## CHAPITRE ONZE

# ÉLÉMENTS SUR LES ENSIMAGES DES FILS ET FIBRES TEXTILES

Au cours de la production et du travail d'un filament artificiel ou synthétique, celui-ci est soumis à des frottements sur divers obstacles et sur les autres filaments voisins. Il en résulte une possibilité d'abrasion de sa surface et des tensions pouvant aller jusqu'à provoquer sa rupture. C'est la première raison pour laquelle il est indispensable de le recouvrir d'une couche protectrice et lubrifiante.

Le modèle de ces couches protectrices nous est donné par les fibres naturelles : le nom ENSIMAGE a la même racine que le terme SUINT, produit d'ensimage naturel exsudé pat les moutons et imprégnant la laine.

Les fonctions PROTECTION et LUBRIFICATION étant assurées, on va demander davantage à l'ensimage. En effet un autre phénomène perturbateur dans le travail des fils et des fibres est le développement de charges électriques qui provoquent des répulsions des brins élémentaires ou des multifilaments entre eux. Les polymères ne sont pas en général conducteurs de l'électricité. Un bon ensimage pourra diminuer l'importance de ces charges mais surtout en faciliter l'écoulement. Il devra donc posséder également une fonction ANTISTATIQUE.

## 1 - FONCTION LUBRIFICATION.

L'ensimage doit conférer au fil un glissant contrôlé. Le long de son chemin de fabrication puis de sa mise en œuvre, le matériau rencontre divers obstacles : sur certains le frottement doit être minimal, c'est le cas des guides métalliques ou en céramique spéciale, alors que sur d'autres obstacles le fil doit accrocher et éviter de glisser, c'est le cas des disques de texturation par friction. On trouve les mêmes différences en fibre par exemple pendant le craquage et le convertissage.

En ce qui concerne l'action réciproque des filaments unitaires ou assemblés, on souhaite généralement le meilleur glissant, au dévidage par exemple, ou au contraire un glissant modéré pour permettre la formation satisfaisante de bobines au cours du bobinage (On recherche l'absence de déplacement des couches successives de fil les unes par rapport aux autres)

L'étude de la fonction lubrification nécessite la connaissance des propriétés frictionnelles. Sans entrer dans les détails on peut dire que pour un ensimage déposé dans des conditions données sur un fil on déterminera :

- ***** Un coefficient de frottement entre le fil et un obstacle métallique, avec un test normalisé. On obtient une valeur dite "**coefficient F / M**" (coefficient fil/métal)
- ***** Un coefficient qui traduit le frottement des fils sur eux-mêmes dit "**coefficient $\Delta$F**" (coefficient fil/fil)

Par ailleurs, et selon la vitesse relative des éléments en frottement, on distinguera :

- ***** Le frottement dynamique qui est à prendre en compte dès que la vitesse relative est de l'ordre du m./ min. C'est le cas du tissage avec les frottements entre multifilaments des fils de trame et ceux des fils de chaîne.
- ***** Le frottement statique qui est à prendre en compte lorsque les vitesses relatives sont très faibles. Le glissement n'est pas continu : il se produit par décrochement brutal après génération d'une certaine tension entre les éléments en présence.

## 2 - FONCTION ANTISTATICITÉ.

Le frottement de deux corps engendre des charges électriques et l'on sait que, dès le 6ème siècle avant J.C., THALES décrivait le phénomène produit par frottement d'un tissu sur de l'ambre, le tissu attirant ensuite les poussières. On y trouve l'origine du mot "électricité" car ambre = elektron en grec. C'est également de "tribein" (qui signifie frottement) que vient le terme de triboélectricité.

Le résultat du frottement étant la formation de particules ionisées, porteuses de charges, on peut avoir deux actions:

- **-** Soit diminuer l'importance des charges.
- **-** Soit faire s'écouler ces charges.

On peut lutter contre la formation de ces charges en diminuant les frottements. Malheureusement on n'est pas toujours maître de ce paramètre car le rôle du lubrifiant n'est pas toujours de conduire au frottement minimal mais à un frottement contrôlé. Il faut donc admettre de ne pas s'attaquer systématiquement aux causes mais plutôt d'en minimiser les effets. Nous ne parlerons pas ici des types de remèdes apportés tels que la mise à la terre des machines, l'utilisation de polymères contenant des produits antistatiques, l'introduction de fils métalliques ou métallisés conducteurs dans les surfaces textiles ou enfin l'ionisation ou l'humidification de l'air ambiant.

Reste la solution offerte par la couche d'ensimage. Dans ce cas l'écoulement des charges est directement lié à la conductibilité électrique de la surface. Deux types de composés sont utilisés :

- Des molécules hygroscopiques par exemple des condensats d'oxyde d'éthylène ou de propylène, actifs par leur groupements éther.

- Des molécules ionisables : anioniques, cationiques ou amphotères.

## 3 - MOUILLAGE ET ÉMULSIONNABILITÉ.

Le lubrifiant que constitue l'ensimage agit en tant que couche intermédiaire entre le fil et les obstacles d'une part et entre les fils entre eux d'autre part. Il doit donc être déposé de façon très régulière tout le long du fil. On dit qu'il faut qu'il "monte bien sur le fil"

Un ensimage est en général constitué par un mélange de produits actifs, le plus souvent solides ou très visqueux à la température ambiante, qui apportent chacun une ou plusieurs propriétés spécifiques. La quantité déposée sur les fils est faible et de l'ordre de 0,5 à 2 % en poids de produits purs. Il en résulte que, si l'étalement est total et régulier sur toute la surface des filaments, la couche est extraordinairement fine, son épaisseur étant très inférieure au µm.
Pour faciliter la manipulation et le dépôt régulier de l'ensimage, on l'utilise très généralement dilué dans un milieu aqueux. Le dosage précis en continu et le dépôt de très faibles quantités des produits d'ensimage purs se révèle en effet extrêmement délicat. Or, dans la grande majorité des cas, les produits actifs sont insolubles dans l'eau.

On devra donc préparer une émulsion constituée par une dispersion de très fines particules des produits dans l'eau. On exigera de ces particules d'avoir un très petit diamètre et d'avoir une courbe granulométrique resserrée pour favoriser la vitesse d'étalement sur le fil et pour que l'émulsion reste stable pendant toute sa durée d'utilisation.

L'instabilité d'une émulsion se manifeste par une réagglomération des particules conduisant au "crémage" puis à une séparation en deux phases : on dit que l'émulsion "casse".

Les caractéristiques de tension superficielle des constituants ainsi que de tension interfaciale entre constituants sont à prendre en compte pour le choix des composants aptes à une bonne mise en émulsion. Ainsi :

- Pour vaincre plus facilement les forces qui s'opposent à l'agrandissement de la surface de contact entre un composant non miscible et l'eau, on s'efforcera de choisir un composant de tension superficielle pas trop élevée et on jouera sur celle de la phase aqueuse par addition d'un agent soluble capable de l'abaisser notablement. Un tel agent s'appelle un émulsifiant.

- Pour minimiser l'énergie très importante que l'on doit apporter par cisaillement mécanique afin d'obtenir une émulsion très polydispersée, c'est à dire de très grande interface, on apportera également de l'énergie calorifique afin d'augmenter l'agitation moléculaire et diminuer les forces de cohésion.

Les émulsions aqueuses ainsi préparées ont une concentration d'environ 10 % en produits actifs avec des diamètres de particules de la phase dispersée de l'ordre de 0,05 à 0,1 µm.

REMARQUE : Il faut cependant signaler des cas très rares où l'ensimage est déposé en pur à une teneur relativement élevée (1,0%) et sur des fils de titre élevé (1 100 - 1 250 dtex). On peut citer la préparation de fil tapis en PA 6 pour le dépôt de l'ensimage duquel on utilise deux gudulettes opposées et des pompes de 0,06 $cm^3$/tour.

## 4 - PROTECTION DES ÉMULSIONS.

Les émulsions d'ensimage constituent un milieu particulièrement favorable au développement des micro-organismes toujours présents dans l'eau et l'air ambiant. Les facteurs favorables à cette prolifération polluante sont :

- La valeur nutritive des composants.

- L'aération du milieu aqueux.

- La température de stockage et d'utilisation.

Le fait que l'émulsion soit un véritable bouillon de culture, pouvant conduire à un bouchage complet de tout le système de distribution de l'ensimage par un foisonnement de micro-organismes, impose des précautions dont les principales sont les suivantes :

- Propreté des cuves de stockage et des circuits de distribution. Les bactéries, champignons ou algues peuvent proliférer au point de boucher des circuits. Solidement implantés dans des zones mortes d'installations mal conçues, ils donnent lieu à l'apparition de souches très résistantes aux agents bactéricides. On sera donc amené à procéder périodiquement à des désinfections complètes des circuits et des cuves, avec de l'eau de Javel par exemple.

- Qualité de l'eau utilisée pour préparer l'émulsion. L'eau doit subir un passage préalable dans des filtres micro-pores ou tout autre système d'ultra filtration.
- Addition d'agents dans les émulsions. Le plus usuel est le **formol**. Une dose moyenne est de 3 kg. de formol commercial à 30 % pour 1 000 l. d'émulsion. On peut être amené à alterner le type d'agent protecteur pour éviter l'accoutumance des micro-organismes, ce qui se produit fréquemment. Des produits plus complexes que le formol sont proposés par les fabricants d'ensimages.

## 5 – UN PEU DE THÉORIE SUR LE DÉPOT D'UNE ÉMULSION D'ENSIMAGE SUR UN FILAMENT.

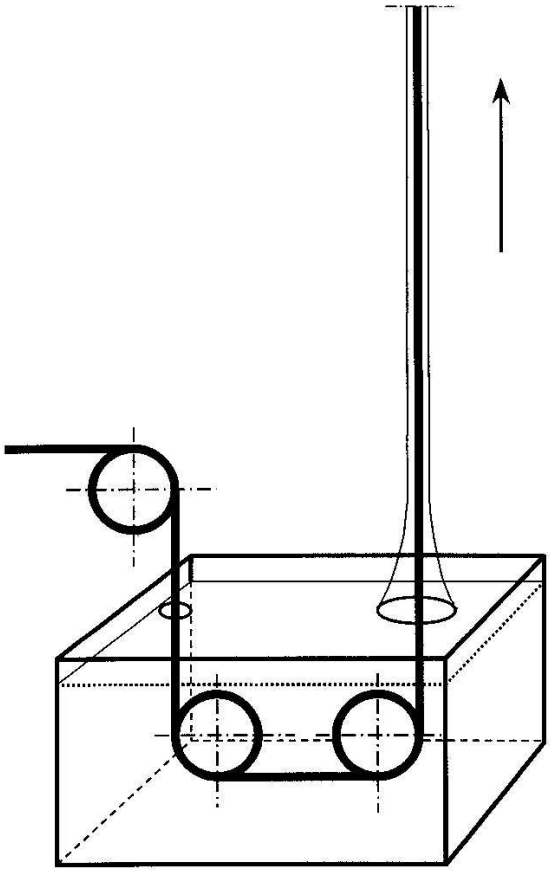
Une fraction de seconde après son extrusion, les filaments sont ensimés. Pour l'étude théorique de ce dépôt nous considérerons que les filaments passent dans un bain dont ils ressortent continûment mouillés tel que le montre la figure **11–1** ci-contre**.**

Chaque fois qu'un solide est tiré d'un bain (ou inversement, chaque fois qu'un liquide est déplacé sur un solide), le solide s'enrobe du liquide, du moins si ce dernier est mouillant, c'est à dire s'il a la propriété de s'étaler spontanément sur le solide. Si ce n'est pas le cas on a le phénomène de la goutte d'eau qui glisse sans laisser de trace sur une feuille de matière plastique ou de nénuphar.. Une des fonctions importante d'une émulsion d'ensimage est donc d'avoir des propriétés de mouillage.

Quelle sera l'épaisseur du film liquide déposé sur ces filaments qui traversent le bain d'ensimage ?. Un liquide visqueux se déplace à la vitesse du solide lorsqu'il est au voisinage immédiat de ce solide. Ainsi, quand on peint un mur, fixe par définition, la peinture adhère au mur : les molécules du liquide, au contact du solide, y adhèrent en raison des forces d'attraction intermoléculaires ? De même, au cours d'un ensimage, le liquide au voisinage des filaments que l'on tire va partir avec eux. La question est donc d'identifier quel est ce voisinage et la réponse dépend de la vitesse à laquelle se fait le dépôt.

Le cas des vitesses faibles a été étudié dans les années 40 par L. LANDAU, B. LEVITCH et B. DERJAGUIN. A la sortie du bain, la surface du liquide est déformée par le mouvement des filaments. Cette déformation est limitée par les forces de tension superficielles qui tendent à réduire l'aire de la surface liquide.

**Figure 11 – 1**
**DISPOSITIF D'ÉTUDE THÉORIQUE DE L'ÉPAISSEUR D'UN FILM D'ENSIMAGE DÉPOSÉ SUR UN FIL**



L'épaisseur du film résulte donc des actions antagonistes de la viscosité qui provoque le dépôt, et de la tension superficielle qui s'y oppose. Un nombre sans dimension, nommé "**nombre capillaire**" compare l'intensité des deux actions : c'est le produit de la viscosité (dimension $M.L^{-1}.T^{-1}$) par la vitesse de dépôt (dimension $L.T^{-1}$) que divise la tension superficielle de liquide (dimension $M.T^{-2}$). L'épaisseur du film d'ensimage est égale au rayon du filament que multiplie le nombre capillaire à la puissance 2/3.

Pour une vitesse de tirage supérieure, l'inertie du liquide emporté par le solide complique la physique de l'ensimage. Lorsque le fluide, entraîné dans le bain par le solide, arrive en surface dans la zone où se forme le dépôt, son inertie peut ne pas être négligeable par rapport aux forces de tension superficielle et d'entraînement visqueux. L'inertie peut faire que le fluide n'a "pas le temps" de s'écouler si bien que l'épaisseur du film peut fortement augmenter. A partir d'une vitesse d'environ 1 m./ s., doubler la vitesse de dépôt peut plus que décupler l'épaisseur du film.

Aux vitesses supérieures de l'ordre de 10 à 40 m./s. (600 à 2 400 m./min.), qui sont couramment utilisées pour ensimer, l'inertie à considérer devient celle du bain qui est globalement au repos. Or les filament communiquent leur mouvement au liquide, couche de molécules par couche de molécules, ce qui prend du temps. A grande vitesse, le temps de contact d'un élément de fil avec le réservoir est faible et devient le facteur limitant le volume entraîné. L. PRANDTL a montré en 1904 dans sa théorie de la couche limite visqueuse, que l'épaisseur du fluide ébranlé par le solide et susceptible de partir avec lui, augmente comme la racine carrée du temps de contact. A ces vitesse l'épaisseur du dépôt cesse donc de croître et, même, diminue comme l'inverse de la racine carrée de la vitesse d'ensimage

On peut s'interroger sur le fait que la gravité n'intervienne pas pour fixer l'épaisseur du film déposé. Cela est dû à la petite taille des filaments (de 10 à 100 µm). A cette échelle la force capillaire qui découle de la tension superficielle du liquide domine les phénomènes liés à la gravité. Il n'en est plus de même pour de gros objets.

## 6 - MODES INDUSTRIELS DE DÉPOT SUR LES FILS ET LES FIBRES.

Il existe industriellement trois modes principaux de dépôt des émulsions d'ensimage sur les fils et les fibres, outre le mode relativement grossier du jet projeté directement sur l'élément à ensimer, sans contrôle réel de la quantité déposée, on procède par :

*** Ensimage en plein bain.** Il s'agit d'un trempage dans un bac contenant l'émulsion tel que cela vient d'être étudié au chapitre précédent. Ce mode convient bien pour l'ensimage de grosses quantités comme par exemple les nappes de fibre de plus d'un million de dtex. Le bac peut contenir plusieurs dizaines de litres d'émulsion. La nappe de fibre doit généralement être essorée à la sortie du bac pour ne conserver que la quantité requise d'ensimage.

*** Ensimage par disque**. Le fil vient lécher un disque tournant, en verre ou tout autre matière dure. Le disque plonge dans un auget qui contient de l'émulsion d'ensimage et en entraîne un film sur sa surface. Ce film est ensuite récupéré par le fil qui défile au contact du disque. Pour les filages à hautes vitesses - supérieures à 2 000 m./ min. par exemple - ce système présente l'inconvénient de générer des tensions par frottement.

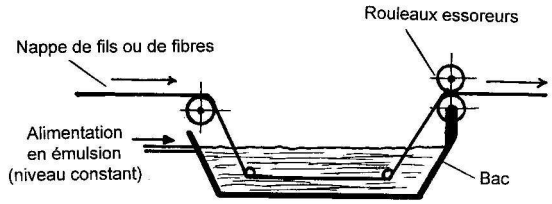
*** Ensimage par "gudulette".** Ce système est préféré pour les hautes vitesses de filage car les frottements sont minimisés. Il s'agit d'un système de petites dimensions dans lequel le fil est mis en contact avec des gouttes d'émulsion qui se renouvellent en permanence grâce à une injection par un petit orifice à l'aide d'une pompe. Les gouttes sont "léchées" par le fil qui passe sans contact devant l'orifice de sortie des gouttes. Celles-ci s'étalent ensuite sur les filaments.

Voir les figures **11-2** ci-contre

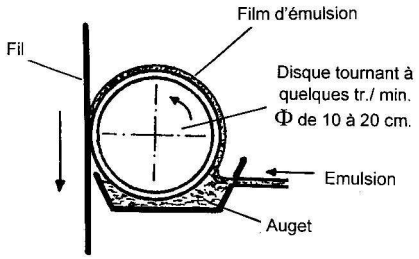
**Figures 11 – 2**

**DIFFÉRENTS MODES DE DÉPOT DES ÉMULSIONS D'ENSIMAGE**

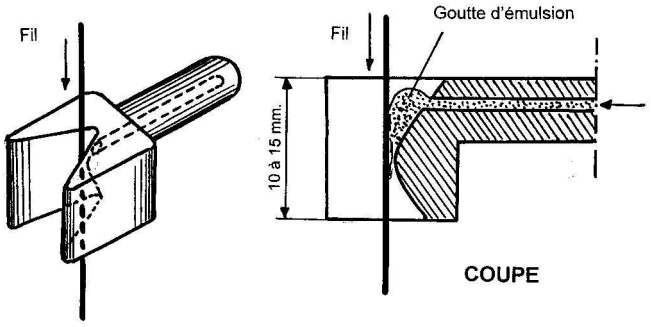
**1 - ENSIMAGE EN PLEIN BAIN**




**2 - ENSIMAGE PAR DISQUE.**




**3 - ENSIMAGE PAR GUDULETTE.**




## 7 - AUTRES CONTRAINTES POUR LES ENSIMAGES.

**- Thermostabilité.** Cette contrainte est relativement récente et est due au développement des fils à usages techniques d'une part, et de la texturation à grande vitesse d'autre part. Dans ce dernier cas le fil, par exemple en polyester, subit un choc thermique à 210°C ou plus et il ne faut pas que l'ensimage se détruise. D'une façon générale l'ensimage :

- ***** Ne doit pas générer de fumées.
- ***** Ne doit pas couler.
- ***** Ne doit pas provoquer de dépôts encrassants dans les fours des textureuses.
- ***** Ne doit pas être altéré et perdre les qualités frictionnelles et antistatiques qui lui sont demandées.

**- Dépôts sur les machines.** L'ensimage ne doit pas provoquer, par exemple, de dépôts sur les disques de texturation par friction ce qui pourrait générer des casses ou des patinages du fil.

**- Teinture.** L'ensimage ne doit pas agir sur l'affinité tinctoriale des filaments et doit pouvoir s'éliminer rapidement dans les bains de teinture sans donner naissance à des redépositions gênantes.

**- Encollage des fils avant tissage.** Il doit y avoir compatibilité entre ensimage et colle, c'est à dire adhésion de la colle à l'interface ensimage / colle, pour éviter les encrassements des peignes des métiers à tisser.

.....etc.

## 8 - PRODUITS UTILISÉS DANS LA FORMULATION DES ENSIMAGES.

**- Les lubrifiants**.

Anciennement on utilisait des huiles minérales de divers types selon les emplois, notamment en ce qui concernait leur viscosité. Actuellement cette famille est délaissée au profit de composés synthétiques du type **ester lourd** ou **silicone** surtout pour des raisons de stabilité thermique.

**- Les agents antistatiques**.

On utilise :

* Soit des rétenteurs d'eau **: condensats d'oxyde d'éthylène** ou **de propylène** qui fixent l'eau sur leurs liaisons éther.
* Soit des composés ioniques : **phosphates organiques**, **ammoniums quaternaires**, .....

**- Les agents émulsifiants**.

On a longtemps utilisé, et on utilise encore, des **savons** ou des **triglycérides sulfatés**. Les produits actuels sont surtout des **condensats d'oxyde d'éthylène** sur des molécules lourdes diverses : **acide stéarique**, **alcool laurique**, **alkyl phénols**, .....

Ces composés sont très souples d'emplois car on peut à volonté obtenir un rapport hydrophilie / lipophilie en jouant sur la longueur de la partie hydrophile.

Il existe aussi des agents émulsifiants **cationiques à ammonium quaternaire** qui sont surtout utilisés en fibre.

**- Les inhibiteurs de développement des micro-organismes**.

Le **formol** est, comme nous l'avons déjà vu, le plus utilisé mais dans certains cas il provoque des phénomènes secondaires, mal expliqués, avec les constituants de l'ensimage. Il existe toute une gamme de produits bactéricides proposés par les fabricants de produits d'ensimage : **CRYPTOGYL, BIOCIDE, GILTACIDE, BACFONOXYDE**, ..... etc.

En conclusion on peut dire, qu'étant donné le nombre élevé de contraintes qui existe pour un problème donné, une formule d'ensimage ne peut être que le résultat d'un compromis où le "savoir faire" tient encore beaucoup de place. La formule d'ensimage "tous usages" n'existe pas et un mauvais ensimage peut faire échouer le meilleur polymère transformé en fil dans les meilleures conditions possibles. Le problème se complique encore par le fait que les fournisseurs de produits d'ensimages ne communiquent pratiquement jamais les formules chimiques exactes des produits qu'ils vendent et qui ne sont connus que par des noms commerciaux. De plus les produits vendus sont le plus souvent des mélanges que les fabricants de fibres synthétiques achètent prêts à être mis en émulsion, aux fabricants d'ensimages.

## 9 - ÉVOLUTIONS FUTURES DANS LE DOMAINE DES ENSIMAGES.

### 9 - 1 - Evolutions des technologies textiles utilisant des ensimages.

Dans la plupart des domaines les vitesses sont en augmentation. Par exemple :

- Filature des fibres polyester (fabrication des filés de fibre): On atteint aujourd'hui des vitesses de l'ordre de 110 000 tr./ min. pour les rotors de filature open-end, alors que ces vitesses ne dépassaient pas 90 000 tr./ min. il y a quelques années. Le prochain objectif est de 130 000 à 150 000 tr./ min. Il exigera non seulement de nouveaux ensimages mais également des méthodes de dépôt assurant une parfaite uniformité.

**-** Texturation haute vitesse : Les textureuses fonctionnent aujourd'hui à 1 000 m./ min. avec un objectif en vue de 1 500 m./ min., notamment avec l'apparition de machines à fours courts. Comme il a été vu à un chapitre précédent, la vitesse de filage du POY servant à alimenter les textureuses peut évoluer jusqu'à 5 000 m./ min. ce qui va durcir les exigences sur la régularité de dépôt de l'ensimage. De plus, et pour des raisons d'environnement, de nouveaux ensimages bio-dégradables sont développés.

**-** Fils FDY : Des vitesses de filage de l'ordre de 7 000 m./ min. sont maintenant industrialisées. Des modifications de polymères (effet copolymère) vont pousser à une augmentation de ces vitesses. Déjà dans le domaine des fils à usages industriels, les fils **HMLS** (High Modulus Low Shrinkage) demande le dépôt à 8 000 m./ min. d'une très petite quantité d'un ensimage devant résister aux 230°C des rouleaux du procédé. Des technologies de dépôt régulier de faibles quantités d'ensimages, dégageant peu de fumées et très "filants", sont nécessaires.

**-** Fibres BCF pour tapis : Depuis 1995 les machines BCF compactes ont vu leur vitesse passer de 3 000 à 4 000 m./ min. L'objectif est de 5 000 m./ min. Cela va nécessiter de nouveaux ensimages et un nouveau mode de dépôt. De plus le PTT (Poly Triméthylène Téréphtalate) nouvellement apparu semble demander des ensimages spécifiques à mettre au point.

### 9 - 2 - Exigences et développements pour le futur.

Les nouveaux ensimages ou les ensimages améliorés devront être très peu visqueux et extrêmement stables thermiquement. Ils contiendront des additifs (émulsifiants, antistatiques, ....) pour améliorer leur étalement en film mince régulier, ainsi que des antioxydants pour réduire les émissions de fumées et les dépôts sur les rouleaux.

Les meilleures formulations ne donnent les meilleurs résultats que si le mode de dépôt produit une répartition régulière de quantités contrôlées. Des progrès significatifs sont en cours depuis 1995 dans le domaine des gudulettes céramiques. Une autre voie originale qui est travaillée est celle des "gouttes filantes". Ces gouttes filantes ont été imaginées en 1994 par C. BAIN et T. ONDARÇUHU : elles avancent toutes seules. Le principe est le suivant : la goutte est constituée d'un solvant mouillant dans lequel sont dissoutes des molécules qui ont la double propriété de se greffer à la surface du solide et de ne pas être mouillées par le solvant. Si le greffage commence à se produire d'un côté de la goutte plutôt que d'un autre, alors ces deux côtés reposent sur des substrats de nature chimiquement différentes : le solide initial d'une part, et le solide tapissé de réactifs de l'autre. Cette asymétrie provoque le mouvement spontané de la goutte, jusqu'à épuiser le réservoir en réactifs, ou jusqu'à recouvrir l'ensemble du solide. La vitesse de ces gouttes "automotrices" dépend de nombreux facteurs mais elle est souvent de l'ordre de quelques centimètres par seconde

En ce qui concerne le contrôle en laboratoire des quantités déposées, la méthode classique d'extraction par solvant (le plus souvent par hydrocarbures chlorés) est en passe de disparaître pour des raisons environnementales et de temps de réponse. On s'oriente vers l'incorporation d'un traceur inorganique permettant un dosage sans extraction.

La détermination de la régularité de l'étalement de l'ensimage sur les filaments a fortement progressé sous l'impulsion du TRI (Textile Research Institute - USA) qui a managé à partir de 1993 le "Finish Uniformity Project" avec des producteurs de fibres et des fabricants d'ensimages.

Enfin, une autre voie qui fait l'objet de travaux est la modification de certaines propriétés de surface des produits textiles par l'intermédiaire du dépôt de l'ensimage : toucher, glissant, hydrophobie, propriétés antibactéries, antistaticité contrôlée, ..... etc.

## 9 - QUELQUES FABRICANTS MONDIAUX D'ENSIMAGES.

La majorité des fabricants d'ensimages sont allemands :

| | |
|---|---|
| **GOULSTON Technologies Inc** | **USA** |
| **HENKEL Corp (devenu COGNIS)** | **Allemagne / USA** |
| **ICI** | **Grande Bretagne** |
| **DAKO AG** | **Allemagne** |
| **STOCKHAUSEN** | **Allemagne** |
| **BÖHM** | **Allemagne** |
| **H.T.C.** | **Allemagne** |
| **CLARIANT** | **Allemagne** |
| **TAKEMOTO** | **Japon** |

**.....**