Chapitre 9

La cohésion des dispirations coin-vis et la force faible

En considérant des singularités topologiques formées du couplage d'une boucle de désinclinaison vis avec une boucle de dislocation coin, qui sont appelées des *boucles de dispiration*, il apparaît *une force d'interaction similaire à un potentiel de capture,* avec *une portée très faible*, qui induit des interactions entre boucles présentant une analogie parfaite avec les *«interactions faibles»* entre particules élémentaires du Modèle Standard.

Précédemment, il est apparu la notion de *«masse de courbure»* des boucles de dislocation coin, qui correspond à la masse équivalente associée aux effets gravitationnels de *la charge de courbure de ces boucles*, et qui peut être positive dans le cas de boucles de nature lacunaire ou négative dans le cas de boucles de nature interstitielle. En fait, la charge de courbure et la masse de courbure qui lui est associée n'apparaissent dans aucune autre théorie physique, ni dans la Relativité Générale, ni dans la Physique Quantique, ni dans le Modèle Standard des particules élémentaires. Mais dans notre approche, c'est précisément cette masse de courbure qui devient responsable de l'apparition d'*une faible asymétrie* entre les particules (contenant hypothétiquement des boucles coin de nature interstitielle) et les anti-particules (contenant hypothétiquement des boucles coin de nature lacunaire), et cette faible asymétrie entre matière et antimatière sera appelée à jouer un rôle capital dans l'évolution cosmologique des singularités topologiques décrite au chapitre suivant.

Alors que le chapitre précédent présentait l'ensemble des interactions "gravitationnelles" à longue portée entre les diverses singularités topologiques du réseau cosmologique, ce chapitre s'intéresse à l*'interaction "gravitationnelle" à très courte portée* qui intervient entre une boucle de désinclinaison vis *(BV)* et une boucle de dislocation coin *(BC)* à cause de la perturbation d'expansion associée à la charge de courbure de la boucle coin et de la perturbation d'expansion à courte portée associée à la charge de rotation de la boucle vis.

On explique que cette *interaction entre charges de rotation et de courbure* correspond à *une force de répulsion à très courte portée en* $1/d^5$ *lorsque les deux boucles sont séparées*, mais qu'elle correspond à *une force de cohésion lorsque les deux boucles sont réunies sous forme d'une dispiration*.

Interactions à longue et courte portée entre une boucle de désinclinaison vis (BV) et une boucle de dislocation coin (BC)

Si une boucle de désinclinaison vis de rayon R_{BV} se rapproche suffisamment d'une boucle de dislocation coin de rayon R_{BC} , comme représenter à la figure 9.1, l'énergie d'interaction totale entre les deux boucles va faire intervenir les énergies associées aux champs gravitationnelles à longue portée, mais aussi une énergie d'interaction liée au champ de perturbation d'expansion à courte portée de la *boucle de désinclinaison vis.* En exprimant les champs à

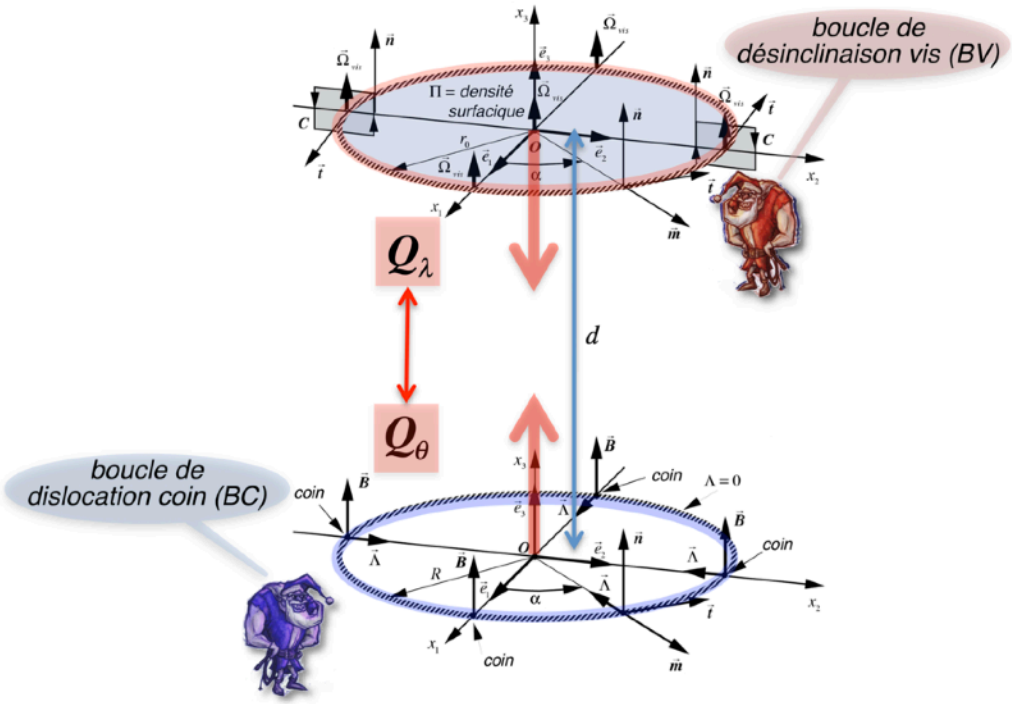

Figure 9.1 *- Interactions à longue et courte portée entre une boucle de désinclinaison vis (BV) et une boucle de dislocation coin (BC)*

longue portée en $1/r$ et à courte portée en $1/r^4$ de la boucle vis (figure 7.10), l'énergie de distorsion de la boucle de dislocation coin peut se calculer (figure 8.8), et de même en calculant le champ à longue portée en $1/r$ de la boucle coin (figure 7.11), l'énergie de distorsion de la boucle vis peut aussi se calculer (figure 8.8), de telle sorte que l'énergie totale d'interaction gravitationnelle entre les deux boucles s'écrit comme la somme de ces énergies de distorsion. En tenant compte du fait que la masse de courbure de la boucle coin est largement supérieure à sa masse d'inertie $\left|M^{BC}_{courbure}\right| >> M^{BC}_{0}$, l'énergie totale des deux boucles peut se simplifier, et on peut alors trouver l'accroissement d'énergie ΔE^{BV-BC}_{inter} par rapport à la somme des énergies des deux boucles lorsqu'elles n'interagissent pas, correspondant à l'énergie d'interaction des deux boucles. Après quelques calculs, on obtient la relation pour cet accroissement ΔE^{BV-BC}_{inter} comme exprimée à la figure 9.2.

A longue distance, c'est le terme en $1/d$ qui l'emporte, de sorte que l'énergie d'interaction est négative si $M^{BC}_{courbure} > 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de nature lacunaire, et elle est positive si $M^{BC}_{courbure} < 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de nature interstitielle (figure 9.2).

A courte distance, c'est le terme en $1/d^4$ qui l'emporte, de sorte que l'énergie d'interaction devient forcément positive (figure 9.2). Dans le cas de la boucle coin lacunaire, on a $M^{BC}_{courbure} > 0$, de sorte que l'énergie d'interaction passe par zéro pour $d = d_0$ dont la valeur est donnée dans la figure 9.2

A partir de l'accroissement d'énergie ΔE^{BV-BC}_{inter}, on peut déduire la force "gravitationnelle" d'interaction $\boldsymbol{F}^{BV-BC}_{grav}(d) = \partial \boldsymbol{E}^{BV-BC}_{inter} / \partial d$ entre les deux boucles grâce à la dérivé par rapport à la distance d. L'expression de cette force est aussi reportée dans la figure 9.2, et on constate qu'à longue distance, c'est le terme en $1/d^2$ qui l'emporte, de sorte que la force d'interaction

est négative, donc répulsive, si $M^{BC}_{courbure} < 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de nature interstitielle, et elle est positive, donc attractive, si $M^{BC}_{courbure} > 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de nature lacunaire.

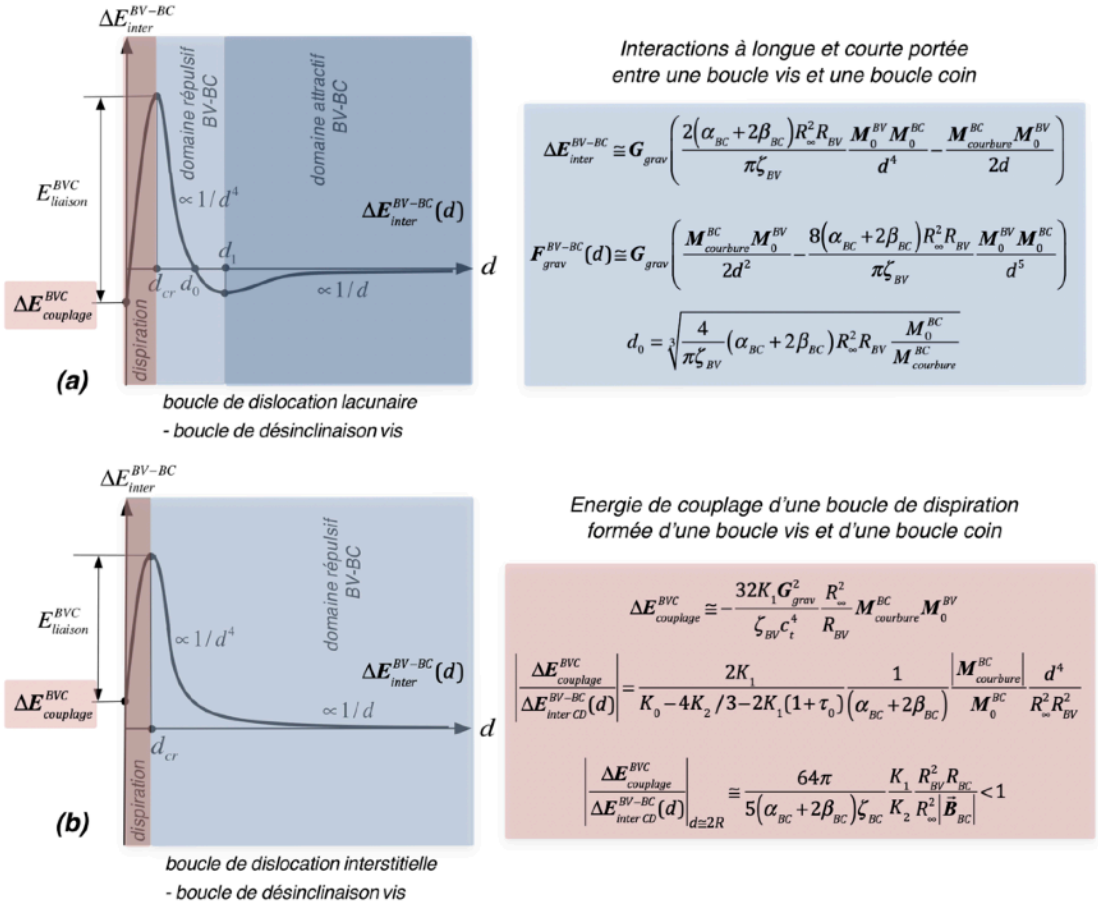

Figure 9.2 *- Potentiels d'interaction (de capture) entre une boucle de dislocation coin BC lacunaire* ***(a)*** *ou interstitielle* ***(b)*** *et une boucle de désinclinaison vis BV pour former une dispiration coin-vis BCV*

A courte distance, c'est le terme en $1/d^5$ qui l'emporte, de sorte que la force d'interaction devient forcément négative, donc répulsive. Dans le cas de la boucle coin lacunaire pour laquelle $M^{BC}_{courbure} > 0$, la force d'interaction passe par zéro pour $d_1 = d_0\sqrt[3]{4}$ et elle présente un maximum pour $d_2 = d_1\sqrt[3]{10}$.

L'énergie de couplage d'une boucle de dispiration vis-coin (BVC) formée d'une boucle vis (BV) et d'une boucle coin (BC)

Si une boucle de désinclinaison vis *(BV)* de rayon R_{BV} se combine à une boucle de dislocation coin *(BC)* de rayon $R_{BC} = R_{BV}$, on obtient une *Boucle de dispiration Vis-Coin (BVC)*. L'énergie élastique et l'énergie cinétique de cette boucle de dispiration est due au champ de rotation de la boucle vis, au champ d'expansion et de cisaillement de la boucle coin et au champ de vitesse dû aux deux boucles. Comme les divers champs des deux boucles sont tous orthogo-

naux et contenus dans le tore entourant la boucle de dispiration coin-vis, l'énergie relativiste de celle-ci est la somme des énergies relativistes *(20.47)* et *(20.48)* des deux boucles, et vaut simplement $E_{\boldsymbol{v}}^{BVC} = \left(M_0^{BV} + M_0^{BC}\right)c_t^2 / \gamma$.

Par contre, si on considère le champ externe des perturbations d'expansion associé à cette boucle de dispiration, on aura les champs à courte et longue distance de la boucle vis (figure 7.10) et les champs de la boucle coin (figure 7.11) qui vont se superposer à l'extérieur de la dispiration. L'énergie «gravitationnelle» de ce champ de perturbations peut se calculer, et on obtient alors les énergies individuelles des champs de perturbation de chacune des boucles, mais il s'y ajoute un nouveau terme de couplage entre les deux boucles, dû aux termes croisés d'interaction entre la boucle vis et la boucle coin qui interviennent dans un terme au carré $\left(\tau_{ext\,LD}^{BV}(r) + \tau_{ext\,CD}^{BV}(r) + \tau_{ext\,LD}^{BC}(r)\right)^2$. Ces termes de couplage contribuent à un accroissement d'énergie $\Delta E_{couplage}^{BVC}$ qui, en tenant compte du fait que $M_0^{BC} << \left|M_{courbure}^{BC}\right|$ et en ne conservant que le terme le plus important, est représenté par la valeur reportée dans la figure 9.2.

En fait, cette énergie est due au couplage du champ externe de perturbation d'expansion à courte portée dû à la charge de rotation de la boucle vis avec le champ externe de perturbation d'expansion dû à la charge de courbure de la boucle coin. C'est donc une interaction entre les charges de rotation et de courbure des deux boucles de la dispiration via leurs effets gravitationnels externes respectifs. On constate aussi que cette énergie de couplage est négative si $M_{courbure}^{BC} > 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de type lacunaire, et positive si $M_{courbure}^{BC} < 0$, c'est-à-dire si la boucle coin est de type interstitiel.

On peut maintenant comparer l'énergie d'interaction gravitationnelle à courte distance $\Delta E_{inter\,CD}^{BV-BC}(d)$ entre deux boucles distantes de d avec l'énergie de couplage $\Delta E_{couplage}^{DCV}$ au sein de la boucle de dispiration. Il vient la relation pour $\left|\Delta E_{couplage}^{BVC} / \Delta E_{inter\,CD}^{BV-BC}(d)\right|$ reportée à la figure 9.3. Pour une distance de l'ordre de $d \approx 2R_{BV}$, on a donc, si $\tau_0 << \tau_{0cr}$ et en se rappelant que $K_3 = K_0$ dans le réseau cosmologique parfait que $\left|\Delta E_{couplage}^{BVC} / \Delta E_{inter\,CD}^{BV-BC}(d)\right|_{d \cong 2R} < 1$. En effet, dans l'expression de la figure 9.2, il apparaît le rapport $R_{BV}^2 R_{BC} / R_\infty^2 \left|\boldsymbol{B}_{BC}\right|$ qui a toute les chances d'être beaucoup plus petit que l'unité, de sorte que la valeur absolue $\left|\Delta E_{couplage}^{BVC}\right|$ de l'énergie de couplage de la dispiration est assurément nettement plus petite que l'énergie d'interaction ΔE_{inter}^{BV-BC} entre les deux boucles lorsqu'elles sont séparées d'une distance $d \approx 2R_{BV}$.

On en déduit que *l'énergie potentielle d'interaction* ΔE_{inter}^{BV-BC} entre les deux boucles , en fonction de la distance d entre ces deux boucles se comporte en fait comme un *potentiel de capture* tel que celui représenté à la figure 9.2 dans le domaine "dispiration". Ce potentiel maintient liées les deux boucles au sein de la dispiration, avec une énergie de liaison $E_{liaison}^{BVC}$ correspondant à la différence d'énergie entre le maximum de l'énergie potentielle d'interaction ΔE_{inter}^{BV-BC} des boucles vis et coin séparées et l'énergie de couplage $\Delta E_{couplage}^{BVC}$ de la dispiration.

L'énergie potentielle d'interaction ΔE_{inter}^{BV-BC} représente une force répulsive en $1/d^5$ entre les deux boucles dès que celles-ci se sépare d'une distance supérieure à une certaine distance critique de l'ordre de $d_{cr} \approx 2R_{BV}$. Pour séparer les deux boucles de la dispiration, il suffit alors:
- soit d'une *fluctuation d'énergie* égale ou supérieure à l'énergie de liaison $E_{liaison}^{BVC}$ de la boucle de dispiration, de sorte à ce que les deux boucles individuelles se retrouvent à une distance $d > d_{cr}$ et se repoussent définitivement,
- soit que la boucle coin franchisse la barrière de potentiel par *effet tunnel* quantique, et que les boucles individuelles se retrouvent à une distance $d > d_{cr}$ et se repoussent définitivement.

De l'analogie avec l'interaction faible du Modèle Standard des particules élémentaires

L'interaction à courte portée que nous venons de décrire entre les charges de rotation et de courbure, respectivement d'une boucle de désinclinaison vis et d'une boucle de dislocation coin, présente une analogie remarquable avec *l'interaction faible du Modèle Standard des particules élémentaires.*

L'interaction faible du Modèle Standard est l'une des quatre forces fondamentales de la nature. Elle est responsable de la désintégration radio-active des particules élémentaires et elle affecte tous les fermions, à savoir les électrons, les neutrinos et les quarks. Dans le Modèle Standard, l'interaction faible est liée à l'échange de bosons massifs $\overline{W}^{+}$, W^{-} et Z^{0}, et elle permet d'expliquer les interactions faibles leptoniques, semi-leptoniques et hadroniques. C'est parce que cette interaction est de très courte portée et qu'elle est plus faible que l'interaction forte et que l'interaction électromagnétique qu'elle a été qualifiée d'interaction faible. D'autre part, elle a aussi la propriété de briser la symétrie de parité ***P*** et la symétrie ***CP***. Elle est aussi directement liée à la charge électrique puisque les interactions électromagnétiques et les interactions faibles ont pu être unifiées comme deux aspects d'une *interaction électrofaible*.

L'analogie entre l'interaction de courte portée entre une boucle coin et une boucle vis et l'interaction faible du Modèle Standard saute littéralement aux yeux. En effet:

- toutes deux sont à l'origine d'une liaison faible au sein des particules ou des boucles,
- les deux interactions ont une portée très faible,
- elles permettent toutes deux la décomposition d'une particule ou d'une boucle en d'autre particules ou d'autre boucles,
- la décomposition d'une particule ou d'une boucle de dispiration peut être obtenue par une fluctuation locale de l'énergie, ou un effet tunnel quantique, qui intervient évidemment de manière aléatoire, tout comme la désintégration radio-active associée à l'interaction faible est un phénomène statistique,
- l'interaction faible participe à la brisure de symétrie ***P*** et ***CP***, ce qui concorde avec le fait qu'il ait dissymétrie des interactions entre une boucle vis et une boucle coin lacunaire ou interstitielle (figure 9.2).

A titre d'exemple, considérons la désintégration faible faisant transformer le muon μ^{-} en électron e^{-} représentée à la figure 9.3. Cette interaction faible de type leptonique présente une décomposition initiale du muon μ^{-} en un neutrino muonique ν_{μ} et un boson massif W^{-}, puis la décomposition du boson massif W^{-} en un électron e^{-} et un anti-neutrino électronique $\overline{\nu}_{e}$.

Considérons alors la conjecture 8 qui stipule que «*les singularités de nature lacunaire correspondent par analogie à l'anti-matière et les singularités de nature interstitielle à la matière*». Sur cette base, supposons par exemple que la combinaison d'une boucle de désinclinaison vis BV^{-} avec une boucle de dislocation coin interstitielle $BC_{(1)}^{(i)}$ sous la forme d'une boucle de dispiration soit l'analogue de l'électron e^{-}, et imaginons que la combinaison d'une désinclinaison vis BV^{-} avec une boucle de dislocation coin interstitielle $BC_{(2)}^{(i)}$ *de topologie un peu différente* (voir chapitre 13) forme une boucle de dispiration analogue au muon μ^{-}. La désintégration faible faisant transformer le muon μ^{-} en électron e^{-} représentée à la figure 9.3(a) possèderait alors une désintégration analogue des boucles représentée à la figure 9.3(b). La dispiration initiale correspondant au muon μ^{-}, et composée du couple $BV^{-} + BC_{(2)}^{(i)}$ lié par la force

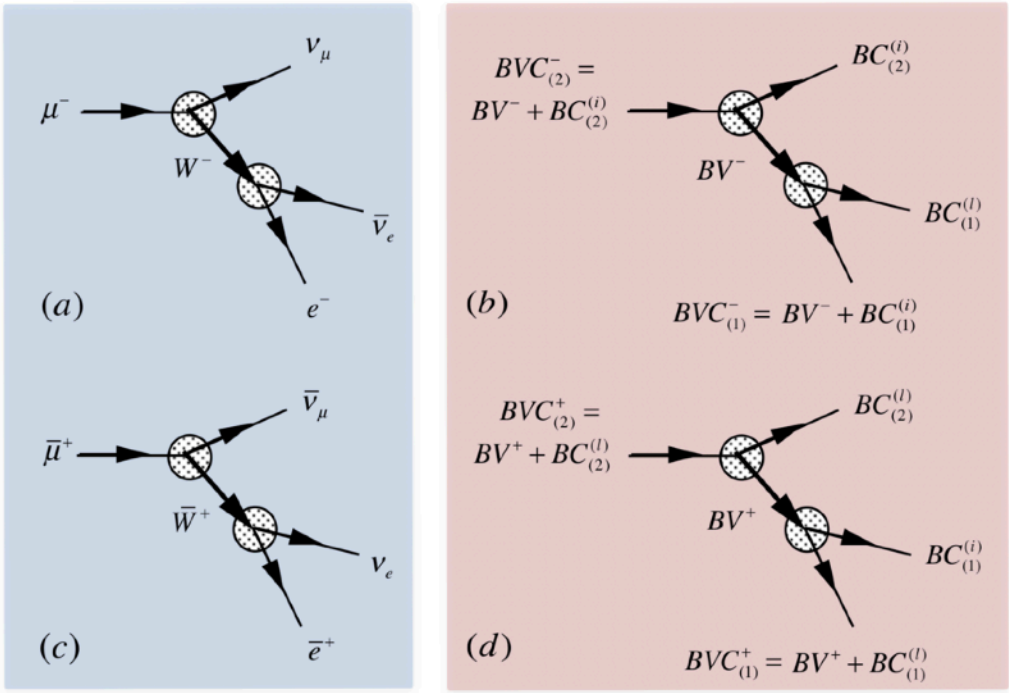

Figure 9.3 *- Analogie entre l'interaction faible leptonique* ***(a)*** *et* ***(c)*** *et les décompositions et recompositions de boucles de dispiration* ***(b)*** *et* ***(d)***

faible, se décompose en une boucle de désinclinaison vis BV^- portant la charge de rotation, et analogue au boson massif W^- portant la charge électrique, et en une boucle de dislocation coin interstitielle $BC^{(i)}_{(2)}$ analogue du neutrino muonique ν_μ. Ensuite, la boucle de désinclinaison vis BV^- se combine à une boucle de dislocation coin interstitielle $BC^{(i)}_{(1)}$ pour former une dispiration $BV^- + BC^{(i)}_{(1)}$, analogue de l'électron e^-, en émettant une boucle de dislocation coin lacunaire $BC^{(l)}_{(1)}$, anti-boucle de la boucle de dislocation coin interstitielle $BC^{(i)}_{(1)}$, et analogue de l'anti-neutrino électronique $\bar{\nu}_e$.

L'interaction faible correspondant à la transformation de l'anti-muon $\bar{\mu}^+$ en un positron $\bar{e}^+$ représentée à la figure 9.3(c) possède aussi son analogue parfait avec des boucles représenté à la figure 9.3(d). Mais cette fois, la boucle de désinclinaison vis est remplacée par l'anti-boucle BV^+ de charge de rotation opposée et les boucles coin lacunaires sont remplacées par des boucles coin interstitielles et vice-versa. Si on considère maintenant les interactions entre boucles des figures 9.3(b) et 9.3(d), on imagine immédiatement qu'il existe une dissymétrie entre ces deux réactions dues aux potentiels d'interaction légèrement différents dans le cas des boucles coin lacunaires et interstitielles (figure 9.2). Cette dissymétrie devient alors l'analogue de la violation de symétrie de parité ***P*** et de la symétrie ***CP*** dans le cas des interactions faibles. On reviendra en détail au chapitre 13 sur les structures topologiques des boucles de désinclinaison vis et des boucles de dislocation coin qui pourraient être impliquées dans les interactions faibles.