à 20N pour le VEX-S contre 2,5N à 4N pour le Burraway. Le capteur de pression utilisé pour le Burraway avec une pression maximum de 5N n'est donc pas utilisable. Le capteur de pression utilisé sera un capteur Alluris 0-50N monté sur le banc de mesure outils Kelch.

La méthode de mesure mise au point est la suivante :

- Montage sur le banc de préréglage Kelch :
  - Vérifier que l’adaptateur pour HSK 50 est bien monté et que le banc est étalonné (sinon, changer l’adaptateur et étalonner le banc)
  - Fixer l’équerre (sans le dynamomètre) sur la partie mobile du banc de préréglage à l’aide de deux vis (Figure 32)

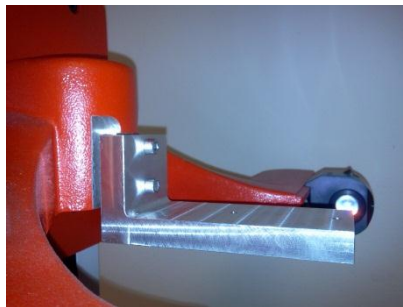


Figure 32 – Fixation équerre sur banc de préréglage

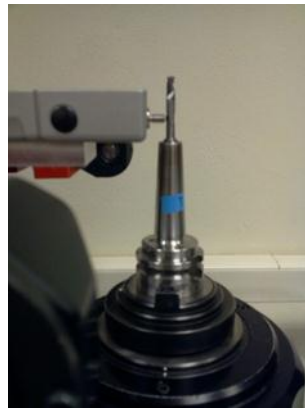
- Fixer le dynamomètre sur l’équerre (Figure 33) à l’aide de deux vis



Figure 33 – Fixation dynamomètre sur équerre

- Mesure de la pression :
  - Placer l’outil, monté dans son attachement, dans l’adaptateur. Verrouiller la mise en place de l’adaptateur. L’axe du couteau doit être perpendiculaire à la surface de contact du dynamomètre. Verrouiller la position de l’adaptateur.





**Figure 34 – Outil monté dans l'attache sur le banc**

- Régler en hauteur de la partie mobile du banc afin que le couteau soit en face de la pointe du dynamomètre.



**Figure 35 – placement du dynamomètre par rapport au couteau**

- Allumer le dynamomètre et attendre que l'écran affiche (---,--) et appuyer à nouveau sur la touche On/Off.
- Venir tangenter la lame de l'outil avec la pointe du dynamomètre en essayant de se rapprocher de 0 (ne pas descendre en dessous de 0,1N sinon l'appareil ne fait pas le 0 correctement – précaution fournisseur)
- Lorsque le dynamomètre affiche environ 0,1 à 0,2N, lire la valeur en X sur l'écran du banc (ne pas attendre trop longtemps sinon le « N » ne clignote plus et il faut recommencer la mesure)
- Enfoncer progressivement le dynamomètre dans la lame, de 0,2mm en X (la valeur affichée lorsque le dynamomètre tangente la lame doit diminuer de 0,2mm)
- Attendre quelques secondes que la valeur sur le dynamomètre se fige (le « N » ne doit plus clignoter)

- Effectuer la mesure 3 fois afin d’avoir un résultat répétable car la mesure peut varier en fonction de l’emplacement initial de la lame
- Il faut effectuer une mesure à chaque changement du réglage de pression
- Réglage de la pression :
  - Visser ou dévisser la petite vis qui se trouve dans le corps de l’outil à l’aide de la clé allen montée sur rallonge (la vis est accessible lorsque l’outil est monté dans son attachement). Un tour de vis correspond environ à 1N.

### **10.2.2. Essais de répétabilité de mesure**

Afin de vérifier la fiabilité des valeurs mesurées, deux séries de 30 mesures ont été effectuées sur un outil sans changement du réglage de la pression. Le nombre de 30 mesures a été jugé suffisant pour la représentativité des mesures par le service MSP (Maîtrise Statistique des Procédés).

La première série est réalisée sur un outil de diamètre 6mm ayant déjà réalisé 3000 trous en production. La seconde série est réalisée sur un outil de diamètre 8,5mm avant et après frettage.

#### ***10.2.2.1. Série n°1 – diamètre 6mm***

La série de mesures a été effectuée sur un outil VEX-S diamètre 6mm qui a déjà effectué 3000 trous de qualité jugée suffisante en production. L’outil devant être remis en production jusqu’à sa limite annoncée de 6000 trous, le réglage n’a pas été modifié.

On remarque en Figure 36 une dispersion de  $-0,67/+0,54$ mm autour de la moyenne. On a donc des valeurs fiables au Newton près sur un outil rodé.

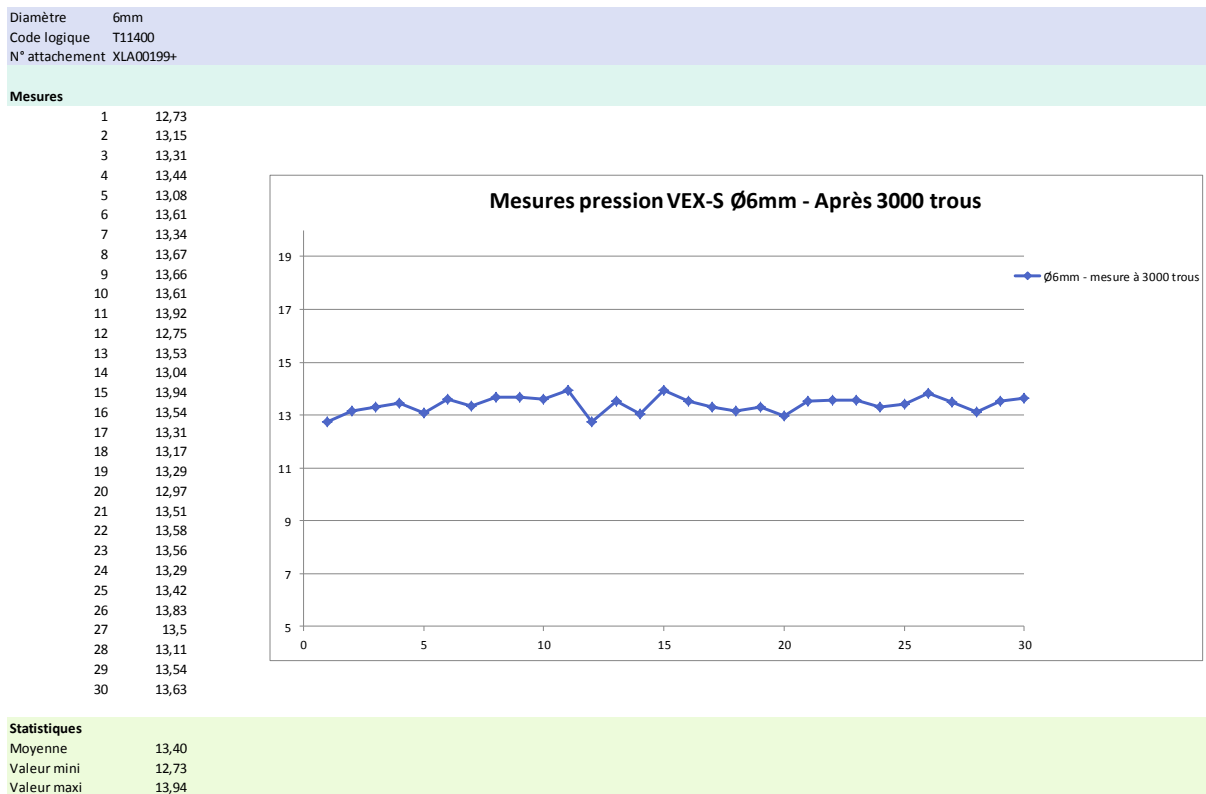


Figure 36 – Essais répétabilité, VEX-S Ø6 après 3000 trous

### 10.2.2.2. Série n°2 – diamètre 8,5mm

Les mesures ont été réalisées sur un outil diamètre 8,5mm neuf. Une première série de 5 mesures a permis de situer la pression de l’outil livré sans autre réglage, à 7,3N. Le fournisseur atteste que les outils sont livrés réglés, cette affirmation sera remise en cause suite aux différentes mesures effectuées postérieurement. Afin de pouvoir mieux comparer les différentes séries d’essais, la pression a été réglée à environ 13N (ordre de grandeur de pression du diamètre 6mm mesuré en série n° 1).

La série de mesure sur l’outil non fretté montre une forte variabilité, ceci peut s’expliquer par le fait que l’outil soit neuf et donc non rodé, le ressort n’a donc pas un comportement linéaire. La seconde série a été faite après un frettage raté. En effet lors du frettage, pour des raisons pratiques, l’outil est normalement mis en position lors de la chauffe, retirée et remis en position hors-chauffe (l’attachement restant dilaté assez longtemps pour permettre le repositionnement). Lors de ce frettage, l’outil est tombé dans l’attachement lors de la chauffe, il a donc été complètement chauffé. L’outil a été complètement retiré de l’attachement après une seconde chauffe, il a été décidé d’effectuer les mesures avant d’effectuer un nouveau

frettage afin de voir si l’outil n’avait pas été abîmé et d’avoir de nouveaux éléments pour mieux comprendre son comportement.

La mesure effectuée après cet évènement a donné une courbe plus lisse, cependant les valeurs étant en baisse constante il a été décidé refaire une série de mesures à froid le lendemain. Cette série (non représentée sur la figure), a montré des valeurs plus variables mais restant autour de 9N.

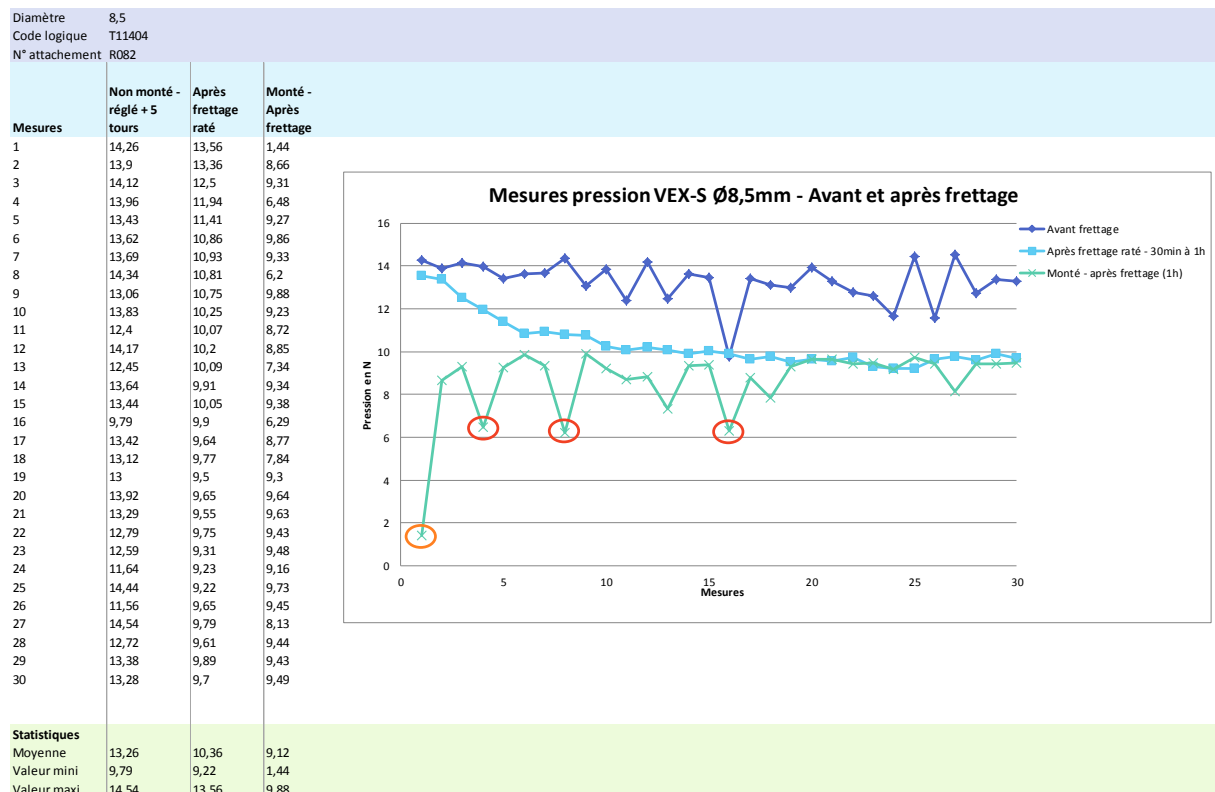


Figure 37 – Essais répétabilité, VEX-S Ø8,5mm

Enfin la dernière série de mesures a été effectuée une fois l’outil fretté. On remarque ici aussi une plus forte variabilité dans les valeurs mesurées. La première valeur (entourée en orange sur la Figure 36) est probablement due à l’amorce du ressort. Durant les mesures il a été observé que les valeurs sont plus faibles quand le ressort est en phase de décompression. Cela a permis de préciser le mode opératoire de mesure afin que celle-ci soit le plus fiable possible. La Figure 38 ci-après montre comment faire la mesure pour qu’elle soit toujours effectuée lorsque le ressort est en phase de compression.

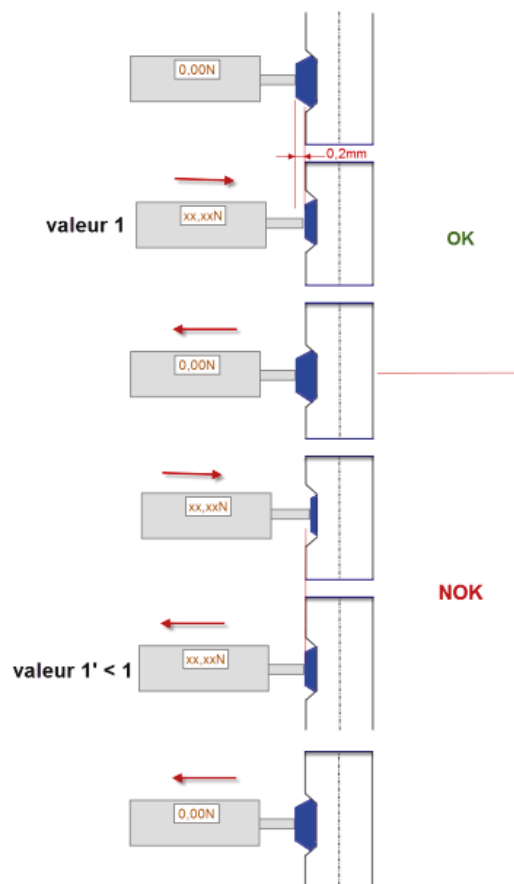


Figure 38 – Mode opératoire, réglage du déplacement de 0,2mm suivant l’axe X

### 10.3. Déroulement des essais sur machine

#### 10.3.1. Réglage des outils

Suivant les premiers retours de production, il a été choisi de tester les outils sur une plage allant de 5N à 17N (Figure 39). Sur cette figure sont notées suivant un code couleur les hypothèses émises sur la plage de pression permettant un cassage d’angle correct.

Le nombre de réglages a été défini suivant la disponibilité des outils. Ces outils n’étant pas utilisés en production, ils seront montés en pince pour pouvoir être démontés et ainsi éviter de devoir stocker les montages.

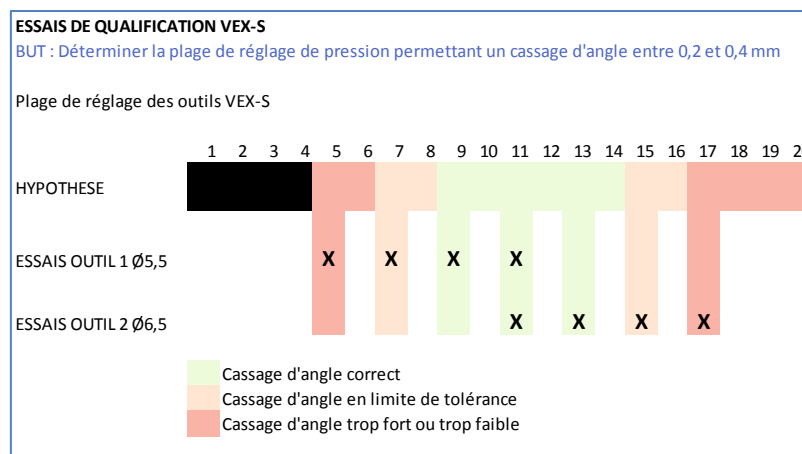


Figure 39 – Hypothèses et plage de pression testée

### 10.3.2. Déroulement des essais

Les essais sont effectués sur des pièces de type « lisses » en aluminium 7175 T73511. Par manque de disponibilité de programmeurs machines, le programme CN est un programme d'anciens essais réadapté. Cependant, on a observé après essais que l'ébavurage « en remontant » n'a pas été effectué, on attribuera ce fait à une erreur dans la programmation (l'outil n'est à priori pas descendu assez bas pour que le couteau ressorte entièrement avant de rétracter). Par ailleurs, les conditions de coupe définies lors des premiers essais ne sont pas apparues adaptées aux essais présents sur des diamètres de perçage différents. Ces conditions de coupe ont été définies en première instance comme valables pour tous les diamètres car l'augmentation des paramètres de coupe engendrait des chanfreins trop importants. Cependant la pression n'ayant pas été mesurée lors des premiers essais (le fournisseur attestant que les outils étaient livrés réglés), il faudra relancer une campagne d'essais après avoir eu l'ensemble des résultats pour redéfinir le meilleur couple pression/conditions de coupe possible.

Les outils utilisés ont été réglés à la pression souhaitée avant d'être montés sur machine. Les outils n'étant pas rôdés au moment du réglage, une mesure a été effectuée après les essais afin de vérifier la valeur stabilisée.

Pour chaque outil réglé, 30 trous ont été réalisés, sur chaque éprouvette de 30 trous, les valeurs de largeur et de profondeur de cassage d'angle des deux premiers et du dernier trous ont été mesurées par une méthode de coupe micrographique. Suite à un manque de disponibilité du Laboratoire, nous n'avons à l'heure actuelle qu'une partie des résultats

(Figure 40), cependant, ceux-ci nous ont d’ores et déjà permis de faire un premier bilan partiel et de voir les points à étudier en priorité.

Eprouvette	C5	C118	C134	C131
Commentaire	Qualité d'usinage ok mais mouchage trop faible	Qualité d'usinage ok mais mouchage légèrement trop faible	Mauvaise qualité d'usinage premier chanfrein, un mouchage légèrement faible	Qualité d'usinage ok mais mouchage légèrement trop faible
Clichés				

Figure 40 – Clichés éprouvettes essais qualification

### 10.3.1. Conclusion partielle sur l’impact du réglage de la pression

Le bilan de ces premiers résultats sur les essais de qualification tend à montrer que la pression du ressort sur le couteau ébavureur a bien un impact influant la conformité des résultats comme le montre la Figure 41 (valeur négative : valeur de cassage d’angle, valeur positive : bavure).

Diamètre (mm)	Pression réglée (N)	Pression après essais (N)	N°éprouvette	N°trou	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
5,5	5,0	4,5	C5	13	✗ -0,04	✗ -0,04
				14		
				15		
	9,3	6,0	C118	10	✗ -0,15	✗ -0,16
				11		
				12		
11,1	11,3	C131	4	✓ -0,22	✓ -0,22	
			5			
			6			
6,5	10,6	11,5	C134	1	✗ -0,14	✗ -0,14
				2		
				3		

Figure 41 – Résultats partiels essais pression

En effet, sur le diamètre 5,5mm on remarque que les chanfreins sont dans la norme à partir d'une pression de 11 Newtons environ. La valeur de chanfrein augmentant avec l'augmentation de la pression. Par ailleurs sur le diamètre 6,5mm cette pression apparaît encore insuffisante, on rappellera que les ressorts et couteaux ne sont pas les mêmes d'un diamètre à l'autre ce qui peut expliquer la nécessité d'un réglage différent suivant les diamètres.

Un point important est que tous les trous effectués ont été jugés conformes sur les 'faces 2' mesurées (évaluation à l'œil nu et au toucher). Des éprouvettes doivent être prélevées des présents essais ou effectuées pour avoir une pièce témoin « mini-maxi », la difficulté étant de distinguer un cassage d'angle en-dessous de 0,2mm d'un cassage d'angle au-dessus de 0,4mm à l'œil nu. Sur les pièces en production, aucun retour client n'a été reçu pour non-conformité (et aucun retour de la production en interne), ce qui signifierait soit que les mouchages avec les outils diamètres 6mm sont tous dans la tolérance, soit que la qualité perçue offre une plus grande plage de tolérance que la qualité mesurée.

Suivant les résultats finaux, plusieurs actions seront à mettre en place :

- Effectuer de nouvelles mesures sur les éprouvettes déjà effectuées suivant la variabilité des résultats pour un même diamètre.
- Effectuer une nouvelle campagne d'essais en faisant varier les paramètres de coupe.
- Déclencher une procédure de réglage de pression des outils avant montage sur machine.
- Trouver un moyen qui permette un contrôle qualité fiable en production et sensibiliser les opérateurs.

En parallèle, les essais effectués seront soumis au fournisseur afin de comprendre au mieux les résultats de ces essais.



### **11. Les étapes d'industrialisation à venir.**

A l'heure actuelle cinq diamètres sont programmés sur les machines CAURALIS : Ø5, Ø5.5, Ø6, Ø6.5, Ø8,5mm.

Le prochain diamètre à programmer est le Ø7,4mm. Il s'agit du diamètre le plus utilisé, cependant, celui-ci ayant déjà été programmé avec l'ancienne solution Burraway, le coût et le temps pour la reprogrammation font l'objet d'une étude spécifique par le service Industrialisation.

## Bibliographie

- Bréand, A. 1996. Dessin *Fuselage Airbus 319*, Air & Cosmo
- Kim J, Min S, Dornfeld D *Optimization and Control of Drilling Burr Formation of AISI 304L and AISI 4118 Based on Drilling Burr Control Charts*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 41(7): (2001) 923–936.
- Gillespie, L. R. K. 1999. *Deburring and edge finishing handbook*. 1st ed. Dearborn, Mich Society of Manufacturing Engineers, US. 404 p.
- Link R (1992) *Gratbildung und Strategien zur Gratreduzierung*, Dissertation. RWTH Aachen

## Spécifications Techniques Aéronautiques

- ADET0031 Indice D, 2007, *Finition des pièces en alliages d'aluminium (ébavurage, cassage d'angle ou rayonnage)*
- AIPI03-11-003 Issue 3, 2010, *Deburring and Manual Rework of Metallic Components*
- BAPS188-001 Rev.B, 2010, *Standard Machining Practices for Metallic Parts*
- NE03-063 Rev.H, 2002, *Detail Parts and Assemblies General Tolerances*

## Conclusion

Le sujet a été proposé par l'entreprise afin de reprendre et recadrer le projet qui n'avait plus de support côté Méthodes par manque de ressources. Le fait d'avoir un œil neuf sur le projet a permis de reprendre la problématique d'ébavurage dans son ensemble et de trouver une solution industrialisable au lieu de s'engouffrer dans une solution qui n'était pas appropriée pour l'usage demandé.

Ce projet m'a permis de travailler sur un nouveau sujet technique et ainsi approfondir ma connaissance de l'entreprise. Alors que je travaille au quotidien sur la mise en conformité d'autres procédés pour les nouveaux clients, j'ai prouvé sur ce projet ma capacité à travailler sur un sujet de terrain en collaboration avec d'autres services. J'ai pu voir sur le terrain les contraintes d'industrialisation dans le domaine de l'usinage et aussi mieux comprendre la stratégie de l'entreprise grâce au schéma directeur.

Ce projet qui était un projet « mal-né » à reprendre, m'a permis de développer mon adaptabilité et de travailler à la fois dans l'urgence du côté Industrialisation et de manière plus posée et méthodique côté Méthodes.

Sur le plan scientifique, ce projet m'a permis de m'intéresser au phénomène de génération de bavure lors de l'usinage et de mieux comprendre les paramètres permettant de les réduire. J'ai ainsi déterminé les paramètres influents pour le procédé lors de sa mise au point sur le terrain et atteint l'objectif pour ma qualification du procédé de définir les paramètres nécessitant une surveillance du procédé.

Sur le plan technique, j'ai pu prendre conscience de toutes les conséquences qu'occasionne une modification d'outil dans un processus d'industrialisation. Alors que j'ai trouvé l'outil le plus adapté pour du perçage-ébavurage en production de masse, le changement de solution concernant l'ébavureur a occasionné, outre la nouvelle déclaration d'outil, un changement d'attachement et de conditions de coupe, une nouvelle programmation de chaque pièce concernée, une modification du procédé de contrôle de l'outil. J'ai atteint l'objectif de définir ces paramètres dans le temps imparti, dans une seconde phase, on pourra vérifier et peut-être améliorer certains paramètres après s'être assuré que le procédé est sous contrôle et sans dérive.

Sur le plan économique, la mise en place de cette nouvelle solution a permis d'arrêter les frais sur le développement d'un système qui n'était pas maîtrisé. Beaucoup de temps a été perdu et d'argent ont été dépensés sur cette première stratégie cependant on a réussi à développer la

nouvelle solution avec le peu de budget et de ressources restant sur le projet et l'objectif initial d'avoir une solution de perçage-ébavurage « front & back » a été rempli.

Sur le plan humain il a été intéressant de voir les différences de méthodes de travail entre le service Méthodes et le service Industrialisation. En effet, alors que le service Industrialisation a pour objectif de sortir des pièces bonnes, le service Méthodes doit être garant de la pérennité du procédé et cela passe par une bonne connaissance de celui-ci en essayant de trouver ce qui pourrait ne pas fonctionner, c'est pourquoi il faut borner le procédé pour le valider.

Sur un plan plus personnel, ce projet a été une belle conclusion à ma formation au CNAM. Cette formation a été évidemment pour moi l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques et techniques. Le fait de ne pas pouvoir prendre toutes les Unités d'Enseignements du parcours Process pour cause d'incompatibilité due à la formation à distance, a été l'opportunité de prendre des Unités tels que MEC242 sur la mécanique non linéaire des structures, qui, si elle ne me sert pas au quotidien dans mon travail, m'a permis d'appréhender certaines méthodes de calcul mécanique qui pourront me servir pour mieux comprendre certaines problématiques étudiées dans mon domaine.

Par ailleurs j'ai pu prouver pendant cette période ma capacité de travail en formation d'une part et en entreprise d'autre part. Cette formation en Mécanique orientée Process m'a permis de conforter mon choix de travailler dans le domaine Procédés Mécaniques en aéronautique.

ANNEXE 1 : PV mesure chanfrein – contrôle sur Zeiss

	<b>MESURE TEST CHANFREINS</b>	Le : 05/04/2014

	Diam	Profondeur	Largeur
Perçage 1	7,417	0,254	0,239
Perçage 2	7,431	0,250	0,235
Perçage 3	7,428	0,231	0,221
Perçage 4	7,430	0,231	0,248
Perçage 5	7,430	0,230	0,255
Perçage 6	7,420	0,272	0,262
Perçage 7	7,412	0,222	0,269
Perçage 8	7,430	0,267	0,237
Perçage 9	7,420	0,259	0,224
Perçage 10	7,411	0,244	0,229
Perçage 11	7,431	0,238	0,227
Perçage 12	7,425	0,274	0,232
Perçage 13	7,410	0,278	0,233
Perçage 14	7,439	0,280	0,241
Perçage 15	7,422	0,264	0,242
Perçage 16	7,430	0,247	0,253
Perçage 17	7,413	0,256	0,246
Perçage 18	7,417	0,254	0,244
Perçage 19	7,420	0,261	0,236
Perçage 20	7,441	0,257	0,232
Perçage 21	7,425	0,241	0,226
Perçage 22	7,435	0,252	0,225
Perçage 23	7,431	0,263	0,247
Perçage 24	7,416	0,248	0,251
Perçage 25	7,427	0,231	0,227
Perçage 26	7,419	0,239	0,221
Perçage 27	7,438	0,253	0,231
Perçage 28	7,420	0,248	0,234
Perçage 29	7,414	0,250	0,229
Perçage 30	7,414	0,251	0,241
Perçage 31	7,425	0,252	0,248
Perçage 32	7,432	0,276	0,222
Perçage 33	7,428	0,266	0,236
Perçage 34	7,424	0,241	0,244
Perçage 35	7,422	0,267	0,264
Perçage 36	7,438	0,244	0,238
Perçage 37	7,433	0,256	0,241
Perçage 38	7,418	0,273	0,254
Perçage 39	7,417	0,247	0,234
Perçage 40	7,421	0,249	0,229
Perçage 41	7,433	0,254	0,243
Perçage 42	7,411	0,257	0,250
Perçage 43	7,430	0,260	0,255
Perçage 44	7,431	0,241	0,238
Perçage 45	7,412	0,253	0,247
Perçage 46	7,426	0,251	0,244
Perçage 47	7,432	0,243	0,241
Perçage 48	7,427	0,264	0,259
Perçage 49	7,412	0,269	0,254
Perçage 50	7,431	0,250	0,242



90-S.20-J

Usage Interne TRIGO QUALITAIRE  
Attention : si ce document est imprimé, assurez-vous de sa validité

Page 1/1

Industrialisation D'un Procédé De Perçage-Ebavurage sur Lisses et Rails, Mémoire d'ingénieur CNAM, Orléans 2014

---

## RESUME

Le projet d'industrialisation du procédé présenté dans ce mémoire, a pour objectif de déterminer les paramètres d'utilisation d'un outil de perçage-ébavurage « front and back » et de définir les bornes du procédé pour répondre aux exigences de qualité définies par les clients.

L'outil de perçage-ébavurage est constitué d'un insert forêt et corps ébavureur contenant un système pion-ressort-couteau permettant la rétractation du couteau sans abîmer l'intérieur du perçage. C'est cette technologie qui permet d'obtenir un cassage d'angle de part et d'autre du perçage.

Ce mémoire présente l'étude bibliographique qui a permis d'appréhender tous les paramètres relatifs à la formation de bavures lors du perçage et au mouchage nécessaire pour les éliminer ces bavures. Cette étude a permis de trouver le fournisseur Heule dont la solution a été mise en place.

Dans un second temps, on présente les différents essais qui ont permis de définir les conditions de coupe de l'outil pour lancer la première phase d'industrialisation sur les machines à commande numérique CAURALIS. Par ailleurs, on développe les différentes problématiques techniques, notamment d'encombrement outil, qui ont découlé de ces premiers essais ainsi que les solutions choisies pour y remédier.

Enfin les conditions de coupe étant définies, le paramètre à étudier pour la qualification du procédé a été la pression du ressort. En effet, il a fallu déterminer si cette pression avait un impact ou non sur la qualité de cassage d'angle final et s'il fallait la mettre sous surveillance.

**Mots-Clés :** CAURALIS, Perçage-ébavurage « front and back », ébavurage, cassage d'angle, mouchage, industrialisation, qualité, conditions de coupe, qualification procédé, encombrement outil, mesure de pression ressort, répétabilité.

---

## SUMMARY

This report presents the industrialization of a drilling-deburring process. The aims of this project is to determine the parameters for the good use the drilling-deburring tool and to define the limitations of the process to meet the customer's requirements.

The drilling-deburring tool is constituted with a twist drill and a tool body containing control bolt, a spring and a blade allowing the blade to be retracted without spoiling the bore. It is this technology that permits a front and back deburring.

This report presents the bibliographic review which was essential to apprehend all the parameters related to the burr formation during drilling and to the breaking of corners necessary to remove those burrs. This study led to the solution of the supplier Heule which was implemented.

In a second phase are explained the different trials which permitted to define the tool cutting data to launch the first phase of industrialization on the numerically controlled machine CAURALIS. Besides are developed the different technical problems, notably the tool overall size, resulting from these trials and the chosen solution to remedy.

Finally, as the cutting data is set up, the parameter to be worked on to qualify the process is the spring pressure. Indeed we had to determine if this pressure had an impact or not on the quality of the final edge breaking, and if it had to be put under surveillance.

**Key-Words:** CAURALIS, Drilling and Front and back Deburring, deburring, edge breaking, corner breaking, industrialization, quality, cutting data, process qualification, overall tool size, spring pressure measure, repeatability.