

# **GUIDE DES BONNES PRATIQUES EN MAGNÉTOSCOPIE**

## **Une aide pour choisir la technique la mieux adaptée**

Article rédigé par Pierre Chemin et Patrick Dubosc en mars 2012

### **1- INTRODUCTION**

La magnétoscopie est une méthode de contrôle non destructif utilisée pour détecter des discontinuités superficielles débouchantes et des discontinuités sous-jacentes (dans certaines conditions, jusqu'à quelques millimètres de profondeur), exclusivement sur matériaux ferromagnétiques.

Cette méthode d'END nécessite d'observer de bonnes pratiques pour obtenir des résultats fiables.

Vous trouverez dans cet article un certain nombre de conseils utiles. En aucun cas, cet article ne peut être considéré comme une norme ou une spécification.

Cet article est loin d'être exhaustif. Nous voulons seulement attirer votre attention sur des points qui nous semblent importants. C'est pourquoi nous vous recommandons vivement de lire les documents cités en référence, de même que les normes, spécifications et procédures publiées, ou acceptées, par vos donneurs d'ordre.

N'hésitez pas à nous faire part de vos commentaires et remarques.

Nous vous en remercions par avance.

### **2- CHOIX DU FOURNISSEUR/FABRICANT**

Il existe un grand nombre de fournisseurs et de fabricants. Autant choisir celui qui présente les meilleurs critères.

Les critères pour choisir un fournisseur/fabricant sont :

- Sa gamme de produits doit être étendue.

Le fournisseur doit être capable de fournir des produits qui satisfont à toutes, ou presque toutes les exigences des normes européennes, des normes ISO et des codes, et des produits qui sont également homologués par de nombreux donneurs d'ordre.

En effet, un utilisateur peut travailler pour différents donneurs d'ordre. Par conséquent, il est important que les produits qu'il utilise soient homologués par TOUS les donneurs d'ordre pour lesquels il travaille.

Vous savez certainement qu'il n'est pas si facile d'utiliser deux liqueurs magnétiques dans le même banc de magnétoscopie.

- Le fournisseur doit être capable de fournir des systèmes complets, c'est-à-dire, à la fois, les équipements et les produits/accessoires/mesureurs/pièces de référence.

- Il doit avoir un Département Recherche et Développement (R et D).
- Il doit avoir un support technique et d'assistance aux clients efficace.
- Il doit être efficace pour résoudre les problèmes et/ou les non-conformités qui se produisent sur la chaîne du client.
- Il doit avoir un système d'Assurance Qualité certifié ISO 9001.
- Il doit avoir un système de gestion environnementale et bénéficier de l'accréditation, en cours de validité, conformément à la norme ISO 14001.
- Il doit avoir un Responsable HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) et un Coordinateur REACH (REACH est l'acronyme pour : enRregistrement, Evaluation et Autorisation des substances Chimiques).
- Etc.

Bien sûr, cela n'est pas gratuit.

Prenez vos dispositions pour auditer votre fournisseur de produits MT tous les ans.

### **3- QUALIFICATION ET CERTIFICATION DU PERSONNEL**

Pour effectuer des contrôles fiables, le personnel (opérateurs, contrôleurs, etc.) doit acquérir les compétences nécessaires.

Une formation intra-entreprise, complétée par une formation dans des centres de formation renommés, est indispensable. En France, il faut s'attendre à ce que les centres de formation soient agréés par la Confédération Française pour les Essais Non Destructifs (COFREND). Dans la majorité des pays, les centres de formation sont homologués par des organismes de certification, et ils dispensent une formation théorique et une formation pratique.

Notez que le système de certification est assez différent aux États-Unis d'Amérique et en Europe. De grands domaines et des secteurs industriels dans le monde travaillent selon le système américain, dans lequel les Niveaux 1 et les Niveaux 2 sont certifiés par leurs employeurs, tandis que le système européen certifie même les Niveaux 1 par un organisme tiers. Évidemment, cela conduit à certaines différences dans le processus de formation. Nous décrivons ici la façon selon laquelle cela est couramment pratiqué en Europe.

Plusieurs critères sont à la base du choix d'un centre de formation :

- Tout d'abord, le secteur industriel dans lequel les stagiaires travaillent : aérospatial, fonderie, maintenance ferroviaire, etc.

- Ensuite, alors que la formation théorique dispensée par les centres de formation est pratiquement du même niveau, il peut ne pas en être de même pour la formation pratique. Cela dépend naturellement des compétences et de l'expérience industrielle des formateurs, mais aussi de la qualité et de la quantité des équipements, accessoires, pièces comportant des défauts réels ou artificiels caractéristiques, etc. disponibles. Certains centres de formation investissent massivement chaque année dans du matériel récent qui contribue substantiellement à assurer une formation appropriée et de haute qualité.
- D'autres récupèrent du matériel auprès d'industriels qui, soit renouvellent leurs équipements, soit n'en ont plus besoin. Il peut s'agir, par exemple, d'équipements de magnétoscopie qui, après révision, peuvent convenir comme outil pédagogique pour la formation.

Dans la majorité des cas, le personnel formateur est certifié conformément à la norme ISO 9712 ou selon des normes reconnues équivalentes. Néanmoins, certaines personnes extérieures, bien que non certifiées, mais avec une bonne expertise, peuvent également être des formateurs de bonne qualité.

#### **4- PRÉPARATION DE SURFACE ET NETTOYAGE PRÉLIMINAIRE**

Des contaminants peuvent affecter la sensibilité de détection des discontinuités, tels que :

- pollutions organiques : huiles, graisses, etc.
- pollutions inorganiques : dépôts cokéfiés, rouille, oxydation, oxydes formés à hautes températures, etc.

Par conséquent, il est impératif d'éliminer ces contaminants de la surface avant contrôle par magnétoscopie, sans affecter les caractéristiques mécaniques et la limite de tenue en fatigue du substrat.

Notez que si la surface des pièces n'est pas soigneusement dégraissée, la liqueur magnétique mouillera mal la surface à contrôler ce qui peut conduire à la non détection de défauts.

Si la surface à contrôler est revêtue de peinture de contraste et/ou de tout autre revêtement non ferromagnétique tel que peinture et/ou métal (par exemple zinc), l'épaisseur totale du revêtement non ferromagnétique ne doit pas excéder 50 µm pour faire un contrôle fiable. En effet, la sensibilité de détection décroît sérieusement avec l'épaisseur du revêtement non ferromagnétique.

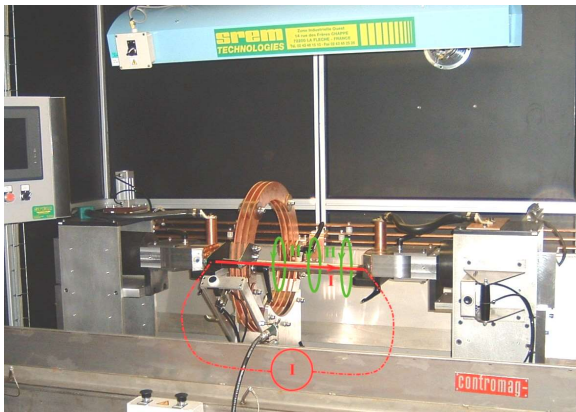
La mesure de cette épaisseur est très facile et très rapide à effectuer à l'aide d'un mesureur d'épaisseur numérique et étalonné, doté d'une sonde, intégrée ou séparée, pour alliages ferromagnétiques, conformément à la norme ISO 2808.

#### **5- TECHNIQUES D'AIMANTATION**

La magnétoscopie nécessite d'aimanter les pièces à contrôler. Plusieurs techniques d'aimantation sont disponibles, certaines d'entre elles utilisant diverses formes d'ondes électriques.

## 5.1- TECHNIQUES TRADITIONNELLES

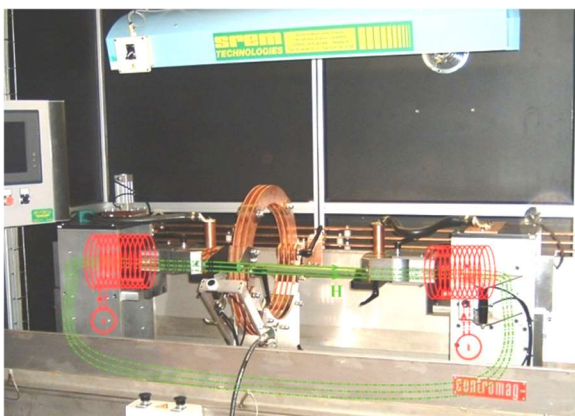
- Aimantation transversale par passage de courant



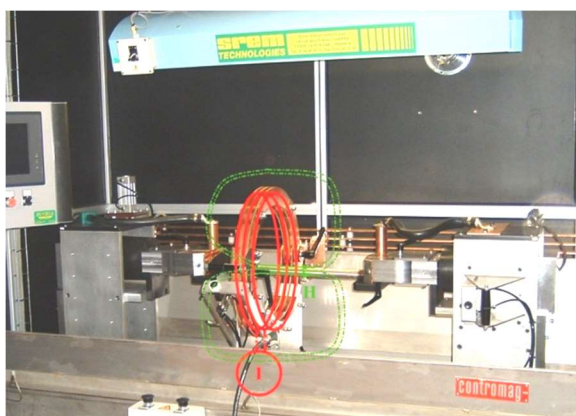
Pour réaliser l'aimantation transversale, la technique d'aimantation par passage de courant est habituellement utilisée, générant un champ magnétique circulaire autour de la pièce.

L'aimantation transversale permet de mettre en évidence les discontinuités longitudinales.

- Aimantation longitudinale par têtes magnétiques ou bobine



Pour réaliser l'aimantation longitudinale, on utilise généralement un système de têtes magnétiques disposées aux deux extrémités de la pièce ou une bobine entourant la pièce.

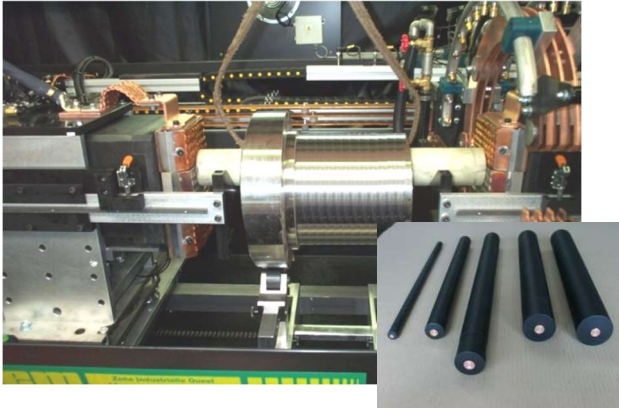


L'aimantation longitudinale permet de mettre en évidence les discontinuités transversales.

## 5.2- TECHNIQUES ALTERNATIVES

Il existe un grand nombre de techniques alternatives permettant l'aimantation des pièces. Ces techniques peuvent chercher à supprimer le risque d'amorçage d'arc important, présent lors d'un passage direct de courant, en utilisant un système d'aimantation sans contact. Elles peuvent également chercher à améliorer les cadences de contrôle en utilisant un champ magnétique tournant. On citera les deux exemples suivants :

- Aimantation à l'aide d'une broche constituée d'un conducteur traversant et d'un noyau magnétique du transformateur de courant induit



Cette technique utilisée avec des courants alternatifs sinusoïdaux permet les aimantations transversale et longitudinale de la pièce sans que celle-ci soit en contact avec le système d'aimantation. Si l'on utilise des courants déphasés, les aimantations transversale et longitudinale peuvent être appliquées simultanément pour générer un champ tournant sur la pièce.

- Aimantation par champ tournant en chambre (2) (3) (4)



La chambre d'aimantation par champ tournant permet de générer, sur toute la surface à contrôler de la pièce, un champ magnétique de direction variable dans le temps, sans que la pièce soit en contact avec le système d'aimantation. Cette technique est seulement utilisable avec des courants alternatifs sinusoïdaux et possède un certain nombre de limitations.

Dans le cas où les courants alternatifs sinusoïdaux ne sont pas autorisés, il est toujours possible d'utiliser un conducteur traversant ou une bobine pour aimanter une pièce sans contact, mais dans ce cas il n'est pas possible de générer un champ tournant.

D'autres techniques moins courantes, tels que l'aimantation rémanente ou l'utilisation d'aimants permanents<sup>(1)</sup>, peuvent être également intéressantes dans certains cas particuliers. Cependant, ces techniques ne sont pas préconisées dans les normes ISO.

### 5.3- PRINCIPALES FORMES DU COURANT D'ALIMENTATION

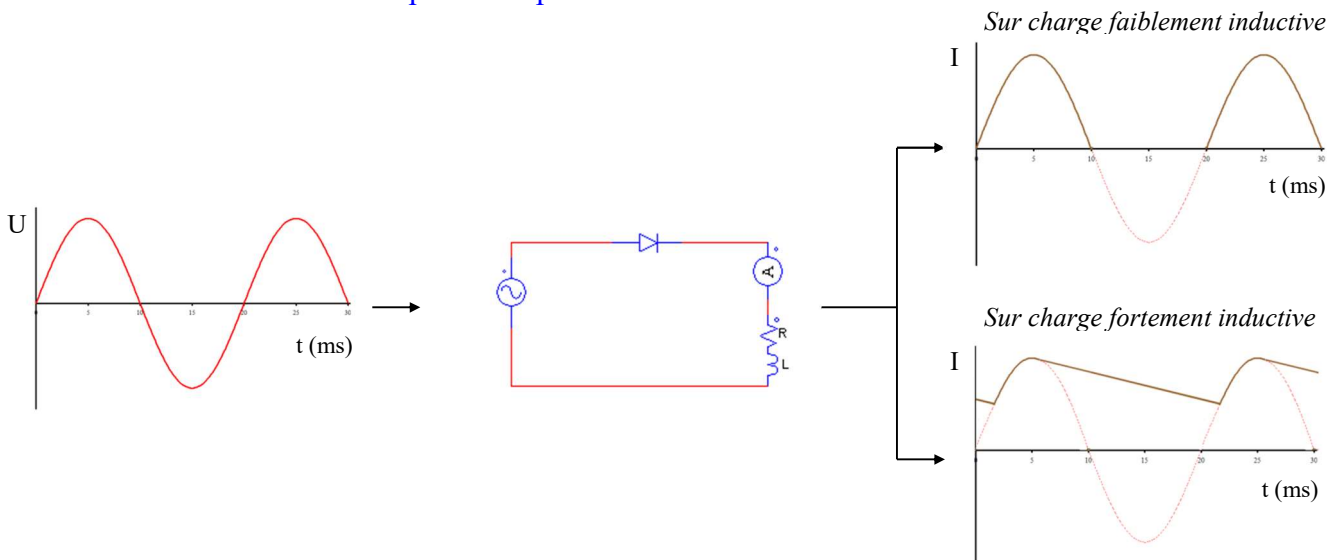
Dans la majorité des cas, le courant électrique est utilisé pour créer le champ magnétique qui permettra d'aimanter les pièces. Les principales formes utilisées de courant électrique sont :

- Le courant alternatif sinusoïdal.
- Le courant alternatif monophasé redressé 1 alternance (R1A) ou courant pulsé.
- Le courant alternatif monophasé redressé 2 alternances (R2A).
- Le courant triphasé sinusoïdal redressé 2 alternances ou courant alternatif tri-hexaphasé.
- Le courant continu.

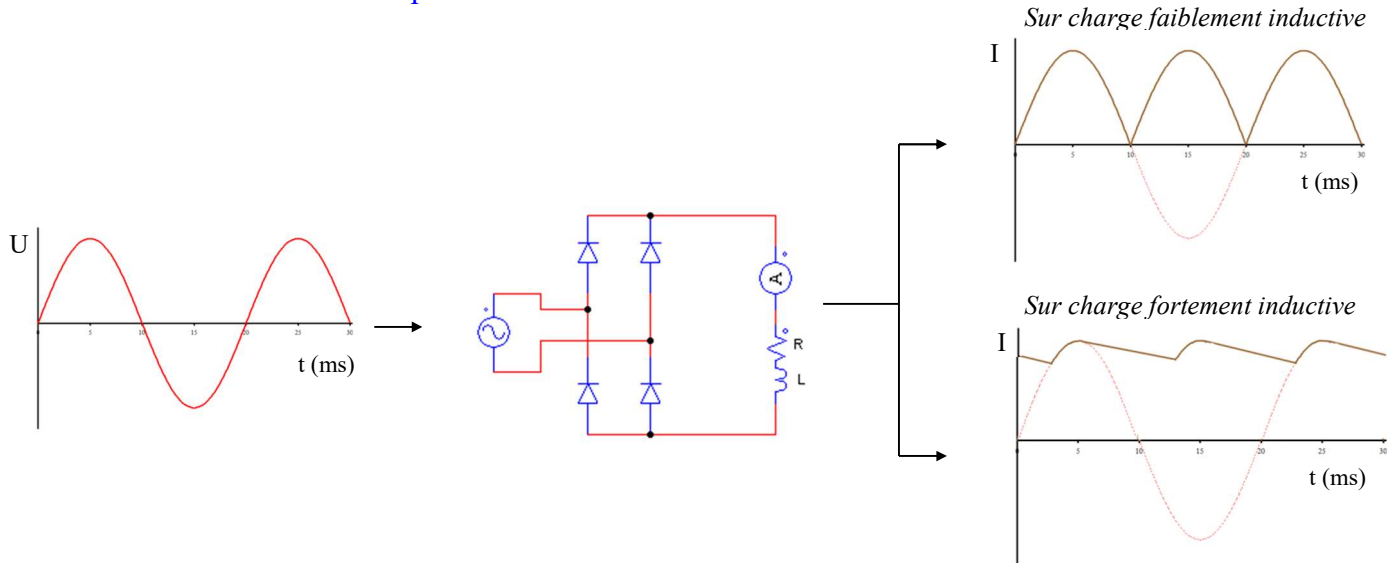
Le courant alternatif sinusoïdal convient bien pour la détection de discontinuités débouchantes en surface, alors que le courant continu et les courants redressés pourront permettre, sous certaines conditions, la détection de discontinuités sous-jacentes. Plus la composante continue d'un courant redressé sera importante, plus la détection de défauts profonds sera possible. Cependant, il est impossible de déterminer précisément la profondeur de détection car celle-ci dépend également grandement de la taille du défaut et de la valeur du champ magnétique auquel il est soumis.

Les courants redressés sont généralement obtenus à l'aide de montages électroniques à diodes plus ou moins complexes suivant la nature du redressement souhaité :

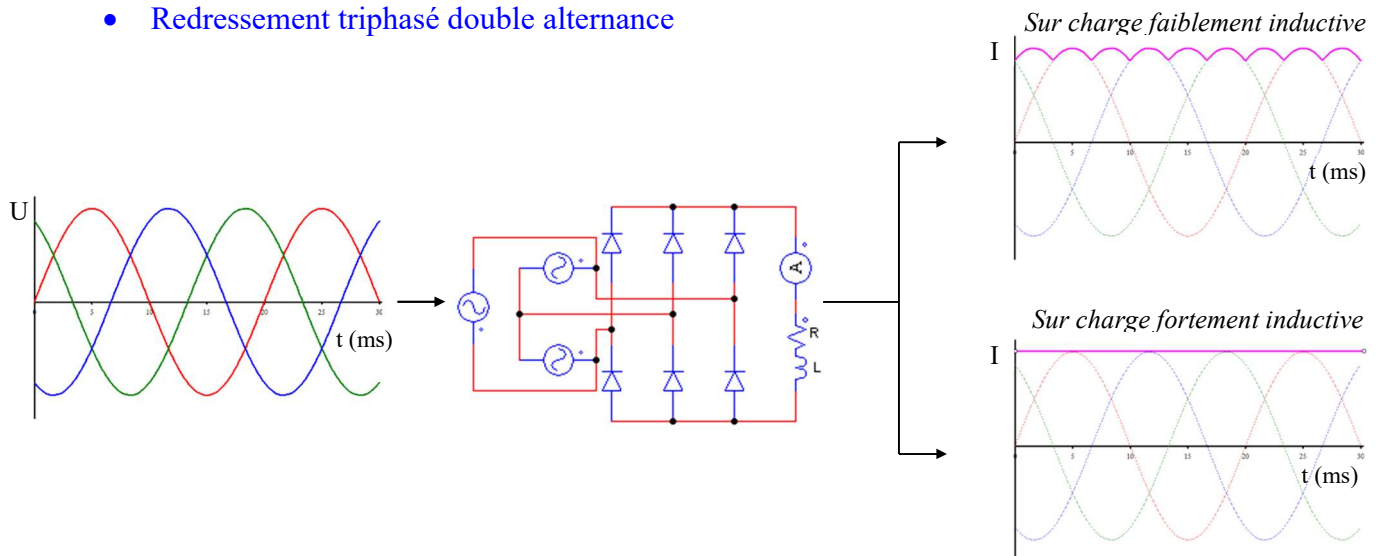
- Redressement monophasé simple alternance



- Redressement monophasé double alternance



- Redressement triphasé double alternance



Il est important de noter que la forme réelle du courant est très nettement dépendante de la nature de la charge. En magnétoscopie, la charge peut être faiblement inductive dans le cas par exemple d'un passage de courant direct dans la pièce ou de l'utilisation d'un conducteur traversant. Cependant, la charge peut devenir beaucoup plus inductive dans le cas de l'utilisation d'une bobine, ce qui a pour conséquence de lisser le courant dans celle-ci (voir schéma redressement). Plus la bobine comporte de spires ou est bien couplée avec la pièce à contrôler, plus la charge deviendra inductive et plus l'effet de lissage du courant sera amplifié. Un cas extrême concerne par exemple l'alimentation des têtes magnétiques continues qui sont composées d'un très grand nombre de spires bobinées directement sur un noyau magnétique. Dans ce cas, la charge est tellement inductive qu'il est possible d'obtenir dans celle-ci un courant continu (très faible ondulation) en utilisant un simple montage redresseur double alternance.

La forme du champ magnétique étant directement liée à la forme du courant qui le génère, il est possible d'utiliser un mesureur de champ magnétique tangentiel avec affichage graphique de la courbe pour connaître la forme exacte du courant.

## 6- VÉRIFICATION DES CONDITIONS D'AIMANTATION

La vérification de l'aimantation est effectuée en mesurant l'intensité du champ magnétique tangentiel.

Les spécifications applicables stipulent les valeurs requises. Il peut s'agir de valeurs crêtes, comme souvent en aéronautique, ou de valeurs efficaces, comme cela peut être le cas pour l'automobile, le nucléaire, etc.

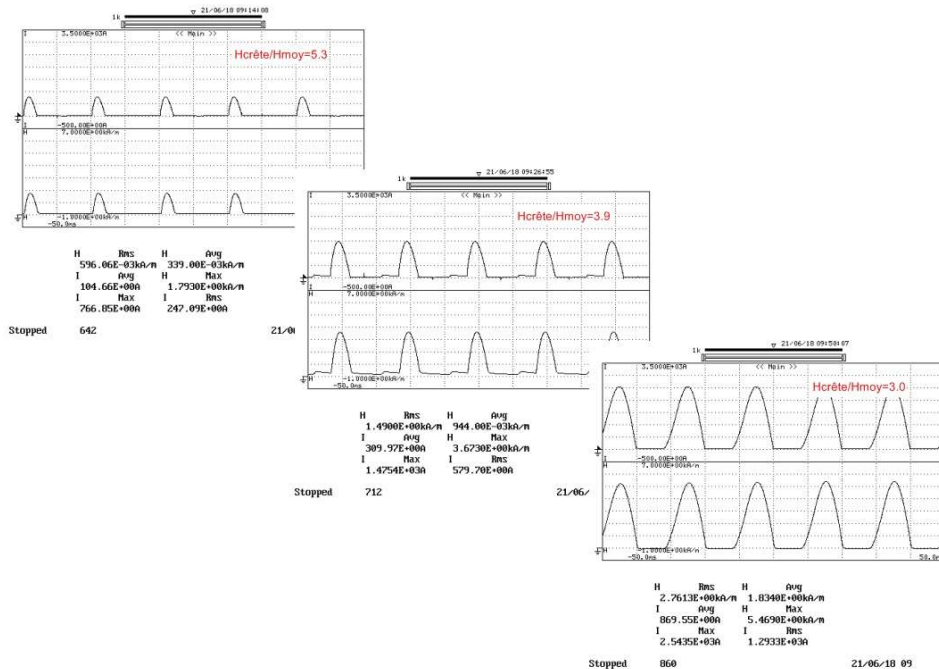
D'où la nécessité d'utiliser des mesureurs numériques étalonnés de champ magnétique tangentiel affichant les valeurs crêtes et les valeurs efficaces (photos ci-dessous).



*Mesureur numérique de champ magnétique tangentiel affichant simultanément les valeurs : moyenne, crête vraie et efficace vraie*

De plus, dans le cas de l'utilisation de courants hachés par thyristors qui génèrent des formes d'onde très éloignées de la forme sinusoïdale, il faut absolument utiliser des mesureurs qui affichent les valeurs efficaces vraies dites « TRMS » (True Root Mean Square) et des valeurs

crêtes vraies dit « TP » (True Peak). De même, l'utilisation de tableaux de conversion tels que celui fourni dans le tableau 1 de la norme ISO 9934-1 est à proscrire car l'application de tels coefficients conduits à de grossières erreurs comme on peut s'en rendre compte dans l'exemple suivant, où le coefficient  $\pi$  entre  $H_{\text{crête}}$  et  $H_{\text{moyen}}$  ne peut s'appliquer que lorsque les thyristors sont totalement ouverts (pleine onde).



Pour la vérification purement qualitative des conditions d'aimantation, des témoins d'aimantation <sup>(1)</sup> sont utilisés. Les témoins d'aimantation souples du type languette déformable donnent une information concernant les conditions d'aimantation. Ces témoins sont de nos jours commercialisés mais soit sous d'autres noms de marque déposées, soit en tant que témoins d'aimantation souples du type languettes déformables <sup>(1)</sup>.

Si la technique par aimantation résiduelle est utilisée, il n'est pas possible de mesurer le champ magnétique tangentiel. En effet, le champ qui s'échappe est un champ « axial », perpendiculaire à la surface, et non tangent à la surface <sup>(1)</sup>.

Depuis un certain temps, des mesureurs numériques d'induction/champ magnétique résiduel existent (photo ci-dessous). Ils permettent de vérifier l'induction rémanente apparente de la pièce (extrêmement liée à la géométrie et au rapport longueur/diamètre de la pièce) <sup>(1)</sup>.



Mesureur numérique soit d'aimantation rémanente, soit de champ magnétique rémanent

## 7- PRODUITS

Ils doivent être fiables. Leur qualité et leur performance doivent être stables au cours du temps et lot après lot. Cela suppose que le fabricant soit en mesure de détecter toute dérive.

De son côté, l'utilisateur doit également être en mesure de détecter de tels problèmes afin de mettre en évidence une éventuelle défaillance de son fournisseur.

### 7.1- GESTION DES PRODUITS

Un certain nombre de points méritent une attention particulière. Tout spécialement, vérifiez que :

- Les Certificats de conformité des produits comportent au moins le nom du produit, son numéro de lot, sa date de péremption<sup>(4)</sup>, la référence aux normes/codes/spécifications applicables, éventuellement sa date de fabrication, etc.
- les Procès-Verbaux d'Essais en Laboratoire comportent au moins :
  - Le nom du produit.
  - Le numéro de lot.
  - La date de péremption.
  - La référence aux normes/codes/spécifications applicables.
  - La description des essais et leurs méthodes d'essais normalisées applicables.
  - Les valeurs des limites inférieures et supérieures acceptables.
  - Les résultats d'essais.
  - etc.
- Le cas échéant, les certificats d'analyse des halogènes, du soufre, etc.

La gestion des lots de produits est importante et doit tenir compte des dates de péremption. Cela nécessite de ranger soigneusement les produits au magasin et de sortir les produits dont les dates de péremption sont les plus proches à venir. Certains pensent que la règle est : « Premiers rentrés, premiers sortis ». Cela suppose que les produits livrés comportent une date de péremption qui ne soit pas antérieure à celle des mêmes produits livrés antérieurement. Cependant, il est déjà arrivé que certains fournisseurs, dont les magasins étaient mal gérés, ne respectent pas cette règle à la lettre.

Par conséquent, à réception d'une livraison, l'utilisateur doit soigneusement vérifier :

- Que l'emballage est en bon état.
- Que les données sont concordantes (étiquettes, certificats, rapports d'essais).

- Que les produits livrés ne sont pas périmés, comme déjà vu.

À notre avis, la durée de vie résiduelle d'un produit lors de sa livraison, comme l'exigent certains donneurs d'ordre, doit être d'au moins six mois avant sa date d'expiration.

La date de péremption, fixée par le fabricant, suppose que le produit soit conservé dans les conditions prescrites par le fabricant telles qu'elles sont mentionnées, à l'alinéa 7. 2 – *Stockage*, de la fiche de données de sécurité établie conformément à l'Annexe II *Guide d'élaboration des fiches de données de sécurité* du Règlement (CE) N° 1907/2006<sup>(6)</sup>.

Comme règle de sécurité, les quantités de produits sorties du magasin doivent être utilisées le jour même.

## **7.2- COMPATIBILITÉ DES PRODUITS AVEC LES MATÉRIAUX**

La magnétoscopie étant une méthode de contrôle non destructif <sup>(7)</sup>, il en ressort que les produits indicateurs ne doivent pas exercer d'action néfaste sur les matériaux sur lesquels ils sont appliqués.

La norme ISO 9934-2 stipule des essais de corrosion induite, sur l'acier et le cuivre, par les produits indicateurs.

Dans le cas d'utilisation d'une liqueur magnétique à base aqueuse, l'utilisateur doit vérifier les données relatives dans la fiche technique du produit. Bien souvent, les fabricants ont des produits avec des performances différentes de protection contre la corrosion.

Ceux qui offrent la meilleure protection doivent être utilisés sur les pièces finies, alors que ceux qui assurent une moins bonne protection contre la corrosion peuvent convenir pour des pièces qui seront usinées ultérieurement. Néanmoins, ne pensez pas uniquement « qu'aux pièces », mais aussi à « l'équipement » : les produits à base aqueuse ne doivent, en aucun cas, corroder l'équipement !

## **7.3- CRITÈRES DE CHOIX DES PRODUITS INDICATEURS**

Il existe plusieurs critères de choix des produits indicateurs appropriés et nous avons déjà publié plusieurs articles traitant de ce sujet, en donnant de nombreux exemples <sup>(8)(9)(10)</sup>.

## **7.4- UTILISATION DES PRODUITS**

L'utilisateur doit se conformer aux procédés stipulés dans les normes et spécifications applicables.

La magnétoscopie exige de travailler dans un environnement propre et bien entretenu.

Propre et bien entretenu signifie :

- La surface des pièces doit être propre et exempte de substances étrangères.
- Le poste de travail doit être propre.

- Les mains de l'opérateur/du contrôleur doivent être propres. Ne pas consommer de denrées alimentaires quelles qu'elles soient en effectuant un contrôle par magnétoscopie.
- Les produits doivent être utilisés conformément aux instructions prescrites à l'alinéa 7.1 – Manipulation et, le cas échéant à l'alinéa 7.3 - Utilisation(s) particulière(s), de la fiche de données de sécurité établie conformément à l'Annexe II *Guide d'élaboration des fiches de données de sécurité* du Règlement (CE) N° 1907/2006 <sup>(6)</sup>.

Le stockage des générateurs d'aérosols <sup>(11)</sup> nécessite de respecter certaines règles.

Travailler proprement consiste, par exemple, à n'appliquer les produits que sur les zones à contrôler, autant que possible, et à n'en appliquer que la quantité la plus faible possible.

L'application des produits nécessite d'observer quelques précautions :

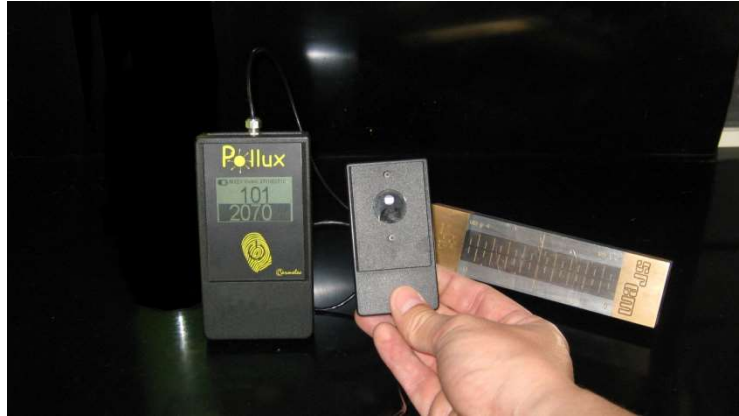
- La peinture de contraste doit être agitée vigoureusement avant emploi et appliquée en couche mince, uniforme et continue. Il faut éviter les coulures et les surépaisseurs.
- La liqueur magnétique doit également être agitée vigoureusement avant emploi.
- L'utilisateur doit respecter la concentration recommandée d'emploi : poudre magnétique en suspension dans un liquide porteur organique, concentré de liqueur magnétique pour mise en suspension dans un liquide porteur aqueux ou organique, etc. Utiliser un produit indicateur à une mauvaise concentration peut entraîner une chute notable de la sensibilité du produit indicateur.

Généralement, le produit indicateur est appliqué juste avant et pendant l'aimantation (technique simultanée). L'application du produit indicateur doit être arrêtée AVANT la fin de l'aimantation, sinon les particules magnétiques retenues par les fuites de flux magnétique peuvent être délavées par le liquide porteur en excès.

La liqueur magnétique doit être laissée égoutter pour améliorer la détectabilité des indications.

## **8- CONDITIONS D'ÉCLAIRAGE ET D'OBSERVATION**

Les conditions d'observation sont stipulées dans les spécifications applicables. Si ce n'est pas le cas, il est possible de se référer à la norme ISO 3059 qui décrit précisément les conditions d'observation. D'une manière générale, lors de l'utilisation de produits indicateurs non fluorescents, l'éclairage lumineux sur la surface d'essais doit être supérieur ou égal à 500 lx. Lors de l'utilisation de produits indicateurs fluorescents, l'éclairage énergétique UV-A doit être supérieur à 10 W/m<sup>2</sup> avec un niveau de lumière visible ambiante inférieur à 20 lx. Les conditions d'observation doivent être contrôlées périodiquement à l'aide d'un radiomètre/luxmètre numérique étalonné.



*Radiomètre/luxmètre numérique affichant simultanément les valeurs de l'éclairement lumineux et de l'éclairement énergétique (UV-A).*

L'examen des pièces est la phase la plus critique. En effet, le contrôleur doit concentrer toute son attention sur les pièces, observer, interpréter les indications, puis accepter ou rebuter les pièces.

Un contrôle fiable nécessite que :

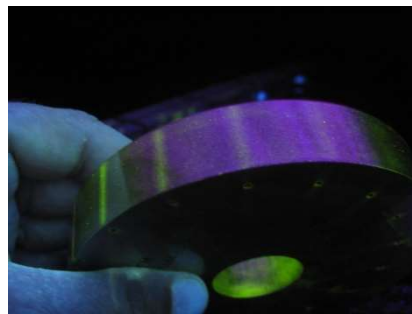
- Le contrôleur dispose de suffisamment de place pour son travail.
- L'examen de la vision du contrôleur soit effectué périodiquement. Par exemple, la norme EN 4179 stipule : tous les ans pour la vision proche et au moins tous les cinq ans pour la perception des couleurs.  
Il ou elle doit concentrer tout son attention au travail, ce qui nécessite d'avoir eu un sommeil réparateur ou de ne pas être tracassé(e) par des soucis personnels ou professionnels.
- Aucun éblouissement ne doit nuire à sa vision, que les produits indicateurs soient fluorescents ou non.
- En cabine d'examen UV-A, le contrôleur doit observer un temps d'adaptation à l'obscurité des yeux avant de commencer le contrôle. Des lunettes anti-UV sont recommandées, tandis que les lunettes photochromiques sont interdites.
- Dans une cabine d'examen UV-A, il ne doit pas y avoir de surfaces fluorescentes ou réfléchissantes.
- La zone d'examen doit être propre. En particulier, aucune fluorescence parasite n'est acceptée, car elle est préjudiciable à l'aptitude du contrôleur à effectuer un travail convenable.

- Ne pas porter des vêtements et gants fluoresçant sous rayonnement ultraviolet (UV-A).

## 9- PERFORMANCE GLOBALE DU SYSTÈME

Le contrôle de la performance globale du système est effectué avec une pièce de référence comportant des défauts connus (naturels ou artificiels).

À titre d'exemple de pièce de référence avec défauts artificiels utilisée, citons le KETOS RING <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup> ou disque similaire dans le cas d'utilisation de courant triphasé sinusoïdal redressé 1 ou 2 alternances.



En l'absence de pièces de référence, il est possible d'utiliser des témoins d'aimantation tels que témoin de Berthold, témoin ASME, témoins d'aimantation souples du type languette déformable, etc.



La performance globale du système est contrôlée en effectuant des essais comparatifs, entre les produits indicateurs en cours d'utilisation et les mêmes produits neufs et non utilisés, en observant exactement les mêmes paramètres de la gamme de magnétoscopie, quotidiennement avec les premières pièces et en fin de poste ou de journée pour que les opérateurs soient certains que toutes les pièces ont été traitées conformément aux critères spécifiés.

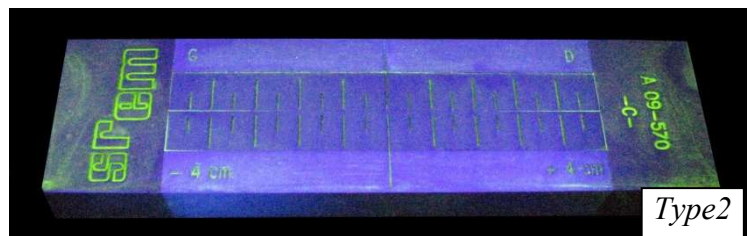
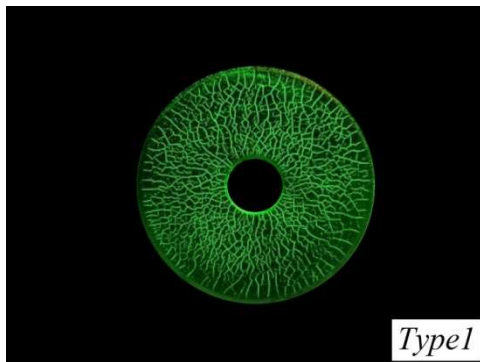
Pour obtenir des résultats reproductibles, les pièces de référence doivent être nettoyées immédiatement après chaque essai. Ce nettoyage ne doit pas modifier les fissures.

Notez également dans les industries automobiles l'utilisation de pièces dites « fantômes » <sup>(10)</sup> dans les lots de pièces à contrôler. Ces pièces fantômes comportent des discontinuités caractéristiques que le contrôleur devra IMPÉRATIVEMENT rebuter. Dans le cas contraire, le contrôle risque de ne pas être fiable.

## 10- VÉRIFICATION DES PRODUITS EN SERVICE

Une vérification périodique des produits en service est requise pour s'assurer de leur conformité aux normes et aux spécifications applicables et garantir la fiabilité de détection des discontinuités. Ces vérifications concernent essentiellement les produits indicateurs en service utilisés dans des installations manuelles, semi-automatiques et automatiques. Cependant, elles ne s'appliquent généralement pas aux produits « à usage unique », tels que ceux conditionnés en générateurs d'aérosols.

Cette vérification est effectuée généralement avec les pièces de référence Type 1 et Type 2 de la norme ISO 9934-2<sup>(14)</sup>. Concernant la pièce de référence Type 2, nous vous recommandons de lire l'article<sup>(15)</sup>.



Certaines spécifications stipulent, en particulier pour les produits indicateurs utilisés sur banc de magnétoscopie, le contrôle du volume décanté ou de la teneur en particules magnétiques. Cette vérification est effectuée à l'aide d'un tube de centrifugation, souvent en forme de poire. Cependant, n'oubliez pas que les solides qui sédimentent comprennent les particules magnétiques, mais aussi bien d'autres particules solides, entraînées par les pièces, par exemple, de la poussière, etc. Une valeur du volume décanté dans la bonne fourchette ne signifie pas qu'il y a la quantité demandée de particules magnétiques, ou que ces particules n'ont pas été endommagées par les pompes, enlevant le pigment fluorescent des particules.



Se reporter aux normes et spécifications applicables pour les autres tests.

Notez que certains fabricants peuvent accepter de prolonger la durée limite de stockage<sup>(5)</sup> d'un produit. Rien n'interdit à un utilisateur de demander au fabricant.

Cette procédure n'est applicable qu'aux produits qui n'ont jamais été utilisés, qui ont été conservés en emballages d'origine hermétiquement clos dans des conditions appropriées de stockage.

Avant d'entreprendre cette démarche, mieux vaut s'assurer que le produit semble en bon état. Par exemple, vérifiez que le débit d'un générateur d'aérosol est continu sans à-coup, et assurez-vous de l'absence de colmatage au niveau de la buse de pulvérisation et de la valve. Vérifiez l'absence d'odeur anormale, de séparation, de turbidité, etc. d'un produit liquide.

Dans le cas contraire, inutile d'entreprendre une telle démarche.

Néanmoins, n'oubliez pas que le pigment fluorescent (enrobé d'une résine époxy polymérisée à chaud) collé sur les particules magnétiques est lentement solubilisé par tout liquide porteur (organique ou eau). Cela empêche l'utilisateur de garder un produit même inutilisé pendant trop longtemps.

## 11- TRAITEMENT DES EFFLUENTS

Les produits MT génèrent des effluents gazeux, liquides ou des déchets solides, et leur traitement ne constitue pas un quelconque obstacle à la méthode. En effet, les procédés de traitement sont utilisés depuis des décennies et donnent des résultats convenables.

Les effluents gazeux ne nécessitent généralement pas de traitement particulier car ils sont de moins en moins importants en volume.

En effet, la *Directive n° 1999/13/CE* <sup>(16)</sup>, modifiée par la *Directive n° 2004/42/CE*, vise à la *réduction des émissions de composés organiques volatils* <sup>(17)</sup> dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

Les fabricants de produits MT ont fait de sérieux efforts en ce sens, par exemple, en remplaçant les gaz liquéfiés de pétrole (GPL), utilisés comme agents propulseurs, par du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) <sup>(18) 19)</sup> dans les générateurs d'aérosols.

Plusieurs techniques sont utilisées pour le traitement des eaux usées <sup>(20) (21)</sup>.

Les déchets solides ne posent pas de problèmes. Les techniques préférées sont :

- L'incinération des chiffons et des papiers.
- La mise en décharge réglementaire des déchets solides.

## 12- CONFORMITÉ AUX PARAMÈTRES DE TRAITEMENT

La magnétoscopie nécessite la vérification d'un certain nombre de paramètres pour garantir la fiabilité de détection des discontinuités.

C'est en fait un vrai régal pour les auditeurs et une sorte d'épée de Damoclès qui plane sur la tête des audités, qui craignent de se voir infliger un ou plusieurs rapports de non-conformité (RNC).

Nous ne voulons pas donner de chiffres, concernant la périodicité ou les limites acceptables : les utilisateurs doivent se conformer aux normes et spécifications applicables, car chaque donneur d'ordre a ses propres exigences <sup>(30)</sup>.

Ces paramètres peuvent être :

- L'intensité (I) ou la force magnétomotrice (N.I) d'aimantation/désaimantation.
- Les conditions d'éclairage au poste de travail.
- La précision des minuteriers (une exigence NADCAP).
- L'essai de courant de fuite, le bouton-poussoir en position « allumé », sans aucune pièce serrée entre les têtes. Ensuite, le même essai avec une pièce en matériau non conducteur (bois) entre les têtes (une exigence Boeing BSS7040).
- Le temps de décroissance de la coupure rapide de type "Quick Break", si le banc de magnétoscopie en est doté (une exigence NADCAP).
- Les divers aspects fonctionnels du banc de magnétoscopie et leur automatisation (durée et pression de pulvérisation, éjection des pièces mauvaises, sécurités).

### 13- DÉSAIMENTATION

Après contrôle magnétoscopique, les pièces conservent une aimantation rémanente plus ou moins importante selon la forme de l'onde du courant utilisé, son intensité, la forme des pièces, l'alliage utilisé, etc.

Parfois, cette aimantation rémanente peut être un problème et une désaimantation peut être nécessaire en fonction des étapes suivantes de traitement/fabrication de la pièce ou de son utilisation. Ci-après des valeurs maximales généralement tolérées :

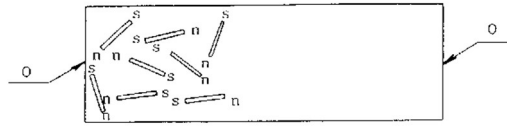
| Opération         | Aimantation rémanente (mT) | Champ rémanent (A/m) |
|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Usinage très fin  | 0,8                        | 600                  |
| Usinage classique | 1,2                        | 1000                 |
| Soudage           | 3                          | 2500                 |

*Les valeurs indiquées ci-dessus sont données à titre indicatif et sont surtout utiles pour les utilisateurs qui doivent désaimanter les pièces mais qui ne connaissent pas la valeur à satisfaire (il ne s'agit pas d'une spécification).*

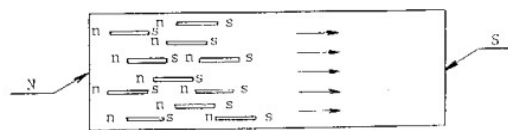
La stipulation d'une valeur très faible d'aimantation résiduelle doit tenir compte de la présence du champ magnétique terrestre et de la capacité de certaines géométries de pièces à canaliser et à amplifier celui-ci.

#### 13.1- PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES MACROSCOPIQUES

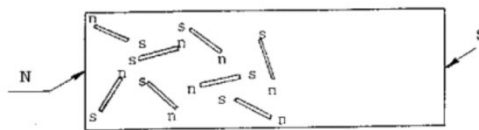
Les matériaux ferromagnétiques n'ayant jamais été dans un champ magnétique intense sont constitués de petits moments magnétiques qui sont assimilables à de petits aimants orientés Nord-Sud ou Sud-Nord. Tous ces moments magnétiques sont orientés de manière aléatoire et la résultante est nulle.



Lorsque le matériau ferromagnétique se trouve dans un champ magnétique, tous les moments magnétiques sont parallèles au champ magnétique.



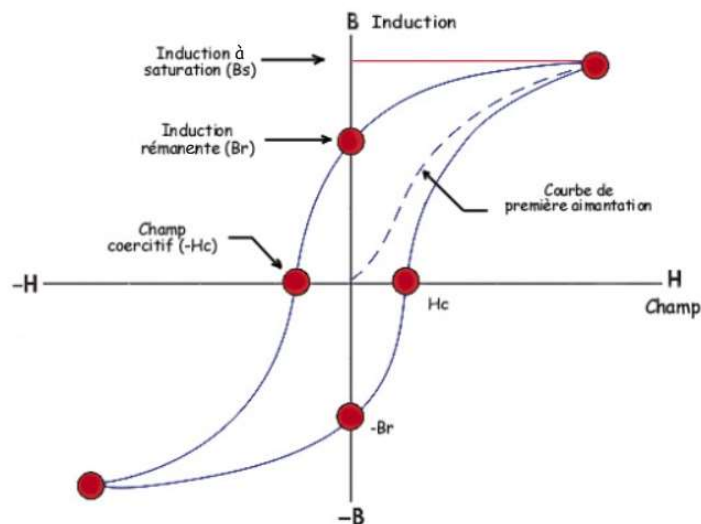
Lorsque le champ magnétique est coupé, les moments magnétiques ne reprennent jamais leur position d'origine. La résultante est alors plus grande que zéro. Un pôle Nord et un pôle Sud apparaissent aux extrémités de la pièce. C'est l'aimantation rémanente <sup>(24)</sup>.



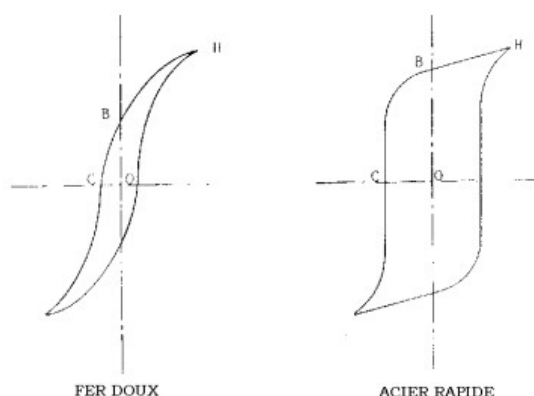
La valeur de l'aimantation rémanente dépend de l'alliage

### 13.2- CYCLE D'HYSTÉRÉSIS

Le cycle d'hystérésis permet de connaître toutes les caractéristiques magnétiques d'un matériau ferromagnétique. L'induction magnétique (B) à l'intérieur du matériau est une fonction du champ magnétique (H) extérieur appliqué.



Chaque matériau ferromagnétique a son propre cycle d'hystérésis. Le cycle d'hystérésis du fer doux est très étroit. Celui de l'acier au carbone est beaucoup plus large.

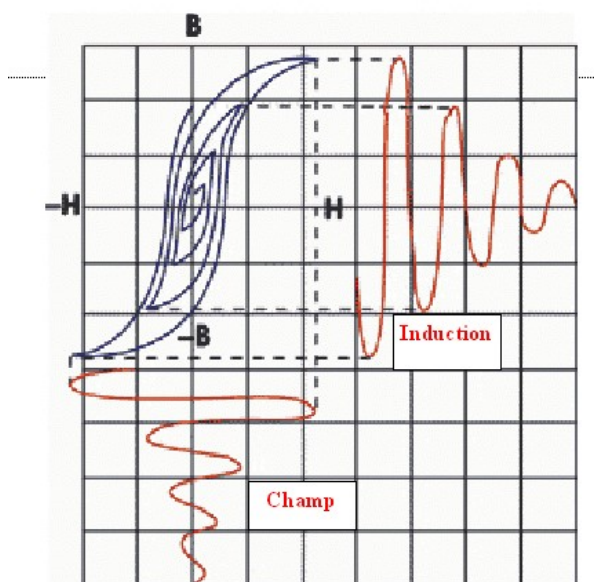


Quand le champ  $H$  diminue, l'induction magnétique  $B$  décroît plus rapidement dans le fer doux que dans l'acier au carbone. La valeur  $B_r$  est la valeur de l'aimantation rémanente.

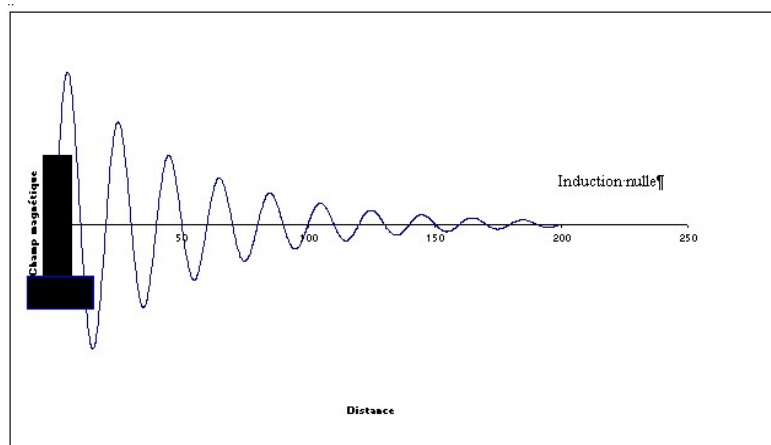
### 13.3- PRINCIPE DE DÉSAIMANTATION

Pour désaimanter une pièce, il est recommandé de la soumettre à un champ magnétique alternatif décroissant dont l'intensité est au moins égale ou supérieure à celle du champ d'aimantation. Ce dernier point est extrêmement important si cette désaimantation est effectuée sur le banc de magnétoscopie lui-même. En effet, si le banc de magnétoscopie a été utilisé à sa puissance maximale pour aimanter la pièce, il est probable qu'il sera incapable de la désaimanter.

Lorsque l'intensité du champ magnétique diminue progressivement, la surface des cycles d'hystérésis diminue et vient entourer le point zéro. De ce fait, la valeur de l'induction magnétique rémanente  $B_r$  sera de plus en plus faible, sans jamais être égale à zéro. L'intensité du champ magnétique étant proportionnelle à l'intensité du courant servant à le créer, il est alors possible, de diminuer progressivement l'intensité d'un courant électrique envoyé soit directement dans la pièce, soit dans une bobine.



Ceci est encore bien compliqué car le champ magnétique se propage également dans l'air : son intensité diminue proportionnellement à la distance. Par conséquent, lorsque la pièce traverse la bobine, elle « voit » un champ magnétique alternatif décroissant en s'éloignant du centre de la bobine. Le mouvement doit être régulier, et le courant dans la bobine ne doit pas être coupé avant que la pièce soit au moins à un mètre de la bobine ; même plus, pour les bobines de grand diamètre. C'est la technique de désaimantation dite par « tunnel ». Elle est la plus utilisée pour la désaimantation.



- Remarques importantes

Dans le cas d'un tunnel 50 Hz, le champ magnétique produit par un courant alternatif reste sur la zone externe de la pièce : c'est l'effet de peau dû aux courants de Foucault. La désaimantation de la pièce est un équilibre magnétique dans les tout premiers millimètres de la surface. Tout usinage ou démontage (dans le cas d'un assemblage de pièces qui a été contrôlé et désaimanté) détruit cet équilibre. Un autre champ magnétique rémanent, plus ou moins élevé, réapparaîtra selon le type de champ magnétique utilisé pour le contrôle. Si un champ magnétique redressé une alternance a été utilisé, par exemple, il a aimanté la pièce bien plus profondément que le champ non redressé de désaimantation. Par conséquent, une deuxième désaimantation peut être nécessaire. Les pièces aimantées par un champ magnétique continu ou redressé sont plus difficiles à désaimanter et nécessitent parfois des techniques spécifiques (courant à faible fréquence, inversion du courant continu, etc.)

Pour les pièces ayant un rapport longueur/diamètre faible, les disposer selon un axe est-ouest et/ou utiliser des rallonges magnétiques facilite leur désaimantation.

Lorsque les utilisateurs ont des difficultés pour désaimanter correctement leurs pièces, certains fabricants d'équipements de magnétoscopie peuvent le faire, en tant que prestations de service, sur leurs propres installations.

Une désaimantation satisfaisante dépend du matériau, de la forme et des dimensions des pièces. Certains ennuis peuvent être dus à des conducteurs de fortes intensités à proximité du lieu de stockage des pièces, par exemple. Un prestataire ou un fournisseur ne peut pas s'engager sur les résultats sans essais préliminaires.

La vérification de l'aimantation rémanente s'effectue à l'aide indicateur numérique d'induction magnétique rémanente (teslamètre, improprement appelé gaussmètre) ou de champ magnétique rémanent, tel que celui mentionné au chapitre 6 ci-dessus et au chapitre 3 de notre article <sup>(1)</sup>.

## **14- VÉRIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉQUIPEMENTS ET DES ACCESSOIRES DE CONTRÔLE**

Au moins une fois par an, un contrôle périodique doit être effectué concernant :

- Aimants permanents : test de soulèvement en utilisant une plaque ou une barre parallélépipédique en acier de 18 kg, correspondant à une force de soulèvement de 176 N, les pôles de l'aimant étant positionnés à leur écartement préconisé.
- Électro-aimants portatifs :
  - o Intensité du champ magnétique au centre d'une ligne joignant le centre des surfaces des pôles, les pôles positionnés à leur écartement préconisé.
  - o Test de soulèvement avec les pôles positionnés à leur écartement préconisé en utilisant une plaque ou une barre parallélépipédique en acier pesant :
    - 4,5 kg correspondant à une force de soulèvement de 44 N en utilisant du courant alternatif.
    - 18 kg correspondant à une force de soulèvement de 176 N en utilisant du courant continu ou redressé.
- Générateurs de courant, bancs de magnétoscopie, systèmes de contrôle spécialisés : test fonctionnel complet, comprenant les vérifications suivantes :
  - o Précision des ampèremètres.
  - o Minuterie des durées d'aimantation.
  - o Testeur de coupure brusque <sup>(1)</sup> (le cas échéant).
  - o Intensité du courant de sortie.
  - o Etc.

Les vérifications ci-dessus sont habituellement effectuées tous les 6 mois ou tous les ans.

- La propreté de l'équipement complet de magnétoscopie doit être maintenue pour de meilleures conditions de travail.
- L'intégrité des filtres UV-A doit être vérifiée. Tout filtre fêlé ou cassé doit être immédiatement remplacé.
- Radiomètre UV-A, luxmètre, mesureurs de champ magnétique (tangentiels, voire axiaux), mesureurs de champ magnétique rémanent, pièces de référence, etc. doivent être étalonnés ou vérifiés et les certificats qui s'y rapportent doivent être tenus à la disposition des auditeurs.
- Dans le cas de la technique d'aimantation par passage de courant, les tresses de contact en cuivre et/ou les électrodes doivent être régulièrement contrôlées et remplacées si nécessaire.

Rappelons néanmoins un point important : un appareil de mesure défini comme « indicateur » n'a pas à être étalonné. C'est le cas d'indicateurs d'induction magnétique rémanente (ou de champ magnétique rémanent) utilisés pour la vérification de la désaimantation. Il appartient au Niveau 3 qui gère l'installation de définir quels appareils sont des indicateurs ; il faut, bien sûr, qu'ils soient précisément nommés dans la procédure applicable, voire étiquetés comme tels, pour éviter toute contestation par un auditeur.

## **15- NETTOYAGE APRÈS CONTRÔLE – REMISE EN L'ÉTAT DE PROPRIÉTÉ INITIALE**

Généralement, le nettoyage des pièces n'est pas requis après contrôle.

Cependant, pour certaines applications spécifiques, il est nécessaire de restaurer la propreté initiale de la pièce, en éliminant, le cas échéant, la peinture de contraste et les particules magnétiques restées à la surface des pièces.

Bien souvent, lorsqu'une poudre magnétique sèche a été appliquée, la poudre doit être éliminée par soufflage d'air sec et déshuilé.

## **16- PROTECTION ANTICORROSION APRÈS CONTRÔLE**

Un certain nombre d'alliages ferromagnétiques sont sensibles à la corrosion.

Par conséquent, les surfaces métalliques doivent être protégées contre la corrosion avant de recevoir leur protection définitive, peinture par exemple.

Il existe deux principaux types de protection anticorrosion appropriés :

- Protection temporaire contre la corrosion pour stockage sous abri : à l'aide par exemple d'un hydrofugeant de protection temporaire.
- Protection « longue durée » contre la corrosion pour stockage à l'extérieur : à l'aide d'un produit filmogène du type cireux.

Tous ces produits doivent être exempts de silicones (surtout si les surfaces doivent être ultérieurement peintes) et être facilement éliminables par solvants.

## **17- POSSIBILITÉS DE RENDRE CES TECHNIQUES PLUS ÉCOLOGIQUES**

Qu'est-il possible de faire ?

### **17.1- RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION EN PRODUITS DE MAGNÉTOSCOPIE**

Pour le contrôle « sur place », les générateurs d'aérosols sont le moyen le plus pratique. Bien que les produits conditionnés en générateurs d'aérosols soient plus onéreux que ces mêmes produits en bidons, l'utilisation des générateurs d'aérosols pour une telle application est plus économique si l'on tient compte des pertes en produit et des coûts de main d'œuvre<sup>(8)</sup>. C'est également le meilleur moyen d'éviter toute pollution accidentelle des produits de magnétoscopie par des produits contenant du chlore, du fluor ou du soufre<sup>(8)</sup>, le cas échéant. Par conséquent, l'utilisation de générateurs d'aérosols réduit le gaspillage de produits de même que le volume des effluents à traiter.

Lorsque les produits sont utilisés sur bancs de magnétoscopie, les pertes en liqueur magnétique par entraînement des pièces doivent être minimisées pour au moins deux raisons essentielles :

- Réduire les déchets de produits.
- Réduire le coût du traitement des effluents.

Le positionnement judicieux des pièces : les surfaces en retrait, les trous borgnes, etc. doivent être dirigés vers le bas. Lorsque cela est impossible, il sera nécessaire de tourner la pièce tête en bas pour que le produit retenu retourne dans le réservoir du banc de magnétoscopie.

L'allongement de la durée de vie des liqueurs magnétiques à support aqueux<sup>(10)</sup> est pratiqué par de nombreux utilisateurs pour réduire leur consommation.

L'utilisateur effectue un test de performance à l'aide de la pièce de référence Type 2 de la norme ISO 9934-2 ou d'une pièce réelle, au début de chaque changement de poste (toutes les 8 heures) pour vérifier que le produit indicateur est toujours conforme.

En effet, il n'est pas possible d'indiquer la durée de vie d'un produit indicateur. Cette durée de vie dépend de plusieurs paramètres :

- La pollution plus ou moins rapide du produit indicateur par des polluants apportés par les pièces, tels que : huile de coupe, sable, copeaux, saletés, etc.
- L'utilisation plus ou moins importante du banc de magnétoscopie.
- L'entraînement des particules magnétiques par les pièces qui conduit à une concentration inférieure dans le produit indicateur.

Si le produit est fiable, les particules magnétiques fluorescentes du produit sont capables de résister 1 semaine au brassage de la pompe sans que l'on observe de « cassage » de ces particules.

Ce « cassage » provient de la décohésion de l'enrobage (liant organique et pigment fluorescent) des particules magnétiques.

En règle générale, il est recommandé d'effectuer :

- Une vidange du réservoir au moins une à deux fois par semaine AU MINIMUM.
- Une vérification de la performance du produit indicateur à l'aide de la pièce de référence Type 2 de la norme ISO 9934-2, à chaque début de poste.
- Des rajouts de produit indicateur neuf, pour que la pompe de brassage soit toujours pleine.

## **17.2- RÉDUCTION DES QUANTITÉS ET DU VOLUME GLOBAL DES EMBALLAGES/SUREMENTS**

Qu'ils soient en carton, en plastiques, en métal (acier, fer blanc, etc.) ou en bois, les emballages et les suremballages sont recyclables.

D'années en années, le volume de nos emballages, qu'ils soient ménagers ou industriels, tend à augmenter bien que certains fabricants entreprennent certains efforts pour les réduire.

Bien qu'ils soient indispensables, les emballages constituent un coût additionnel que nous aimerions réduire

D'où la question : comment réduire leurs quantités et leur volume global ?

Généralement, les déchets chimiques et les emballages usagés sont facturés au kilogramme, alors que le transport est facturé en fonction du nombre de palettes. Par conséquent, plus le volume est élevé, plus le coût du transport est élevé.

Une des solutions consiste, lorsque cela est techniquement possible, à commander les produits sous forme concentrée, tels que : poudre magnétique ou concentré de liqueur magnétique pour mise en suspension dans un liquide porteur. À titre d'exemple 1 bidon de 10 kg de concentré de liqueur magnétique pour dispersion aqueuse, utilisé à la concentration de 2% est équivalent à 500 litres de produit prêt à l'emploi.

Utiliser des générateurs d'aérosols de 500 mL, au lieu de ceux de 300 ou 400 mL, peut sembler être le bon moyen, mais cela n'est pas si simple (22). Lorsque cela est techniquement possible, l'utilisation de générateurs d'aérosols de 500 mL est une réelle source d'économie.

Réduire le nombre et le volume global des emballages conduirait à opter pour des fûts de 200 litres.

Cependant, les produits de magnétoscopie, tels que liqueur magnétique, peinture de contraste, renfermant des solides en suspension dans un liquide porteur, nécessitent d'être secoués

vigoureusement avant emploi. C'est la raison pour laquelle ils sont fournis en emballages de 5 litres et moins souvent en emballages de 25 litres.

Noter également que les produits MT sont fournis en emballages entièrement neufs pour éviter tout risque de pollution accidentelle.

### **17.3- RÉDUCTION DE LA QUANTITÉ D'HYDROCARBURES**

La réduction de la consommation d'hydrocarbures utilisés est une préoccupation qui ne date pas d'hier.

Cela a été fait dans certaines industries telles que l'automobile et les chemins de fer, etc. en remplaçant les liqueurs magnétiques à support pétrolier par des liqueurs magnétiques à support aqueux <sup>(10)</sup>.

### **17.4- RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE**

La Directive 2005/32/CE<sup>(23)</sup> du 6 juillet 2005 stipule, entre autres :

« Article premier : Objet et champ d'application

1. La présente directive établit un cadre pour la fixation d'exigences communautaires en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie, afin de garantir la libre circulation de ces produits dans le marché intérieur.

2. La présente directive fixe les exigences que les produits consommateurs d'énergie couverts par des mesures d'exécution doivent remplir pour être mis sur le marché et/ou mis en service. Elle contribue au développement durable en augmentant l'efficacité énergétique et le niveau de protection de l'environnement, tout en accroissant la sécurité de l'approvisionnement énergétique. »

La directive ne s'applique pas et ne s'appliquera pas aux installations de magnétoscopie car elle stipule que « le volume annuel de ventes et d'échanges que représente le produit consommateur d'énergie est significatif, soit à titre indicatif supérieur à 200 000 unités dans la Communauté, selon les chiffres disponibles les plus récents ». Elle concerne donc plutôt les produits avec des gros volumes (récepteurs de télévision, réfrigérateurs, etc.).

Cependant, nous citons cette directive à titre d'exemple, car elle encourage les initiatives volontaires et préventives.

Les spécifications applicables stipulent les paramètres d'aimantation à satisfaire. Évidemment, l'opération la plus gourmande en énergie est l'aimantation.

Cependant, certaines techniques peuvent être mises en œuvre, tels que :

- Améliorer l'efficacité en assurant un bon couplage magnétique entre la pièce à contrôler et le système d'aimantation ou de désaimantation. Cela peut être réalisé en choisissant une bobine avec une ouverture adaptée à la taille des pièces. Par exemple, prenons le cas d'une bobine d'aimantation avec une ouverture ronde, comportant 3 spires, tel que celui de la photo ci-dessous :



Si l'on souhaite obtenir un champ magnétique de 10 kA/m au centre de la bobine, la puissance apparente ( $U \cdot I$ ) va augmenter très rapidement avec le diamètre de la bobine.

| Diamètre de la bobine (mm) | Puissance Apparente nécessaire pour un champ magnétique de 10 kA/m (V.A) | Coefficient de puissance par rapport à la bobine de 200 mm de diamètre |
|----------------------------|--|--|
| 200                        | 460  | x1   |
| 300                        | 1400   | x3   |
| 400                        | 3500   | x7,6   |
| 500                        | 7000   | x15,2  |
| 1000                       | 63 000   | X136   |

La puissance consommée augmente très rapidement avec le diamètre de l'ouverture de la bobine. Pour obtenir un champ magnétique de 10 kA/m au centre d'une bobine de diamètre 1mètre alimentée sous 400 V<sub>eff</sub> alternatif en utilisant un transformateur, il faudra un courant de plus de 150 A<sub>eff</sub>. Il est de plus à noter que le champ magnétique tangentiel obtenu sur une pièce placée dans ce bobinage sera nécessairement inférieur à 10 kA/m en raison de la présence d'un champ démagnétisant en fonction de la géométrie de la pièce. Pour une pièce courte de forte section, le risque est élevé d'obtenir un champ magnétique aussi faible que 1 à 2 kA/m.

- Utiliser des moyens de compensation d'énergie réactive. Une grande partie de l'énergie consommée par les équipements de magnétoscopie est de l'énergie réactive.

$$P_{\text{apparente}} = P_{\text{active}} + P_{\text{réactive}}$$

$$P_{\text{active}} = R \cdot I^2 = U^2 / R$$

*U: tension d'alimentation de la charge*

*I: courant dans la charge*

*R: résistance de la charge*

Cette énergie perdue ne peut pas être compensée et elle est nécessairement consommée sur le réseau électrique. Elle va se dissiper sous forme d'effet Joule (chaleur) dans les bobinages d'aimantation.

$$P_{\text{réactive}} = (2 * \pi * f * L) * I^2 = U^2 / (2 * \pi * f * L)^2$$

*U: tension d'alimentation de la charge*

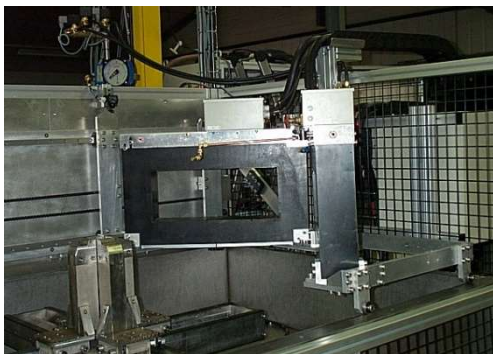
*I: courant dans la charge*

*L: inductance de la charge*

*f: fréquence de la tension d'alimentation de la charge (en général 50 Hz)*

Cette puissance, en temps normal consommée sur le réseau électrique, peut être compensée par des batteries de condensateurs.

Dans le cas d'une compensation parfaite, seule la puissance nécessaire à l'alimentation de la composante active (puissance active) de la charge va être réellement consommée sur le réseau électrique, ce qui, dans le cas d'une charge très réactive, va diminuer très nettement la consommation. Prenons, par exemple, le cas particulier d'un bobinage d'aimantation avec une ouverture rectangulaire de 500 mm x 200 mm tel que celui de la photo suivante :



Sans l'utilisation d'un système de compensation d'énergie réactive, le courant consommé sur le réseau électrique permettant d'alimenter ce bobinage est de 190 A. Avec utilisation d'un système de compensation d'énergie réactive, le courant réellement consommé sur le réseau va tomber à seulement 30 A.

Néanmoins, la compensation d'énergie réactive n'est pas la bonne réponse dans tous les cas.

En fait, cette technique est beaucoup plus efficace lorsqu'on utilise une bobine d'aimantation/désaimantation qu'en utilisant la technique par passage de courant, du fait de la plus forte consommation d'énergie réactive. De plus cet équipement entraîne un surcoût qui pourrait être partiellement compensé grâce à une moindre facture d'énergie.

- Limiter le nombre de contacts lors de l'utilisation d'un système d'aimantation par courant fort. En effet, chaque contact représente environ une résistance de 50  $\mu\Omega$ . Prenons l'exemple d'un générateur transportable d'aimantation par courant fort (3000  $A_{\text{eff}}$ ) sur lequel on a branché un câble constitué de 4 câbles de 2 mètres plutôt qu'un simple câble de 8 mètres. Dans ce cas, il existe 3 contacts supplémentaires qui auraient facilement pu être évités, et qui vont entraîner une consommation supplémentaire inutile de 1350 VA ( $3 * 50 \mu\Omega * 3000 A^2$ ).

- Un câble mal serti accroît la résistance et diminue les performances du générateur de courant. Ce genre de problème est plus du ressort d'une vérification annuelle de l'équipement. Néanmoins, son influence sur la consommation n'est pas négligeable.

L'utilisation d'un éclairage écoénergétique est un autre moyen de réduire la consommation d'énergie. Il consiste à remplacer, en magnétoscopie fluorescente, les sources de rayonnement ultraviolet (UV-A) dotées d'ampoules à vapeur de mercure ou de xénon par des sources à diodes électroluminescentes (DEL).

Compte tenu du développement des DEL et de la réduction de leur coût, on peut donc légitimement se poser une question : ne serait-il pas possible de remplacer les plafonniers qui comportent plusieurs ampoules à vapeur de mercure par des plafonniers à diodes 365 nm ?

On pourrait ainsi réduire sensiblement la consommation d'énergie, réduire la quantité de chaleur dissipée dans les cabines d'examen (donc, réduire la consommation des moyens de ventilation ou de climatisation), réduire les coûts de maintenance (moins d'arrêt pour changer les ampoules), les stocks de pièce de rechange, etc.

## **17.5- PRODUITS PLUS ÉCOLOGIQUES/RÉDUCTION DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)**

Les fabricants poursuivent leurs efforts pour réduire les composés organiques volatils (COV) dans leurs produits de magnétoscopie conformément à la Directive n° 1999/13/CE qui a été modifiée par la Directive n° 2004/42/CE <sup>(16)</sup>.

À titre d'exemple : remplacement d'un liquide porteur à base pétrolière, ayant un point d'éclair en vase clos Pensky-Martens de 60 °C, qui est un COV, par un autre ayant un point d'éclair de 100 °C, qui n'est pas un COV.

Nous vous recommandons de lire l'article que nous avons publié concernant les composés organiques volatils <sup>(17)</sup>.

## **18- CONCLUSION**

Nous espérons que cet article vous aura apporté un complément d'information pour approfondir vos connaissances en magnétoscopie pour en obtenir les meilleurs résultats.

Remerciements : Les auteurs remercient chaleureusement Stéphane GRAVELEAU (département R et D) et Fabien CORMIER (Ingénieur Chimiste) de SREM TECHNOLOGIES (France) pour leur contribution à la rédaction et à la relecture de ce guide.

### Références

<sup>(1)</sup> Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Magnétoscopie à l'aide d'aimants permanents ou par aimantation rémanente : des techniques mises de côté ?*

Communication présentée lors des Journées COFREND, 24-27 mai 2011, Dunkerque (Nord).

- (2) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Définitions suggérées de certains termes de magnétoscopie omis dans la norme EN 1330-7:2005.*
- (3) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Magnétoscopie et la technique d'aimantation par champ tournant : ça marche !*
- (4) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Quelques limites d'utilisation de la technique d'aimantation par champ tournant.*
- (5) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les dates de péremption des produits PT/MT.*
- (6) Règlement (CE) N° 1907/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission (L 396, Journal officiel de l'Union européenne du 30.12.2006).
- (7) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Introduction à la magnétoscopie.*
- (8) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Magnétoscopie : quelques applications industrielles , janvier 2011.*
- (9) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Quelques limites du champ d'applications industrielles de la magnétoscopie.*
- (10) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Liqueurs magnétiques à support pétrolier et à support aqueux.*
- (11) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Stockage des générateurs d'aérosols, août 2009.*
- (12) Stéphane GRAVELEAU, *Ambiguïtés causées par l'utilisation du Ketos ring en Europe,*
- (13) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Ketos ring : divergences entre auditeurs et utilisateurs pourquoi ?*
- (14) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Accessoires pour vérifier la performance des produits de magnétoscopie.*
- (15) Stéphane GRAVELEAU, *MT : Connaissez-vous la pièce de référence Type 2 de la norme ISO 9934-2 ?*
- (16) *Directive n° 1999/13/CE du 11/03/1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations (JOCE n° L85 du 29 mars 1999, rect. JOCE n° L 188 du 21 juillet 1999 et rect. JOCE n° L 87 du 8 avril 2000), modifiée par la Directive n° 2004/42/CE du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules. L 143 du Journal officiel de l'Union européenne du 30 avril 2004.*

(17) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les composés organiques volatils (COV) et ressuage/magnétoscopie (PT/MT)*.

(18) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Les agents propulseurs pour les générateurs d'aérosols des produits PT/MT*.

(19) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Un paradoxe : le dioxyde de carbone comme agent propulseur des générateurs d'aérosols*, janvier 2010.

(20) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Traitement des effluents en magnétoscopie*.

(21) Pierre CHEMIN, *Traitement des effluents en ressuage et en magnétoscopie, produits à base pétrolière ou à base aqueuse*, Journée "Les END et l'environnement" organisée par le Groupe Est de la COFREND, Metz (France), octobre 1998.

(22) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Générateurs d'aérosols des produits PT/MT : pourquoi des tailles différentes ?*

(23) Directive 2005/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie et modifiant la directive 92/42/CEE du Conseil et les directives 96/57/CE et 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil, paru au journal officiel de l'Union Européenne L 191/29 du 22.7.2005.

(24) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Lexique MT (français/anglais)*.

#### Références normatives

ISO 9001:2008, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2008.

ISO 14001:2004, *Systèmes de management environnemental -- Exigences et lignes directrices pour son utilisation*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2004.

ISO 9712:2005, *Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2005.

Document modifié par l'amendement : ISO 9712/AC1 :2006.

ISO 2808, *Peintures et vernis -- Détermination de l'épaisseur du feuil*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2007.

ISO 11014:2009, *Fiches de données de sécurité pour les produits chimiques -- Contenu et plan type*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2009.

ISO/DIS 12707, *Essais non destructifs - Terminologie - Termes utilisés en magnétoscopie*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2011.

Statut : Projet de norme

ISO 3059:2012, *Essais non destructifs -- Essai par ressuage et essai par magnétoscopie -- Conditions d'observation*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2012.

ISO 9934-1:2001, *Essais non destructifs -- Magnétoscopie -- Partie 1: Principes généraux du contrôle*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2001.

ISO 9934-2:2002 *Essais non destructifs -- Magnétoscopie -- Partie 2: Produits magnétoscopiques*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2002.

ISO 9934-3:2002, *Essais non destructifs -- Magnétoscopie -- Partie 3: Équipement*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2002.

ISO 9712:2012 *Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2012.

EN 1330-1:1998, *Essais non destructifs - Terminologie - Partie 1: Liste des termes généraux*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 1998.

EN 1330-2:1998, *Essais non destructifs - Terminologie - Partie 2: Termes communs aux méthodes d'essais non destructifs*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 1998.

EN 1330-7:2005, *Essais non destructifs - Terminologie - Partie 7: Termes utilisés en magnétoscopie*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 2005.

EN 4179, *Série aérospatiale - Qualification et agrément du personnel pour les contrôles non destructifs*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique Juin

ASTM E1444/E1444M-11, *Standard Practice for Magnetic Particle Testing*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959, États-Unis d'Amérique, 2011.

SAE-AS5282, *Tool Steel Ring for Magnetic Particle Inspection*, Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Drive, Warrendale, Pennsylvania 15096, États-Unis d'Amérique, 1998, reconduite en 2007.