

## LA MAGNÉTOSCOPIE AVANCE ...

### MAGNETIC PARTICLE INSPECTION AT THE CUTTING EDGE...

*S.Graveleau SREM TECHNOLOGIES*

La magnétoscopie est une des plus anciennes méthodes de contrôle non destructif. Elle est couramment utilisée dans l'industrie pour inspecter de façon globale, fiable, rapide et pour un coût raisonnable, l'ensemble d'une pièce, pourvu que le matériau qui la constitue soit de nature ferromagnétique. Malgré cela, la magnétoscopie souffre aujourd'hui bien souvent d'une image moins "High-Tech" que certaines techniques plus récentes. Pourtant, la magnétoscopie a su évoluer et s'adapter aux contraintes industrielles actuelles. Elle est aujourd'hui une technique largement éprouvée qui mérite que l'on parle d'elle.

En premier lieu, la magnétoscopie a profité des évolutions de l'électronique et en particulier en ce qui concerne le contrôle de la puissance appliquée sur la pièce. L'utilisation de techniques de régulation ainsi que l'amélioration de l'interface de pilotage machine ont ensuite permis de fiabiliser et de simplifier le process. En parallèle, l'automatisation de nombreux mouvements et fonctions est apparue sans toutefois parvenir au souhait du tout automatique. Enfin, la mise en œuvre de champs magnétiques tournants a été l'occasion de réduire les temps de contrôle et a donné lieu à plusieurs techniques de magnétisation innovantes

Magnetic particle inspection is one of the oldest non-destructive inspection methods. It is currently used in industry to carry out global, reliable, rapid and economical inspections on the whole part, on condition that it is made up of ferromagnetic material. Despite all these assets, magnetic particle inspection now often suffers from a less "High-Tech" image than other more recent techniques. However, magnetic particle inspection has moved with the times and adapted to present day industrial constraints. It is now a fully tried and tested technique that should be kept at the forefront of the debate in the industrial inspection field.

At the outset, magnetic particle inspection took advantage of progress in electronics, particularly in respect of the control of the power applied to the part. The use of regulation techniques, in addition to the improvement of the machine control interface, then made the process more reliable and simpler. In parallel, the automation of many movements and functions was introduced although it could not satisfy the desire for wholly automatic operation. Finally, the implementation of rotating magnetic fields provided an opportunity to reduce the inspection time and gave rise to several innovative magnetisation techniques.

### INTRODUCTION

La magnétoscopie est une des plus anciennes méthodes de contrôle non destructif. Cette technique largement éprouvée est couramment utilisée dans les industries automobiles, aéronautiques ou ferroviaires pour contrôler des pièces en fer, en fonte, des aciers forgés, des soudures, des tôles, des tubes... bref, toutes sortes de pièces de géométrie simple ou complexe, pourvu que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique.

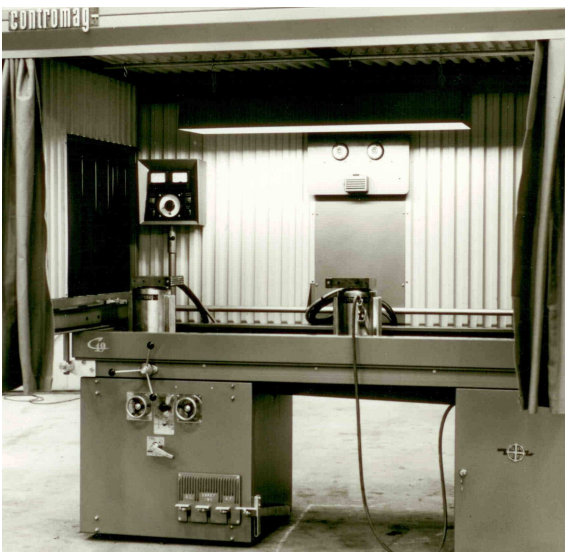
Par rapport aux autres techniques de contrôle non destructif tels que les ultrasons ou les courants de Foucault, la magnétoscopie présente l'avantage de faire partie des techniques dites "globales", permettant d'inspecter de façon fiable, rapide et pour un coût raisonnable l'ensemble d'une pièce en une seule opération. Malgré cela, la magnétoscopie souffre aujourd'hui bien souvent d'une image moins "High-Tech" que certaines nouvelles techniques. Pourtant, la magnétoscopie mérite que l'on parle d'elle. Basée sur un principe

physique bien connu et simple qui repose sur le comportement des matériaux ferromagnétiques lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique, elle a su innover et s'adapter à l'évolution des différents marchés.



*exemple de défauts révélés par magnétoscopie*

Incontournable dans les milieux industriels où la sécurité des pièces ferromagnétiques doit être parfaitement maîtrisée, les bancs de magnétoscopie offrent une solution simple pour un contrôle intégré au flux de fabrication ou par prélèvement. Un Banc de magnétoscopie se compose généralement d'un générateur de champ longitudinal par tête magnétique ou solénoïde, d'un générateur de champ transversal par passage de courant dans la pièce, d'un dispositif d'éclairage et d'un système d'arrosage.



*Banc de magnétoscopie 1960*

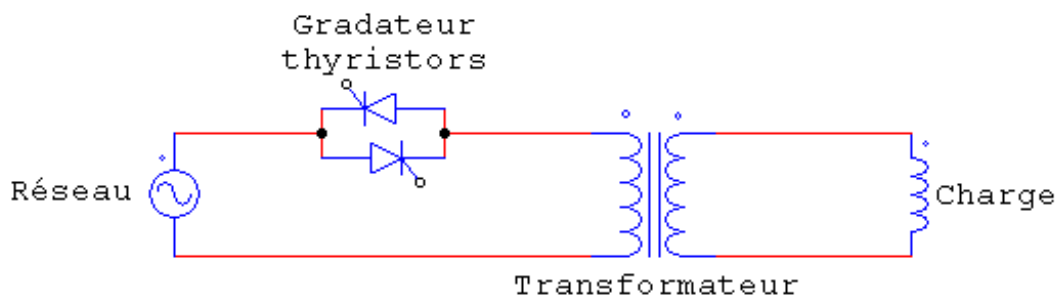


*Banc de magnétoscopie 2006*

## L'AVENEMENT DE L'ELECTRONIQUE ET DES THYRISTORS : UNE REVOLUTION DIFFICILE A COMPRENDRE.

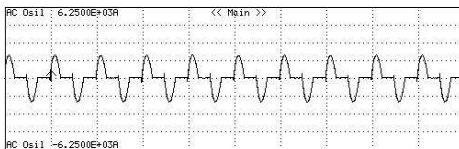
Autrefois basés sur l'utilisation de transformateurs à plusieurs positions pour permettre le réglage en puissance, les bancs sont aujourd'hui majoritairement pourvus d'une électronique de puissance qui va contrôler la quantité d'énergie transférée à la charge. Cette modification introduite par SREM Technologies en 1975 sous le nom de "Pulstronic" a suscité bien des polémiques car elle posait souvent des problèmes de mesure et d'interprétation. C'est probablement le travail réalisé en parallèle sur l'amélioration des instruments de mesure qui a permis de démocratiser la technique et par la suite de permettre bon nombre d'innovations sur les bancs de magnétoscopie.

Le système électronique utilisé sur les bancs de magnétoscopie "Pulstronic" pour le contrôle de la puissance est un gradateur à thyristors. Il a pour particularité de hacher l'onde sinusoïdale entrante plutôt que d'en modifier l'amplitude (cas de l'autotransformateur). La forme du courant dans la charge n'est donc plus sinusoïdale sauf à pleine puissance.

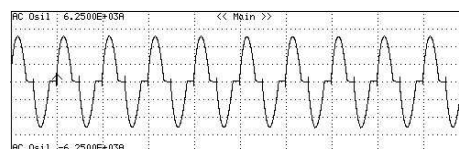


**Schéma de principe d'un banc avec gradateur**

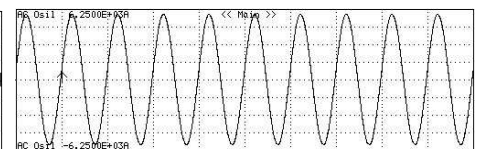
### Courant dans la charge



**Puissance 1:**  
2000A crête  
1000A eff



**Puissance 2:**  
4000A crête  
2500A eff



**Puissance 2:**  
6000A crête  
4200A eff

Les premiers mesureurs de champ magnétique tangentiel mesuraient intrinsèquement une valeur moyenne (utilisation d'un redresseur interne dans le cas d'un signal alternatif). Les valeurs efficace et crête, affichées ou calculées par l'opérateur, étaient en fait issues de l'application de coefficients de proportionnalité entre ces grandeurs. Cependant, ces coefficients ne sont pas applicables dans le cas d'un signal haché par thyristor mais uniquement dans le cas de signaux issus d'une onde sinusoïdale. C'est pour cela que dans l'exemple précédent le fameux coefficient  $\sqrt{2}$  qui relie la valeur crête à la valeur efficace donne des résultats faux dans le cas des puissances 1 et 2. De même, à cette époque, certains bancs ont été équipés d'afficheurs de courant crête utilisant également des coefficients de conversion et donc non adaptés aux signaux découpés par thyristors. De très nombreuses erreurs de mesure et d'interprétation issues de ces problèmes, ont conduit à une grande confusion.

L'amélioration des techniques de mesure en particulier depuis la numérisation des signaux a permis de résoudre le problème avec l'apparition d'appareils dit "efficace vrai" (TRMS) capables de mesurer directement les valeurs efficace et crête de tous types de signaux.

Evolution des appareils de mesure de champ tangentiel



Magnetoscope 1580 (1970)  
cadre mobile



ADC3 (1990)  
TRMS numérique

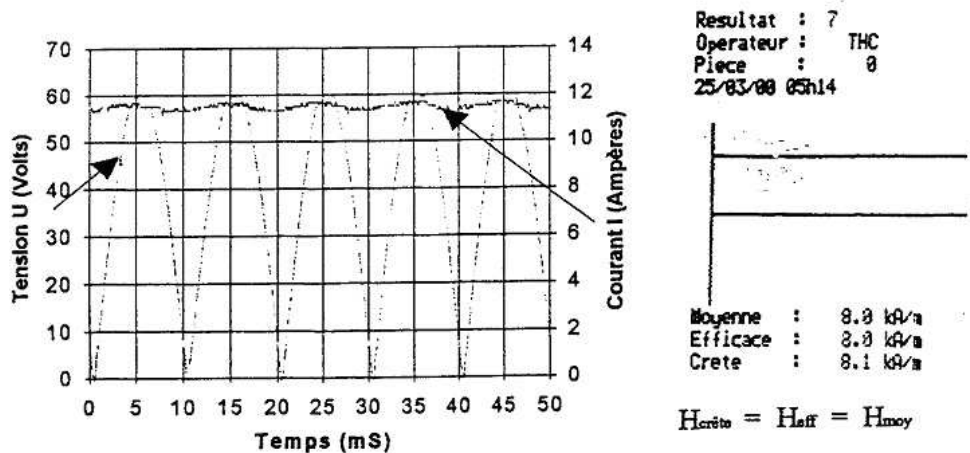


MDC3 (1995)  
TRMS analogique



Analyse (2003)  
TRMS numérique

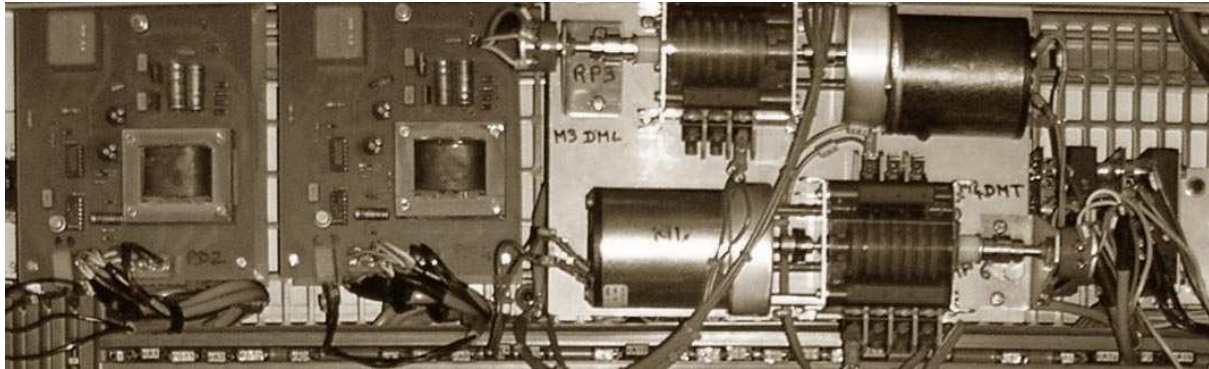
Alors que l'on pensait que l'affichage de la courbe sur les instruments de mesure (pour la première fois sur l'ADC3) allait permettre d'améliorer la compréhension des phénomènes, une nouvelle polémique fit son apparition concernant la précision et la rapidité des appareils. En effet, on dit souvent pour une magnétisation longitudinale par tête continue, que le circuit est alimenté en alternatif redressé deux alternances (R2A). Ceci est vrai puisque l'alimentation est réalisée par un pont redresseur qui crée une tension d'alimentation (U) redressée deux alternances. Cependant, dans ce cas, le courant (I) qui traverse la bobine est lissé par la forte inductance et n'a donc pas la forme d'un signal redressé deux alternances comme certains s'y attendaient. Il est en fait assimilable à un courant continu. Dans ce cas, aucun coefficient n'est à appliquer ( $H_{crête} \approx H_{moy} \approx H_{eff}$ ) et les représentations fournies par l'ADC3 et maintenant l'Analyse sont tout à fait correctes.



Phénomène de lissage du courant sur charge inductive

Aujourd'hui la technique a gagné en maturité et est de mieux en mieux assimilée par l'utilisateur, aussi bien concernant le découpage par thyristor que la mesure de champ. Des appareils miniaturisés et très perfectionnés, tel que l'Analyse, s'adaptent à toutes les situations et permettent de qualifier clairement le process par une mesure de champ efficace, crête ou moyenne, suivant la grandeur prescrite. Les bancs sont à présent équipés d'afficheurs de courant crête "réelle" et non plus basés sur les coefficients de conversion. Malgré cela et comme pour faire perdurer la confusion, la norme NF EN ISO 9934-1 de février 2002, comme l'ancienne norme NF A 09-590 de juillet 1989, parle principalement du contrôle de l'aimantation dans le cas de champs issus de signaux sinusoïdaux et avec des appareils nécessitant l'utilisation de coefficients de conversion entre les grandeurs. Il est juste spécifié que l'utilisation de courant haché par thyristors requiert des modes opératoires spéciaux! On peut légitimement se demander s'il ne serait pas mieux d'imposer l'utilisation de mesureurs de champ "efficace vrai" (TRMS).

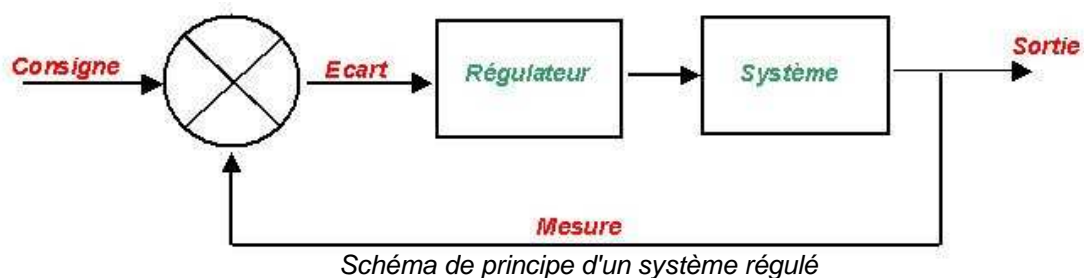
L'avantage immédiat lié à l'utilisation de thyristors est que cette technique permet un réglage en continu de la puissance de sortie. Pour une magnétisation transversale par passage de courant par exemple, il devient possible de régler 700A là où il fallait auparavant choisir entre 500 et 1000A. Il devient également possible de réaliser un cycle de démagnétisation automatique et rapide ( $\approx 10s$ ) par décroissance progressive du courant. Auparavant, la démagnétisation sur banc ne pouvait se faire que par inversion de polarité et diminution manuelle de la puissance. Cette opération était très lente (plusieurs minutes) et fastidieuse.



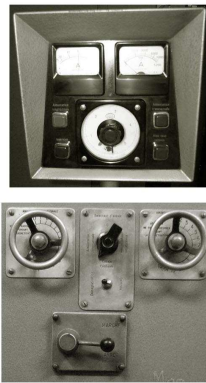
Platine de commande du système "Pulstronic"  
motorisation de la commande pour assurer une démagnétisation automatique

## PILOTAGE MACHINE ET REGULATION – POUR LA SIMPLIFICATION ET LA FIABILISATION DU PROCESS.

Il faudra attendre 1997 pour voir apparaître les premiers bancs proposant un système de régulation. C'est une grande avancée pour l'utilisateur et pour la fiabilisation du process de contrôle. En effet, il devient possible d'indiquer simplement la valeur du courant ou de la puissance magnétomotrice souhaitée (consigne) et la machine adapte automatiquement la commande via un circuit de mesure et un régulateur pour obtenir en sortie cette consigne. Le courant appliqué est donc indépendant de la charge et des paramètres influant sur cette charge, tels que la température, l'état de surface des électrodes ... la régulation permet de s'assurer de la répétitivité de la magnétisation et de déclencher une alarme dans le cas où la sortie serait différente de la consigne.



Les premières régulations réalisées utilisaient des régulateurs autonomes mais rapidement, la réalisation de cette régulation par l'intermédiaire d'un automate permit d'en étendre les fonctionnalités. En effet, il devenait possible de profiter des possibilités de mémorisation des automates pour enregistrer une fois pour toute les différentes consignes et séquences (Magnétisation transversale 1, longitudinale 1, transversale 2 ...) associées à une référence de pièce. De ce fait, pour contrôler une pièce, l'opérateur n'avait plus qu'à charger la "recette" associée à cette pièce. Cette nouveauté marqua une évolution majeure dans la conduite machine et fut le début d'une demande de plus en plus importante de la part des utilisateurs concernant l'ajout de fonctionnalités permettant l'amélioration de l'ergonomie de pilotage.



- 1960**  
 - Commande manuelle à plots  
 - Affichage à aiguille

- 1985**  
 - Commande à réglage continu par thyristors  
 - Affichage et minuterie numériques

- 1997**  
 - Commande à réglage continu par thyristors avec régulateur  
 - Affichage et minuterie numériques

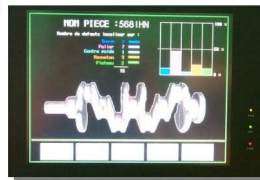
- 1999**  
 - Interface par pupitre opérateur avec création de "recettes"  
 - Régulation par l'automate

*Evolution de l'interface utilisateur des bancs de magnétoscopie*

L'arrivée des écrans tactiles LCD a permis de répondre à un grand nombre de demandes utilisateur. Ces écrans peuvent être programmés pour réaliser des Interfaces Homme Machine conviviales et adaptable, et sont capables de dialoguer avec de nombreux automates et autres systèmes informatiques. On retrouve bien entendu sur ces interfaces les outils de réglage de la machine, de création et choix de recettes, mais également un synoptique de la machine permettant de visualiser et d'accéder manuellement à chaque fonction ou mouvement. D'autres fonctionnalités sont également disponibles sous forme de modules optionnels. L'aide à la maintenance permet de gagner un temps précieux en apportant une réponse rapide sur les causes d'une panne. Des informations statistiques sur la présence de défauts, mais également sur la localisation des défauts, peuvent être collectées et compilées pour être disponibles en temps réel.

- 2004**  
 - Informatisation du poste de pilotage  
 - Ecran tactile convivial et adaptable  
 - Création et mémorisation de "recettes"  
 - régulation adaptative

**Statistiques Tracabilité**



**Création / Choix recette**



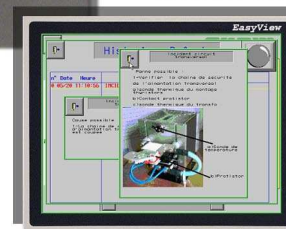
**Réglage**



**Synoptique**



**Maintenance**



Ecran tactile LCD

Avec l'avènement du tout informatique et des communications, il devient même possible, par une mise en réseau, de contrôler, interroger, diagnostiquer un banc de magnétoscopie à distance

## LE CONTROLE DES PIECES EN UNE SEULE MAGNETISATION – UN CONTROLE RESERVE A L'INDUSTRIE AUTOMOBILE ?

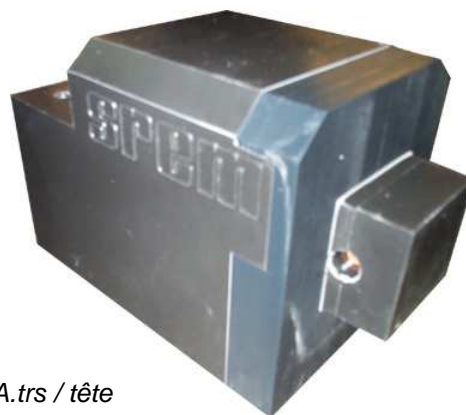
Pour être sûr de détecter par magnétoscopie les défauts d'une pièce dans toutes les directions, il est demandé de faire deux magnétisations orientées perpendiculairement. On parle en général d'une magnétisation transversale par passage de courant direct ou indirect et d'une magnétisation longitudinale par solénoïde ou tête magnétique. Cette méthode de contrôle nécessite donc deux opérations distinctes, ce qui représente une perte de temps importante.

En 1972, la société "Fluxo" filiale de SREM à l'époque, dépose un brevet (n° de publication 2.094.390) permettant de remédier à cet inconvénient. Il y est écrit :

"La présente invention a pour objet un procédé de contrôle magnétoscopique qui se caractérise essentiellement en ce que la pièce à contrôler est soumise simultanément à l'action d'un champ magnétique longitudinal et à l'action d'un champ magnétique transversal, ces deux champs magnétiques étant périodiques et déphasés"

Les inventeurs de ce nouveau principe de magnétisation étaient probablement des précurseurs, mais à l'époque, et pour plusieurs raisons, cette invention n'a pas retenu l'attention qu'elle aurait dû. En premier lieu, le dispositif proposé pour mettre en oeuvre le principe n'était pas réellement bien adapté et ne permettait pas d'obtenir les résultats escomptés. Néanmoins, le principal frein venait plutôt du fait que la grande majorité des contrôles étaient alors effectués en passage de courant redressé et têtes continues, là où le nouveau principe proposé nécessitait obligatoirement des champs magnétiques alternatifs pour fonctionner. La détection des défauts non débouchants devenait donc impossible!

C'est seulement au milieu des années 90, avec l'apparition des "têtes magnétiques alternatives", que l'idée est réapparue en France. Elle fut tout d'abord introduite par l'intermédiaire des fabricants d'équipements de magnétoscopie étrangers, et en particulier allemands qui depuis longtemps déjà utilisaient et maîtrisaient les "têtes alternatives", puis par la SREM qui regrettait de ne pas avoir suffisamment crû en son idée de 1972.

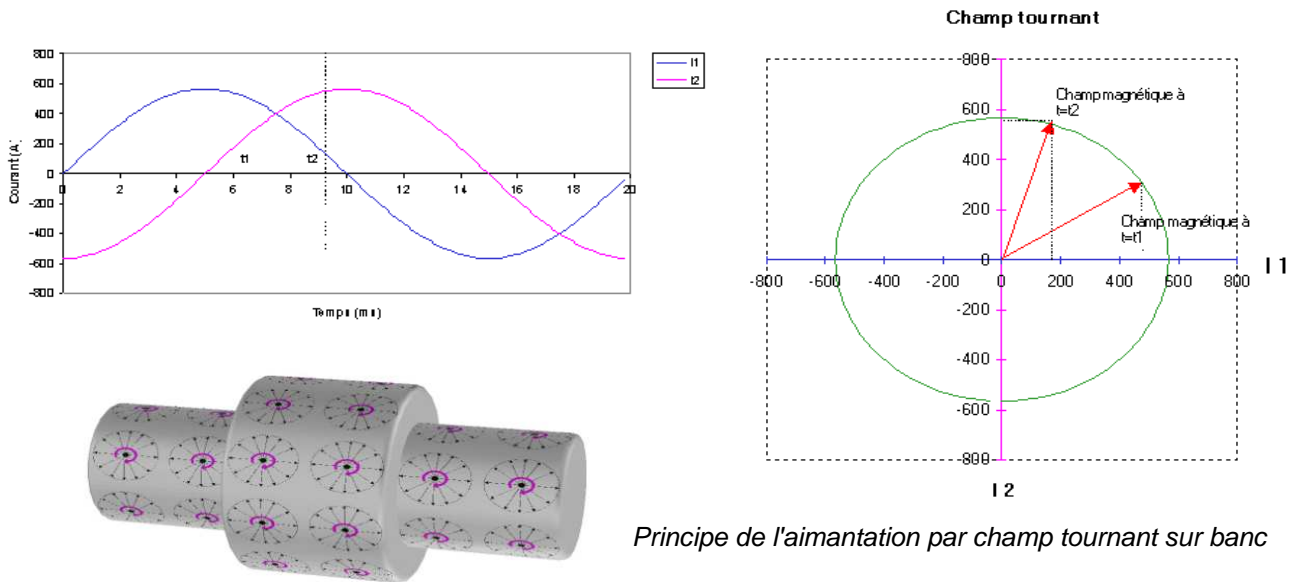


*Tête alternative SREM 12000A.tr.s / tête*

Bien entendu le principe appelé "aimantation simultanée" ou "aimantation par champ tournant sur banc" séduit rapidement les constructeurs automobiles, alors à la recherche d'équipements permettant d'augmenter les cadences. Elle fit cependant apparaître également des interrogations et une grande confusion avec "l'aimantation combinée".

En effet, "l'aimantation combinée" consiste à appliquer sur la pièce et simultanément à l'arrosage par le produit révélateur, une aimantation transversale immédiatement suivie par une aimantation longitudinale sans observation intermédiaire. Dans ce cas, le risque pour que l'arrosage lave les défauts mis en évidence par l'aimantation transversale pendant l'aimantation longitudinale est très important et influe très nettement sur la qualité du

contrôle. En revanche, "l'aimantation par champ tournant sur banc", consiste à créer dans la pièce, simultanément et de manière déphasée, un champ longitudinal par têtes magnétiques et un champ transversal par passage de courant, permettant d'obtenir un vecteur de magnétisation résultant tournant. L'ensemble de la pièce est ainsi magnétisé en une seule opération. La qualité du contrôle reste excellente avec peu de bruit de fond.



Principe de l'aimantation par champ tournant sur banc

Dans cette technique, il est crucial que les deux magnétisations soient effectuées par des courants alternatifs déphasés. L'application de deux magnétisations continues (redressées) ou l'application de deux magnétisations alternatives non déphasées conduit à la création d'un vecteur de magnétisation résultant de direction fixe et non à un champ tournant. Le risque de ne pas voir les défauts suivant une certaine orientation est alors très important.

Ces confusions et un manque d'explications ont longtemps laissé penser que le contrôle d'une pièce en une seule opération conduisait nécessairement à une diminution de la qualité du contrôle, ce qui n'est absolument pas vrai avec la technique du "champ tournant sur banc" appelée encore "aimantation simultanée". En réalité, la seule limitation apportée par cette technique est qu'elle ne permet pas la détection des défauts non débouchants, mais de toute manière, autant il est vrai que s'il est bien fait, un contrôle magnétoscopique va être capable de mettre en évidence tous les défauts débouchants, autant cela n'est pas vrai en ce qui concerne les défauts internes. La détectabilité est extrêmement liée à la profondeur du défaut et à sa taille, ce qui fait qu'un défaut même très proche de la surface ne sera pas détecté s'il est très petit. De la même manière, ce n'est pas parce que l'on est capable de détecter le défaut situé à 2 mm de profondeur sur un disque témoin de type "ketos ring" que l'on sera en mesure de détecter tous les défauts situés à la même profondeur.

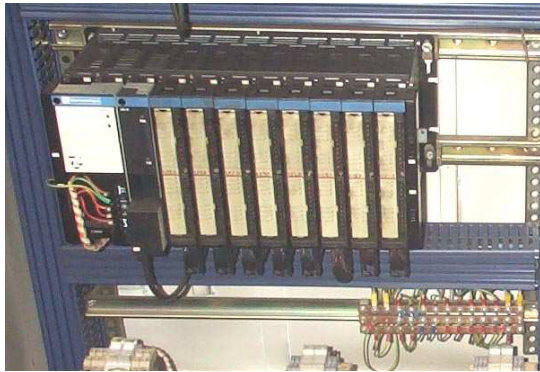


Contrôle de crémaillères - aimantation par champ tournant sur banc



## AUTOMATISATION DU CONTROLE : LE REVE DU TOUT AUTOMATIQUE.

Dans les années 1980-1985, la démocratisation des systèmes automatisés a permis de remplacer un grand nombre d'opérations manuelles. Cette évolution correspond à l'utilisation des premiers automates sur les grosses installations. En effet, la multiplication des entrées-sorties rendait difficile la gestion de telles installations en logique câblée. Depuis, l'emploi des automates programmables s'est considérablement généralisé et étendu même aux petites installations. Des micro-automates peuvent être intéressants à utiliser dès 3 à 4 entrées-sorties ou temporisations



*Automate TSX80  
Utilisé pour la 1ere fois par SREM en 1982*



*Micro automate*

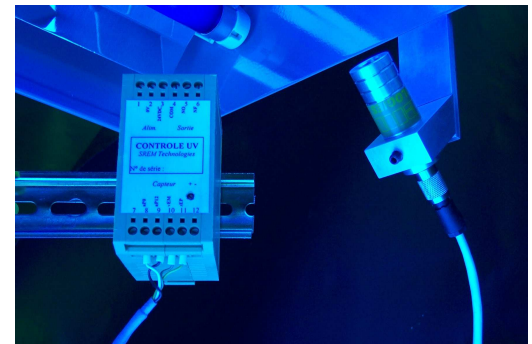
Après l'automatisation des transferts, est apparue l'automatisation des contrôles annexes aux process. Il est par exemple tout à fait possible aujourd'hui de contrôler automatiquement le débit et le niveau d'une pompe d'application du produit révélateur, ainsi que l'éclairage énergétique UV-A



*contrôle débit*



*contrôle niveau pompe*

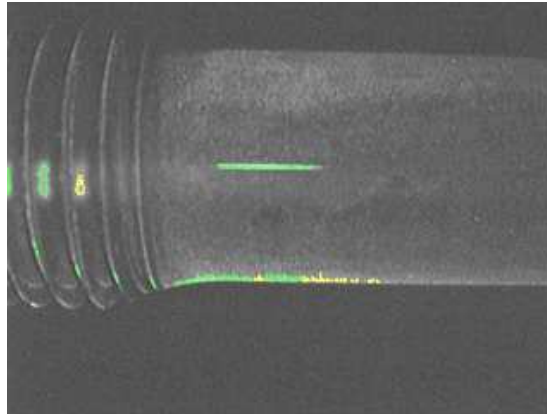


*contrôle éclairage UV*

Il est également possible de contrôler la présence et le bon serrage d'une pièce pour éviter les risques d'arc électrique. Ce contrôle est réalisé en combinant un contrôle de contact électrique, de pression et de fin de course.

L'ultime étape dans l'automatisation serait bien entendu l'examen de la pièce et l'identification automatique des défauts. De nombreuses recherches et essais sur le sujet ont été réalisés depuis des années par SREM et d'autres constructeurs, mais sans réel succès. Les contraintes sont multiples, et actuellement la formidable capacité d'analyse d'une personne spécialement formée, reste sans conteste la solution la plus performante pour réaliser le diagnostic final. Par exemple, seule l'expérience de l'opérateur est à même de discerner de petites inclusions parmi le bruit de fond. Il en est de même pour l'identification d'un défaut dans un cordon de soudure, où la présence de fausses indications liées à la zone affectée thermiquement, est courante. Les capacités d'adaptations rapides à des

formes de pièces très différentes et la faculté de percevoir un environnement en 3 dimensions jouent également en faveur de l'opérateur



*Identification automatique d'un défaut*

Certaines solutions testées donnent néanmoins des résultats intéressants, mais toujours limités à des pièces de géométrie très simple, et utilisables essentiellement pour un premier tri (en raison de la présence de nombreuse fausses indications). Les techniques utilisées sont donc loin d'être universelles, ce qui les rend bien souvent peu rentables. L'automatisation complète du process de contrôle reste donc toujours un challenge complexe pour les années à venir !

## **L'ENVIRONNEMENT – UNE PREOCCUPATION DU MOMENT**

L'environnement de l'opérateur est au cœur des préoccupations actuelles, en particulier depuis la sortie de la directive 2004/40/CE, en ce qui concerne l'exposition au champ magnétique. Bien que l'émission des champs magnétiques dépende grandement des conditions opératoires (difficilement maîtrisables dans certains cas), des mesures techniques peuvent être mises en œuvre pour réduire l'exposition de l'opérateur. Depuis plusieurs années déjà, et bien que la transposition en droit français ne soit pas effective (probablement repoussée de 2008 à 2012), SREM Technologies met en place des actions sur ses équipements. Il peut s'agir d'adaptation des bobinages source du champ magnétique, de la diminution des fréquences harmoniques dans les courants d'aimantation ou bien encore d'automatisation permettant d'éloigner les opérateurs. En tout état de cause, la magnétoscopie saura s'adapter à cette nouvelle réglementation.



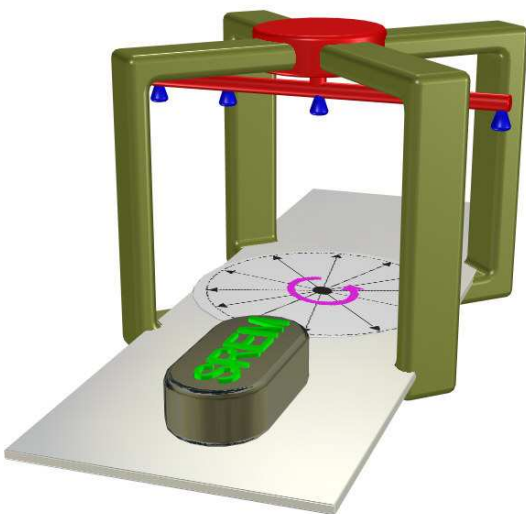
*Adaptation d'un bobinage type DP110 par déport de la commande et limitation d'harmonique*

L'environnement concerne également la réduction des dépenses énergétiques. Pour générer un champ magnétique, on utilise essentiellement du courant électrique. En magnétoscopie, les puissances instantanées nécessaires sont très importantes pour obtenir des champs intenses. Néanmoins l'énergie nécessaire est essentiellement une énergie réactive (énergie récupérable car non consommée sous la forme de puissance active) qui peut être fournie par un système de compensation interne à l'installation. Dans certain cas, il est donc possible de mettre en place un dispositif permettant de réduire jusqu'à cinq fois la consommation électrique sur le réseau.

## TECHNIQUES INNOVANTES: POUR ALLER PLUS VITE

### La magnétoscopie sans contact par champ tournant en chambre

La particularité qu'apporte la chambre de magnétisation par champ tournant est de créer sur toute la surface à contrôler de la pièce un champ magnétique de direction variable dans le temps, sans qu'elle soit en contact avec le système magnétisant. On utilise pour ce faire une chambre composée de deux ou trois bobinages créant individuellement des champs orthogonaux et proportionnels à l'intensité du courant qui les traverse. Le champ magnétique qui en résulte est alors la somme vectorielle des champs magnétiques créés par chacun des bobinages. Le fait d'alimenter ces bobinages à l'aide de courants alternatifs déphasés produit un vecteur de magnétisation résultant tournant (50 tours par seconde pour une alimentation 50 Hz). La rotation de ce vecteur permet de magnétiser et de mettre en évidence l'ensemble des défauts sur la surface à contrôler en une seule opération.



*Magnétoscopie par champ tournant en chambre sans contact*

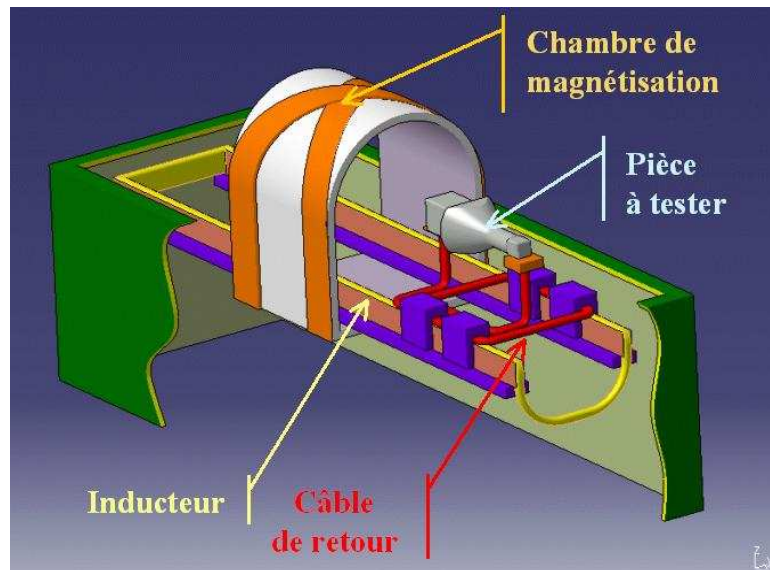
Cette technique, en plus d'offrir une grande souplesse d'utilisation et de permettre une magnétisation extrêmement rapide des pièces, annule totalement le risque d'arc électrique sur la pièce. La magnétisation se fait uniquement par l'application d'un champ externe multidirectionnel et il n'y a donc aucun contact électrique.

Ce mode d'aimantation possède malheureusement des limitations liées à l'utilisation de circuits magnétiques ouverts (les lignes de champ se rebouclent dans l'air). En particulier, le bruit de fond sur la pièce est très important, ce qui gêne la bonne détection de défauts fins. Cette technique doit donc être réservée à certaines géométries de pièce et n'est pas adaptée pour la détection de défauts tels que les replis de forges.

## La magnétoscopie sans contact par passage de courant induit

Cette technique a été développée et brevetée (n° de publication 2.834.793) par SREM dans le but de permettre un contrôle aussi souple que dans le cas d'une magnétisation en chambre sans contact, tout en améliorant la qualité du contrôle pour permettre la détection de défauts fins tels que les replis de forge.

La figure suivante représente un exemple de mise en œuvre dans lequel on trouve un circuit inducteur et un circuit induit mobile composé de la pièce à tester et d'un câble de retour. L'ensemble est combiné avec une chambre permettant d'assurer une magnétisation longitudinale suivant 4 directions principales en fonction de la pièce ( $0^\circ$  -  $45^\circ$  -  $90^\circ$  -  $135^\circ$ ). La magnétisation de la pièce s'effectue simultanément à une opération de transfert.



*Schéma de principe d'un système de magnétisation dynamique par courant induit*

L'utilisation d'un circuit induit pour assurer un passage de courant dans la pièce à tester offre plusieurs avantages. En premier lieu, l'établissement naturel du courant sans imposer aux bornes de la pièce une forte tension d'alimentation permet de contrôler celle-ci en la posant simplement sur un plateau support pièce mobile (il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif de serrage). De plus, cette technique permet d'obtenir une magnétisation transversale de la pièce par création d'un flux tournant en circuit magnétique fermé (à l'intérieur de la pièce) ce qui permet de réduire considérablement le bruit de fond.



*Banc de magnétoscopie avec système de magnétisation dynamique par courant induit*