



ANS SF20 – 3 voies Version 2

MANUEL UTILISATEUR



TABLE DES MATIERES

1 AVERTISSEMENT	3
1 Introduction.....	4
1.1 Méthode utilisée	4
2 - Théorie	5
2.1.1 RESUME	5
2.1.2 INTRODUCTION	5
2.1.3 METHODE ELECTRIQUE DEVELOPPEE.....	7
2.1.4 APPLICATION A LA MESURE DE LONGUEUR DE FISSURE DANS LES TOLES MINCES (CAS BIDIMENSIONNEL).....	7
2.1.5 DETERMINATION DE FRONT DE FISSURE EN TRIDIMENSIONNEL	9
2.1.6 CONCLUSION	12
2.1.7 REFERENCES	13
2.1.8 SCHEMAS	14
3 - PRINCIPE DE LA MESURE DU SUIVEUR DE FISSURES CELIANS	22
4 - DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT	25
4.1.1 AMPLIFICATEUR ET MESURE.....	26
4.1.2 DECLENCHEMENT - SYNCHRONISATION	26
4.1.3 ALIMENTATION EN COURANT DE L'EPROUVETTE.....	27
5 - UTILISATION.....	28
5.1 PRESENTATION.....	28
5.1.1 FACE AVANT	29
5.1.2 FACE ARRIERE	30
5.2 FONCTIONNALITES COMMUNES (FACE AVANT).....	31
5.2.1 Les interrupteurs	31
5.2.2 Les boutons	31
5.3 CIRCUIT D'ALIMENTATION DE L'EPROUVETTE	32
5.4 CIRCUIT D'ENTREE DE L'APPAREIL.....	32
5.5 MISE EN ROUTE - REGLAGES.....	33
5.6 Mode spécifique de la voie 3	36
6 - CARACTERISTIQUES.....	38

1 AVERTISSEMENT

PRECAUTIONS PRELIMINAIRES

- ⚠ Veillez à toujours observer les précautions élémentaires, les règles de sécurité et les instructions énumérées dans le présent document pour garantir de la sécurité des personnes et éviter des dommages à l'appareil ou aux instruments qui lui sont connectés. Il est également essentiel de se conformer aux exigences légales et de sécurité pour l'application concernée pendant l'utilisation.

Pour des raisons de sécurité l'appareil doit être utilisé uniquement par un personnel habilité. L'appareil doit servir exclusivement aux tâches pour lesquelles il est destiné et dans ses limites d'application spécifiées. Il ne doit être ouvert que dans la limite des opérations énumérées dans ce document. Ne tentez pas d'en démonter les éléments internes ou de les modifier de quelque façon que ce soit.

L'appareil est un maillon de la chaîne de mesure. Les installateurs d'équipements et les opérateurs doivent planifier, mettre en œuvre et répondre aux exigences de sécurité liées à l'appareil, aux instruments qui lui sont raccordés et à la technologie de la mesure.

PRECAUTIONS D'INSTALLATION

- ⚠ Utilisez seulement la tension requise par l'appareil de mesure. Assurez-vous que les instruments ou le réseau fournissant la tension à l'appareil s'identifie à celle qui est inscrite sur l'appareil.

La sécurité électrique de cet appareil n'est assurée que si ce dernier est correctement raccordé à une installation de mise à la terre conformément aux normes de sécurité électrique. Il est indispensable de vérifier si cette condition fondamentale de sécurité est bien remplie. Lors de l'installation, il faut prévoir un interrupteur bipolaire ayant au moins 3 mm d'ouverture entre les contacts.

Protéger l'appareil de tout contact direct avec l'eau et respecter les températures ambiantes maximales admissibles. L'utilisation de l'appareil en plein soleil, dans des endroits très chauds ou très humides, sales ou fort poussiéreux, des endroits soumis à de fortes vibrations ou à proximité de champs magnétiques, peut entraîner le mauvais fonctionnement.

Ne placez pas d'objet devant les bouches d'aération de l'appareil de mesure, ce qui gênerait la bonne ventilation des éléments internes et entraînerait une surchauffe.

Si l'appareil de mesure donne des signes de mauvais fonctionnement, si vous décelez une odeur insolite, voire de la fumée, mettez-le immédiatement hors tension et donnez-le à réviser à un technicien qualifié MEIRI.

GARANTIE

Les appareils de mesure MEIRI sont garantis 1 an pièces et main d'œuvre, retour usine, sauf dispositions particulières.

La garantie ne jouera pas principalement dans les cas suivants :

Si l'appareil a été mis en service sur un voltage autre que celui indiqué sur la plaque signalétique de l'appareil. Si l'utilisateur emploie d'une manière anormale ou abusive l'appareil qui lui a été livré ou s'il y apporte des modifications. Si l'utilisateur cause des avaries par négligence, insuffisance d'entretien, inexpérience ou usage de produits nocifs.

Les échanges ou réparations effectués au titre de la garantie entraînant une immobilisation du matériel inférieure à sept jours ne peuvent pas en prolonger la durée. Pour l'application de celle-ci l'utilisateur doit obligatoirement s'adresser au distributeur MEIRI qui lui a vendu l'appareil. Les réparations sous garantie s'effectuent dans nos laboratoires, l'appareil doit être retourné dans un emballage assurant sa sécurité pendant son transport. L'utilisateur prend en charge les frais de port et d'emballage pour le retour de l'appareil en usine. MEIRI ou son distributeur prend en charge les frais de port et d'emballage pour la restitution de l'appareil après réparation en France métropolitaine seulement. Aucune indemnité n'est due en cas d'immobilisation de l'appareil pour réparation dans le cadre de la garantie.

1 Introduction

1.1 Méthode utilisée

Parmi les méthodes disponibles pour détecter et mesurer les fissures se propageant dans des éléments de structures métalliques, la méthode dite du "potentiel électrique" est l'une des plus largement utilisée dans les laboratoires d'essais de fatigue.

Son principe est extrêmement simple, mais conduit à une mise en œuvre plus ou moins aisée suivant la technique adoptée :

- ❖ On fait circuler un courant électrique d'amplitude constante dans une éprouvette conductrice isolée et l'on mesure la tension qui en résulte entre deux prises de potentiel placées de part et d'autre de la fissure à observer. L'évolution de cette fissure entraîne une variation de la tension mesurée et, à l'aide d'un étalonnage préalable, on est capable d'en déduire l'avancement de la fissure. D'où un suivi possible en continu, ce qui est l'un des grands avantages de la méthode électrique.
- ❖ Dans l'appareil CELIANS, la technique utilisée s'apparente à celle dite "à courant continu" bien que le courant soit appliqué sous forme d'impulsions, mais de durée suffisante pour atteindre un état électrique établi. Cette particularité permet d'obtenir les caractéristiques importantes suivantes, par rapport à la technique classique mentionnée :
 - Amélioration de la sensibilité et de la précision
 - Très grande stabilité
 - Limitation du courant moyen passant dans l'éprouvette d'où des connexions plus légères et un échauffement réduit
 - Possibilité de synchroniser la mesure avec la charge au cours d'essais dynamiques.

De plus, les étalonnages établis avec la technique classique restent valables lors de l'utilisation de cet appareil.

2 - Théorie

DEVELOPPEMENTS DE LA METHODE DU POTENTIEL ELECTRIQUE. APPLICATION A LA MESURE DE LONGUEUR OU DE FORME DES FISSURES

Sources G. BAUDIN, H. POLICELLA : Office National des Etudes et Recherches Aéronautiques

2.1.1 RESUME

On décrit les améliorations apportées aux techniques d'application de la méthode électrique dans le domaine des essais de progression de fissure. Ces perfectionnements portent sur l'appareillage lui-même ainsi que sur les techniques d'étalonnage en tridimensionnel. Comme illustration on montre des exemples réels d'application : suivi continu de fissure dans les tôles minces, mesure non-destructive de front de fissure dans des pièces épaisses et détection d'amorçage.

2.1.2 INTRODUCTION

Parmi les méthodes disponibles pour détecter et mesurer les fissures se propageant dans des éléments de structures métalliques, la méthode dite du "Potentiel électrique" est l'une des plus largement utilisées dans les laboratoires d'essais de fatigue. Son principe est extrêmement simple et conduit à une mise en œuvre plus ou moins aisée suivant la technique adoptée.

Principe :

On fait circuler un courant électrique d'amplitude constante dans une éprouvette conductrice isolée et l'on mesure la tension qui en résulte entre deux prises de potentiel placées de part et d'autre de la fissure à observer (fig. 1). L'évolution de cette fissure entraîne une variation de la tension mesurée et, à l'aide d'un étalonnage préalable, on est capable d'en déduire l'avancement de la fissure. D'où un suivi possible en continu, ce qui est l'un des grands avantages de la méthode électrique.

Mise en œuvre :

Deux techniques principales sont utilisées avec chacune leurs avantages et inconvénients [1] :

- ❖ la méthode à "courant continu" est la plus simple à mettre en œuvre. Mais étant donné la faiblesse des tensions à mesurer, tensions proportionnelles au courant injecté, on peut être amené à utiliser de forts courants (jusqu'à 100 A.) d'où les problèmes de connexions et d'échauffement. De plus les tensions parasites d'origine thermique viennent perturber la mesure et leur élimination constitue l'obstacle principal à surmonter.

- ❖ la méthode à "courant alternatif", qui suppose un matériel électronique plus évolué, donne une excellente mesure débarrassée de la composante thermique et de la plupart des bruits parasites. Les courants utilisés sont alors plus faibles (jusqu'à 10 A.). Lorsque la fréquence est peu élevée, les étalonnages établis en "courant continu" restent valables. Par contre, A haute fréquence, apparaît l'effet de peau qui améliore encore la sensibilité de la mesure d'où une nouvelle réduction possible du courant (≈ 1 A.). Mais l'étalonnage dépend de la fréquence et le rayonnement peut introduire des erreurs de mesure.

La méthode mise au point à l'ONERA est du type "courant continu" dans son principe mais ses résultats sont proches du type "courant alternatif" avec un appareillage électronique plus simple. Elle possède de plus la caractéristique originale de pouvoir synchroniser la mesure et la charge de l'éprouvette lors d'essai de fissuration [2].

La bonne sensibilité obtenue a permis l'application de la méthode électrique aux problèmes de mesure de fissure en tridimensionnel en lui associant, en outre, une technique d'étalonnage de type analogique [3].

2.1.3 METHODE ELECTRIQUE DEVELOPPEE

Rappelons que le problème de base est de mesurer une tension pseudo-continue très faible (quelques μV .) qu'il est donc nécessaire d'amplifier, d'où les risques d'erreur dus aux bruits et à la dérive de l'amplificateur. De plus cette tension est dans une certaine mesure entachée d'une composante d'origine thermique au niveau des prises de potentiel (effet thermocouple).

Il s'agit donc d'extraire de cette tension amplifiée la composante due uniquement au passage du courant.

La démarche est la suivante (fig. 2) (Par exemple $\text{IMAX} = 10 \text{ A}$, $\text{FREQ} = 25 \text{ Hz}$, $\text{PULSE} = 20 \text{ ms}$):

- ❖ le courant est injecté dans l'éprouvette sous forme d'impulsions d'amplitude constante IMAX et d'une durée d'environ 20 ms., temps au bout duquel le potentiel électrique est considéré comme établi. La tension de sortie V_1 de l'amplificateur est alors mémorisé analogiquement puis le courant s'annule.
- ❖ exactement 20 ms. plus tard une deuxième mémorisation intervient (V_2). On dispose alors de la tension $\Delta V = V_1 - V_2$, exempte de tout parasite quasi-statique, et qui est la tension cherchée.

Ces opérations se répètent à chaque impulsion.

Quant aux bruits ils sont atténués d'abord en limitant la bande passante de l'amplificateur à 100 Hz, puis ceux dus au secteur sont éliminés pratiquement du fait des deux mémorisations en 20 ms., période du secteur. Enfin un dernier filtrage sur la tension de sortie ΔV permet d'obtenir une sensibilité de $0,1 \mu\text{V}$. pour un temps de réponse de 1 seconde.

Une autre caractéristique importante de cette méthode est de pouvoir synchroniser les impulsions, donc la mesure, avec le cycle de chargement lors d'essais de propagation de fissure sous chargement variable ou autre comportant de nombreuses charges de compression. La synchronisation s'effectue à l'aide d'un seuil déclenché par le signal force de la machine d'essai et d'un retard réglable (fig. 3). La mesure peut ainsi intervenir à force constante ou à force maximale lorsque la fissure est complètement ouverte.

2.1.4 APPLICATION A LA MESURE DE LONGUEUR DE FISSURE DANS LES TOLES MINCES (CAS BIDIMENSIONNEL)

Un des exemples d'application le plus courant est celui où l'éprouvette prend l'une des formes simples indiquées sur la figure 4 et où les conditions d'alimentation assurent une densité de courant

constante dans les sections "éloignées" de la fissure. Dans ce cas l'étalonnage est donné par une expression analytique [4] :

$$(1) \quad V(a,d) = \alpha U$$

$$(2) \quad U = 2/\pi \cdot \text{ch}^{-1} (\text{ch}(\pi d/2w) / \cos(\pi a/2w))$$

$V(a,d)$: tension mesurée

A : longueur ou demi-longueur de fissure

D : demi-distance des prises de potentiel

W : largeur ou demi-largeur de l'éprouvette

A : facteur de proportionnalité homogène à une tension et tenant compte de la densité de courant, de la résistivité et de l'amplification.

La fonction U paramétrée en d/W est représentée sur la figure 5 où l'on voit que la sensibilité est d'autant meilleure pour les fissures courtes que la distance d est petite.

La procédure habituelle pour éliminer α est de tirer la valeur a de l'expression :

$$(3) \quad V(a,d) / V(a_0,d) = U (a,d) / U (a_0,d)$$

A_0 étant la longueur initiale de la fissure au début de l'essai. Or la précision sur d peut poser un problème surtout lors d'essais répétitifs. Pour éliminer cette incertitude éventuelle nous proposons la procédure suivante en remarquant que $U (0,W) = 1$:

- avant le départ de l'essai une mesure préliminaire est exécutée avec des prises de potentiel distantes d'une valeur $2d = 2W$, à l'aide d'un calibre par exemple (fig. 6). Nous appelons cette mesure $V_{\text{référence}}$ qui est en fait la mesure de α :

$$(4) \quad V(0,w) = \alpha = V_{\text{REF}}$$

La mesure $V(a_0,d)$ nous permet alors de déterminer l'expression A fonction de d :

$$(5) \quad V(a_0,d) / V_{\text{REF}} = U (a_0,d)$$

$$(6) \text{ et } \quad A = \text{ch}(\pi d/2w) = \cos(\pi a_0/2w) \cdot \text{ch}(\pi/2) \cdot V(a_0)/V_{\text{REF}}$$

- pendant l'essai la longueur de fissure a est déterminée à partir de la mesure $V(a)$:

$$(7) \quad V(a) / V_{REF} = 2/\pi \cdot \operatorname{ch}^{-1} (A / \cos(\pi a / 2w))$$

$$(8) \quad a = 2w / \pi \cdot \cos^{-1} (A / \operatorname{ch}(\pi/2 \cdot V(a)/V_{REF}))$$

Cette procédure est couramment employée sur l'une de nos installations d'essais de fissuration et n'astreint pas l'opérateur à souder les prises de potentiel exactement à l'endroit prévu. Pour une éprouvette en alliage léger de largeur 25 mm. et d'épaisseur 2 mm. La sensibilité est de $\pm 10^{-2}$ mm et la précision supérieure à $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ mm. avec un courant $I_{MAX} = 5$ A.

Le suivi en continu de la longueur de fissure et l'emploi d'un ordinateur en temps réel offrent de grandes facilités d'automatisation. Comme exemple, la fig, 7 montre la réalisation d'un essai de fissuration à vitesse constante.

La méthode électrique donne également de très bons résultats lors d'essais de fissuration-fluage sur une éprouvette de flexion en IN 100 chauffée à 1000°C. par un système à induction haute fréquence. Lorsque l'éprouvette où les conditions d'essais ne permettent pas d'utiliser une expression mathématique comme étalonnage, ce dernier peut alors être établi par une mesure directe lors d'essais préliminaires, par analogie [5] ou par calcul sur ordinateur avec la méthode des éléments finis [6]. Dans ce cas les emplacements des connexions d'arrivées de courant et de prises de potentiel doivent être parfaitement fixés et respectés pour la reproductibilité. La figure 8 montre un exemple d'étalonnage sur une éprouvette en croix utilisée lors d'une étude sur la bifurcation des fissures : un choix judicieux de l'emplacement des connexions donne un étalonnage unique pour la longueur totale de la fissure quel que soit l'angle de bifurcation de cette dernière.

2.1.5 DETERMINATION DE FRONT DE FISSURE EN TRIDIMENSIONNEL

Nous considérons ici le cas d'une fissure débouchante se développant sensiblement dans un plan perpendiculaire à la face de l'éprouvette. Pour un front de fissure donné, la méthode consiste à faire, sur l'éprouvette, un relevé de tension en plusieurs points des lèvres de la fissure puis d'utiliser, suivant une procédure à définir, un moyen analogique d'étalonnage qui est ici une cuve rhéoelectrique.

Mesure sur éprouvette :

La figure 9 en donne le principe. La prise de potentiel est réalisée par un palpeur à double contact dont la translation est automatisée. Le signal issu du palpeur est appliqué à l'entrée de notre appareillage dont le signal de sortie est lui-même connecté à la voie Y d'un enregistreur graphique, tandis que la voie X reçoit un signal proportionnel au déplacement du palpeur.

Le résultat est par exemple l'une des courbes du réseau de la figure 10, réseau relevé au cours d'un essai de progression de fissure sur une éprouvette de section 80 x 20 mm. en AU2GN - T6, sollicitée en traction, la fissure initiale étant semi-circulaire de rayon 7 mm.

Utilisation de la cuve rhéométrique :

On reconstitue dans un milieu conducteur le potentiel électrique existant dans l'éprouvette fissurée. Ce milieu conducteur est tout simplement de l'eau et la cuve en matériau isolant a la forme de la partie utile de l'éprouvette dans un rapport de similitude donné. Enfin la fissure est simulée par une plaque mince isolante et les prises de potentiel s'effectuent à l'aide d'un palpeur mobile d'une manière identique à celle de l'essai mécanique.

Le principe de détermination du front de fissure est alors le suivant (fig. 11) :

- on dispose du relevé de tension V (1) prélevé le long des lèvres de la fissure réelle (fig. 11a).
- on cherche alors à reconstituer sur la cuve une courbe V' (1') similaire à V (1) par modifications successives de la plaque isolante représentant la surface fissurée. Ces approximations se réalisent par simple découpage de la plaque (fig. 11b).
- la concordance des courbes V et V' entraîne la conclusion que front de fissure réel et forme de fissure simulée sont similaires si l'on fait bien sûr l'hypothèse de relation biunivoque entre forme de front et relevé de tension. D'un point de vue pratique les tensions et les déplacements sont rendus sans dimension en introduisant une tension de référence V_{REF} et la largeur de l'éprouvette W .

Nous venons de décrire la méthode générale d'utilisation de la cuve pour retrouver un front de fissure. Inversement la cuve permet également d'établir rapidement des réseaux de courbes V (1) correspondant à des formes de fronts de fissures simples mais proches de cas réels Il va de soi que toutes les opérations sur cuve rhéométrique peuvent être remplacées par l'utilisation de programmes de calcul en tridimensionnel si le coût de calcul n'est pas un obstacle.

Exemples d'application :

La figure 12 décrit un premier exemple. L'éprouvette est un barreau de section carrée (45 x 45 mm .) en alliage léger soumis à un chargement ondulé en flexion 4 points. Les deux fissures de coin se

propagent dans la section centrale à partir de 2 amorces de rayon 5 mm. Les conditions d'application de la méthode électrique sont indiquées sur la figure. Au cours de l'essai de progression de fissure plusieurs relevés de tension ont été effectués le long des lèvres de fissures sur la face inférieure du barreau. On a procédé également au marquage de certains fronts par injection d'encre. Les 4 relevés correspondants sont repérés sur la figure. On peut noter que les relevés de tension donnent une bonne idée de la forme des fronts et de leur accroissement. En particulier l'examen des relevés indique que la fissure droite s'est propagée légèrement plus vite que la gauche.

En supposant l'éprouvette non rompue, c'est-à-dire les fronts réels inconnus, il nous faut alors établir leurs formes à partir des relevés. Etant donné la forme de départ en quart de cercle on pouvait penser que cette forme se conserverait plus ou moins au cours de l'essai. C'est pourquoi on a exécuté sur la cuve les relevés correspondants. Sur la figure 13 le réseau présenté se rapporte à la configuration a. Pour le cas b, qui nous intéresse, il suffit de translater à droite le demi-réseau gauche et réciproquement.

La figure 14 illustre trois tentatives de détermination d'un front réel (front n° 3, coin droit). Pour la première nous faisons correspondre en chaque point de relevé de tension la profondeur de fissure donnée par l'étalonnage en bidimensionnel de la figure 5. Le résultat est évidemment décevant. Dans la deuxième nous utilisons la relation tension maximale-rayon de fissure donnée par l'étalonnage en 3D pour fissure en quart de cercle, avec un résultat plus réaliste. Enfin la méthode générale par approximation sur la cuve donne un résultat très correct avec une incertitude inférieure à 0.2 mm. sur le front réel.

Un deuxième exemple concerne l'étude d'amorçage sur une éprouvette de traction cylindrique $\Phi = 20$ mm. en AISI 316 comportant un coefficient de concentration de contrainte donné par une gorge de profondeur 2 mm. et un rayon de fond d'entaille de 0,5 mm. (fig. 15).

Pour détecter l'amorçage en fonction du nombre de cycles de sollicitation, on enregistre simultanément l'évolution de la tension en trois points situés à 120° autour de la gorge. L'expérience montre que l'amorçage est quasi-simultané en tout point du fond de gorge et que la fissure se propage presque à vitesse égale. On mesure donc une profondeur moyenne de fissure à partir de la moyenne de trois tensions et de l'étalonnage de la figure 15. Le matériau étant très fragile, le début de l'évolution de la tension mesurée est due à la déformation plastique de l'éprouvette et non à l'amorçage. Nous avons donc enregistré également l'évolution de cette déformation et compte tenu de la relation linéaire entre tension et déplacement plastique [7], l'apparition d'un coude prononcé sur le graphe $\Delta V - \Delta L_p$ (fig. 16) indique le début d'amorçage. Ceci est confirmé par examen des faciès

après rupture des éprouvettes et l'on peut voir sur la figure 15 que la mesure électrique donne des résultats très proches de la réalité à environ 0,1 mm près.

2.1.6 CONCLUSION

La méthode électrique, avec ses diverses techniques d'application, et en particulier celles décrites ici, est une méthode très attrayante en laboratoire lors d'études de propagation de fissure. Son champ d'application peut s'étendre à d'autres domaines : mesure de déformation et d'endommagement à haute température [7], contrôle non-destructif sur des structures réelles . Concernant ce dernier point une tentative est en cours sur un disque de turbine de réacteur.

2.1.7 REFERENCES

- 1 - C.J. BEEVERS: The measurement of crack length and shape during fracture and fatigue. EMAS - p. 85-284.
- 2 – BAUDIN G. et POLICELLA H. : Nouvelle méthode de mesure électrique de longueur de fissure - Recherche Aérospatiale n° 1976-6, p. 340-358.
- 3 - BAUDIN G. et POLICELLA H. : Détermination de fronts de fissure dans les pièces métalliques tridimensionnelles par mesure électrique - Recherche Aérospatiale n° 1979-1, p. 73-85.
- 4 - JOHNSON H.H.: Calibrating the electrical potential method for studying slow crack growth - Material Research of Standards, vol. 5, 1965, p. 442-445.
- 5 - RITCHIE R.O., GARRET G.G. and KNOTT J.F. ; Crack growth monitoring : optimisation of the electrical potential technique using an analogue method - Int. Journal of Fracture Mech., vol. 7 (1971), p. 462-467.
- 6 - RITCHIE R.O. and BATHE K.J. : On the calibration of the Electrical Potential Technique for Monitoring Crack Growth using Finite Element Methods. Int. Journal of Fracture Mech., vol. 15 (1979), p. 47-54.
- 7 - CAILLETAUD G., POLICELLA H. et BAUDIN G. : Mesure de déformation et d 'endommagement par méthode électrique. Recherche Aérospatiale n° 1980-1, p. 69-75.

2.1.8 SCHEMAS

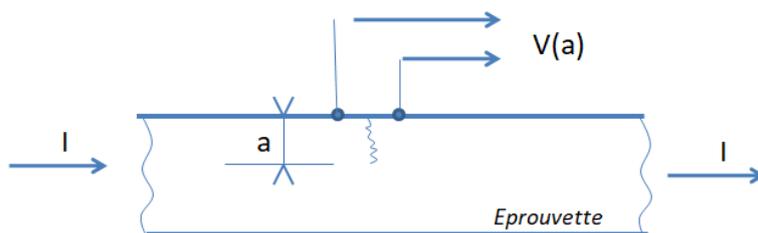


Figure 1 : Principe de la méthode électrique

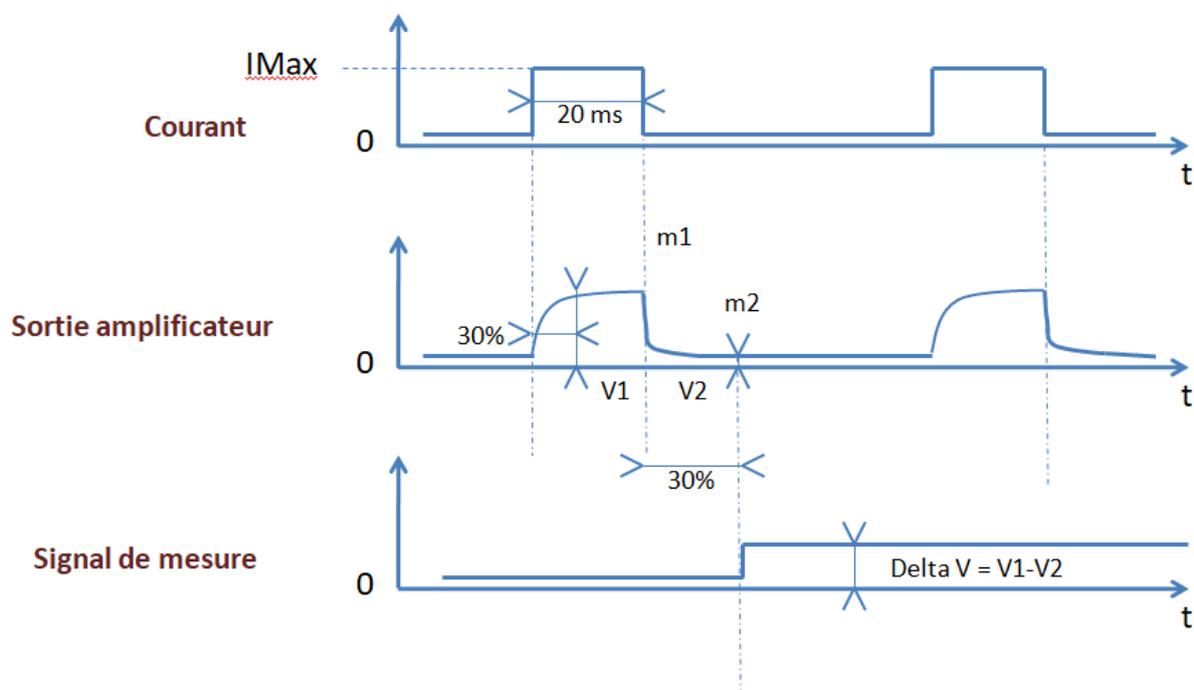


Figure 2 : Principe de la mesure

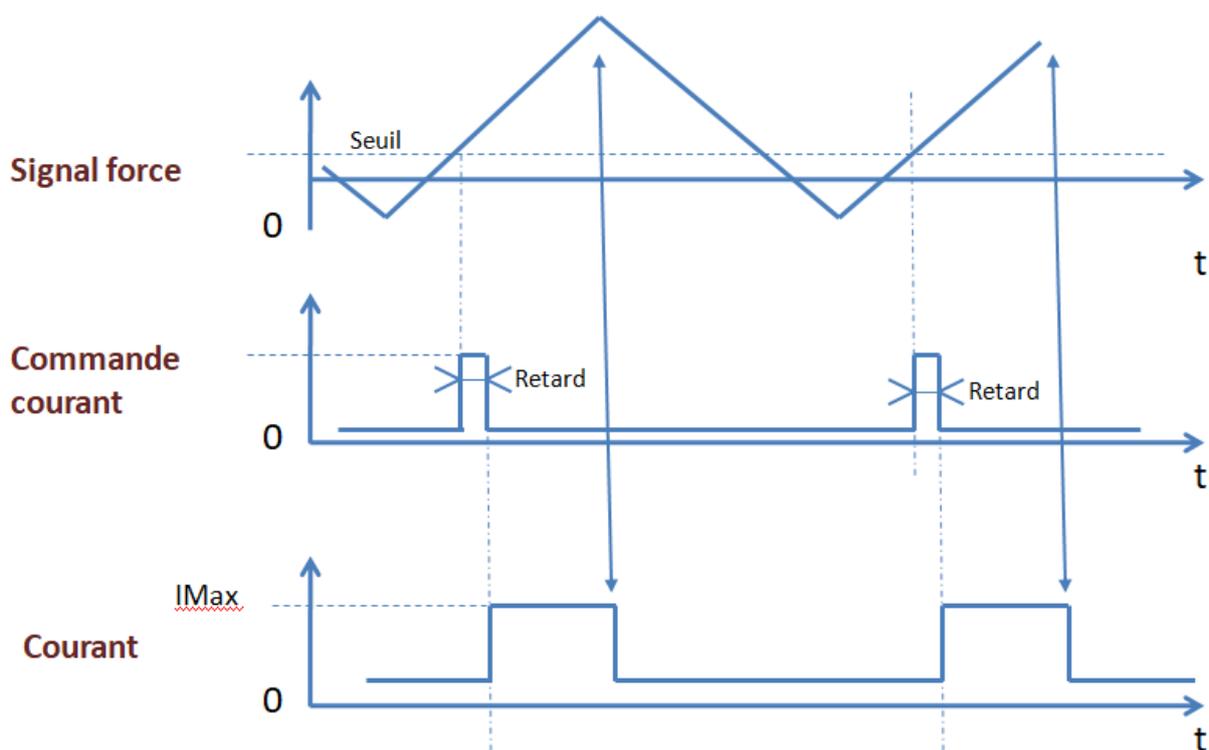


Figure 3 : Synchronisation de la mesure

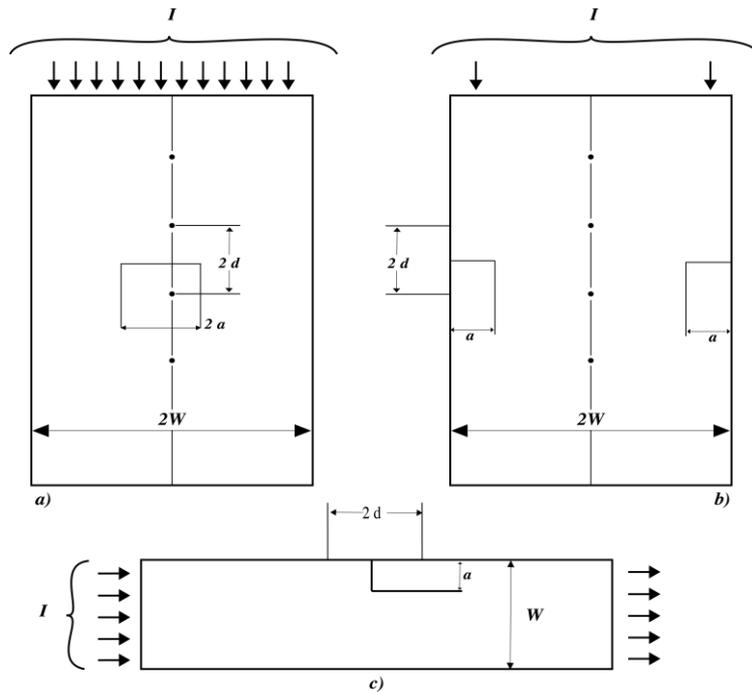


Fig. 4 - Méthode électrique : cas de calcul possible.
Formes d'éprouvettes.

- a) Panneau en traction.
- b) Panneau en traction.
- c) Éprouvette flexion.

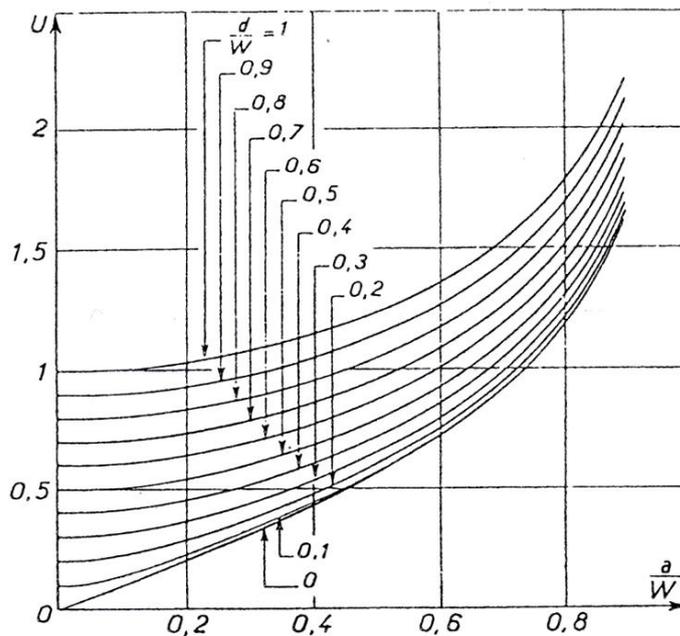


Fig. 5 - Représentation de la fonction U.

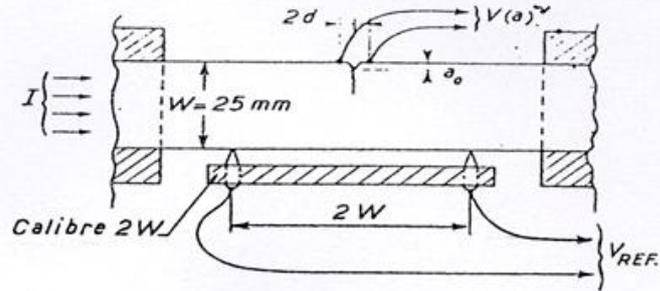


Fig. 6. — Éprouvette de flexion. Mesures initiales V_{REF} et $V(a_0)$.

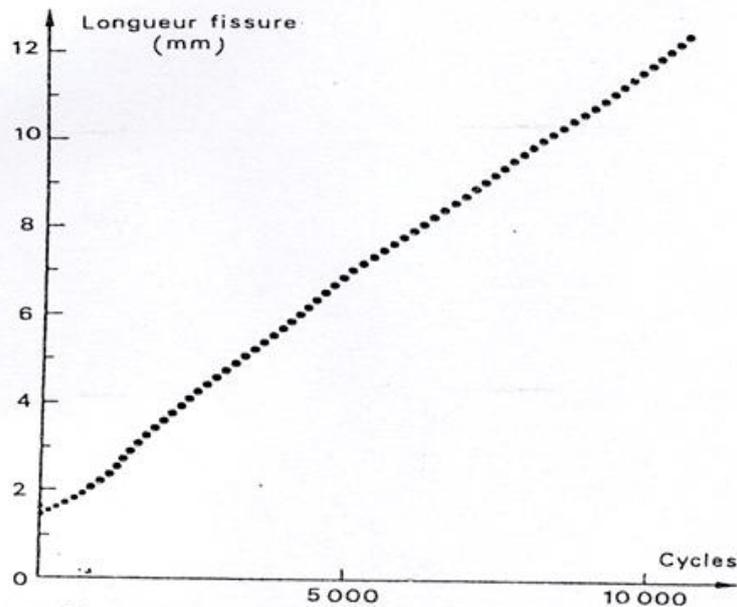


Fig. 7. — Essai à vitesse de fissuration constante (éprouvette flexion).

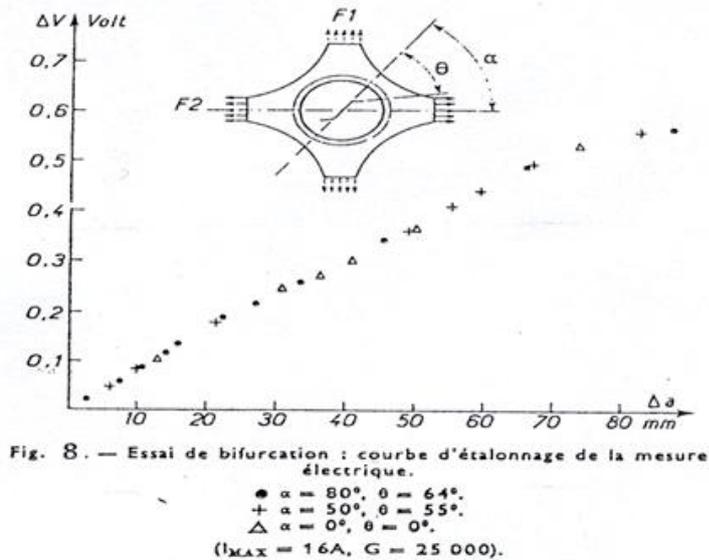


Fig. 8. — Essai de bifurcation : courbe d'étalonnage de la mesure électrique.

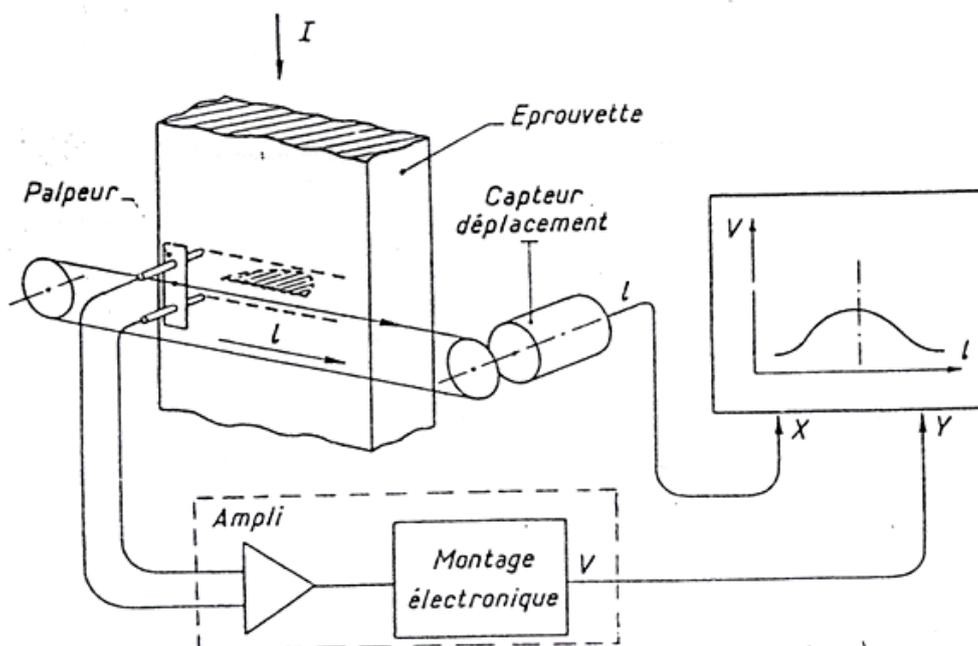


Fig. 9. — Principe de la mesure électrique sur éprouvette. (3D)

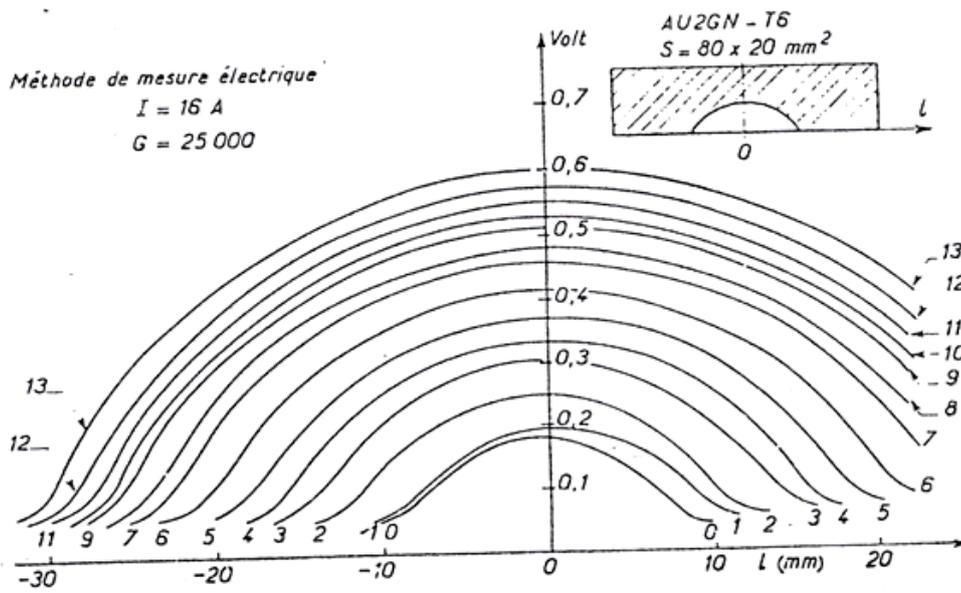


Fig. 10 - Essai de progression de fissure : relevés de tensions.

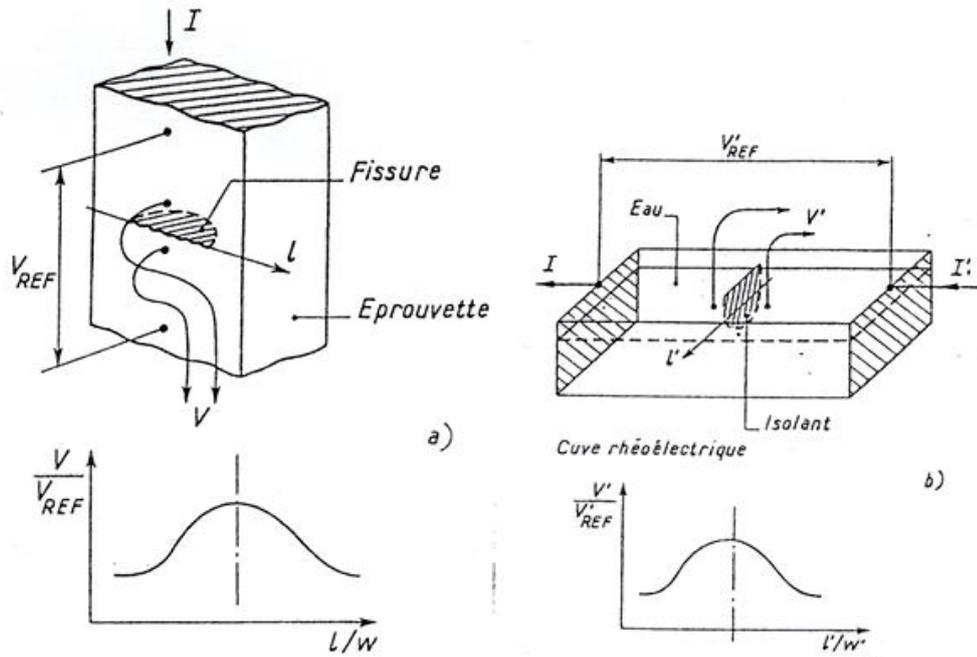


Fig 11. Determination par analogie d'un front de fissure -

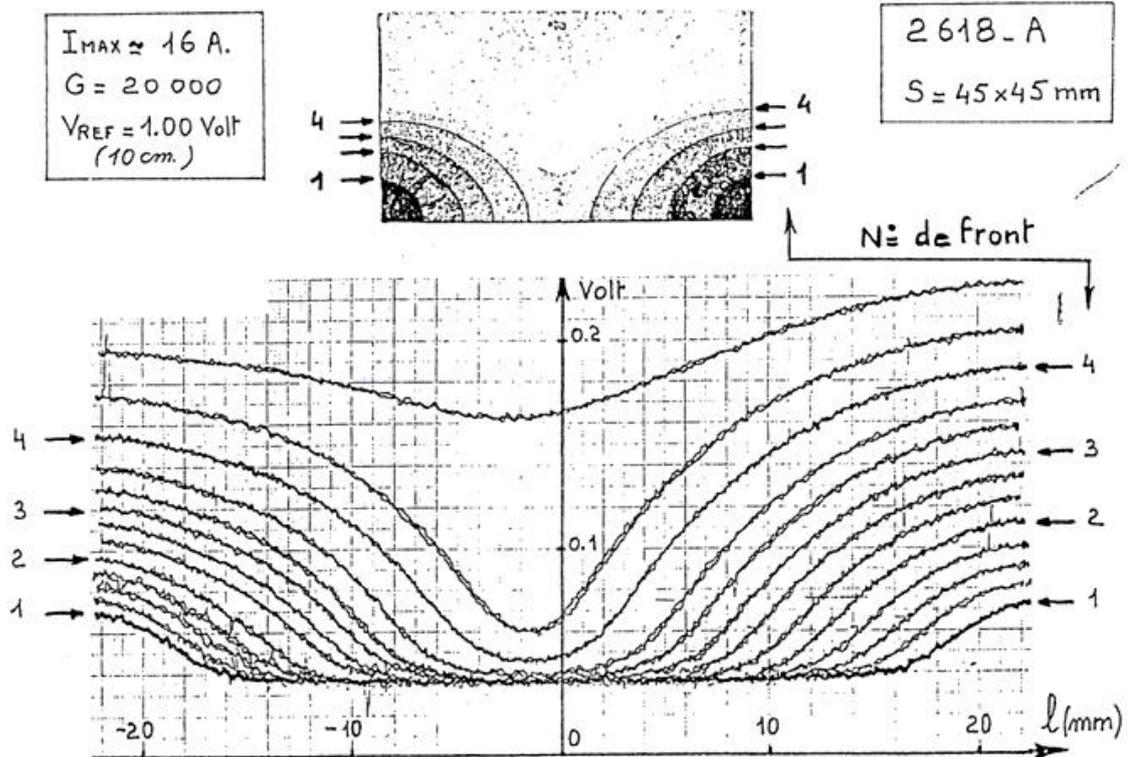


Fig 12. Progression de fissures dans un barreau. Mesure électrique -

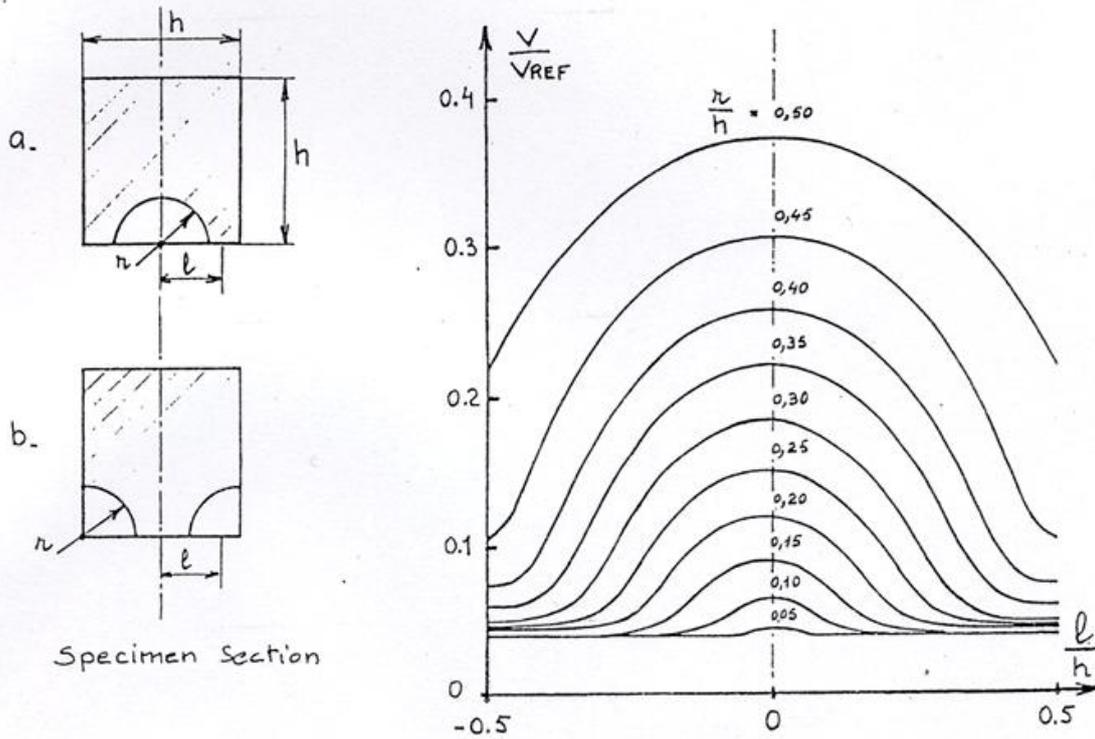


fig 13. Etalonnage sur cuve rhéoelectrique.

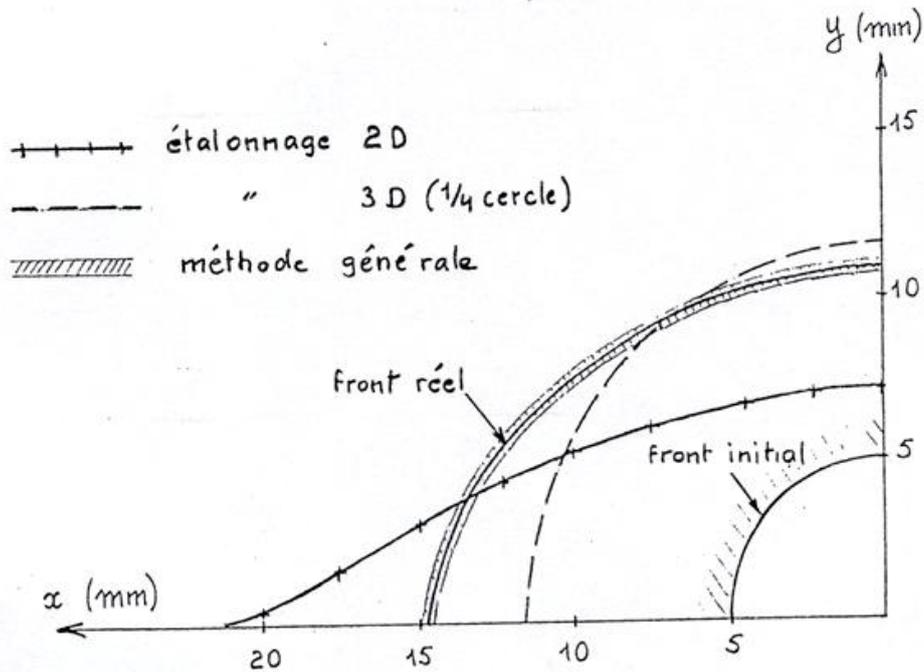


fig 14. Détermination d'un front de fissure.

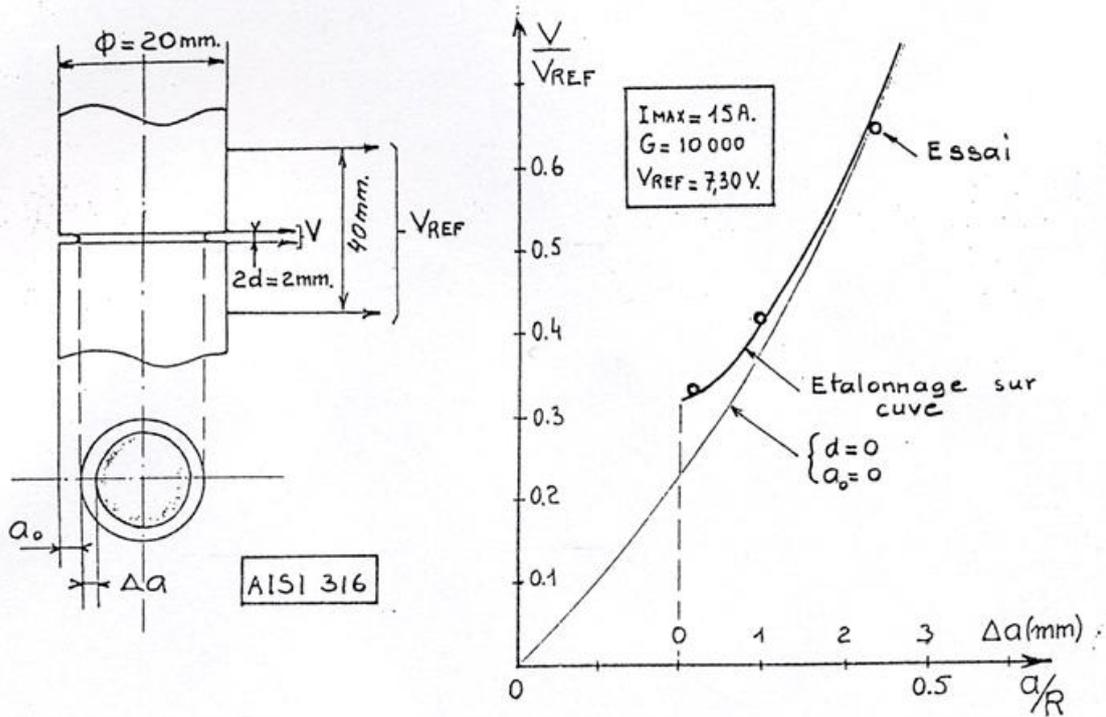


Fig 15. Amorçage et progression de fissure dans une éprouvette cylindrique entaillé -

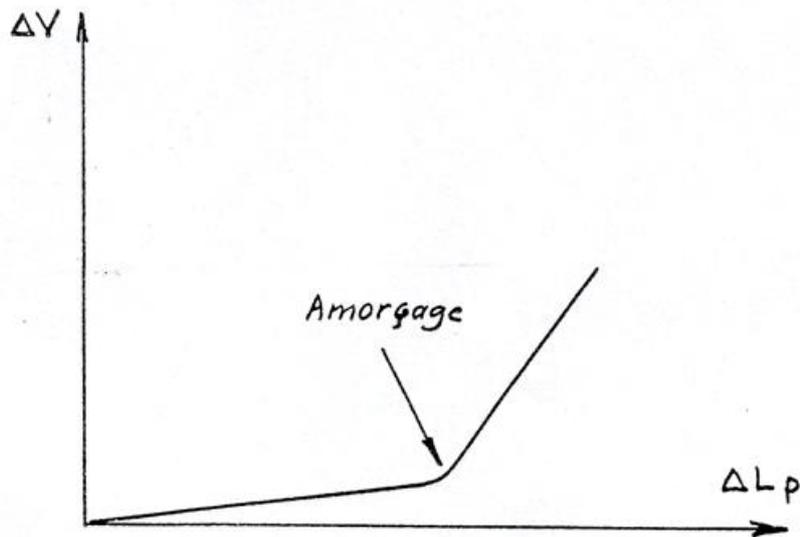


Fig 16. Détermination de l'amorçage.

3 - PRINCIPE DE LA MESURE DU SUIVEUR DE FISSURES CELIANS

Comme décrit dans le chapitre précédent la démarche est la suivante (fig 1) :

- ❖ Le courant est injecté dans l'éprouvette sous forme d'impulsions d'amplitude constante I_{MAX} et d'une durée programmée (*Pulse high*, par exemple de 20ms). Les premiers 30 % du pulse ne sont pas mesurés pour laisser le temps au signal de se stabiliser, ensuite plusieurs mesures sont réalisées sur le restant du pulse et une moyenne de ces mesures est réalisée. Cette moyenne est le potentiel électrique mesuré (V_1). La tension de sortie V_1 de l'amplificateur est alors mémorisée puis le courant s'annule pendant un certain temps (*Pulse low*, par exemple de 30ms).
- ❖ De façon identique à la mesure du « pulse high », les premiers 30% du « pulse low » (c.a.d pas de courant) ne sont pas mesurés, ensuite plusieurs mesures sont effectuées pour établir une moyenne de V pas de courant. Cette valeur est mémorisée comme V_2 . On dispose alors de la tension $\Delta V = V_1 - V_2$, exempte de tout parasite quasi-statique, et qui est la tension recherchée. Ces opérations se répètent à chaque impulsion.

Quant aux bruits, ils sont atténués d'abord en limitant la bande passante de l'amplificateur à 100Hz. Pour éliminer les bruits secteur, il peut être intéressant de se positionner en mode « LINE », dans ce mode le suiveur se cale en fréquence sur celle du secteur. Ainsi les mesures sont réalisées toujours au même moment de la pulsation secteur. Le paramètre « DELAY » permet de ne faire par exemple une mesure toute les 2,3,4, .., 10 pulsations.

Enfin, un dernier filtrage sur la tension de sortie ΔV permet d'obtenir une sensibilité de $0.1\mu V$ pour un temps de réponse de 1 seconde.

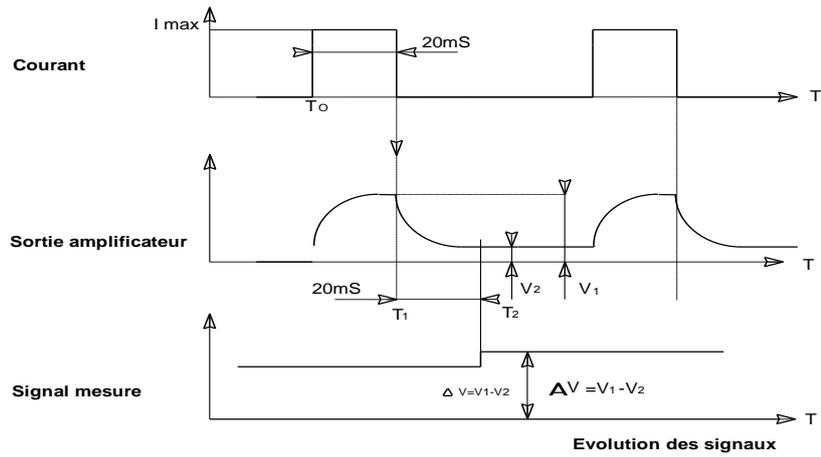


Fig. 1 PRINCIPE DE LA MESURE

Une autre caractéristique importante de cette méthode est de pouvoir synchroniser les impulsions, donc la mesure, avec le cycle de chargement lors d'essais de propagation de fissure sous chargement variable ou autre, comportant de nombreuses charges de compression. La synchronisation s'effectue à l'aide d'un seuil déclenché par le signal force (Threshold) de la machine d'essai et d'un retard réglable (fig. 2). La mesure peut ainsi intervenir à force constante ou à force maximale lorsque la fissure est complètement ouverte.

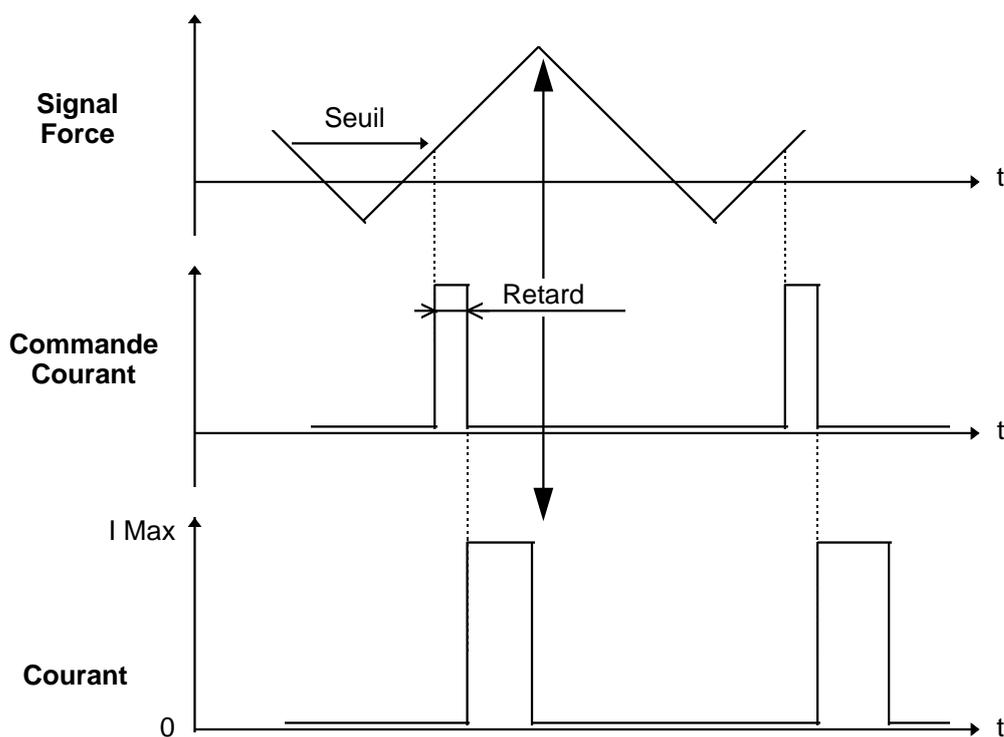


Fig. 2 SYNCHRONISATION DE LA MESURE

Il est à noter que l'appareil comporte une sortie délivrant la valeur mémorisée de la tension de synchronisation au moment de la mesure effective. Il est donc possible d'établir un graphe "force-ouverture de fissure" au cours d'un cycle de chargement pendant un essai dynamique en faisant varier manuellement le retard et éventuellement la valeur du seuil.

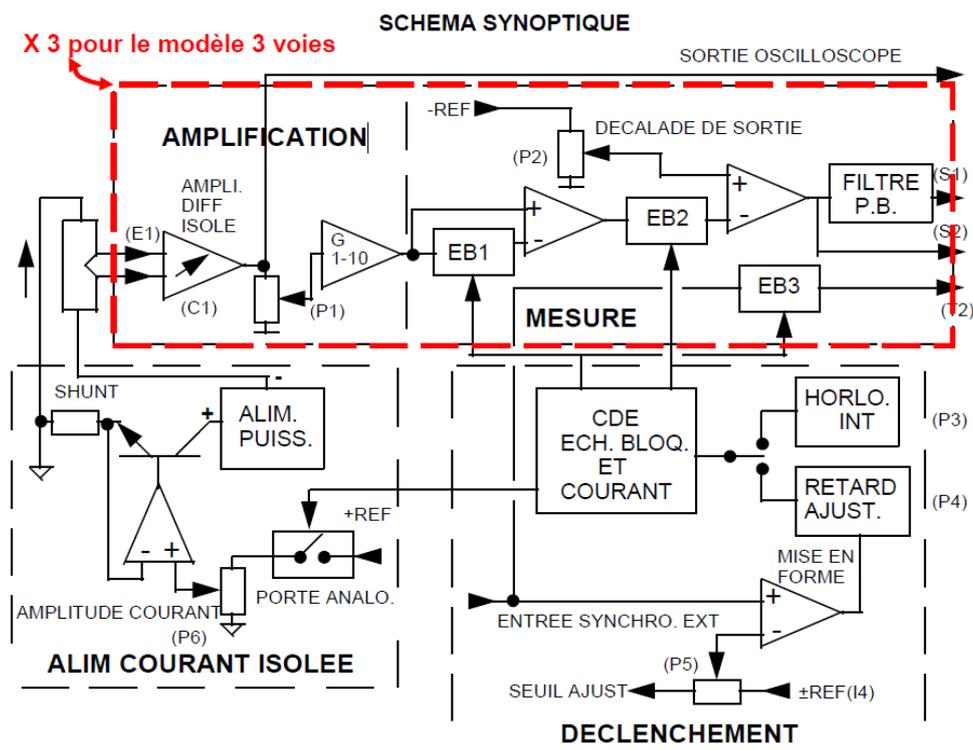
4- DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

L'appareil exécute essentiellement trois fonctions :

- Alimentation en courant de l'éprouvette,
- Déclenchement de la mesure,
- Amplification et mesure de la tension relevée sur éprouvette (X 3 voies)

Les circuits correspondants sont indiqués sur le schéma synoptique.

Les différentes commandes sont répertoriées chapitre "Utilisation".



4.1.1 AMPLIFICATEUR ET MESURE

Cette première partie, triplée dans le modèle 3 voies, se compose d'un amplificateur différentiel isolé, dont le gain est réglable de 0 à 20 000 à l'aide d'un bouton (GAIN, sur chaque voie) et la possibilité d'un offset (OFFSET, en V).

4.1.2 DECLENCHEMENT - SYNCHRONISATION

Un sélecteur (**IN, LINE, OUT**) donne le choix entre trois modes de déclenchement :

1 - Déclenchement par horloge interne

- ❖ Déclenchement interne (*position IN*). La fréquence de mesure est donnée par une horloge interne qui délivre un signal carré de fréquence réglable par un bouton (**FREQ**) de 1Hz à 150 Hz (*en fonction de la largeur du pulse en ms*). La largeur du pulse est quand à elle contrôlée par le bouton (**PULSE** en ms). L'intensité en ampères envoyée dans l'éprouvette est contrôlée par le bouton (**IMAX** en A). Par principe, la mesure est indépendante de cette fréquence, mais plus cette dernière est basse, plus le courant moyen dans l'éprouvette est faible et les problèmes de dissipation réduits. D'un autre côté, une fréquence de mesure élevée renforce le rôle du filtrage de sortie. C'est donc à l'expérimentateur d'adopter la position qui lui convient.

Fonctions opérationnelles : **IMAX, PULSE, FREQ, GAIN et OFFSET voies**

Fonctions non opérationnelles : **DELAY, THRESHOLD, FRONT**

2 - Déclenchement par le signal du secteur (mode réduction bruit secteur)

- ❖ Déclenchement par le signal du secteur (*50 Hz, Pulse 10 ms, pas de courant 10 ms par défaut*) (*position LINE*). Le signal secteur est donc le signal force délivré. Le signal est mis en forme par un comparateur. Le seuil n'est pas opérationnel dans ce mode, il est positionné à zéro. Par contre le délai retardateur (de 0 à 200 ms) est pleinement opérationnel ainsi que la largeur du pulse en ms (*max 12 ms*).

Fonctions opérationnelles : **IMAX, PULSE, DELAY, FRONT, GAIN et OFFSET voies**

Fonctions non opérationnelles : **FREQ, THRESHOLD**

3 - Déclenchement par le signal externe

- ❖ Déclenchement par un signal extérieur (*position OUT*). L'intérêt de ce mode de fonctionnement a déjà été abordé dans le chapitre précédent. En général, le signal extérieur est donc le signal force délivré par la machine d'essai. Le signal est mis en forme par un comparateur dont le seuil est réglable entre 0/10V à l'aide du bouton (**THRESHOLD** en V). Le sélecteur (**/, **) permet de choisir le front montant ou descendant du signal de synchronisation. La commande de l'impulsion de

courant peut alors être retardée en manœuvrant le potentiomètre (**DELAY** en ms) (retard réglable de 0 à environ 250ms).

Fonctions opérationnelles : **IMAX, PULSE, THRESHOLD, DELAY, FRONT, GAIN et OFFSET voies**

Fonctions non opérationnelles : **FREQ**

Dans les trois modes de déclenchement, le signal logique résultant attaque un ensemble de bascules et de portes qui délivrent les trois signaux suivants :

- la commande du passage du courant dans l'éprouvette (signal de largeur prédéfinie)
- la commande des échantillonneurs EB2 et EB3 (largeur 0,5ms) qui coïncide avec la fin de la commande précédente
- la commande de l'échantillonneur EB2 décalée exactement de 20ms par rapport à la précédente.

4.1.3 ALIMENTATION EN COURANT DE L'ÉPROUVETTE

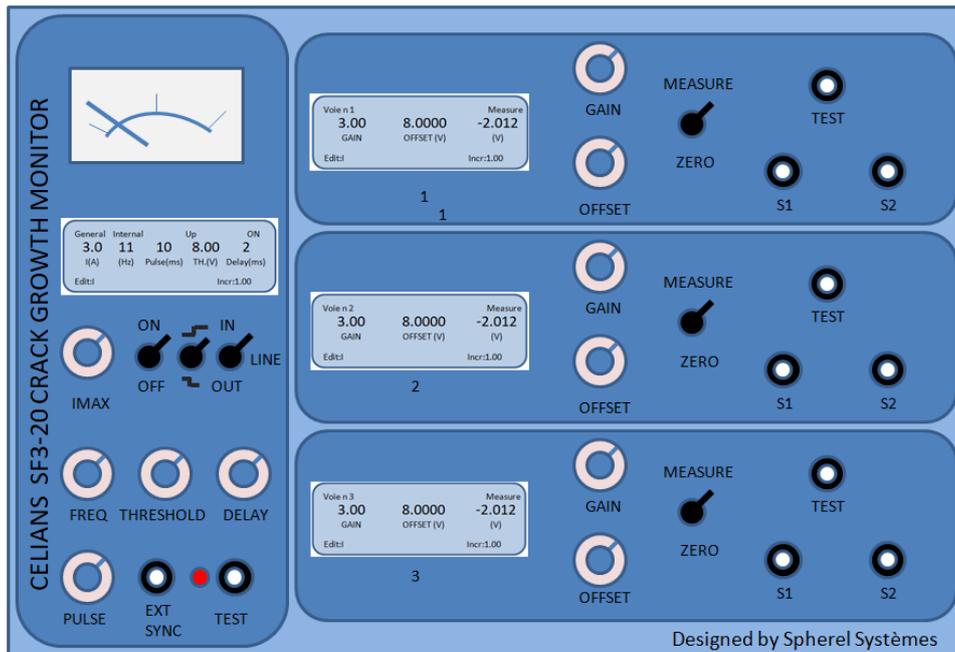
Ce circuit comprend une alimentation de puissance primaire ($\approx 10V, 20A$) qui débite dans l'éprouvette par l'intermédiaire d'un transistor de puissance et d'un shunt de $0,05\Omega$ placé en série.

Classiquement, un amplificateur commandant le transistor de puissance impose une tension de référence donnée aux bornes du shunt (*soit 1V*) d'où un courant constant de 20A dans le circuit de l'éprouvette. Cette tension de référence de 1V est appliquée à l'amplificateur par l'intermédiaire d'une porte analogique activée durant la commande issue des circuits de déclenchement. L'amplificateur de régulation voit donc une tension de référence de 0 à 1V. Il y correspond un courant nul ou égal à 20A.

De plus, la porte analogique étant un circuit optoélectronique, le circuit "alimentation de l'éprouvette" est isolée électriquement du reste de l'appareil, ce qui laisse toute latitude à l'opérateur pour choisir un point de mise à la masse. Enfin, le bouton (IMAX) permet de régler le courant entre 0 et 20A.

5 - UTILISATION

5.1 PRESENTATION



5.1.1 FACE AVANT

GAIN _{i,i=1,2,3}	Bouton de réglage de gain (<i>de 0 à 20000</i>) par voie
ZERO _{i,i=1,2,3}	Mise à zéro/Mesure de la tension d'entrée de l'amplificateur par voie
MESURE _{i,i=1,2,3}	
TEST _{i,i=1,2,3}	Prise de test. Sortie amplificateurs voie n (BNC)
S1 _{i, i=1,2,3}	Sortie mesure. Temps de réponse 1 seconde (BNC)
S2 _{i,i=1,2,3}	Sortie mesure. Temps de réponse 0,2 seconde (BNC)
OFFSET _i	Bouton de décalage sortie (<i>0V à 10V</i>)
V _{i,i=1,2,3}	Voltmètre numérique connecté à la sortie S1, affichage numérique
IN, LINE, OUT	Choix du type déclenchement (<i>interne, externe ou secteur</i>)
FREQ	Bouton de réglage de fréquence horloge interne <ul style="list-style-type: none"> – avec un pulse de 4 ms, max freq = 150 Hz, - avec un pulse de 200 ms, Max freq = 3 Hz
THRESHOLD	Potentiomètre de réglage de la tension de seuil (<i>de -10V à 10 V</i>)
FRONT	Choix du front de déclenchement
DELAY	Bouton de réglage retard (<i>Max 250 ms</i>)
LED	LED de contrôle (<i>s'allume lors de la présence d'un signal commande courant</i>)
ON/OFF	Autorise le passage du courant ou non
IMAX	Bouton de réglage du courant I MAX
A	Ampèremètre : donne la valeur du courant moyen passant dans l'éprouvette
EXT SYNC	En mode OUT (Synchro. Externe), le signal externe est amené sur cette broche
TEST	Valeur du signal de synchronisation au moment de l'exécution d'une mesure

5.1.2 FACE ARRIERE

E_i, i=1,2,3 Entrées amplificateurs (JAEGER miniature 3 broches), (au dos de l'appareil)

M Interrupteur marche-arrêt secteur (au dos de l'appareil)

MASSES

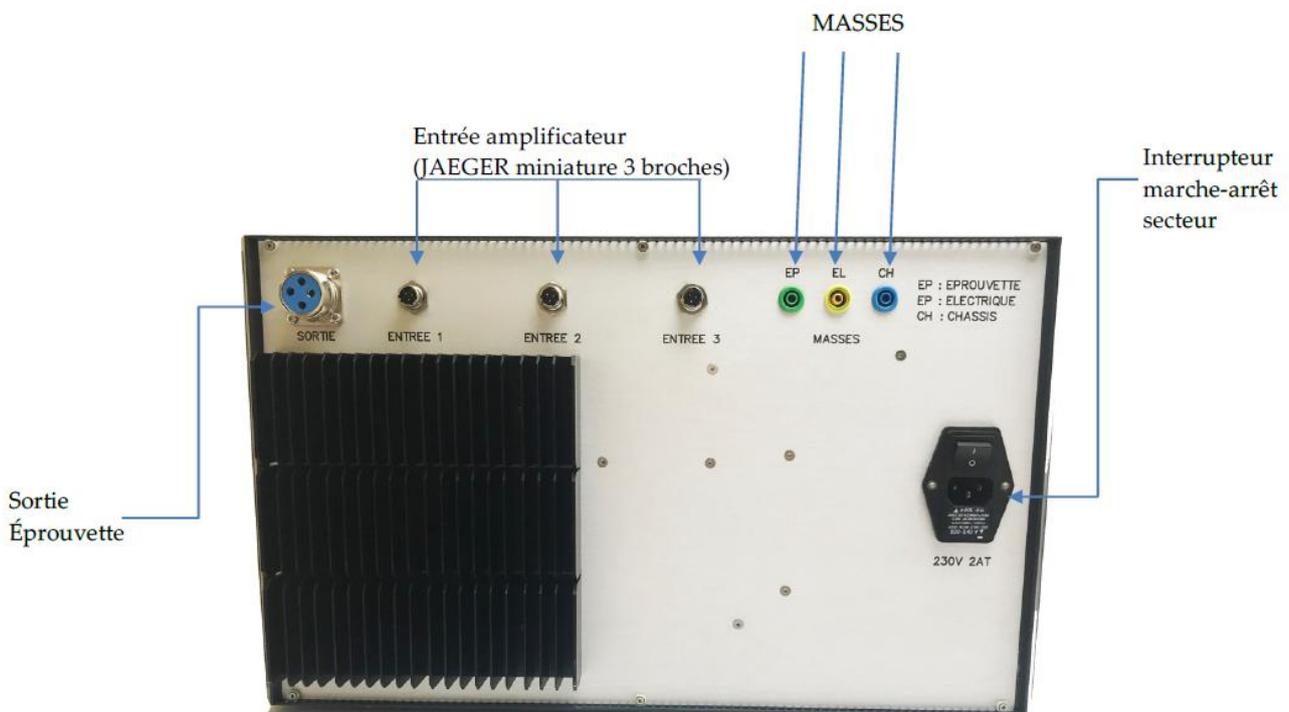
EP Epreuve

EL Electrique

CH Chassis

SORTIE

Sortie Sortie éprouvette



5.3 CIRCUIT D'ALIMENTATION DE L'EPROUVETTE

En général, l'éprouvette doit être isolée électriquement de la machine d'essai, mais l'appareil disposant d'une alimentation de puissance elle-même isolée, l'isolement complet de l'éprouvette n'est pas nécessaire.

On a les possibilités suivantes :

- ❖ Isoler une seule tête d'amarrage de l'éprouvette, le circuit alimentation est alors référencé à la masse mécanique de la machine par l'intermédiaire de la seconde tête d'amarrage.
- ❖ Ne pas isoler du tout l'éprouvette, si la résistance présentée par cette dernière est négligeable dans celle présentée par le bâti de la machine d'essai. Ceci peut être aisément contrôlé en comparant la mesure obtenue éprouvette montée, puis démontée et donc isolée.

Dans le cas où l'éprouvette est déjà isolée totalement, le circuit alimentation éprouvette doit être relié en un seul point à la terre. Les bornes verte et bleue à l'arrière de l'appareil servent à vérifier s'il y a isolement ou non.

L'alimentation de l'éprouvette se fait à partir de la prise JAEGER 4 broches situées face arrière (voir câblage de la prise). Le circuit câble-éprouvette doit présenter une résistance inférieure à 0.1Ω pour limiter à 2V la chute de tension dans ce circuit. (Pour cela, utiliser un câble de diamètre suffisant suivant la longueur de la connexion, soigner les raccords, etc.). Les deux câbles d'alimentation doivent être maintenus rapprochés ou même torsadés pour limiter le rayonnement créé par les impulsions de courant.

5.4 CIRCUIT D'ENTREE DE L'APPAREIL

Les deux prises de potentiel sur l'éprouvette sont connectées à l'appareil par un fil blindé (2 conducteurs + blindage) et un connecteur JAEGER 3 broches miniature qui vient se verrouiller sur l'embase (Ei) en face Arrière. Du côté appareil, le blindage est donc relié à la garde de l'amplificateur d'entrée. Du côté éprouvette, le blindage est soit laissé en l'air, soit relié à l'une des deux prises de potentiel. Pour faciliter le branchement, il n'y a aucun inconvénient à utiliser un connecteur intermédiaire entre l'extrémité du câble blindé et des deux fils soudés ou vissés sur l'éprouvette.

3. CONNEXIONS AUX APPAREILS DE CONTROLE ET DE MESURE

- ❖ Un examen à l'oscilloscope de la tension amplifiée est nécessaire. Brancher un oscilloscope à la sortie BNC TESTi pendant la mise au point de l'essai.
- ❖ L'appareil de mesure ou d'enregistrement se connecte sur la sortie BNC (S1i ou S2i)
- ❖ En mode "déclenchement externe", le signal extérieur de synchronisation est amené sur l'entrée BNC EXT SYNC.
- ❖ En mode "déclenchement secteur", le signal de synchronisation est calé sur le secteur, 50Hz,
- ❖ La sortie BNC TEST donne, sous forme mémorisée, la valeur du signal de synchronisation au moment de l'exécution d'une mesure. On peut l'utiliser pour ajuster les valeurs de seuil (THRESHOLD) et de retard (DELAY) en y branchant un voltmètre et rechercher la valeur maximale du signal de synchronisation qui est en principe le signal force de la machine d'essai.

5.5 MISE EN ROUTE - REGLAGES

Actionner les choix suivants :

ON/OFF	OFF
Position/voie	ZERO
Offset	0
Mode	IN (Internal)
IMAX	10
FREQ	30
PULSE	20

Le voltmètre numérique (V) doit indiquer 0 avec une oscillation de ± 2 sur le dernier digit (millivolt), mettre sur MEASURE. Le bruit, lu à l'oscilloscope, du signal issu de TEST doit être inférieur à 10mVc.c ; le voltmètre (V) reste à 0.

Dans le cas contraire, vérifier les isollements et les mises à la terre.

Remettre en position ZERO, mettre ON/OFF(I5) position ON et trouver IMAX vers 10. Le voltmètre (V) reste à 0 et l'ampèremètre (A) indique un courant moyen d'environ 6A. On peut réduire le courant moyen sans diminuer I MAX en diminuant la fréquence de mesure inter par FREQ (par exemple 15 Hz).

Remettre en position MEASURE.

Rechercher l'amplification convenable en agissant sur GAIN avec une position de ce dernier toujours égale ou supérieure à 1. Vérifier sur l'oscilloscope que le signal "carré" en sortie du test (TEST) est compris entre $\pm 10V$ et que le voltmètre V indique une tension stable inférieure à 10V.

L'appareil est alors dans son fonctionnement normal avec déclenchement interne.

On peut exécuter les vérifications suivantes :

- ❖ Le signal de sortie est proportionnel au gain (GAIN)
- ❖ Le signal de sortie est proportionnel au courant I (IMAX)
- ❖ L'inversion des fils de l'alimentation de l'éprouvette entraîne le changement de signe du signal de sortie
- ❖ Il en est de même pour l'inversion des fils d'entrée.
- ❖ Un enregistrement typique des signaux de sorties est montré (Fig. 4).

Utilisation en recherche externe

Ce mode de fonctionnement est utile lorsque le phénomène de contact entre les lèvres de la fissure est sensible, mais il n'a d'intérêt que si la fréquence d'essai est supérieure à environ 1Hz. En dessous, tout enregistreur est capable de suivre les fluctuations du signal de sortie à la fréquence d'essai, si bien que l'on peut en tirer les valeurs maximum qui sont seules significatives pour en déduire la longueur de la fissure.

L'interrupteur de mode est alors en position EXT. Le seuil est réglable entre 0 et 10V par THRESHOLD. Observer à l'oscilloscope double trace le signal "carré" de la sortie TEST et le signal de synchronisation. Mettre d'abord DELAY à 0 (retard minimum) et essayer de faire coïncider la redescende du signal "carré" avec le maximum du signal synchro.

Utiliser DELAY ensuite pour parfaire le réglage.

On peut se servir de ce retard pour "sauter" un ou plusieurs cycles si la fréquence d'essai est supérieure à 20Hz. La led de contrôle clignote à chaque mesure. Si elle reste éteinte, la synchronisation ne fonctionne pas, vérifier alors la présence du signal de synchronisation, ou retoucher le réglage du seuil.

Enfin, l'indication par l'ampèremètre (A) d'un courant moyen très supérieur à 10A doit entraîner l'arrêt immédiat de l'appareil pour fonctionnement anormal.

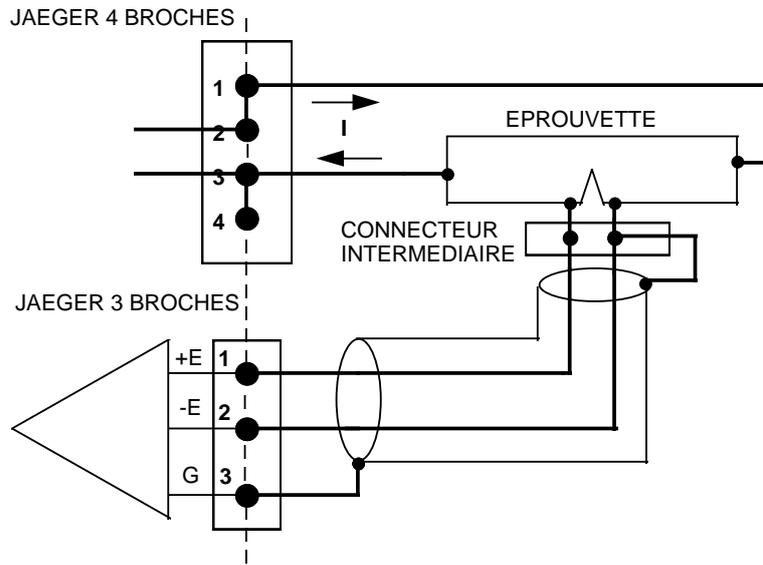


Fig 3 **Connections appareil-epruvette**

5.6 Changement de l'adresse IP du suiveur

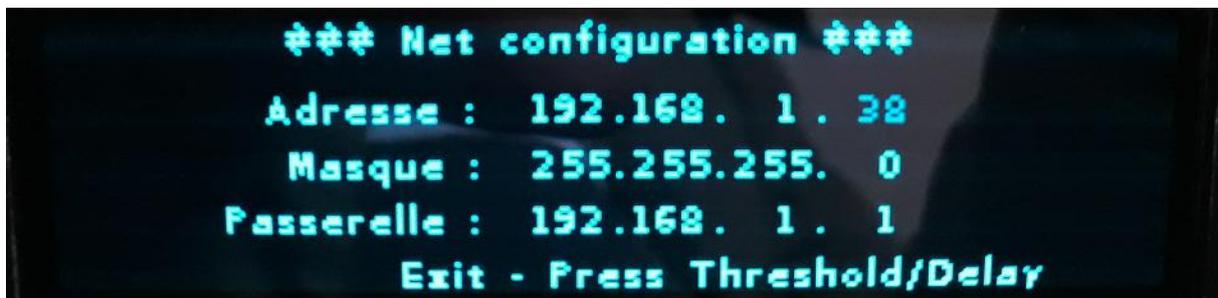
En cliquant simultanément sur les boutons « THRESHOLD » et « DELAY », il est possible de modifier les paramètres réseaux du suiveur. L'écran suivant est affiché.

En utilisant les molettes (1^{er} niveau et 2^{ème} niveau (sous-bouton)) de « CURRENT », « FREQ » and « DURATION, l'on pourra se déplacer sur les différents champs.

Bouton « CURRENT » pour l'adresse IP,

Bouton « FREQ » pour la masque réseau,

Bouton « DURATION » pour l'adresse de la passerelle (Gateway)



Lorsque les paramètres sont corrects, appuyer simultanément les boutons « THRESHOLD » et « DELAY » pour prendre en compte les nouveaux paramètres. Le suiveurs est automatiquement rebooté pour prendre en compte les nouvelles adresses.

5.7 N° du port IP du suiveur

Il n'est pas possible de changer le n° de port, il est fixe.

N° du port du suiveur : 2707

5.8 Mode spécifique de la voie 3

Il est possible d'utiliser la voie 3 (*uniquement*) en mode calcul sur les 2 premières voies.

Dans ce mode, il est possible de faire une sortie de la voie3 sur les opérations suivantes :

- ❖ Voie1 – Voie2

- ❖ Voie2 – Voie1
- ❖ Voie1 / Voie2
- ❖ Voie2 / Voie3

Pour commuter la voie 3 dans ce mode, appuyer sur un bouton GAIN ou OFFSET de la voie 3, puis tourner le sous-bouton associé vers la gauche ou vers la droite jusqu'à ce que « Mode V1-V2 », « Mode V2-V1 », « Mode V1/V2 » ou « Mode V2/V1 » apparaisse.

Affichage de l'écran voie3

Voie n 3	Voie1 – Voie2	Measure
	Voie1-Voie2	-2.012
		(V)
Edit:Offset		Mode V1-V2

