

B. LE RESSUAGE

Le ressuage est une extension de l'inspection visuelle qui peut s'appliquer sur tout matériau à l'exception de certaines fontes qui présentent une surface poreuse.

C'est un terme qui désigne la sortie d'un fluide (liquide ou gazeux) d'une discontinuité dans laquelle ce fluide s'était précédemment accumulé au cours d'une opération d'imprégnation.

C'est une méthode de contrôle non destructif qui permet de détecter des défauts débouchant en surface de pièce pour des matériaux non absorbants (alliages métalliques, matières plastiques, caoutchouc moulés, verres, certaines céramiques...).

Les défauts observés sont principalement : les reprises de coulée, les criques, les tapures, les microporosités, les décohésions et les reprises de fonderie. L'opération de ressuage peut s'effectuer à tous les stades d'élaboration d'une pièce (brut de fonderie, après usinage, après traitements thermiques...).

1. PRINCIPE DE RESSUAGE

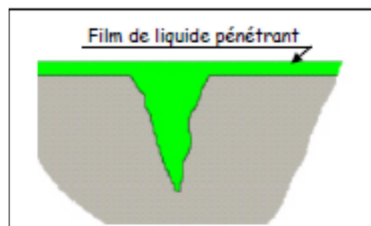
La méthode consiste à appliquer un pénétrant de faible tension superficielle (de bonne capillarité) sur la surface de la pièce.

On lui laisse un certain temps de sorte qu'il puisse s'introduire dans les discontinuités aboutissant à la surface. On élimine ensuite le pénétrant sur la surface mais cette opération laisse cependant en place la partie qui a réussi à s'infiltrer dans les discontinuités.

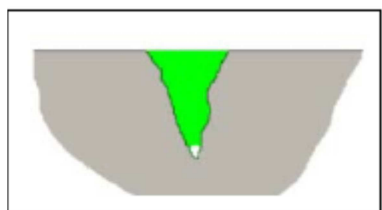
Un révélateur, produit opaque et absorbant est appliqué sur la surface, le pouvoir absorbant du révélateur fait que le pénétrant qui a réussi à s'infiltrer dans les discontinuités est alors aspiré vers la surface (effet buvard) et y laisse une trace. Cette trace à cause de la diffusion du pénétrant dans le révélateur, est toujours plus importante que la discontinuité.

L'efficacité de cette méthode de contrôle repose sur la possibilité de détecter les indications de discontinuité afin d'améliorer cette détectabilité. Le pénétrant contient en général un produit coloré visible à la lumière blanche ou un produit fluorescent visible à la lumière noire (ultra violet).

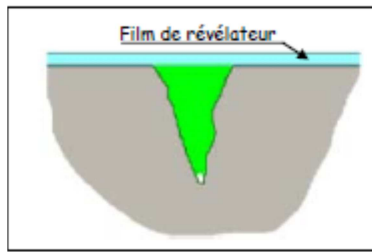
Principe de la méthode de ressuage par liquide pénétrant pré émulsifié



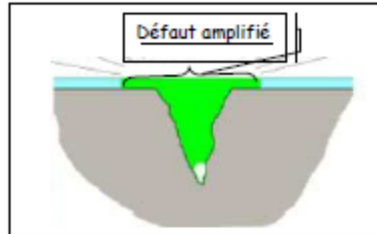
a- Application et pénétration du liquide du pénétrant dans les fissures.



b- Nettoyage de l'excès de pénétrant



c- Application du révélateur.



d- Le révélateur extrait le pénétrant retenu par les fissures.

2. DOMAINE D'APPLICATION ET TECHNIQUE OPERATOIRE

Le ressuage ne peut détecter que les défauts superficiels débouchant sur la surface. Les défauts matés ou obturés ne sont que partiellement détectés. Par contre les défauts internes ne peuvent pas être décelés.

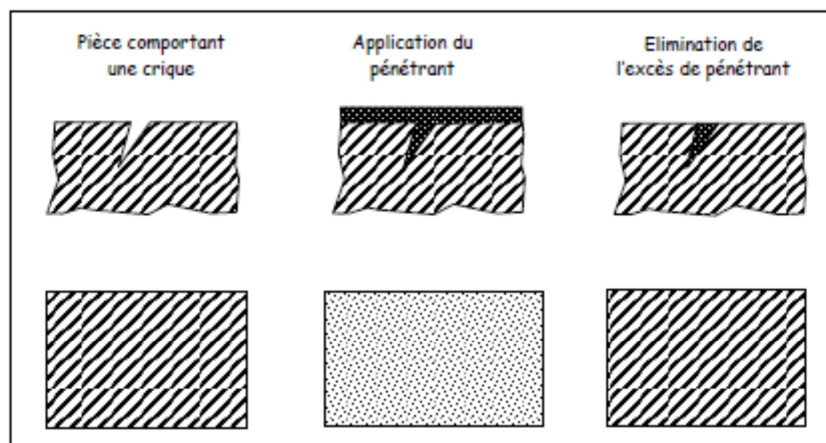
On peut ainsi localiser les défauts de : moulage, de fatigue, d'usinage, de traitement thermique et de soudage.

Le ressuage donne des résultats intéressants avec des métaux tel que l'aluminium, le magnésium, le cuivre, le titane, l'acier inoxydable et la plupart des alliages non métalliques comme les céramiques, les plastiques, le caoutchouc moulé, (mais il faut, pour les plastiques et les composés caoutchouc moulé, se méfier de leur réactivité vis à vis des produits utilisés et donc procédé à des essais préliminaires).

La procédure générale:

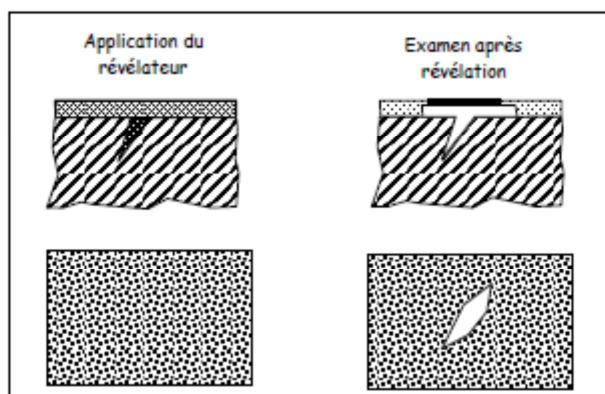
Sur une surface propre, exempte de pollution susceptible de colmater les défauts débouchant (les traces d'huile et de graisse, les résines inorganiques, les matières charbonneuses, les peintures, les produits de corrosion, les oxydes, etc.), est appliqué un liquide contenant des traceurs colorés et (ou) fluorescents. Ce liquide est appelé **liquide d'imprégnation** ou **pénétrant**.

Après une période d'attente (temps d'imprégnation) au cours de laquelle le **pénétrant** vient remplir les discontinuités, l'excès en surface est éliminé.



Action du pénétrant

Un deuxième produit appelé **révélateur** est alors appliqué à sec ou en suspension sur la surface de la pièce. Son but est de faire « ressuer » c'est-à-dire d'attirer le pénétrant resté en rétention dans les discontinuités.



Action du révélateur

Une inspection par pénétrant liquide se fait en six temps schématisés ci-après.

-**1er temps** : Nettoyage de la surface à contrôler de toutes traces de matériaux étrangers solides ou liquides qui risqueraient de gêner l'entrée du pénétrant dans les discontinuités.

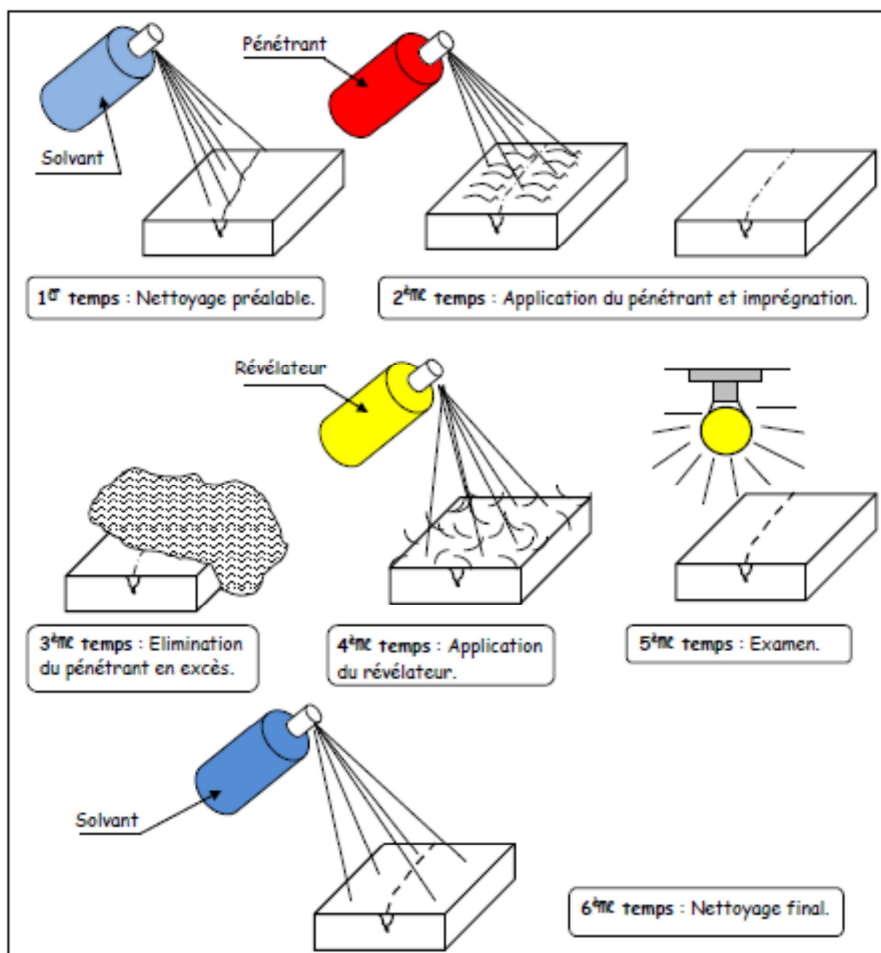
-**2ème temps** : Application du pénétrant sur toute la surface à examiner et maintien d'une couche continue de pénétrant pendant tout le temps d'imprégnation.

-**3ème temps** : Elimination du pénétrant étalé à la surface de la pièce (c'est une phase très délicate: il ne faut pas enlever le pénétrant situé dans les défauts).

-**4ème temps** : Application régulière du révélateur sur toute la surface à examiner.

-**5ème temps** : Pendant et après développement des indications, inspection soignée en lumière blanche ou/et sous lumière ultraviolette pour repérer la présence, localiser, donner la « nature » et la « grandeur » des discontinuités débouchant à la surface.

-**6ème temps** : Nettoyage de la pièce pour éliminer toutes traces de produits de ressuage.



Procédure générale de contrôle par ressuage.

3. PRINCIPAUX PROCEDES DE RESSUAGE

Partant du mécanisme imprégnation, nettoyage de surface, ressuage, décrit avant, différents procédés d'inspection peuvent être mis en oeuvre, résultant de la combinaison des différentes options faites dans le choix du traceur optique donc de la nature du pénétrant, de l'utilisation ou non d'un émulsifiant dans la phase de l'élimination de l'excès de liquide, dans le choix du révélateur de ressuage qui peut être poudreux ou liquide.

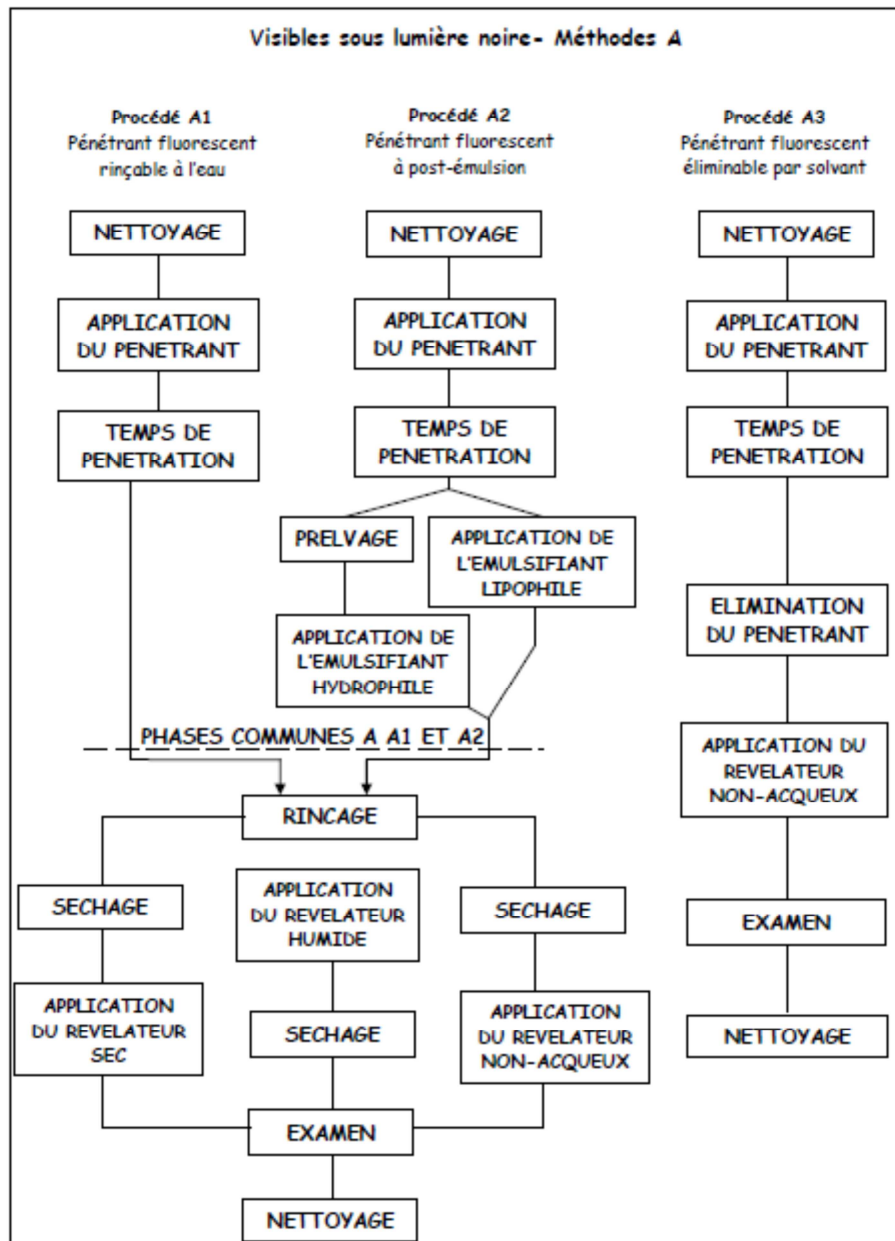
Il faut retenir que, dans tous les cas, les opérations sont relativement lentes, prenant chacune plusieurs minutes, de 3 à 30 minutes en ce qui concerne l'imprégnation des fissures par le pénétrant. Ces différentes variantes sont codifiées dans les normes internationales et la norme NF A 09-120. La figure suivante illustre la succession des opérations dans chacun des procédés, sachant que le contrôle proprement dit doit être précédé et suivi d'une opération de nettoyage de la pièce extrêmement soigneuse.

On utilise essentiellement deux techniques de traçage du pénétrant en ressuage : le **traçage coloré** ou le **traçage fluorescent**. Le premier implique d'utiliser un révélateur à fond blanc sur lequel on visualisera des empreintes de défauts généralement colorés en rouge. Le second implique un examen fait en lumière noire, dans l'obscurité, au cours duquel les défauts seront révélés par une fluorescence excitée par un projecteur de rayons ultraviolets (UV).

Ce deuxième type de procédé conduit presque toujours à de meilleures performances de détection que celles obtenues avec l'utilisation des traceurs colorés, au prix toutefois de conditions d'examen optique plus contraignantes.

L'**élimination de l'excès de pénétrant** est sans doute l'opération essentielle en contrôle par ressuage, car la fiabilité du résultat va en grande partie dépendre de la bonne exécution de cette étape : une action de lavage trop forte risquera de vider les fissures de leur pénétrant avant qu'il soit révélé ; une action insuffisante risquera de laisser du pénétrant sur la surface, en particulier si elle est rugueuse, entraînant du même coup des indications erronées lors de l'examen.

Cette élimination du pénétrant en excès s'effectue par **émulsification** et selon deux techniques, suivant que l'agent émulsifiant est incorporé à l'origine dans le liquide pénétrant ou que celui-ci est projeté sur la pièce préalablement au lavage; on utilise dans ce cas un pénétrant dit **post-émulsifiant**.



Séquences des différents procédés d'inspection par pénétrant liquide.

4. MISE EN OEUVRE DU CONTROLE PAR RESSUAGE

1- Contrôle sur site

Le contrôle par ressuage peut être effectué **sur site** et de façon souvent aisée, grâce à l'emploi de produits en bombes aérosols et d'un lavage par solvant lorsqu'on ne dispose pas d'eau.

2- Contrôle à poste fixe

Le contrôle **à poste fixe** correspond souvent au contrôle en série et se fait sur des chaînes manuelles ou automatiques composées des postes correspondant aux opérations successives d'un contrôle par ressuage :

- Le **dégraissage** par solvants chlorés en phase vapeur, par alcalins ou encore au jet d'eau chaude, s'effectue dans des installations adaptées et est complété, si nécessaire, par une opération de séchage ;

- La **déposition du pénétrant** peut se faire par trois techniques correspondant au matériel différent : immersion dans une cuve adaptée à la taille des pièces ou des paniers de pièces, installation de pulvérisation électrostatique, installation de pulvérisation conventionnelle ;

- L'élimination **de l'excès de pénétrant** correspondant à un rinçage, qui peut se faire en cuve avec agitation d'eau par air comprimé, en cuve avec pulvérisation par rangées de buses ou en pulvérisation par pistolet air-eau ; on adjoint à l'équipement de rinçage une lampe à ultraviolets ;

- Le **séchage intermédiaire** s'effectue en étuve à circulation d'air réglée entre 65 et 80 °C ;

- L'application **du révélateur** se fait dans une enceinte appropriée lorsqu'il s'agit d'un révélateur sec se présentant sous forme d'une poudre qu'il faut agiter, ou dans une cuve chauffée lorsqu'il s'agit d'un révélateur en suspension aqueuse ;

- Le **poste d'inspection visuelle** doit être conçu pour répondre aux meilleures conditions d'observation en lumière blanche ou en fluorescence UV. Il faut réunir deux facteurs : un contraste maximum et un éclairage correct. Les normes indiquent un minimum de 350 lux pour ce paramètre qui devra être vérifié avec un luxmètre. Pour l'examen sous rayonnement ultraviolet, le poste d'inspection doit être isolé de la lumière blanche ; il doit être très propre et exempt de surfaces réfléchissantes. L'intensité des tubes luminescents UV à basse pression est insuffisante pour fournir la densité énergétique requise de 8 W/m² minimum (15 W/m² souhaitable) à la surface de la pièce.

3- Produits de ressuage

Les produits de ressuage sont constitués par les pénétrants, les émulsifiants et les révélateurs.

- Les **pénétrants** font l'objet d'une classification selon la spécification américaine MIL I 25135 révision C ; les pénétrants fluorescents, qu'ils soient à post-émulsion ou directement lavables à l'eau, sont plus sensibles que les pénétrants colorés.

- Les **émulsifiants**, longtemps de type lipophiles à base de solvants pétroliers, peuvent être approvisionnés sous forme d'émulsifiants hydrophiles à diluer dans l'eau, permettant ainsi un meilleur réglage de la sensibilité du contrôle.

- Les **révélateurs** sont soit de type sec, soit de type humide, en suspension dans l'eau ou encore à support organique volatil. Le choix à faire dépend du type de contrôle ; en particulier, on utilise toujours un révélateur non aqueux en association avec un pénétrant coloré. Il existe enfin des révélateurs pelliculaires qui permettent de garder la trace des défauts.

Tous ces produits de ressuage sont vendus conditionnés de diverses façons et, en particulier, sous forme de récipients aérosols pour les contrôles à l'unité et sur site.

4- Fiabilité

La **vérification** de la fiabilité du contrôle par ressuage est en particulier indispensable lorsqu'il s'agit d'une chaîne manuelle ou automatique. Indépendamment des procédés d'assurance qualité concernant l'installation et les produits de ressuage mis en oeuvre, on effectue des tarages périodiques basés sur l'utilisation de **pièces de référence** que l'on soumet au contrôle par

ressuage. Il en existe plusieurs types : le test bloc en alliage d'aluminium (code ASME) est assez peu sélectif et peu réutilisable, les plaquettes nichrome, d'origine japonaise, sont facilement reproductibles et réutilisables ; les plaques billées recouvertes d'un chromage dur sont très utilisées en aéronautique mais ont l'inconvénient, comme les précédentes, d'avoir une surface quasi poli miroir trop parfaite pour renseigner sur la lavabilité du pénétrant ou la saturation de l'émulsifiant.



Aspect des indications obtenues par ressuage sur cales étalon.

5. APPLICATION PRATIQUE DU RESSUAGE

-Le **choix du procédé** dépend de la nature de la pièce et de la nature des défauts recherchés : le procédé coloré sera utilisé pour la recherche de défauts grossiers et pour les contrôles sur site ; le procédé fluorescent sera utilisé lorsque l'on cherche une grande sensibilité et lorsque l'on effectue un travail en série, en particulier sur chaîne.

-Le **champ d'application** du ressuage est très vaste, car le procédé est simple d'emploi et permet de détecter la plupart des défauts débouchant en surface sur les matériaux métalliques non poreux, ainsi que sur les autres matériaux, à condition toutefois qu'ils ne réagissent pas chimiquement ou physiquement (adsorption) avec le pénétrant.

Sa sensibilité est très bonne, puisqu'on peut estimer obtenir une détection fiable de défauts de 80 μm de largeur pour 200 μm de profondeur pour un ressuage coloré pratiqué en atelier sur une surface usinée, alors que le ressuage fluorescent conduit dans les mêmes conditions à une limite de détection de l'ordre de 1 μm en largeur pour 20 à 30 μm en profondeur.

-Les **limitations** du procédé de ressuage sont liées au matériau lui-même : trop forte rugosité de surface, impossibilité d'employer les produits classiques qui endommageraient sa surface. Les défauts non débouchant ne peuvent être vus, de même que les fissures renfermant des corps susceptibles d'interdire l'entrée du pénétrant tels que peinture, oxydes, produits de lubrification mal éliminés par nettoyage.

-Le procédé lui-même est relativement lent (10 à 45 mn), coûteux en temps et en personnel, pas facile à rendre totalement automatique, en particulier au niveau de l'élimination de l'examen visuel. Il faut enfin prendre en compte, dans le coût du contrôle, la consommation des produits de ressuage dont l'utilisation peut par ailleurs amener des sujétions contraignantes vis-à-vis de l'environnement, de la sécurité et de l'hygiène du travail (précautions relatives aux risques d'incendie, d'explosion, d'irritation des muqueuses, de pollution de l'eau).

6. INTERPRETATION DES RESULTATS

Une estimation grossière de la fissure peut être faite grâce à la largeur de l'étalement du pénétrant sur le révélateur.

1- Interprétation – Evaluation

C'est une erreur de confondre entre les deux termes « interprétation » et « évaluation ». Interpréter une indication c'est en trouver la cause (fissure, manque de liaison...). Evaluer l'indication c'est de juger de son importance aux efforts ultérieurs et de décider de son acceptation ou non.

2- Origine des indications

Toute apparition du pénétrant indique en principe la présence d'une discontinuité sur la surface.

3- Type d'indications

Les indications peuvent être classées en trois types:

a) Les vraies indications

Ce sont les seules indications soumises à une évaluation. Elles ont pour origine les discontinuités non prévues à la conception de la pièce ou non justifié par les conséquences normales des procédés de fabrication.

b) Les indications parasites

Il s'agit d'indications résultantes des discontinuités existant réellement mais dont on connaît l'origine qui est d'ordre conceptuel.

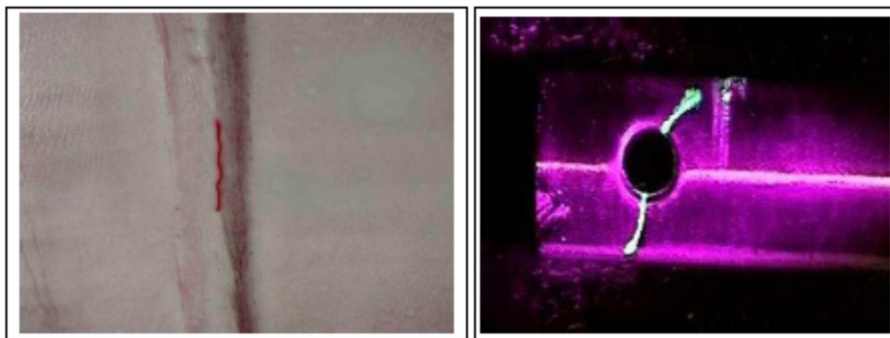
c) Les fausses indications

Elles sont en général pour origine une élimination incomplète de pénétrant restant en surface. L'absence d'indication est aussi une fausse indication (dégraissage incomplet de la pièce, présence de poussière, ...).

4-Significations des indications

Les indications observées en ressurgences peuvent être regroupées en 5 types :

- a) Ligne continue: indication d'origine les fissures, les replis de forge, les rayures.
- b) Ligne discontinue: indication apparaît lorsque la pièce subit une préparation mécanique ou toute autre opération qui peut enfermer une partie d'un défaut débouchant.
- c) Forme arrondie: indications d'origine les défauts surfaciques de forme sphérique, (soufflure, piqûre, structure poreuse de la pièce...).
- d) Tache ponctuelle: indication apparaissant surtout lors de contrôle des pièces moulées. Elle est d'origine la nature poreuse de la pièce, des piqûres ou de la structure grossière de la pièce.
- e) Tache diffuse: Présence de micropore dans les pièces.



Exemple de pièce, observée en lumière blanche, présentant un défaut.

Exemple de pièce, observée en lumière UV, présentant un défaut.