LA DRASTICITÉ:
INDICATEUR QUALITÉ ET OUTIL DE DEVELOPPEMENT EN TREMPE

Aux travers de différents exemples et des possibilités des appareils de mesures actuels, l'exposé démontre l'utilité de suivre la drasticité des installations et fluides de trempe. Test simple et rapide , elle permet :

- de juger de la conformité des produits réceptionnés et en service
- de juger du respect des bonnes conditions d'emploi du produit et de l'interaction de l'équipement (rôle agitation, température, de la concentration pour les polymères…)
- d'assurer une traçabilité qualité du produit et de la phase de refroidissement
- de déterminer des données comparatives suivant des méthodes normalisées (ISO , NFT…) et des méthodes de calcul (HP, Castrol index)
- de définir des bornes et formules spécifiques aux clients
- de créer et d'exploiter une base de données avec recherches multicritères
- de diminuer les risques de non conformités (tapures, manque de duretés) par un suivi en temps réel et in situ.

La demande croissante des utilisateurs finaux pour des produits traités thermiquement de haute performances et de qualité constante conduit les praticiens à maîtriser et à contrôler les différentes phases de leurs process de manière plus conséquente.
Une des phases les plus critiques et pourtant souvent la moins contrôlée est l'opération de trempe. Un mauvais choix ou la dérive de certains paramètres en cours de production peut conduire à des surcoûts liés à des refroidissements ne permettant plus de respecter les spécifications demandées**.** Ceux - ci peuvent inclure des coûts d'opérations supplémentaires (redressage, nécessité de retremper les pièces, modifications de gammes …), de non -conformités (tapures, pièces rebutées…) et avoir une forte incidence sur le respect des délais de livraisons et l'image de marque du traiteur ainsi que sur la fiabilité du procédé.

SURCOUTS LIES A UNE TREMPE NON MAITRISÉE..

- **OPERATIONS SUPPLEMENTAIRES**
  - Redressage (déformations)
  - Traitement supplémentaire (re-trempe)
  - Modifications de gamme (température de revenu …)
- **NON CONFORMITES**
  - Tapures
  - Pièces rebutées après contrôles ou reprises

⇒ **NON RESPECT DES DELAIS**
⇒ **MAUVAISE NOTATION QUALITE DU PROCEDÉ**
⇒ **INFLUENCE GLOBALE SUR IMAGE DE MARQUE**

Les avancements dans la prise de conscience de l'importance de cette phase reposent sur l'établissement et l'introduction de normes *NF, ISO et ASTM pour tester et évaluer les* différents milieux de trempe durant les dix dernières années.

SOURCES D 'EVOLUTIONS...

- **Normalisations**
  - classifications des fluides de trempe en fonction de critères tels que vitesse, θ d 'emploi : NFT 60 - 162
  - méthode d'évaluation du pouvoir refroidissant des huiles:
    - capteur Inconel (ISO 9950:1995 & ASTM D 6200 - 01)
    - capteur argent (NFT 60 - 178)
  - méthode d'évaluation du pouvoir refroidissant des solutions polymériques:
    - ASTM D 6482

Ces standards sont aujourd'hui reconnues internationalement et leurs nombres d'utilisateurs va croissant permettant ainsi d'établir les bases d'une banque de données quantifiées et qualifiées**.**
Un autre facteur très important ayant contribué aux dernières évolutions est le nombre croissant de conférences et congrès internationaux traitant de la trempe sous différents aspects. Ceux-ci couplés aux travaux de commission fluides de trempe internes à de nombreux pays ont largement fait progresser la profession.
Une troisième raison est le développement d'équipement permettant de tester les différents milieux de trempe en accord avec les différentes normes et intégrant des outils informatiques et techniques autorisant le traitement et l'exploitation des résultats. Ces équipements ont permis aux fournisseurs de produits de vérifier les performances de leurs produits avant livraisons et aux traiteurs de valider leurs fluides de trempe avant utilisation et régulièrement pendant leurs utilisations.

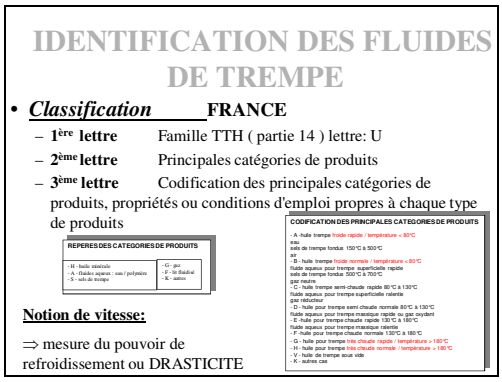
Ces appareils assurent de même la comparaison de produits provenant de différents fournisseurs. En cas de déviation des caractéristiques de trempe, le praticien a un outil avec lequel il peut rechercher et analyser les points ayant conduit à ces écarts si ceux ci sont liés à la vitesse de refroidissement.

NORMALISATION

Les fluides de trempe sont répertoriés sous la norme française NFT 60-162 classant les lubrifiants, huiles industrielles et produits connexes. Leur classification est établie suivant la norme NFT 60 - 512 d'après le mode suivant :

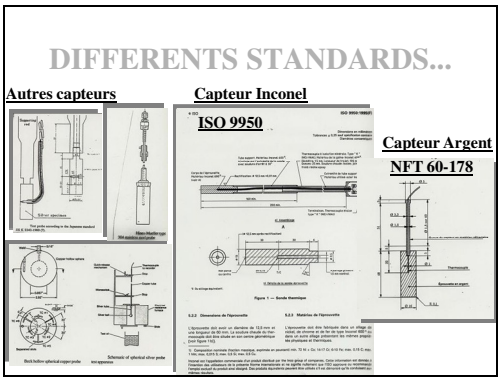
- 1ère lettre Famille TTH (partie 14) lettre: U
- 2ème lettre Principales catégories de produits
- 3ème lettre Codification des principales catégories de produits, propriétés ou conditions d'emploi propres à chaque type de produits

INTERNATIONAL : Une classification normalisée ISO est actuellement en préparation et découle de la norme NFT 60-512 mise au point par l'ATTT.



La NFT 60 - 512 donnant un critère d'appréciation basé sur la vitesse , il convient donc de la caractériser. On va alors effectuer une mesure du pouvoir refroidissant ou mesure de drasticité.

Un certain nombre de méthodes ont été utilisées pour évaluer les milieux de refroidissement. L'essai indirect impliquant la trempe d'éprouvettes réalisées dans un certain type d'acier ne donne que des indications limitées sur les caractéristiques de refroidissement(norme éprouvette coin en 38 C 2). La méthode la plus courante pour l'essai direct est la méthode dite de la sphère d'argent (test de Rose Paschkis) , dans laquelle une sphère d'argent (éprouvette) comportant en son centre un thermocouple est chauffée puis trempée dans le milieu de refroidissement en question. La température est enregistrée en fonction du temps, et souvent la vitesse de refroidissement est également enregistrée en fonction de la température (ou en fonction du temps).



En raison des difficultés inhérentes à la fabrication de l'éprouvette et à l'évaluation des résultats d'essai, plusieurs éprouvettes modifiées ont été utilisées avec cependant la même méthode de base . Les éprouvettes ont été réalisées dans divers matériaux, et de différentes tailles, la forme étant généralement cylindrique.
Afin de permettre la comparaison entre les résultats d'essai provenant de différents laboratoires et entre les descriptions techniques des milieux de trempe provenant de différents fournisseurs, il est nécessaire d'utiliser une même méthode d'essai.

Principe

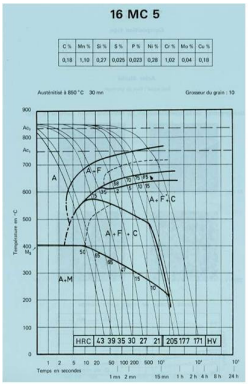
Une éprouvette cylindrique (sonde) contenant un thermocouple en son centre géométrique est chauffée dans un four à une température spécifiée, puis transférée dans un volume donnée du liquide de trempe soumis à l'essai. La variation de la température en fonction du temps , au centre de la sonde est enregistrée ainsi que la vitesse de refroidissement.

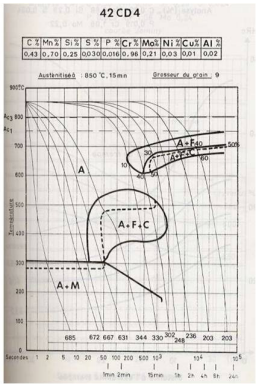
C’est cette loi de refroidissement qui est déterminante pour les métallurgistes qui utilisent ce refroidissement par trempe pour conférer à une pièce les propriétés désirées tout en minimisant le risque de défauts type tapures ou déformations.

Vitesse critique de trempe

Après la mise en solution, l’alliage doit être refroidi assez énergiquement pour que la solution reste sursaturée à la température ambiante. Pour que les caractéristiques soient optimales il faut que la concentration de la solution solide soit sensiblement la même qu’à la température de mise en solution , ce qui n’implique pas nécessairement que le refroidissement soit très rapide. C’est là qu’intervient la notion de vitesse critique de trempe qui peut être considérée comme la vitesse critique de refroidissement minimale qui permet d’obtenir à l’ambiante la solution solide sursaturée. En fait il vaudrait mieux dire l’allure critique de la vitesse de trempe car en réalité les vitesses de refroidissement nécessaires ne sont pas les mêmes dans tout l’intervalle de température qui s’étend de la température de mise en solution à l’ambiante.

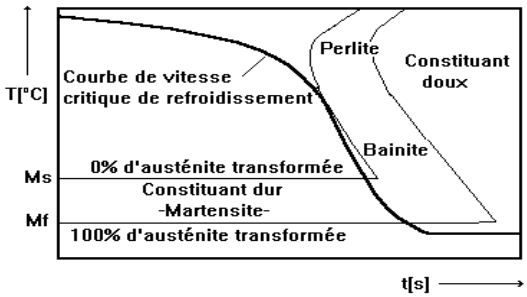
Lors d'un refroidissement accéléré, les transformations de structure se font dans des conditions hors équilibre: on s'écarte donc de ce que le diagramme de phase prévoit(ou diagramme d'équilibre).On utilise donc un diagramme appelé diagramme TRC (Transformations en Refroidissement Continu).





Les vitesses critiques de trempe garantissant le meilleur compromis caractéristiques / déformations , ainsi que les points de transformations, peuvent être très différents entre deux aciers.
Le refroidissement requis doit être suffisamment rapide pour éviter la formation de constituants doux tels que la perlite , la bainite et pour former un constituant dur appelé martensite.

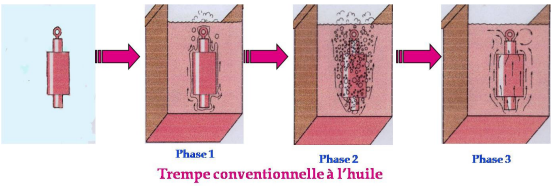
Pour toute composition d'acier donné, nous avons une vitesse de refroidissement critique pour obtenir la dureté maximum avec les tensions minimum. A cette vitesse critique, l'austénite formée à haute température se transforme en martensite en évitant le nez perlite /bainite .



En pratique cependant, refroidir un métal plus ou moins rapidement condamne à créer en son sein des gradients thermiques plus ou moins importants de telle sorte que, systématiquement, le refroidissement sera plus lent en profondeur qu'en surface du volume considéré. Ce phénomène physique bien connu, est responsable de diverses déformations et de créations de contraintes résiduelles.
Cela peut vouloir dire que la surface d'une pièce peut suivre la vitesse critique de refroidissement et ainsi avoir une dureté maximum, tandis que le centre refroidissant plus lentement, peut lui, former des constituants doux tels que la perlite et la bainite.
Ces variations de vitesse de refroidissement à travers la section d'une pièce, ont une implication importante dans la formation de déformations et ceci d'autant plus que l'écart vitesse cœur - vitesse bord est important.
Un problème se pose donc : Que pouvons nous faire si nous avons une pièce qui nécessite une dureté maximum à travers toute sa section, et qui, si on la trempe dans un fluide à refroidissement normal donne seulement en surface la dureté voulue ?
La solution existe bel et bien : On peut agir sur la composition de l'acier, on peut également agir sur le fluide de trempe et ses paramètres de trempe comme l'agitation, température du bain, concentration de produit, etc…

Dans les liquides vaporisables tel que l’eau, l’huile ou les polymères on peut observer lors du refroidissement trois phases distinctes.

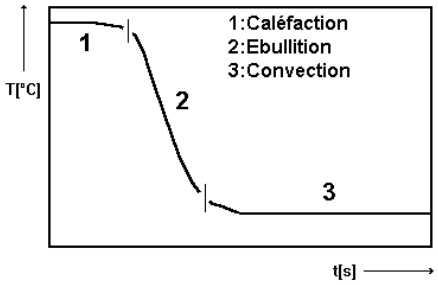
Nota : dans le cas de l’eau en basse température ou d’une faible concentration en polymère la première phase peut être très courte et ne pas apparaitre sur les tracés d’enregistrement normatifs actuels.



PHASE 1: Phase dite *"phase vapeur"* ou *"phase caléfaction"*
Période de refroidissement lent durant laquelle une gaine de vapeur entoure la pièce. Ce film est formé par l'évacuation des calories de la pièce. Le transfert de chaleur se fait alors à travers le film par radiation
et conduction.

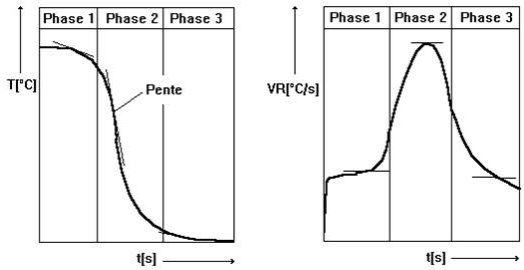
PHASE 2: Phase dite *"phase ébullition »*
Le fluide de trempe est en contact avec la pièce. On obtient par conséquent, une vitesse de refroidissement très élevée.

PHASE 3: Phase dite *"phase convection »*
L'ébullition cesse et la chaleur s'évacue par convection. C'est une phase de refroidissement lent.



Ces trois phases peuvent aisément être vérifiées en laboratoire (doc. HOUGHTON).

Sur une pièce cylindrique, dès son immersion, celle-ci se trouve entourée d'un film de **vapeur (Phase 1)**.
La phase d'ébullition commence alors (transfert de chaleur plus rapide). Le fluide de trempe atteint très rapidement sa température d'ébullition . **L'ébullition** se poursuit ensuite graduellement le long de la pièce, jusqu'à entière ébullition et vitesse de refroidissement maximum. **(Phase 2)** .Quand l'ébullition diminue, la pièce redevient en contact avec le fluide, et l'échange de chaleur se fait alors par **convection,** selon la loi de Newton **(Phase 3)**. La vitesse de refroidissement décroît proportionnellement avec l'écart de température métal-fluide.
Toutefois, en pratique, les pièces sont agitées, et le milieu de trempe subit une circulation. Ceci aide à la dispersion de la gaine de vapeur, et écourte donc la phase de caléfaction dans le temps (phase 1), avançant ainsi la phase d'ébullition (phase 2).
Pour obtenir davantage d'information lors de l'exploitation de courbes de refroidissement, ou pour changer son angle de vision, on a recours à une autre forme de courbe de refroidissement: la dérivée
En effet, les trois phases d'un refroidissement, que l'on peut voir sur un diagramme Temps-température, peuvent aussi être représentées sur une courbe dérivée de la température et du temps (Soit le temps [s] en abscisse, et la vitesse de refroidissement[°C/s] en ordonnée).



C'est l'enregistrement de ces deux profils, la détermination de points caractéristiques et le suivi de leur évolution qui intéresse le praticien. On suivra entre autres, les points caractérisant les changements d'états à savoir la température de transition entre la phase de caléfaction et d'ébullition nucléée et la température de transition entre la phase d'ébullition nucléée et celle de convection. L'évolution de ces points pourra renseigné le praticien sur les risques encourus et les sources de dérives possibles.
Evolution seule de la température de transition entre la phase de caléfaction et d'ébullition nucléée :
- en hausse / risques : hétérogénéités, pièces sales
- en baisse / risque : manque de dureté

causes possibles :il convient de coupler ces points avec les autres caractéristiques physico chimiques (viscosité, point éclair…) du produit pour déterminer les causes possibles de dérive.

Evolution seule de la température de transition entre la phase d'ébullition nucléée et la phase de convection:

- en hausse / risque : manque de dureté
- en baisse / risques : tapures, déformations, duretés à cœur trop élevées

Evolution communes des températures de transition :

- les deux points caractéristiques en hausse / risque : manque de dureté / causes possibles : élévation de la viscosité par oxydation ou par huiles étrangères
- les deux points caractéristiques en baisse / risques : tapures, déformations, manque de duretés / causes possibles : pollution par eau, liquide de craquage, huiles étrangères
- température de transition entre la phase de caléfaction et d'ébullition nucléée en hausse et température de transition entre la phase d'ébullition nucléée et la phase de convection en baisse / risques : faibles car faibles dérives en général mais les risques seront proportionnels à la dérive / causes possibles : rodage de l'huile neuve, oxydation, pollution.
- température de transition entre la phase de caléfaction et d'ébullition nucléée en baisse et température de transition entre la phase d'ébullition nucléée et la phase de convection en hausse / risque :manque de dureté / causes possibles : dégradation par oxydation plus craquage.

Pouvoir refroidissant et pouvoir trempant

Le pouvoir refroidissant d'un fluide est l'aptitude de ce fluide à évacuer les calories D'un métal chaud. Il est caractérisé par la mesure de drasticité.

Le pouvoir trempant est l'aptitude à conférer à un alliage métallique des caractéristiques mécaniques et d'obtenir des microstructures homogènes tout en respectant le minimum de déformations. On caractérisera le niveau de duretés en surface et à cœur, le profil de la profondeur durcie, la microstructure obtenue et son niveau d'homogénéité, les niveaux de déformations dimensionnelles subies.

Des études et certains développement de logiciels permettent aujourd'hui d'établir de façon fiable une loi reliant les données cinétiques d'une huile, établies par la mesure de drasticité et les résultats de dureté après trempe.

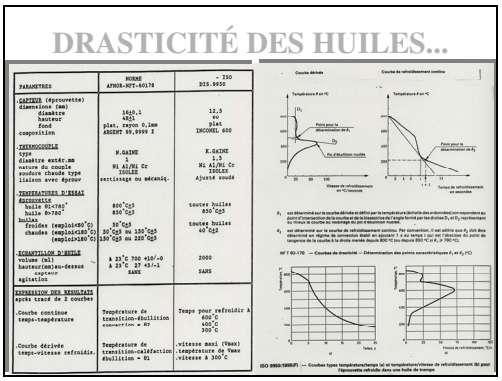
Huile

L'IFHT après essais sur différents pays des différentes méthodes existantes a reconnu deux méthodes pour la détermination des caractéristiques de refroidissement des huiles de trempe au niveau international:

ISO 9950 capteur Inconel en 1er choix

NFT 60 178 capteur Argent en 2ème choix

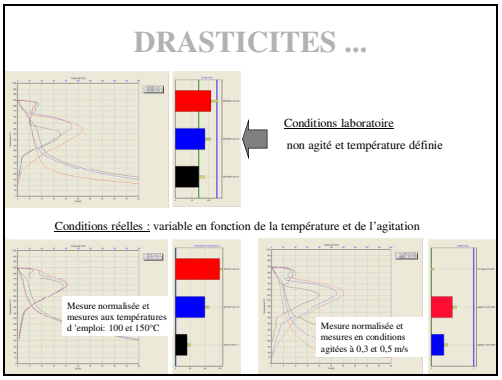
FRANCE: les deux méthodes sont utilisées (dépend du fournisseur)



Ces normes prescrivent une méthode d'essai de laboratoire pour la détermination des caractéristiques de refroidissement des huiles de trempe industrielles.

Les essais sont effectués dans des huiles non agitées, ce qui permet de classer les caractéristiques de refroidissement des différentes huiles dans des conditions normalisées.

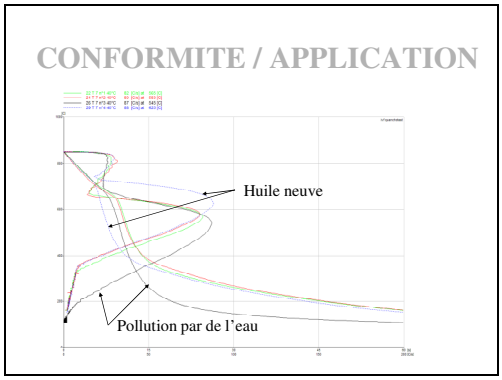
Les conditions normalisées peuvent être complétées par une mesure de drasticité à la température de service. Les polymères ne sont pas encore normalisés en ISO et NFT.



Aucune corrélation ne doit être faites entre les résultats de ces essais et les vitesses de trempe dans des installations de trempe industrielles ou il existe des degrés variables d'agitation.

Les caractéristiques de refroidissement d'un produit en service sont contrôlés avec les mêmes standards qu'un produit neuf, sa conformité dépendra des bornes fixées par l'ap-

plication au niveau de la dérive par rapport au produit neuf.



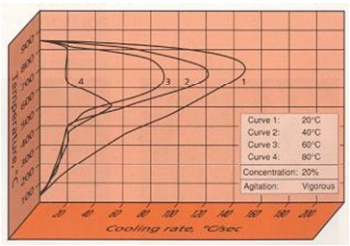
DRASTICITE EN CONDITIONS AGITEE ET REGULEE

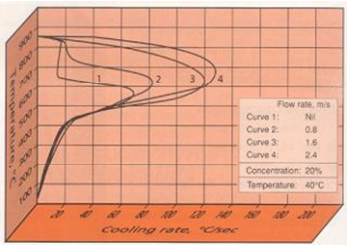
La drasticité n'est normalisée que pour les huiles de trempe et dans des conditions non agitées et à une température définie de 40 ou 50°C.
L'exploitation de ces essais normalisés n'est donc pas adaptée pour les fluides types polymères de trempe nécessitant une agitation pour obtenir des profils reproductibles ou pour la retranscription des conditions réelles d'utilisation du produit en production. Il convient dans ce cas de prendre en compte et de retranscrire l'agitation dans le bac et la température réelle dans le process

Un système développé récemment par notre société offre la possibilité d'intégrer ces paramètres et donc de répondre aux contrôles de l'ensemble des fluides de trempe eau, huiles et polymères compris, ceci, dans des conditions similaires à leurs critères d'utilisation .
Il est aussi destiné aux études comportementales des produits et process de trempe :
- comparatif et aide aux choix de différents produits en fonction de la température et de l'agitation présente sur les installations.
- validation de la nécessité d'optimiser le process

DRASTICITE DES POLYMERES

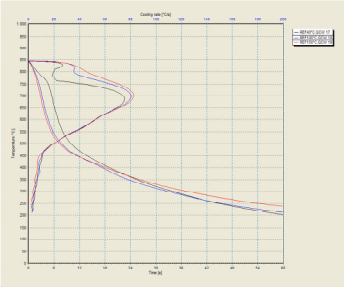
influence de la température **influence de l'agitation**



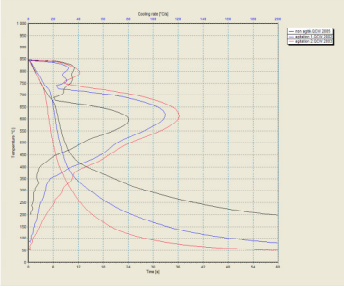


Développement interne SC thermo process système de mesure en conditions réelles

Conditions réelles
Variation agitation / température



Mesure normalisée iso 9950 et température d'emploi 100 et 150°C



Mesure normalisée ISO 9950 et agitation de 0,3 à 0,5 ms^{-1}

EXPLOITATION - A quoi sert la drasticité?

La vitesse de refroidissement étant la résultante à l'instant t de l'état du produit elle devient un outil d'identification et de traçabilité pouvant être intégré dans le circuit qualité.

MOYENS DE CONTROLES ET DE SUIVI...

- drasticité:vérification du maintien de la vitesse réelle du produit, c'est la résultante à connaître.

Elle est à coupler avec les analyses physico-chimiques pour juger de la conformité globale du fluide

Huile en service

Seront pris en compte principalement :

- la viscosité indication du type de dégradation (oxydation ou craquage: suivi Infra Rouge)
- l'indice d'acide
- la teneur en eau (en général 0,05% maxi)
- le point d'éclair (critère de sécurité)
- les impuretés

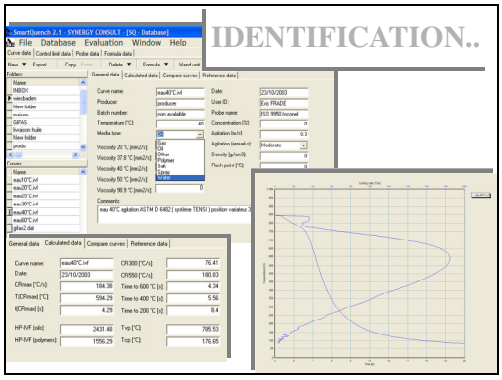
Trempe aqueuse à base polymère

Seront pris en compte principalement :

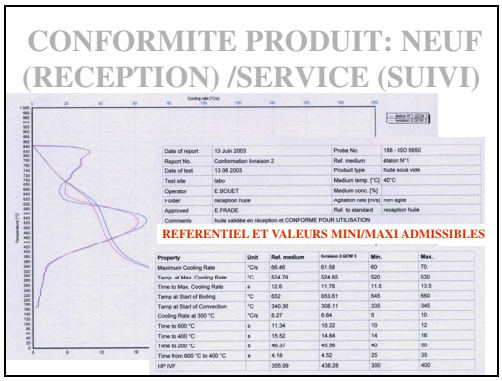
- pH
- concentration
- développements bactériens(pollution)
- moussage
- corrosion & bio stabilité

C'est un moyen laboratoire:

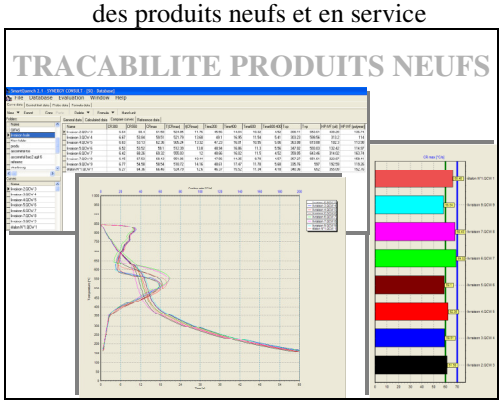
- Permettant d'identifier un produit de trempe



- Permettant de juger de la conformité d'un produit neuf ou en service



- Permettant d'assurer la traçabilité des produits neufs et en service



Le suivi de la drasticité permet de diminuer le risque de non conformité par la prise d'informations pouvant se faire en temps réel et in situ donc avec l'intégration de l'ensemble des paramètres process pouvant faire varier la vitesse de refroidissement.

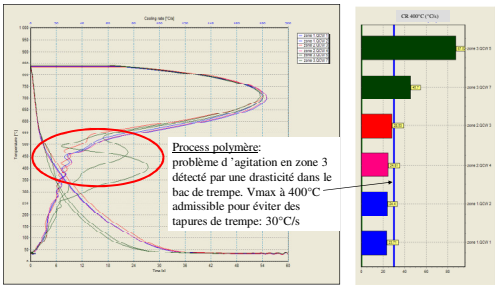
FACTEURS INFLUANT SUR LA DRASTICITE D 'UN POLYMERE

- Le choix du type de polymères :PAG, PVP…
- La concentration du polymère en service
- L 'agitation utilisée dans le bac
- La température du bain de trempe
- Le ratio Tonnes de pièces trempées / volume du bain
- Le choix et le rôle des additifs
- L 'importance de la calamine
- Le niveau du bain et la présence de mousse
- Les pollutions : huiles, savons, suies...

C'est un outil de suivi de process:

- Permettant d'identifier et de vérifier les bonnes conditions d'utilisation du process pour assurer un refroidissement optimal

HOMOGENEITE ET PROFILS DES DIFFERENTES ZONES DE TREMPE



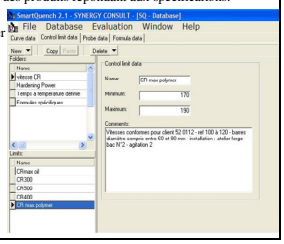
- Permettant de définir les bornes spécifiques en vitesse de refroidissement d'une pièce ou charge type qui assureront la conformité métallurgiques en trempe

DONNÉES DES LIMITES DE CONTRÔLE

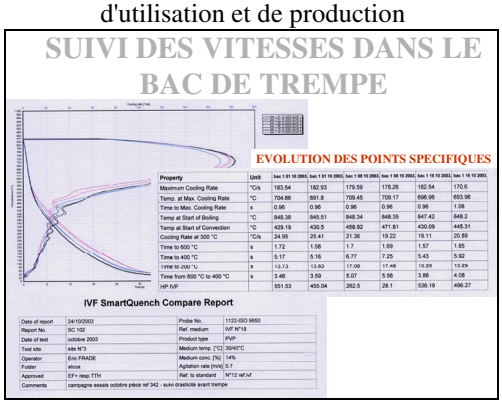
L 'objectif est d 'améliorer le contrôle qualité en spécifiant certaines limites pour différentes caractéristiques de refroidissement qui ne doivent pas être dépassées afin de sauvegarder le procédé et donner des produits répondant aux spécifications.

Il revient à l'utilisateur de définir les limites de contrôle qui doivent se baser sur son expérience et être liées à ses applications. Exemple: définition des bornes de vitesses de refroidissement minimum et maximum permettant la conformité d 'un certain type de pièce traitée dans un certain type de bac(installation identifiée) avec un certain type de produit (ici polymère).

Plusieurs limites de contrôle peuvent être ainsi définies et stockées pour chaque caractéristiques.

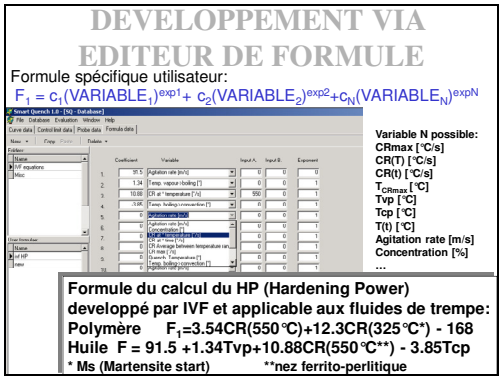


- Permettant d'assurer une traçabilité de la vitesse de refroidissement du process dans les conditions réelles d'utilisation et de production



Comment l'utiliser?

Comme outil de développement : Meilleure connaissance du refroidissement par l'utilisation et l'exploitation de méthode de calcul reconnues exploitant des paramètres provenant de profils de drasticités normalisés (pouvoir trempant HP ivf, H castrol).



Dans des conditions dérivées de l'essai normalisé , avec un thermocouple noyé dans une pièce ou une charge type, la drasticité sur site permet de caractériser et d'optimiser une gamme opératoire.
En multi-acquisition elles permet de cartographier une charge de trempe ou le refroidissement en différents points d'une pièce simultanément.

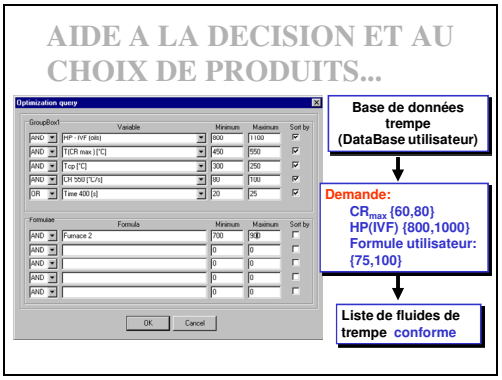
GAMME OPERATOIRE PIECE TYPE OPTIMISÉE EN TREMPE

- Montée en température < 10°C / min
- Maintien 3heures à 870°C
- Potentiel Carbone : 0,8

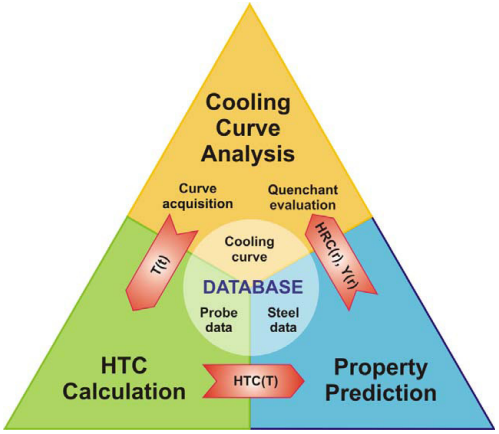
Actuel trempe:température/agitation/temps de maintien avec optimisation via la drasticité sur pièce type:

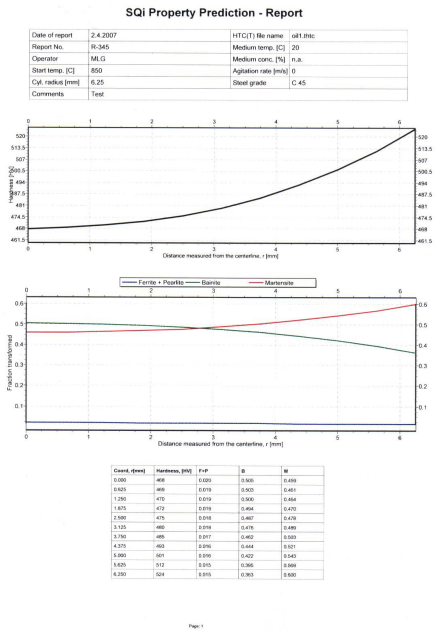
- Vitesse maximum comprise entre 60 et 70°C/s
- HP compris entre 800 et 1000
- temps à Vmax compris entre 8 et 11secondes
- Vitesse à 300°C comprise entre 5 et 10°C/s
- Formule utilisateur comprise entre 75 et 100

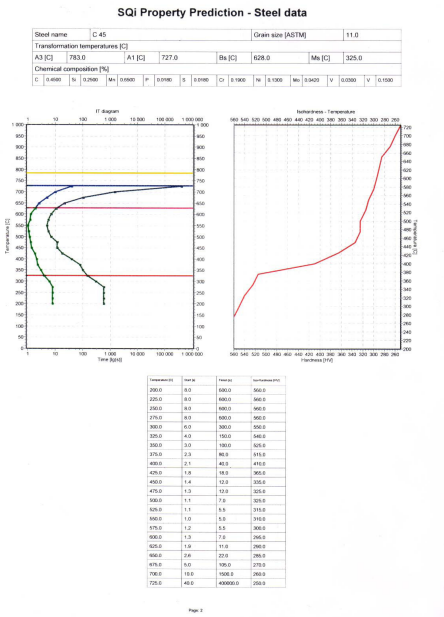
Comme outil d'aide à la décision sur la phase de trempe:
Les drasticimètres actuels sont couplés à des logiciels spécifiques intégrant de nombreuses variables. En enrichissant et en exploitant une base de données aujourd'hui exploitable par tous , ils permettent une amélioration de la maîtrise des paramètres produit ou process qui conduiront à l'obtention des caractéristiques de refroidissement optimales.



Les derniers développements de logiciels permettent d'intégrer les vitesses de refroidissement afin de calculer les coefficients de transfert thermiques (HTC). Ce coefficient est utilisé pour les calculs de duretés et de microstructure prévisionnels en fonction de la nuance de l'acier et de sa section.

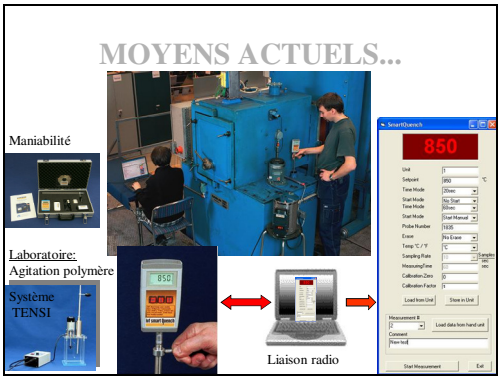






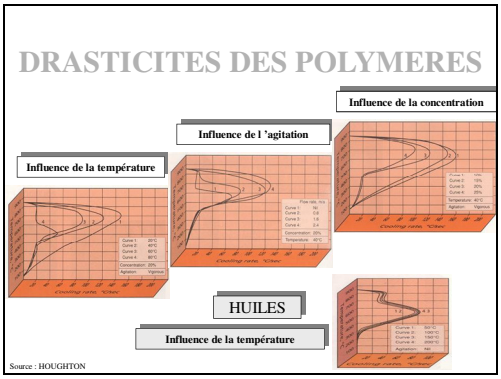
Mise en œuvre - moyens et complexité:
Les appareils actuels ont pu en faire un test simple et rapide pouvant être mis en œuvre par un opérateur ou un laborantin.

- logiciels de traitements sous Windows avec possibilités d'extrapolation des données sous des formats couramment exploitables (excel, Word, texte…)
- temps d'acquisition pour un essai normalisé : 20 s ou 60 s
- stockage et mise en mémoire de plusieurs essais dans un boîtier d'acquisition afin de pouvoir faire des relevés sur process sans nécessité de transfert et traitement de la drasticité après chaque essai
- liaison radio entre la partie d'acquisition et la partie de traitement et de stockage des informations permettant une utilisation dans des environnements difficiles (plus de nécessité d'avoir l'ensemble de l'équipement à proximité de l'installation à valider)



EVOLUTIONS ET PERSPECTIVES

A l'heure ou les process sont pilotés et gérés non plus de manière empirique mais par des procédés et équipements permettant une détection et un traitement en direct d'une dérive au niveau du traitement, il devient urgent de mettre en place un outil corrélable au système qualité et autorisant les mêmes possibilités au niveau de la trempe.
Ceci devient surtout vrai avec le développement parallèle de la trempe au polymère dont les vitesses de refroidissement révèlent une très forte dépendance des conditions opératoires.



La mesure de la drasticité, même si elle ne doit pas uniquement être prise en compte, l'autorise et pourra ainsi contribuer à l'avancement des connaissances relatives à vos process de trempe sans moyens et techniques lourdes et onéreuses à mettre en place.

Messieurs HOFFMANN et MULOT ouvrait il y a 14 ans, à Strasbourg les premières « journées Européennes de la trempe » par ces mots:
"Au sein du procédé thermique, il serait souhaitable d'adapter également le refroidissement à ce que l'on attend de chaque pièce. Pour ce faire, nous devrions être capable de mieux cerner le refroidissement, de le modifier à volonté si possible, de décrire de façon mathématique ses effets, puis de le piloter de façon précise.
A défaut d'autres caractéristiques, nous désignons encore à présent une trempe par des termes comme "brusque" ou "douce". Des prévisions précises et sûres quant au résultat d'une trempe tiennent toujours du rêve. La question capitale est:
Comment devrait se présenter un procédé de refroidissement optimal ? "

La mesure de la drasticité des fluides de trempe permet de répondre en partie au premier de ces souhaits.
Les outils actuels de traitement et d'exploitation de données provenant de la drasticité permettent et contribuent à l'apport de réponses quand à la question principale du "refroidissement idéal applicable à un type de pièce ou un procédé dans des conditions définies" .

OUTILS ACTUELS

PARAMETRES TEMPERATURE ET ATMOSPHERE

- Variables process:état fumisterie / état des résistances ou réglages des brûleurs /géométrie et conception du four / type de charge / implantation et dérives des capteurs / proportion et répartition des gazs présent dans le four ...
- Moyens de contrôle / suivi / vérification:régulateur / cartographie / sonde oxygène ou analyseur…
- RESULTANTE: gestion / régulation / supervision intégrant le temps de traitement en fonction de l 'évolution des variables

PARAMETRE TREMPE

- Variables process: température bain / agitation / état du produit
- Moyens de contrôle / suivi / vérification : drasticité
- RESULTANTE : gestion de la vitesse de refroidissement et rattachement qualité possible.

Je terminerais moi aussi, par un souhait auquel je l'espère nous pourront répondre lors de la prochaine décennie:

RATTACHEMENT QUALITE ET SUIVI POSSIBLE EN TEMPS REEL

- ACTUEL : Température / Atmosphère / Temps
- POSSIBLE AUJOURD 'HUI avec un drasticimètre:
  - vitesse de refroidissement réelle du produit dans les conditions opératoires de production
- DEMAIN:
  - intégration dans les ateliers de traitement thermique du pilotage et de la supervision des vitesses de refroidissement du produit effectuant la trempe (drasticités).
  - et ultérieurement de la vitesse de refroidissement réelle des pièces.

"A quand l'intégration et la généralisation de la drasticité dans les systèmes de supervision et de pilotage de process afin de pouvoir identifier et gérer en temps réel un process complet de traitement thermique incluant la trempe".