

Introduction :

La rupture est un problème au quel l'homme aura à faire face aussi long temps qu'il construira a des édifices ou fabriquera des structures. Ce problème est actuellement plus crucial avec le développement de structures complexes lié au progrès technologique.

Les avancées dans la connaissance de la mécanique de la rupture permettent aujourd'hui et plus précisément depuis le milieu du 20ème siècle, de mieux prévenir le risque de rupture.

III-1- Phénomène De Fatigue :

La fatigue des pièces métalliques est définie par l'apparition de fissures macroscopiques et leur propagation, sous des charges répétées. Les intensités de la plupart de ces charges sont nettement inférieures à la résistance statique des structures. C'est donc un nombre suffisant de telles charges qui peuvent produire une fissure importante et conduire à la ruine partielle ou totale d'une structure.

Le dimensionnement en fatigue d'une structure sous chargement cyclique nécessite de définir un "état limite" qui sera le critère de résistance. Ce choix lié aux trois étapes distinctes met en jeu des mécanismes différents.

Initiation de la fissure : Elle explicite le comportement de la structure entre l'état vierge et l'état où apparaît une fissure microscopique. Il s'agit de la phase d'amorçage. Celui-ci se produit généralement au voisinage des défauts intrinsèques qui peuvent induire des concentrations de contraintes.

- **Propagation Lente D'une Fissure Macroscopique :**

Au cours de cette étape, la fissure peut croître plus ou moins rapidement selon le matériau et l'intensité du chargement critique.

Rupture : Il s'agit là de l'étape finale du phénomène, qui se produit lorsque la taille de la fissure est telle qu'elle a atteint son seuil d'instabilité. Nous adopterons en pratique des critères de ruine liés à une perte de rigidité de la structure, définis par une profondeur relative fixée de la fissure par rapport à l'épaisseur de la pièce (par exemple 0,5)

III-2- Utilisation De La Mécanique De La Rupture En Conception :

La figure III .1 .1a compare l'approche classique pour le dimensionnement des structures basée sur la limite d'élasticité du matériau σ_e à l'approche utilisant le concept de ténacité Kc issu de La mécanique linéaire de la rupture (MLR).

Dans le premier cas, on dimensionne les structures pour que les contraintes appliquées σ restent inférieures à la limite d'élasticité ($\sigma < \sigma_e$). On utilise en général un coefficient de sécurité pour prévenir tout risque de rupture fragile ($\sigma < \alpha \sigma_e$ avec $\alpha < 1$). Cette approche est à deux variables σ et σ_e ; elle fait abstraction de l'existence d'éventuels défauts sous forme de micro fissures par exemple.

L'approche basée sur la mécanique linéaire de la rupture est à trois variables : la contrainte appliquée, la ténacité Kc qui remplace la limite d'élasticité et une variable additionnelle qui Est la taille du défaut. Il y a cependant deux approches alternatives de la mécanique de la rupture : l'une utilisant le concept d'intensité des contraintes critique (ténacité du matériau) et L'autre un critère d'énergie. Ces deux approches sont équivalentes dans certaines conditions.

On va les présenter brièvement avant de préciser les hypothèses qui les sous tendent et de rentrer dans les détails des calculs qu'elles mettent en œuvre [7].

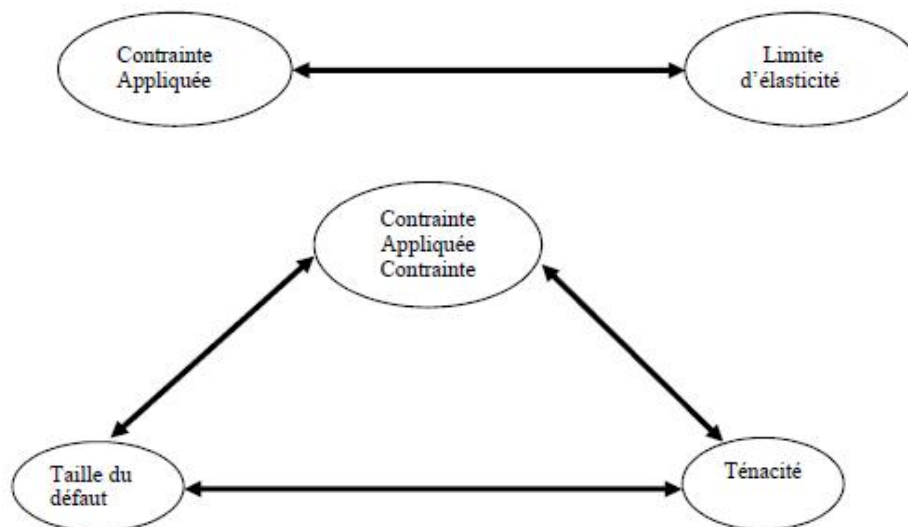


Figure III. 1: comparaison de l'approche classique (a) et de l'approche utilisant la mlr (b).

III-2-1- Critère D'énergie :

L'approche énergétique est basée sur le postulat suivant : l'extension d'une fissure qui conduit à la rupture se produit lorsque l'énergie fournie est suffisante pour vaincre la résistance du matériau : cette résistance se compose de l'énergie de création de surface, de l'énergie de plastification de l'extrémité de la fissure, et éventuellement d'autres types d'énergies dissipatives associées à la propagation d'une fissure.

Griffith fut le premier à proposer un critère d'énergie pour la rupture des matériaux fragiles, qui fut ensuite étendu aux matériaux ductiles par d'autres auteurs : Irwin et Orowan. L'énergie de Griffith notée G (qu'on appelle aussi taux de restitution d'énergie) est définie Par la variation d'énergie par unité de surface fissurée, associée à la propagation d'une fissure Dans un matériau linéaire élastique. La rupture se produit lorsque G atteint une valeur critique G_c ; G_c est une mesure de la ténacité du matériau.

Pour une fissure de longueur $2a$ (figure III .2) dans une plaque de dimensions infinies (ce qui vaut dire que la longueur de fissure est très petite par rapport aux dimensions de la Plaque dans la plan de chargement),

constituée d'un matériau de module d'Young E et soumise à une contrainte de traction σ^∞ , l'énergie de Griffith G par unité de surface fissurée est donnée par :

$$G = \frac{\pi(\sigma^\infty)^2 a}{E} \quad \text{III.1}$$

Si on continue à augmenter la contrainte appliquée σ^∞ , la rupture se produira lorsque l'énergie G atteint sa valeur critique pour une contrainte appliquée σ_R .

On a alors d'après la relation précédente :

$$G_c = \frac{\pi \sigma_R^2 a}{E} \quad \text{III .2}$$

On peut noter qu'à valeur de G_c fixée, la contrainte à rupture σ_R varie avec $a^{-1/2}$; de même à G_c et σ_R fixées, la longueur critique de défaut α_σ est donnée par :

$$\alpha_c = \frac{E G_c}{\pi (\sigma^\infty)^2} \quad \text{III.3}$$

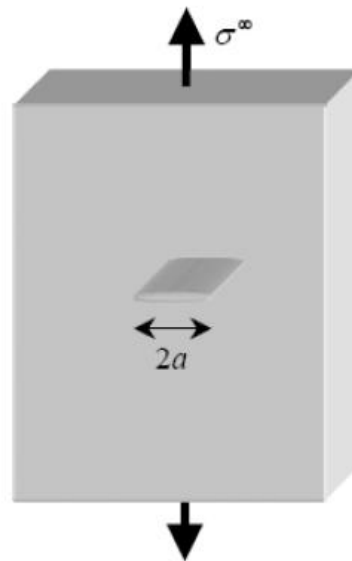


Figure III.2 : fissure traversant de longueur $2a$ dans une plaque infinie

La figure IV.3 illustre bien la différence entre l'approche classique qui fait abstraction de l'existence d'une fissure (le critère de rupture est $\sigma^\infty = \sigma_E$) et l'approche par la MLR qui prend en compte la présence de la fissure (σ^∞ proportionnelle à $1/\sqrt{a}$). La zone de non rupture située sous les deux courbes représentant les approches précédentes, montre que de part et d'autre de la longueur de défaut a_0 , on utilisera l'une ou l'autre des approches.

L'énergie de Griffith G est la force motrice dans un matériau dont la résistance à la rupture est donnée par G_C . Par analogie avec l'approche basée sur la limite d'élasticité où c'est la contrainte qui joue Le rôle de force motrice dans un matériau dont la résistance à la déformation plastique est donnée par la limite d'élasticité σ_E .

Cette analogie est utilisée aussi pour illustrer le concept de similitude. La limite d'élasticité d'un matériau mesurée à partir d'essais sur des éprouvettes de laboratoire est indépendante de la taille des éprouvettes et peut donc être utilisée pour des structures de tailles différentes dès lors que le matériau est raisonnablement homogène. Ce principe de similitude est une des hypothèses fondamentales de la mécanique de la rupture : la ténacité d'un matériau (mesurée Par G_C) est indépendante de la taille et de la géométrie de la structure fissurée. Cette hypothèse de similitude reste valable tant que le comportement du matériau demeure linéaire élastique.

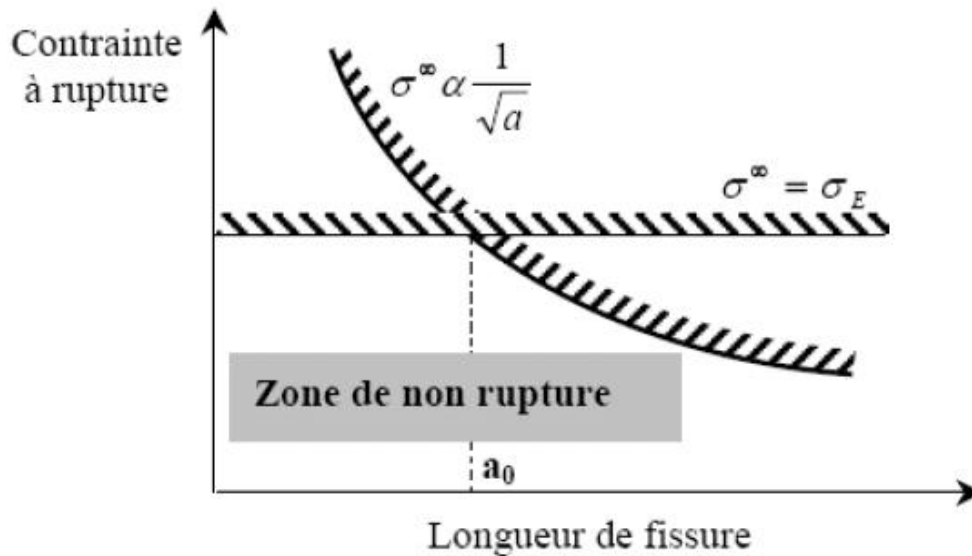


figure III .3 : comparaison entre l'approche classique et celle de la mlr

III-2-2-Critère De Contrainte :

Critère de contraintes (facteur d'intensité de contraintes).

On admet que la rupture intervient lorsqu'à fond d'entaille (fissure) on atteint la valeur critique de contrainte de rupture des liaisons. Cette situation correspond à une valeur du **facteur d'intensité de contraintes** (F.I.C) noté K_I qui atteint la valeur critique K_{IC} .

K_I dépend du matériau, de la contrainte appliquée et de la géométrie de la fissure.

Des formules donnant ce facteur pour différents types de chargement existent dans la littérature spécialisée.

En général, K_I est de la forme: $\propto \sigma\sqrt{\pi a}$, $\propto$ (facteur de forme) est un facteur de correction $f(a)$.

En mode I, pour une fissure dans une plaque mince chargée dans son plan par une contrainte uni axiale: $\alpha = 1$ donc $K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$ (en MPa. $\sqrt{m}$).

Le critère de contrainte pour la propagation brutale des fissures s'écrit donc : $K_I = \sigma\sqrt{\pi a} \geq K_{IC}$

Ce critère met en évidence **l'effet de taille** qui rend les pièces volumineuses plus sensibles que les petites à la rupture brutale (à contraintes identiques).

III-2-3- Concept D'intensité Des Contraintes :

La figure III.4 représente schématiquement les contraintes sur un élément centré sur un point **M** repéré par les coordonnées polaires r, θ par rapport à une extrémité d'une fissure sollicitée En mode d'ouverture ou mode I.

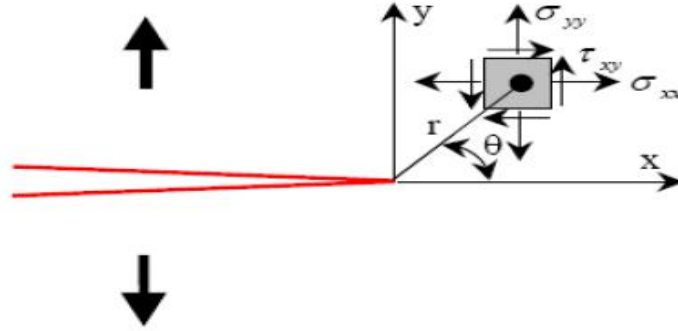


figure III .4 : contraintes pers de l'extrémité d'une fissure

Ces contraintes s'expriment à partir d'un paramètre noté K_I et appelé facteur d'intensité des contraintes (FIC) en mode I, par les relations III.4:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \\ \sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \\ \tau_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{cases} \quad \text{III.4}$$

Ces relations peuvent s'écrire sous la forme condensée suivante :

$$G_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \quad \text{III .5}$$

Des formules donnant le FIC K_I pour différentes configurations de chargement existent dans les manuels spécialisés. L'expression du FIC K_I dans le cas de la figure. III.4 est :

$$K_I = \sigma^\infty \sqrt{\pi a} \quad \text{III.6}$$

En comparant les formules (III.1) , il apparaît que :

$$G = \frac{K_I^2}{E} \quad \text{et} \quad G_c = \frac{K_{IC}^2}{E} \quad \text{III.7}$$

Dans l'approche basée sur le concept de FIC de la MLR, la rupture se produit lorsque le FIC KI atteint la valeur critique KIC qui correspond à la ténacité du matériau. Dans cette approche, Le KI est la force motrice dans un matériau dont la résistance à la rupture est caractérisée par la ténacité KIC . Le principe de similitude est supposé vérifié comme dans le cas de l'approche énergétique. Les deux approches sont équivalentes (relations III.7) pour un matériau dont le comportement est linéaire élastique.

III-3- Description Du Champ Des Contraintes A L'extrémité D'Une Fissure A L'aide Du Facteur D'intensité Des Contraintes :

La forme générale du champ des contraintes au voisinage de l'extrémité d'une fissure dans un matériau dont le comportement est élastique et linéaire est de la forme :

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi}} f_{ij}(\theta) + \sum_{m=2}^{\infty} \alpha_m r^{\frac{m}{2}} g_{ij}^{(m)}(\theta) \quad \text{III.8}$$

Les coordonnées (r, θ) sont repérées par rapport à l'extrémité de la fissure (figure III .5). Les Fonctions adimensionnelles f_{ij} ; g_{ij} dépendent du mode de sollicitation, et g_{ij} de l'état de Contrainte et de la géométrie du corps fissuré aussi.

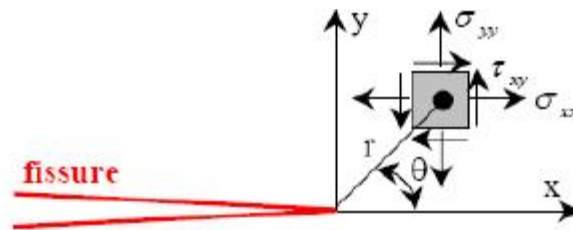


figure III .5 : définition des axes (x,y) et des coordonnées (r, θ)

Au voisinage immédiat de l'extrémité de la fissure, les contraintes présentent une singularité $1/\sqrt{r}$ c'est à dire lorsque $r \rightarrow 0$ elles tendent vers l'infini comme $1/\sqrt{r}$. Les autres termes d'ordre plus élevé de la relation. III 9 sont alors négligeables. La zone la plus critique est donc le voisinage immédiat de l'extrémité de la fissure et on ne considère alors que les termes en $1/\sqrt{r}$, autrement dit que les champs de contraintes asymptotiques qui sont donc de la forme

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \quad \text{III.9}$$

Ces champs asymptotiques peuvent être décrits à l'aide de l'approche de Westergaard.

Selon Le mode de sollicitation considéré mode I, II ou III : figure III.6 ils s'expriment à l'aide des Facteurs d'intensité des contraintes K_I , K_{II} ou K_{III} :

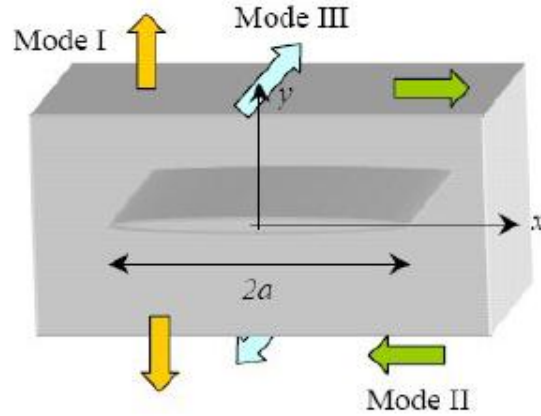


figure III .6 : définition des modes de sollicitation

En mode I :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \end{array} \right. \quad \text{III.10}$$

En mode II :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{xx} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_{yy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \\ \tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \end{array} \right. \quad \text{III.11}$$

En mode III :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{13} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \\ \sigma_{23} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \end{array} \right. \quad \text{III.12}$$

Remarque :

Lorsque la structure fissurée est sollicitée dans les 3 modes simultanément, on a
En appliquant le principe de superposition en élasticité linéaire :

$$\sigma_{ij}^{(total)} = \sigma_{ij}^{(I)} + \sigma_{ij}^{(II)} + \sigma_{ij}^{(III)} \quad \text{III.13}$$

Considérons maintenant le mode I seul par exemple. Lorsque $\theta=0$, c'est à dire lorsqu'on se place dans le plan de la fissure, au voisinage immédiat et en aval de l'extrémité de celle-ci, on a d'après les relations III.14:

$$\alpha_{xx}(\theta=0) = \alpha_{yy}(\theta=0) = \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \quad \text{III.14}$$

Le plan (x,y) de la fissure est donc principal pour le mode I. La figure III .7 est une représentation schématique de la variation de $\sigma_{yy}(\theta=0)$.

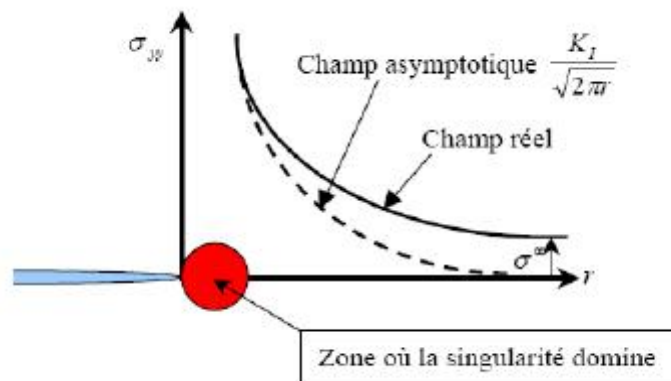


Figure III .7 : contrainte $\sigma_{yy}(\theta=0)$ perpendiculaire au plan de fissuration

Cette figure illustre la zone où la singularité domine c'est à dire lorsque la contrainte varie comme $1/\sqrt{r}$. Au delà de cette zone, on retrouve les conditions limites loin de la zone fissurée et la contrainte σ_{yy} tend alors progressivement vers la contrainte appliquée σ^∞ .

Le facteur d'intensité des contraintes (FIC) KI définit l'amplitude de la zone de singularité.

Les contraintes dans cette zone augmentent proportionnellement à KI qui caractérise alors complètement les conditions à l'extrémité de la fissure ; si le KI est connu,

On peut déterminer Les champs des contraintes, des déformations et des déplacements en fonction des coordonnées (r,θ) . Le FIC est un des concepts les plus importants de la mécanique de la Rupture [10].

III-4- Relation Entre Le FIC Et L'énergie De GRIFFITH :

Pour les calculs, on considère une fissure élastique sollicitée en mode I (figure III .8).

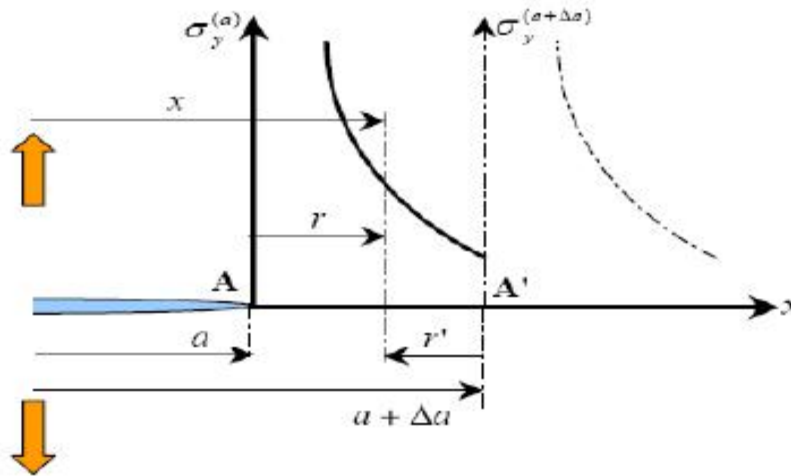


figure III .8 : fissures sollicitées en mode I

La fissure a pour longueur initiale a et se propage de Δa . L'extrémité de la fissure se déplace donc de la position $A(x = a)$ à la position $A'(x = a + \Delta a)$.

_ Le champ de contrainte en aval de l'extrémité de la fissure ($\theta = 0$) EST donnée par:

$$\alpha_y(r, \theta = 0) = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \quad \text{III.15}$$

_ Le champ des déplacements des lèvres en amont de l'extrémité de la fissure ($\theta = \pi$)

S'écrit :

$$U_Y(r, \theta = \pi) = \frac{K_I}{2a} \sqrt{\frac{2r}{\pi}} \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + a} \right) \text{ avec } \begin{cases} \lambda = \lambda & \text{en déformation planes} \\ \lambda = \frac{a \lambda \mu}{\lambda + 2\mu} & \text{en contraintes planes} \end{cases} \quad \text{III.16}$$

$$U_Y(r, \theta = \pi) = \frac{K_I}{\mu} \sqrt{\frac{2r}{\pi}} (1 - \vartheta) \text{ avec } \begin{cases} \vartheta = \vartheta & \text{en déformation planes} \\ \vartheta = \frac{\theta}{1+\theta} & \text{en contraintes planes} \end{cases}$$

III-5- Principe De Superposition En MLR :

Dans les matériaux élastiques linéaires, les composantes des contraintes, des déformations et des déplacements sont additifs : c'est l'application du principe de superposition.

Cependant, Il faut respecter certaines règles : ainsi par exemple deux contraintes normales selon la Direction x peuvent s'ajouter entre elles, mais une contrainte normale ne peut en aucun cas s'additionner avec une contrainte de cisaillement. Il en est de même pour les facteurs d'intensité des contraintes (FIC) : on ne peut additionner des FIC que s'ils concernent le même mode de sollicitation (mode I, II ou III). On a ainsi :

$$K_j^{(total)} = K_j^{(total)} + K_j^{(total)} + K_j^{(total)} + \dots \quad \text{III.17}$$

$$K_j^{(total)} \neq K_I + K_{II} + K_{III}$$

Dans beaucoup de cas, le principe de superposition, convenablement appliqué, permet de déterminer la solution pour le FIC dans des configurations de chargement relativement complexes en les décomposant en somme de chargements simples dont les solutions sont connues.

L'exemple de la figure ci-dessous illustre l'application du principe de superposition.

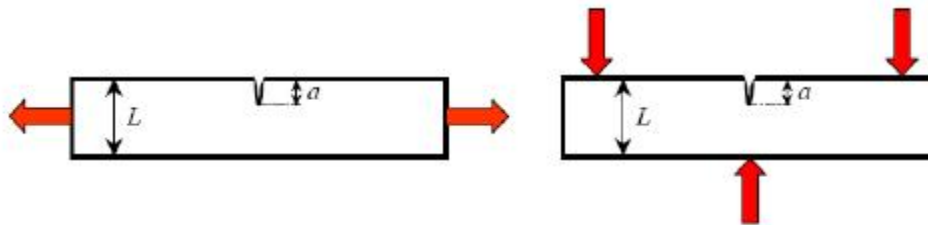


figure III.9 : fissures sollicitées en mode I du a une traction et a une flexion

les FIC k_i sont connus pour les deux chargements de traction et flexion (manuels spécialisés). Comme ils conduisent tous les deux à des sollicitations de la fissure en mode I, la solution est :

$$K_j^{(total)} = K_j^{(traction)} + K_j^{(flexion)} \quad \text{III.18}$$

On applique parfois le principe de superposition en imaginant des chargements dont les solutions sont connues, puis par combinaison on obtient la solution d'un problème donné. La figure III.10 illustre ce type d'utilisation du principe de superposition.

On cherche à déterminer la solution de KI pour le chargement de la figure III.10 a, on connaît celle du chargement III.10b, et celle du chargement III.10c est nulle puisque la fissure reste fermée et l'intensité des contraintes ne peut être alors transmise.

On a ainsi

$$K^{(a)}_I = K^{(L)}_I - K^{(u)}_I \quad \text{avec } K^{(u)}_I = 0 \implies K^{(a)}_I = K^{(L)}_I \quad \text{III.19}$$

Cet exemple illustre un résultat plus général : les contraintes de traction appliquées sur la face d'un solide fissuré (cas de la figure III.10b) peuvent être déplacées sur les lèvres de la fissure (figure III.10c) sans que cela change le FIC [10].

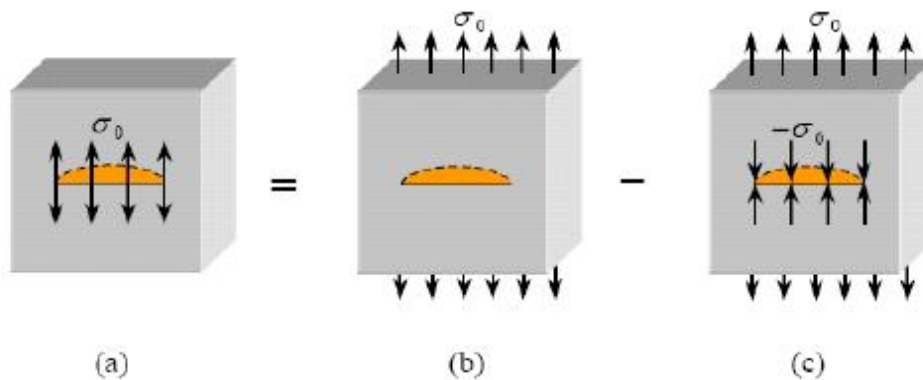


Figure III.10: détermination du FIC pour une fissure dans les lèvres sont soumises à une traction σ_0

III-6-Hypothèses et Cadre De L'étude :

Le domaine couvert par la mécanique de la rupture est si vaste qu'il serait présomptueux de vouloir en présenter tous les aspects. Il apparaît donc nécessaire de bien préciser les limites de cette étude.

III-6-1- Endommagement Et Mécanique De La Rupture :

Lorsqu'une pièce est soumise à des efforts d'origines variées, il existe des limites, en contraintes ou en déformations, qu'elle ne doit pas dépasser, sous peine d'endommager le matériau et de provoquer sa rupture. Suivant que l'on s'intéresse à la dégradation du matériau d'un point de vue micromécanique ou macro-mécanique, deux approches peuvent être utilisées :

• La Mécanique De L'endommagement :

La mécanique de la rupture constitue également un axe de recherche important, et très sollicitant d'un point de vue numérique. Plusieurs auteurs ont essayé, depuis longtemps,

de caractériser avec précision les champs mécaniques en pointe de fissure et de modéliser numériquement la propagation de telles fissures. Si notre connaissance théorique en mécanique de la rupture est maintenant assez étendue, les outils numériques permettant de la modéliser peuvent encore progresser.

En effet, les importantes variations dans les champs mécaniques à la pointe d'une fissure nécessitent une modélisation fine et bien contrôlée du Maillage dans son voisinage.

La mécanique de la rupture a pour objet l'étude du comportement mécanique d'un matériau en présence de fissures macroscopiques. Cela revient notamment à déterminer le champ des contraintes et des déformations au voisinage de la pointe d'une fissure. L'étude de ces champs mécaniques permettant ensuite de juger de la stabilité ou non d'une fissure.

Il est également possible, comme nous le verrons par la suite, d'aborder la mécanique de la rupture à travers Une étude énergétique du solide fissuré.

Le choix de l'approche dépend essentiellement de l'étude que l'on désire effectuer. Dans certains procédés de mise en forme des matériaux, l'endommagement est souvent critique, et il n'est donc pas nécessaire d'étudier la propagation de fissures. Par contre, dans d'autres procédés (usinage, découpage) et en génie civil, l'étude des fissures se propageant dans le matériau est nécessaire et est basée sur la mécanique de la rupture.

De plus, la capacité du code de calcul utilisé à permettre la propagation d'une fissure à travers un maillage est un paramètre important. En effet, en mécanique de l'endommagement, on ne modélise pas réellement les étapes d'amorçage et de propagation de fissures. Ces étapes se produisent naturellement lorsque l'adoucissement dû à la croissance des cavités l'emporte sur l'écrouissage du matériau. Il se produit alors une instabilité mécanique traduite notamment Par la chute des contraintes dans la zone endommagée. La fissure correspond alors aux zones qui ne transmettent plus d'efforts normaux. Cette approche présente donc l'avantage de ne pas significativement modifier la topologie du maillage en introduisant une fissure mais reste approximative dans la mesure où la précision sur le chemin de propagation est directement liée à la finesse du maillage. De plus, en grandes déformations, la dégénérescence des éléments correspondant aux zones les plus endommagées peut rapidement entraîner la fin du calcul [11].

III-6-2- Fissures statiques, Quasi-Statiques, Dynamiques :

Les premiers travaux réalisés en mécanique de la rupture visaient à établir, de façon précise, Les champs mécaniques au voisinage d'une fissure statique. La difficulté d'une telle étude réside dans la prise en compte de la singularité introduite par la pointe d'une fissure. Le calcul précis de paramètres mécaniques tels que les facteurs d'intensité des contraintes, ou le taux de restitution d'énergie réside en grande partie dans la bonne prise en compte de cette singularité.

L'étude des champs mécaniques entourant une pointe de fissure statique fait l'objet de cette étude bibliographique.

Ces paramètres mécaniques ainsi calculés, il est possible de prévoir la propagation ou non de La fissure.

Suivant le type de matériau étudié, et le chargement appliqué, la propagation pourra être qualifiée de stable (la fissure a besoin de plus d'énergie pour reprendre sa progression) ou d'instable (la fissure poursuit sa progression jusqu'à la ruine de la structure, sans nécessiter d'énergie supplémentaire). On est alors amené à étudier la **propagation quasi-statique de Fissures**, à l'aide de critères d'amorçage, de bifurcation, et de stabilité.

Enfin dans les problèmes de chargement rapide, ou lorsque les vitesses de propagation de fissures sont importantes, il devient nécessaire de prendre en compte les termes d'inertie dans la formulation et dans la résolution du problème.

On parle alors de **propagation dynamique des fissures** .

III-6- 3- Modes De Rupture :

La fissuration se manifeste par la séparation irréversible d'un milieu continu en deux parties, appelées lèvres de la fissure, ce qui introduit une discontinuité au sens des déplacements.

Les mouvements possibles des lèvres de chaque fissure sont des combinaisons de trois modes indépendants :

- Mode I: ouverture (ou clivage);
- Mode II: cisaillement plan;
- Mode III: cisaillement anti-plan

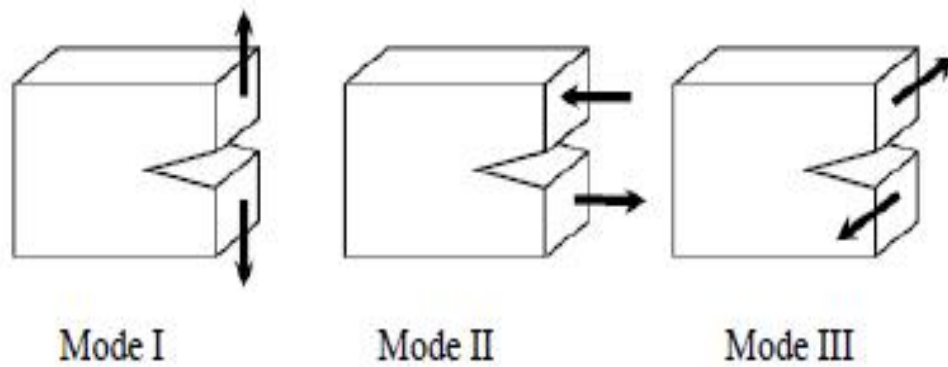


figure III .11 : modes de rupture

Le mode I est le plus dangereux pour l'extension d'une fissure ; cependant, une fois amorcée et pour des sollicitations mixtes ou des géométries complexes, la fissure a tendance à Bifurquer, et reste donc rarement rectiligne (2D) ou plane (3D) [12].

III-6-4- Mécanique Linéaire, Et Non-Linéaire De La Rupture :

La mécanique de la rupture se propose de décrire les étapes d'amorçage et de propagation de la fissuration. Selon le comportement du matériau durant la propagation d'une fissure, on peut être confronté à deux types de rupture :

- **Rupture fragile**, en l'absence de déformation plastique significative (mécanique linéaire de La rupture);
- **Rupture ductile**, en présence de déformation plastique non négligeable (mécanique non Linéaire de la rupture). Dans ce cas, suivant l'étendue de la zone plastique en pointe de fissure, on différencie le cas de la plasticité confinée, de celui de la plasticité étendue [12].

Notre étude porte sur le comportement d'une poutre fissurée simple ou double en faisant Varier le chargement. Ce travail porte sur un calcul numérique utilisant le code « ANSYS », Les contraintes et les déformations ont été déterminées.