



GUIDE DE PRÉVENTION DES RISQUES GÉNÉRÉS PAR LES OPERATIONS DE TOILAGE SUR ÉQUIPEMENT MOTORISÉ



Préambule

Le constat d'événements significatifs répétés, et associés à des opérations de toilage avec entraînement mécanique, a conduit le Comité de Prévention des Risques Professionnels du Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS) à la rédaction du présent guide.

Ce document de bonnes pratiques concerne tous les adhérents du GIFAS.

Il convient que les managers, les préventeurs et le Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail prennent connaissance de ce présent guide pour favoriser la maîtrise du risque et un contrôle des opérations de toilage dans leur secteur.

Attention : l'opération de polissage avec entraînement mécanique comporte les mêmes risques physiques que l'opération de toilage.

Il est donc important d'englober cette opération dans la démarche de prévention pour limiter davantage les risques.

Ont participé à l'élaboration de ce document :

AIRBUS



SAFRAN



ONERA



MBDA



AIR FRANCE INDUSTRIES



THALES



DASSAULT AVIATION



Sommaire

1. Rappels sur les opérations de toilage sur équipement motorisé	4
1.1 Définition	4
1.1.1 Principes de la super finition	4
1.1.2 Les avantages et inconvénients de la super finition	5
1.1.3 Matériaux usinables et moyens utilisés	5
1.1.4 Différentes applications de l'opération de toilage	6
1.2 Accidentologie	6
1.3 Dangers et risques du toilage	7
1.4 Opérations visées par la limitation	7
2 Recherche de suppression du risque	7
2.1 Suppression du risque à la source	7
2.2 Solutions de toilage sur équipement motorisé	8
2.3 Suppression des opérations de toilage manuel	10
3 Règles de mise en place des opérations de toilage	12
3.1 Visibilité de la limitation	12
3.2 Formation et information	12
3.3 Equipements de protection collective	13
3.4 Equipements de protection individuelle.....	13
Glossaire	15
Références	16
Annexes	17

1. Rappels sur les opérations de toilage sur équipement motorisé

1.1 Définition de l'opération de toilage

Le toilage est une façon de retoucher une pièce en maintenance ou fabrication présentant un défaut, comme :

- Valeurs de rugosité (critères d'état de surface Ra)
- Dimensions géométriques (rayon sur angle, chanfrein...)
- Traces de rouille

C'est un procédé de super finition donnant des surfaces de bonne qualité en termes de rugosité avec des tolérances géométriques précises ainsi qu'une meilleure tenue à la fatigue, à la fissuration et à la corrosion.

Cette opération améliore les états de surface en termes de portance sans affecter la géométrie des pièces préalablement usinées.

Le rôle de la super finition par toile ou par pierre est d'écarter les pics de rugosité. Le toilage a une action essentiellement mécanique qui tend à écrouir les surfaces tournées.

1.1.1 Principe de la super finition

Comme dans d'autres processus de finition avec serrage de pièce sur machine, un outil entre en contact avec la surface d'une pièce à usiner.

Au travers de la superposition de la pièce en rotation et d'un outil oscillant, le grain abrasif peut se déplacer suivant une ligne sinusoïdale, caractéristique de ce procédé.

Tous les grains de rectification en contact avec la pièce produisent, par la superposition de chaque ligne sinusoïdale, des traces d'usinage se croisant sous un angle aléatoire (Cf. figures 1 et 2).

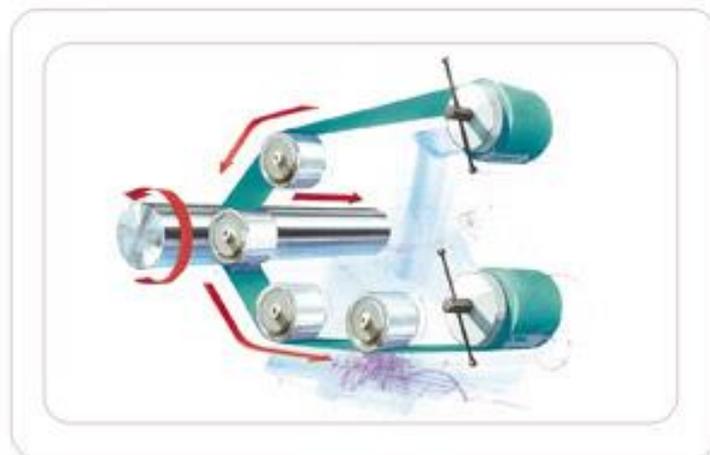


Figure 1 : mécanisme de toilage

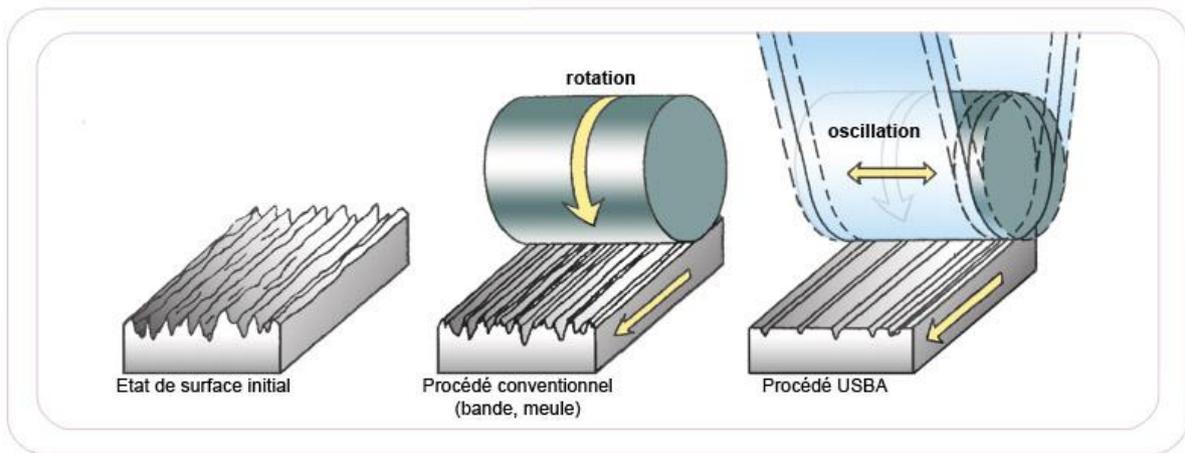


Figure 2 : mécanisme de toilage

1.1.2 Les avantages et inconvénients de la super finition

- Le temps d'usinage est réduit,
- Entraîne moins de frottements
- Moins d'usures
- Le coût d'outillage est faible
- Les moyens et coûts d'investissement sont faibles
- Peu de dépenses énergétiques
- Le niveau sonore est réduit
- Grande flexibilité dans l'opération

Mais,

- Les quantités retirées ne sont pas maîtrisées par rapport à l'usinage.

1.1.3 Matériaux usinables et moyens utilisés

Le procédé de super finition est adapté à tous les types de matériaux qui se laissent usiner géométriquement avec ou sans traitement thermique de surface.

Les matériaux les plus divers peuvent être usinés : les métaux ferreux, les métaux non ferreux, la céramique, les matières synthétiques, le silicium monocristallin, les revêtements (le carbure de tungstène, le chrome,...).

Cependant, le toilage peut aussi se pratiquer pour de multiples applications : retirer des traces d'oxydation, ajuster finement les cotes d'une pièce après usinage, ôter les bavures d'une opération d'usinage précédente, le nettoyage et le décapage de revêtements et bien d'autres encore.

Dans la plupart des cas d'utilisation, le toilage est effectué avec un tour conventionnel¹ ou une perceuse à colonne.

¹ La brochure ED-6243 de l'INRS présente les lignes directrices de sécurité lors d'opérations de toilage en entreprise

1.1.4 Différentes applications de l'opération de toilage

- Ebavurage des angles après une opération d'usinage
- Rayonnage des angles vifs bruts d'usinage
- Polissage de rugosité
- Polissage de nettoyage, décapage
- Ajustement précis de pièce
- Retrait d'excès de matière
- Nettoyage d'une pièce au chiffon
- Applications spécifiques

1.2 Accidentologie

Le constat est tel que tous les accidents sont liés au contact de la main de l'opérateur avec la pièce en rotation mécanique. Les conséquences peuvent aller de la simple brûlure au happement d'un membre avec incapacité physique permanente.

Voici quelques exemples d'accidents ayant eu lieu dans les industries françaises aéronautiques et spatiales ces dix dernières années :

Dommages corporels	Circonstances de l'accident
Fracture du majeur nécessitant une greffe.	Toilage sur une perceuse radiale à l'aide d'un carré de toile émeri.
Plaie du pouce droit.	Toilage manuel sur tour parallèle à l'aide d'un carré de toile émeri.
Fractures multiples et divers traumatismes (incapacité permanente).	Toilage manuel sur tour parallèle d'une pièce de grande dimension à l'aide d'une bande de toile émeri.
Graves lésions au visage, bras et torse.	Opération manuelle sur tour.
Graves lésions à la main ; arrachement du majeur et de l'annulaire ; sectionnement de l'index au niveau de la première phalange et plaie sur l'auriculaire.	Toilage manuel d'une pièce sur tour en fonctionnement à l'aide d'une toile émeri.
Incapacité physique permanente.	Toilage manuel d'une pièce sur tour en fonctionnement. La manche de la tenue de travail de l'opérateur s'est prise dans le mandrin qui a conduit l'entraînement d'un membre de l'opérateur à travers la machine.

Figure 3 : Extrait de quelques accidents de travail liés au toilage

1.3 Dangers et risques du toilage

Chaque année, cette pratique inadaptée du toilage génère des accidents.

Les accidents liés au toilage concernent principalement les mains et les membres supérieurs.

- Le danger du toilage est caractérisé par la présence d'éléments mécaniques en mouvement, auxquels est associée une énergie élevée, compte tenu des vitesses et des masses en jeu.
- L'exposition est liée au fait que l'opérateur doit travailler à proximité directe des éléments mécaniques en mouvement (quelques centimètres)
- Le risque pour les opérateurs est donc l'entraînement des membres supérieurs au cours d'une opération de toilage.

Les conséquences pour l'opérateur sont les blessures, les coupures, fractures, amputations de membres partielles ou totales, hémorragie, traumatismes physiques et psychologiques.

Ce guide est conçu pour apporter des solutions de prévention lorsqu'une pièce nécessite une retouche. L'analyse des risques permet de limiter l'exposition des opérateurs aux pièces dont la nature de la retouche nécessite un entraînement mécanique.

1.4 Opérations visées par la limitation du toilage

Comme évoqué précédemment, les opérations de toilage avec usage manuel sont responsables de nombreux accidents de travail. Ce guide permet donc d'appliquer une limite quant à ces opérations afin de réduire le risque d'accident.

Les opérations concernées sont :

- Le polissage à la toile ou la feuille abrasive (toile émeri), au tampon, avec un honoir, le cassage d'angle ou d'arête, l'ébavurage
- Si elles sont réalisées sur une pièce en rotation, serrée entre les mors d'un mandrin de tour (parallèle ou vertical) ou en pinces, ou sur une perceuse à colonne
- Et si la toile ou la feuille abrasive, le tampon, le grattoir, la lime, ou tout autre outil sont tenus à la main peut entrer au contact de la pièce en rotation.

2. Recherche de suppression du risque

2.1 Suppression du risque à la source

Dans le but de réduire la gravité d'un accident lors des opérations de toilage manuel, il est recommandé d'envisager une procédure de toilage en statique (exemple : outillage portatif avec brosse) ou « à très petite vitesse », notamment pour le toilage des parties intérieures. L'employeur privilégiera alors l'utilisation de machines dédiées de faible puissance dont le temps d'arrêt est immédiat (le faible couple de la machine permet en effet l'arrêt instantané de la rotation de la pièce).

Il est de même recommandé à l'employeur de réaliser ou faire réaliser des audits réguliers des machines afin d'éviter le toilage, en :

- S'assurant du maintien en conformité de ces équipements de travail,
- Supprimant les défauts de géométrie des équipements de travail qui génèrent des opérations de toilage ou de rectification inutiles ou dangereuses,
- Identifiant celles à remplacer ou à modifier dans un but d'amélioration de la sécurité des opérateurs, de la productivité et de la qualité,
- Réalisant un entretien ou une maintenance (préventive et/ou corrective) des machines.²

La suppression du risque à la source implique l'identification des deux possibilités de toilage suivant la nature des défauts de la pièce :

- Solution de toilage avec entraînement mécanique
- Solution de toilage sans entraînement mécanique

Les solutions de toilage avec entraînement mécanique sont développées dans le logigramme ci-dessous.

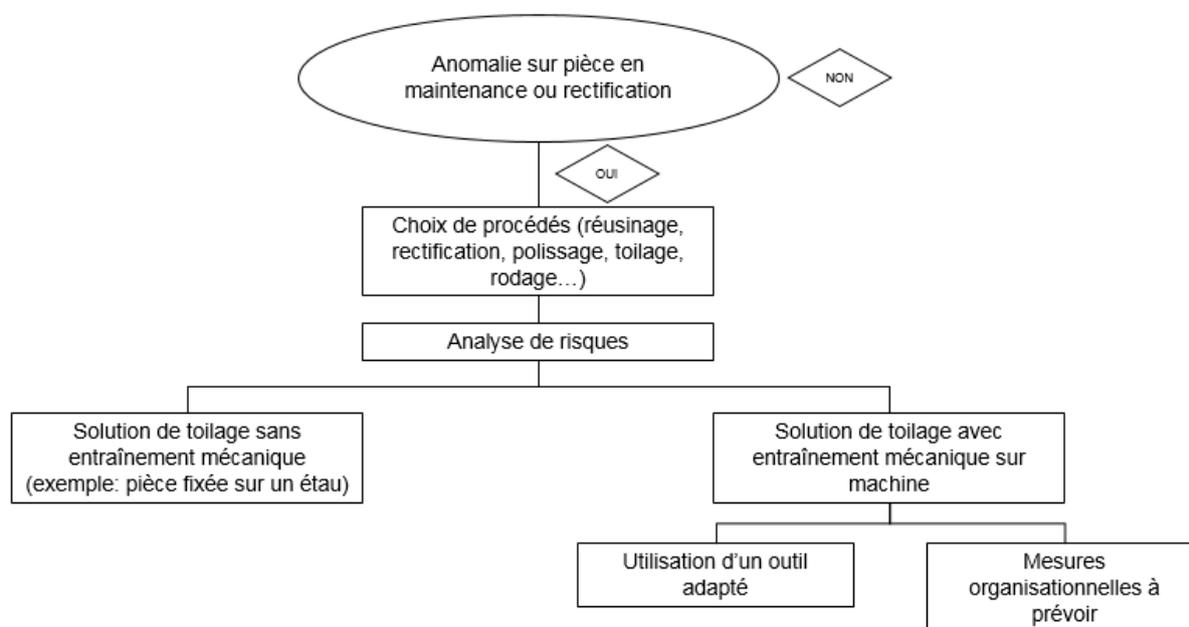


Figure 4 : Logigramme de suppression du risque

Pour toutes les opérations de toilage manuel qui n'auront pas pu être supprimées, il est recommandé à l'employeur d'étudier des solutions techniques et organisationnelles afin de réduire le risque à son niveau le plus bas possible.

2.2 Solutions de toilage sur équipement motorisé

La mesure de prévention la plus efficace consiste à réaliser les opérations de toilage sur une machine spécialement conçue pour les opérations de toilage. Il est recommandé à l'employeur d'étudier en priorité la mise en place de techniques de toilage «automatiques» (par exemple

² Recommandation R496 – Opérations de toilage sur tours horizontaux

machine de toilage spécifique CE) ou de dispositifs dédiés (outils de toilage adaptés sur tour, ajout d'un dispositif complémentaire avec entraînement de la bande, etc...).

Ces moyens doivent permettre de réaliser le toilage sans présence d'un opérateur à proximité des parties mobiles en rotation.

Lors de la mise en place d'une machine conçue spécifiquement pour les opérations de toilage, l'employeur s'assure que le fabricant a conçu sa machine conformément à la directive machines (déclaration CE de conformité, plaque CE, notice d'instructions...).

En l'absence de machines spécifiques adaptées au travail à réaliser, il est recommandé à l'employeur de vérifier ou de faire vérifier que la machine utilisée est conforme aux textes réglementaires en vigueur lors de sa première mise sur le marché (décrets 93-40 et 93-41 ou transposition de la directive machine applicable) et que les modifications apportées pour réaliser le toilage répondent aux préconisations prescrites dans le guide technique du Ministère chargé du travail du 18 novembre 2014.

Lorsqu'une machine est adaptée pour intégrer un outillage permettant de réaliser du toilage, il est recommandé à l'employeur de privilégier le maintien en fonctionnement des protections collectives prévues par le constructeur, et de rajouter, si nécessaire, des dispositifs de protection adéquats issus de l'évaluation des risques de la machine modifiée.

L'outil est choisi en fonction de l'état de surface ou de l'angle de la pièce, ainsi que l'organisation et les méthodes de travail, en voilà quelques exemples :

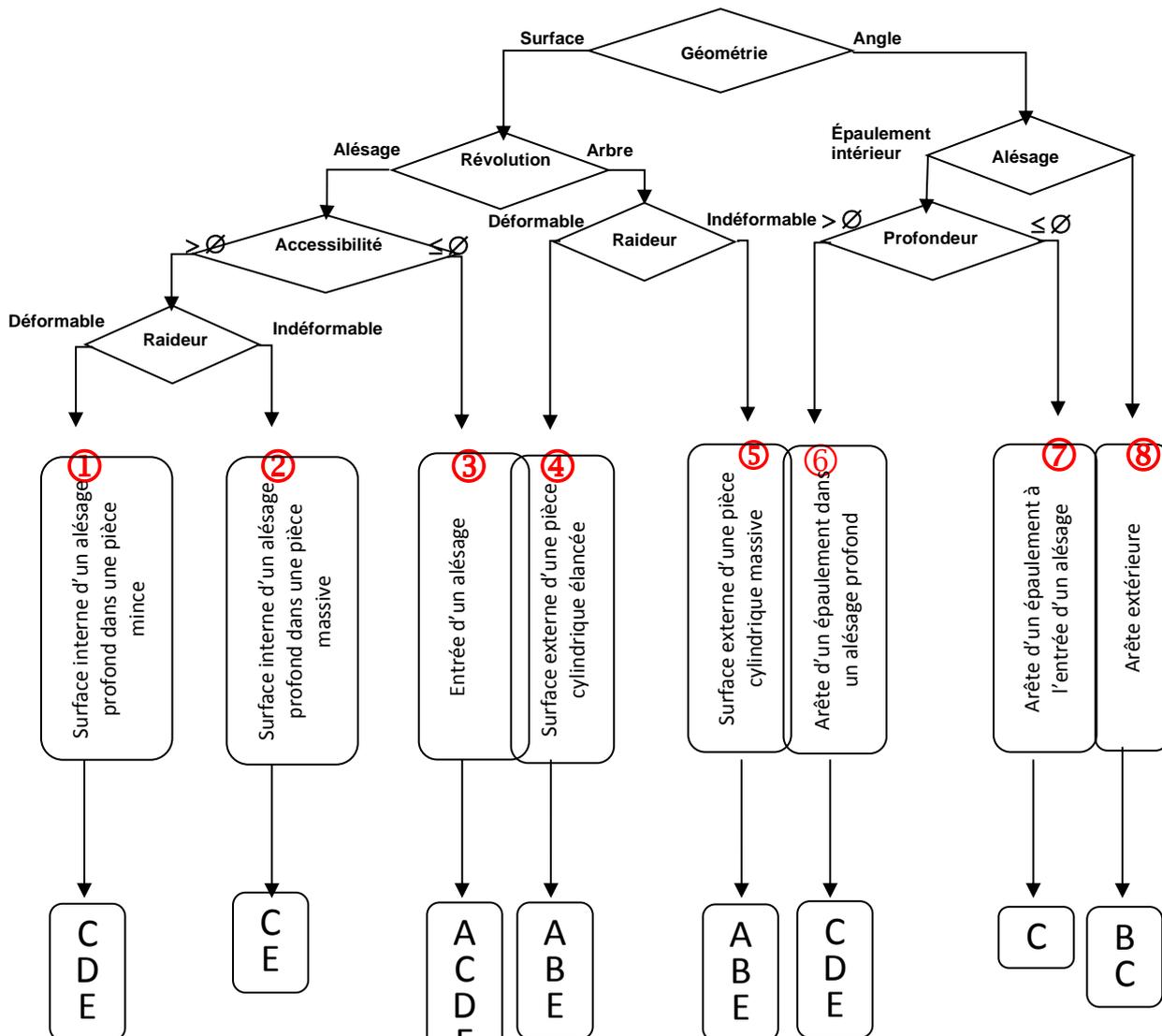


Figure 5: solutions en fonction de la nature de l'opération

Figure 6: solutions d'outils d'adaptés pour réaliser une opération de toilage en lien avec la figure 5

Référence	Principe	Croquis Photos	Géométries adaptées des pièces	Opérations possibles	Origine de la solution
A	Mandrin débrayé, machine à l'arrêt, entraînement manuel de la pièce en rotation et toilage manuel		③ ④ ⑤ ⑧	Ebavurage, finition de surface, cassage d'angle	Messier Services France
B	Montage d'une bande abrasive sur un porte-outil d'un tour conventionnel ou CN offrant la possibilité de la déplacer comme un outil sur une pièce en rotation		④ ⑤ ⑧	Ebavurage et finition de surface : effacement des marques sur un arbre dues à des copeaux coincés sous la lunette, de bavures sur des filetages ou sur des labyrinthes	Turboméca
C	Une meuleuse type Dremel est montée sur le porte outil d'un tour ; pièce et outil tournent indépendamment ; le choix de la tête ou de la brosse est fonction du besoin		① ② ③ ⑥ ⑦ ⑧	Rattrapage d'une côte sur un diamètre intérieur ; solution initialement conçue pour des pièces de petites dimensions mais adaptable	Sagem DS
D	Un système articulé et actionné à distance, monté sur la tourelle d'un tour permet de déplacer un polissoir à l'intérieur d'une surface sphérique et d'appliquer une pression constante sur celui-ci pour une super finition de polissage.		① ③ ⑥	Polissage d'une zone sphérique intérieure	Messier Dowty Bidos
E	Un outil brosse ou toile est monté dans un porte outil lui même monté sur la tourelle d'un tour ; l'outil applique un effort sur la pièce à l'aide d'un ressort qui le calibre, la pièce est en rotation.		① ② ③ ④ ⑤ ⑥	Action cosmétique d'effacement de "traces outils", par exemple à l'intérieur d'un disque compresseur	Snecma Corbeil

2.3 Suppression les opérations de toilage manuel

Après le recensement des opérations de toilage techniquement justifiées et la mise en place de moyens adaptés de toilage, il est recommandé à l'employeur de supprimer les opérations de toilage manuel (par exemple, l'utilisation de bandes abrasives pour l'ébavurage ou la finition de pièces sur tour).

L'interdiction doit être formalisée sur les machines susceptibles d'être utilisées pour des opérations de toilage manuel et accompagnée de mesures telles que communication vers les opérateurs, affichages aux postes de travail...

Il existe des machines automatisées dédiées au toilage permettant ainsi de supprimer tous facteurs humains. En voici quelques exemples :

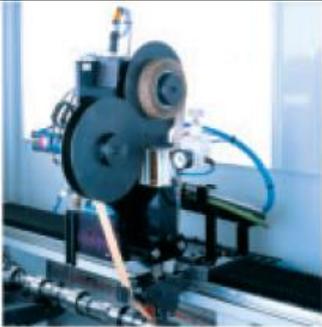
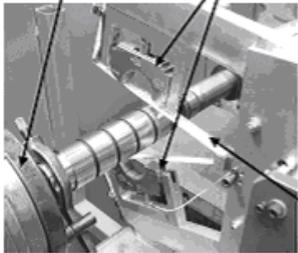
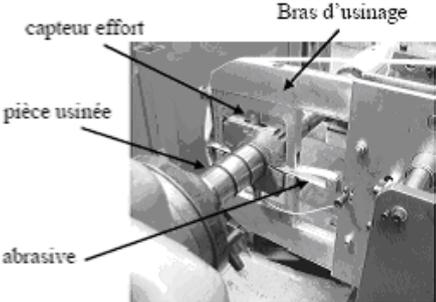
Référence	Principe	Croquis Photos	Géométries adaptées des pièces	Opérations possibles
	Superfinition par bandes abrasives		④ ⑤	Superfinition d'état de surface
	Procédé de superfinition par toilage	<p>broche du tour mâchoires</p>  <p>mâchoires ouvertes</p>	④ ⑤	Superfinition d'état de surface
		<p>capteur effort Bras d'usinage</p>  <p>pièce usinée</p> <p>abrasive</p> <p>mâchoires fermées</p>		
	Polissage au coton		④ ⑤	Polissage

Figure 7: Exemples de machines de toilage

3. Règles de mise en place des opérations de toilage

3.1 Visibilité de la limitation

Affichage :

Placer une affiche dans les ateliers de production est un bon moyen de prévenir du danger lié aux opérations de toilage manuel sur machines tournantes. Ce signal doit être permanent et visible pour tous les niveaux hiérarchiques en atelier.



Figure 8 : Affiche de prévention sur les opérations de toilage (source : GC Innovation, soutien de la CARSAT et de l'UIMM)

Fiches de sécurité au poste :

Il est conseillé de mentionner le risque du toilage sur les fiches de postes et d'y intégrer la mention « opération de toilage interdite sans outil dédié » pour mieux prévenir du risque.

Des autorisations spécifiques peuvent être ajoutées sur les fiches de poste pour favoriser le suivi de ces opérations et des opérateurs concernés.

L'objectif étant de faire passer le message : « Outil non-adapté, pas d'opération de toilage acceptée ».

3.2 Formation et information

Les formations au poste de travail doivent être complétées et adaptées pour ces opérations spécifiques.

Avant toute opération, la préconisation à appliquer doit être d'informer les opérateurs des risques liés aux opérations de toilage et des risques liés à l'utilisation d'équipements de travail en général.

Le manager désigne des opérateurs pour effectuer ces opérations, les forme aux gestes préventifs à adopter et à la manipulation d'outillages adaptés lorsque le toilage est nécessaire.

En complément des mesures techniques mises en place, l'employeur doit compléter sa démarche de prévention par des mesures organisationnelles et humaines (mode opératoire, formation...).

En particulier, il est recommandé à l'employeur de mettre en œuvre les mesures suivantes :

- signaler l'interdiction du toilage manuel,
- établir des fiches de poste spécifiques aux opérations de toilage,
- sensibiliser et former les salariés aux risques liés au toilage,
- désigner le personnel autorisé à réaliser des opérations de toilage après formation spécifique formalisée et une évaluation de la capacité à travailler en sécurité,

De manière générale, il est recommandé à l'employeur de ne pas mettre à disposition des salariés un équipement de travail sans les avoir informés de manière appropriée :

- des risques les concernant,
- des modifications éventuelles effectuées,
- des conditions d'utilisation et de maintenance,
- et des instructions ou consignes les concernant.

L'ensemble des travailleurs intervenant sur ces machines, y compris les nouveaux embauchés, le personnel occasionnel (apprentis, stagiaires, intérimaires...) et le personnel de maintenance (y compris les prestataires externes), doivent bénéficier d'actions de formation.³

3.3 Equipements de protection collective

Les équipements de protection collective permettent de protéger l'ensemble des salariés et sont dans ce sens à privilégier.

Pour le toilage sur équipement motorisé, il s'agit de mettre en place une barrière physique telle qu'un carter de protection.

Cette protection permet de protéger l'opérateur des projections de matière toillée ; des mors, toc, dont l'entraînement particulier et les formes complexes (exemples : le vilebrequin) présentent un risque pour l'opérateur.

3.4 Equipements de protection individuelle

Les équipements de protection individuelle (EPI) sont destinés à protéger le travailleur contre un ou plusieurs risques. Leur utilisation ne doit être envisagée qu'en complément des autres mesures d'élimination ou de réduction des risques.

Il est recommandé d'informer les opérateurs concernés par les opérations de toilage, sur les risques liés, puis de les former au port des équipements de protection individuelle.

Le port d'une tenue de travail et avec un vêtement de travail ajusté est nécessaire pour éviter tout risque d'aspiration par le mandrin en rotation.

Le port des lunettes de protection est recommandé pour protéger l'opérateur du risque de projection en cas de rupture de bande, grains de meule, etc.

³ Recommandation R496-Opérations de toilage sur tours horizontaux

Si l'opérateur présente une certaine longueur de cheveux, il est obligatoire de les attacher.
Enfin, le port des gants de protection est interdit pour réaliser une opération de toilage.

Glossaire

Alésage : opération qui consiste à usiner avec soin la surface intérieure d'un cylindre ou de toute autre pièce creuse.

Ebavurage : opération qui permet d'enlever l'excès de matière (bavures) sur l'angle d'une pièce métallique brute ou usinée (arête saillante).

Ecrêter : enlever la partie haute d'une pièce.

Entraînement mécanique : rotation mécanique.

Mandrin : pièce mécanique fixée au bout d'une machine rotative ; il permet la fixation rapide d'une pièce.

Mors : éléments mobiles du mandrin permettant le serrage d'une pièce à l'aide d'une clé.

Pièce déformable : pièce ayant une raideur faible.

Pièce élancée : longue pièce fine par rapport à une pièce dite « massive ».

Pièce indéformable : pièce ayant une raideur très importante.

Procédé de rectification : procédé mécanique d'usinage de surface plane ou cylindrique pour améliorer l'état de surface de la pièce.

Raideur : caractéristique qui indique la résistance à la déformation élastique d'un corps (par exemple un ressort). Plus une pièce est raide, plus il lui faut un effort important pour obtenir une déformation.

Sinusoïdale : forme apparente à celle de la variable du temps (courbe ou signal sinusoïdal(e)).

Superfinition : procédé de production qui permet d'obtenir une pièce de très haute qualité.

Surface : partie apparente d'un corps ou d'une pièce.

Toile émeri : papier abrasif utilisé dans les opérations de toilage.

Tour : machine-outil qui permet de fixer une pièce que l'on souhaite faire tourner sur elle-même pour la travailler.

Usiner : soumettre une matière brute ou dégrossie pour la façonner au moyen d'un outil ou d'une machine-outil.

Références

Documentation interne

INRS : Fiche ED 912 – Le travail sur tour

INRS : ED6243 – Toilage sur tours horizontaux

USBA – procédés de rectification d'une pièce

Légifrance

Recommandation R496

GC Innovation – Entreprise spécialisée dans la fabrication de machines et outils adaptés au toilage

Annexes

Annexe 1 – Exemple d'opérations de polissage intérieur proscrites sur pièce en rotation motorisée

Annexe 2 – Exemple d'opérations de toilage manuel proscrites avec bande abrasive sur pièce en rotation motorisée

Annexe 3 – Exemple d'opérations de toilage manuel proscrites avec outillage et tampon sur pièce en rotation motorisée

Les illustrations qui suivent ont pour vocation de présenter les situations à risque du toilage manuel (**à ne pas reproduire**) ayant déclenché les accidents et dont les actions de prévention sont explicitées dans le présent guide.

Annexe 1 – Exemples d'opérations de polissage intérieur proscrites sur pièce en rotation motorisée

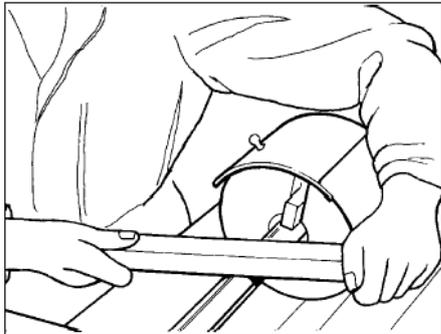


Figure n°1

Sur pièce en rotation motorisée de puissance non-adaptée

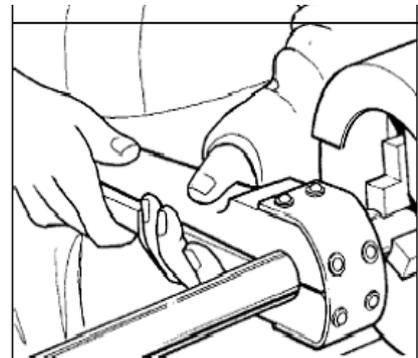


Figure n°2



Figure n°3



Figure n°4



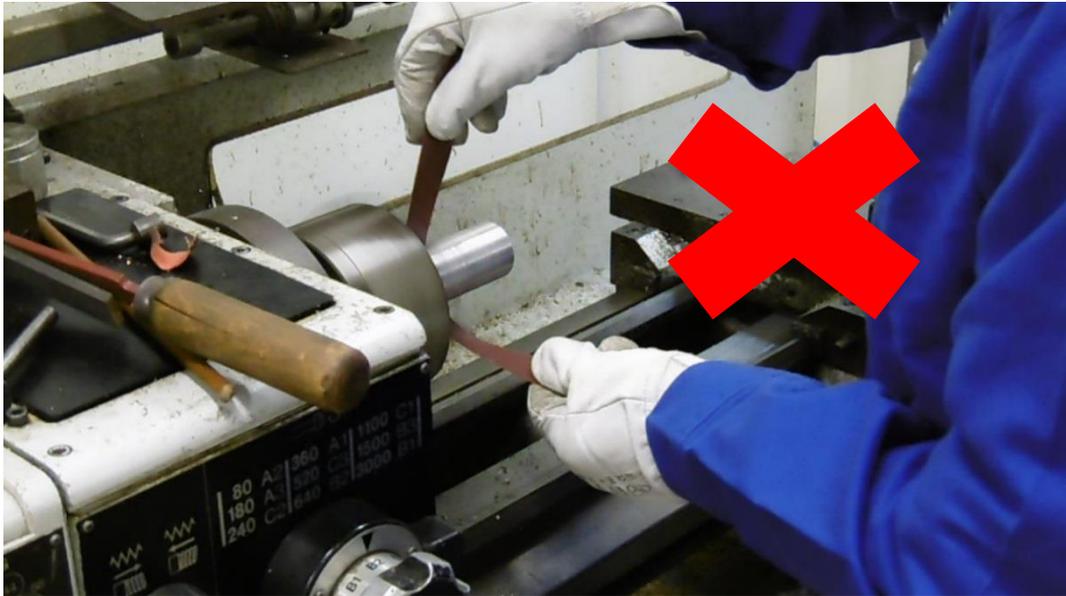
Figure n°5



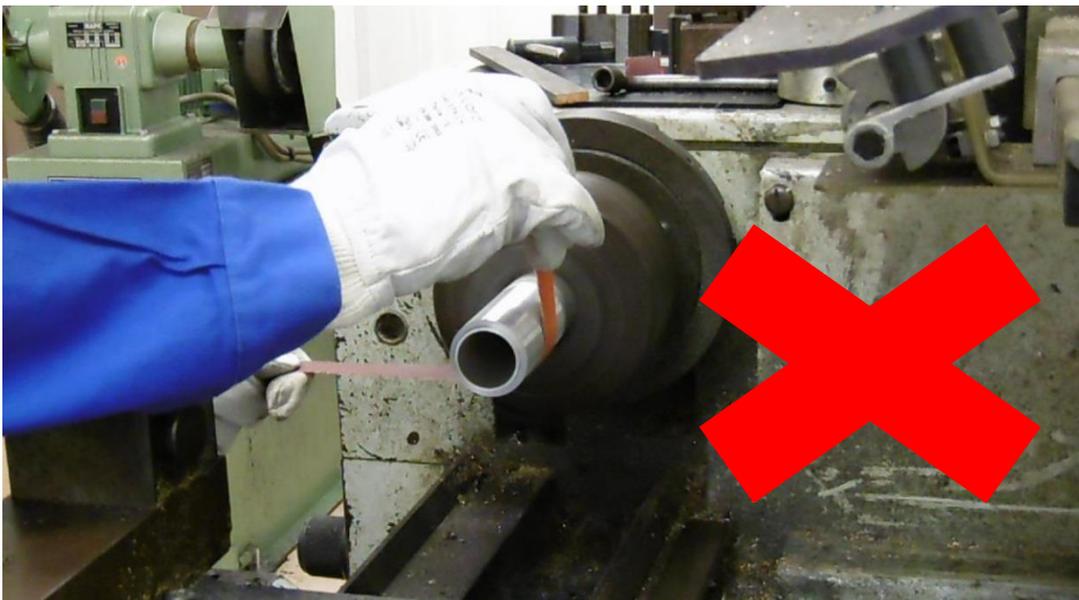
Figure n°6

Opération proscrite de polissage intérieur effectuée sur pièce en rotation sans limitation du couple d'entraînement moteur du tour.

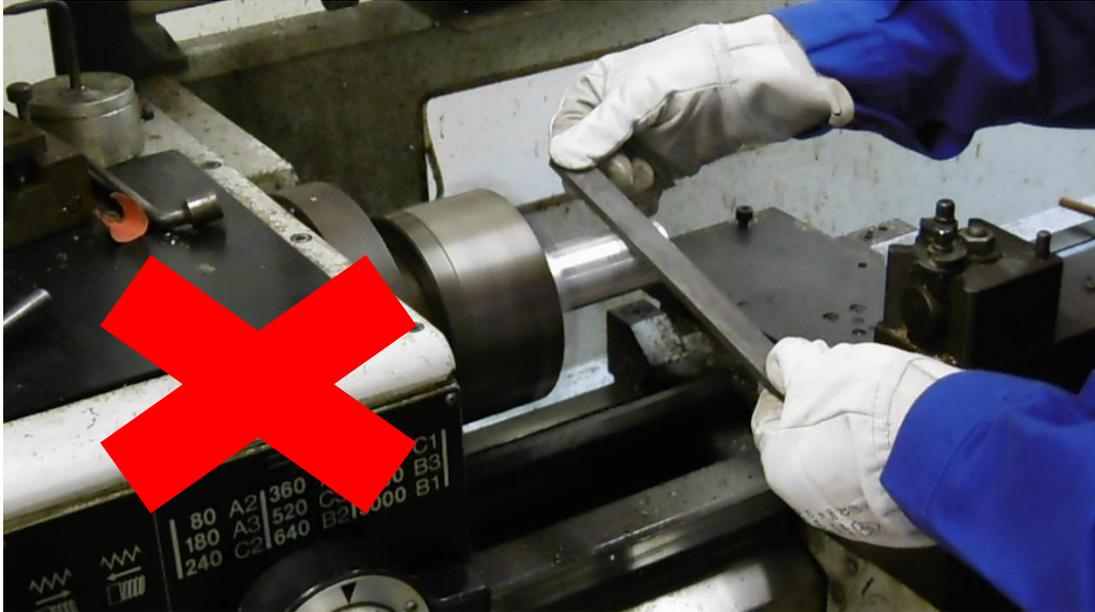
Annexe 2 – Exemple d'opérations de toilage proscrites avec bande abrasive sur pièce en rotation motorisée



Toilage sur pièce en rotation motorisée de puissance non adaptée



Annexe 3 – Exemple d'opérations de toilage proscrites avec outillage et tampon sur pièce en rotation motorisée



Toilage sur pièce en rotation motorisée de puissance non adaptée

