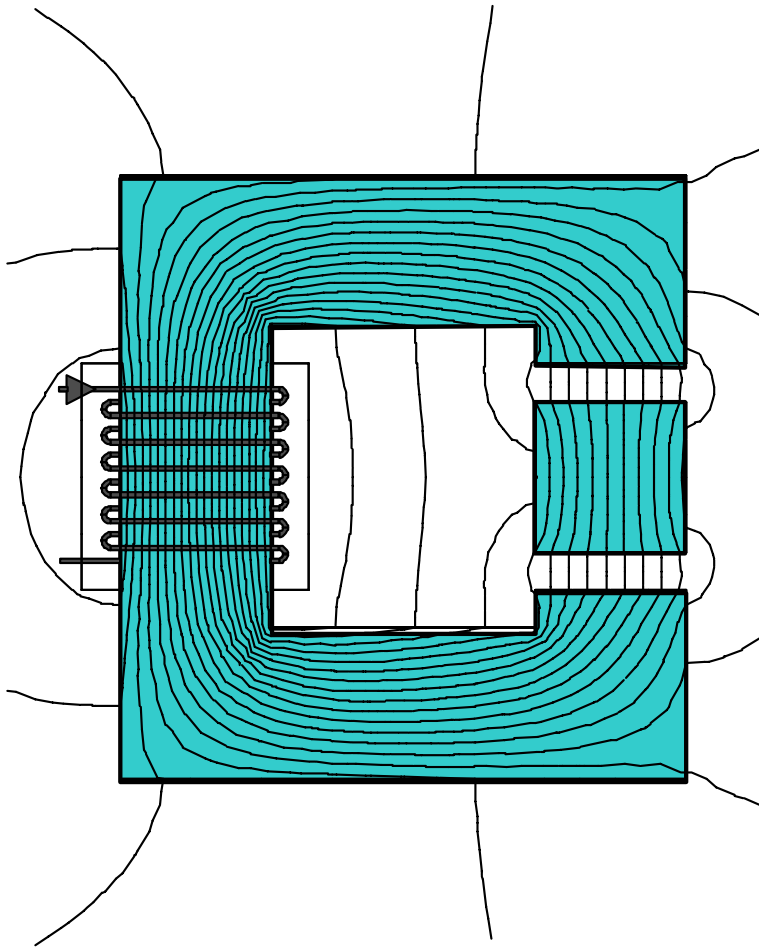
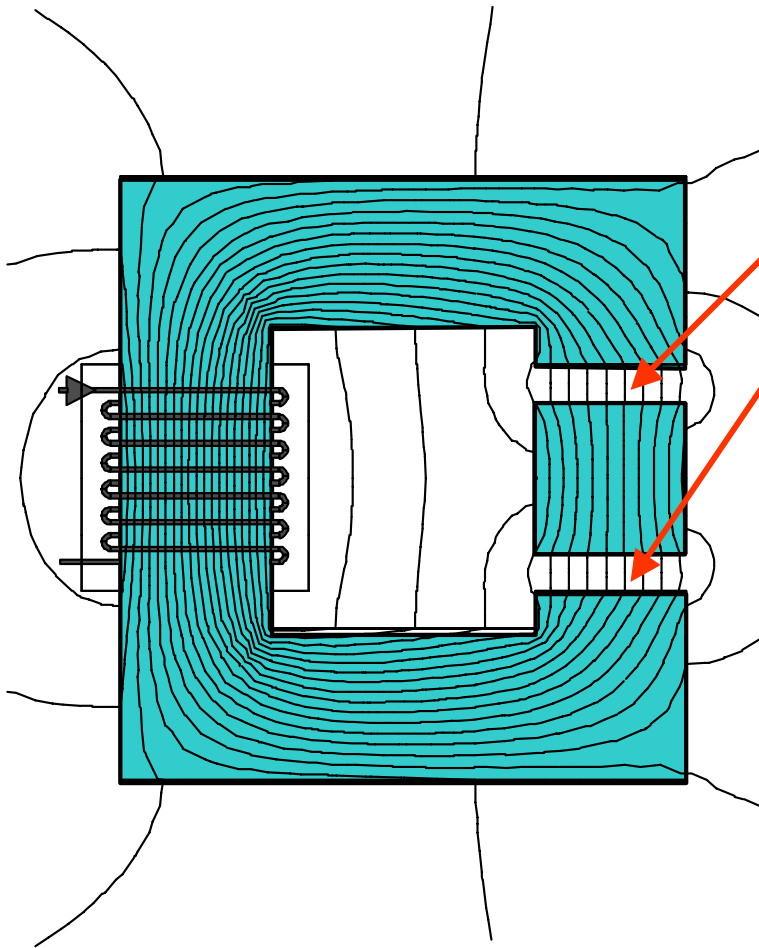


# Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

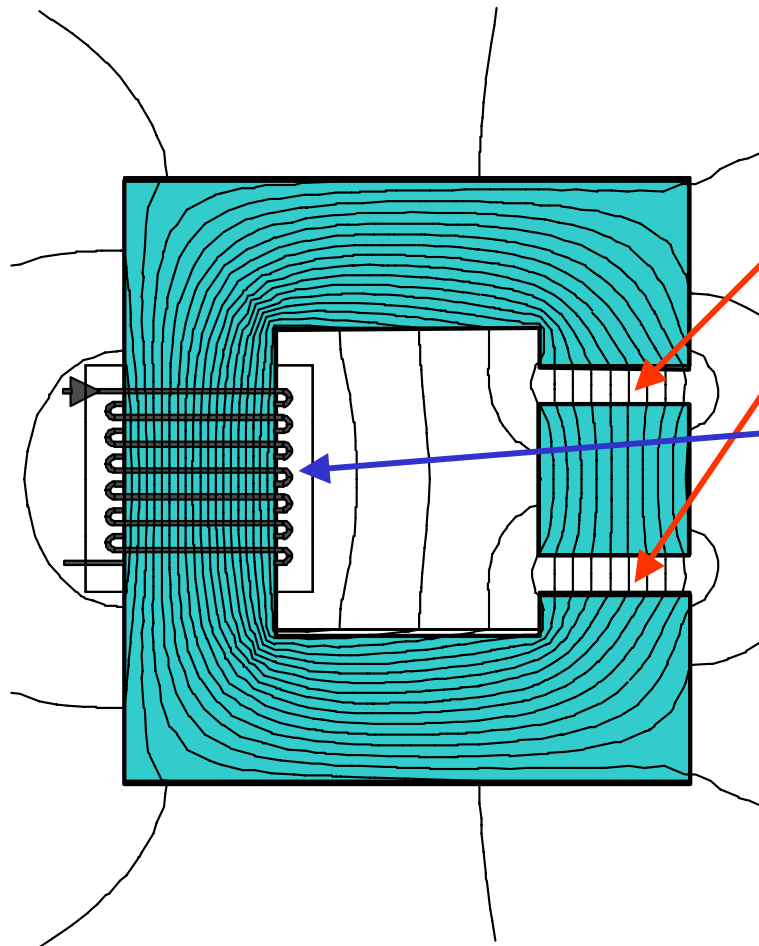


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

**Le circuit magnétique ci contre possède deux entrefers.**



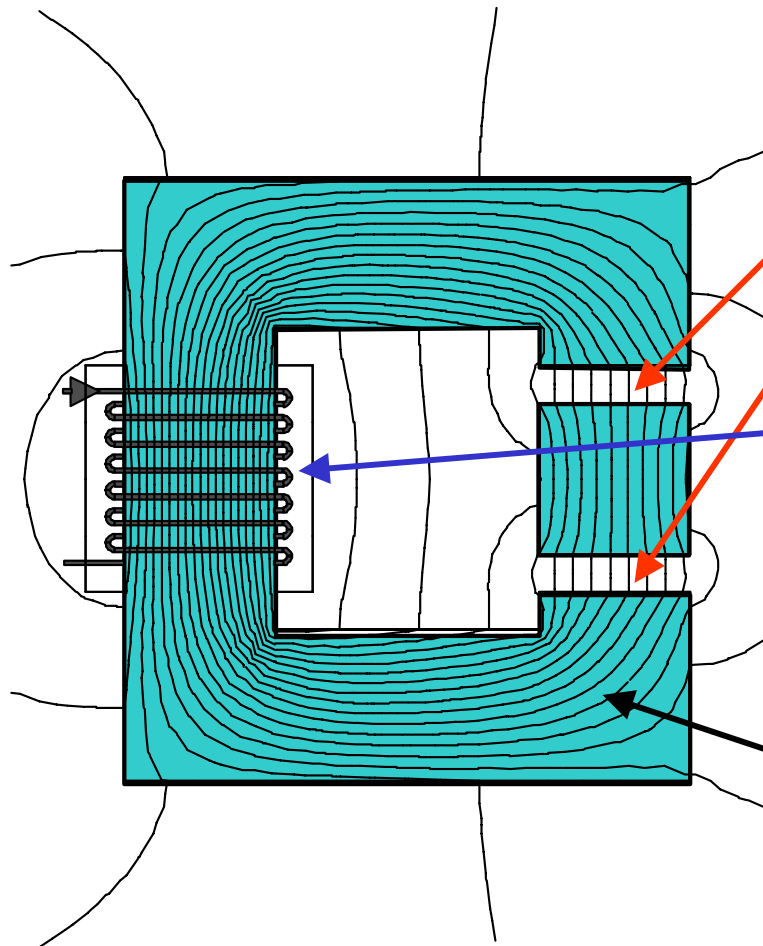
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Le circuit magnétique ci contre possède deux entrefers.**

**Il est soumis à un champ d'induction magnétique généré par un bobinage parcouru par un courant.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



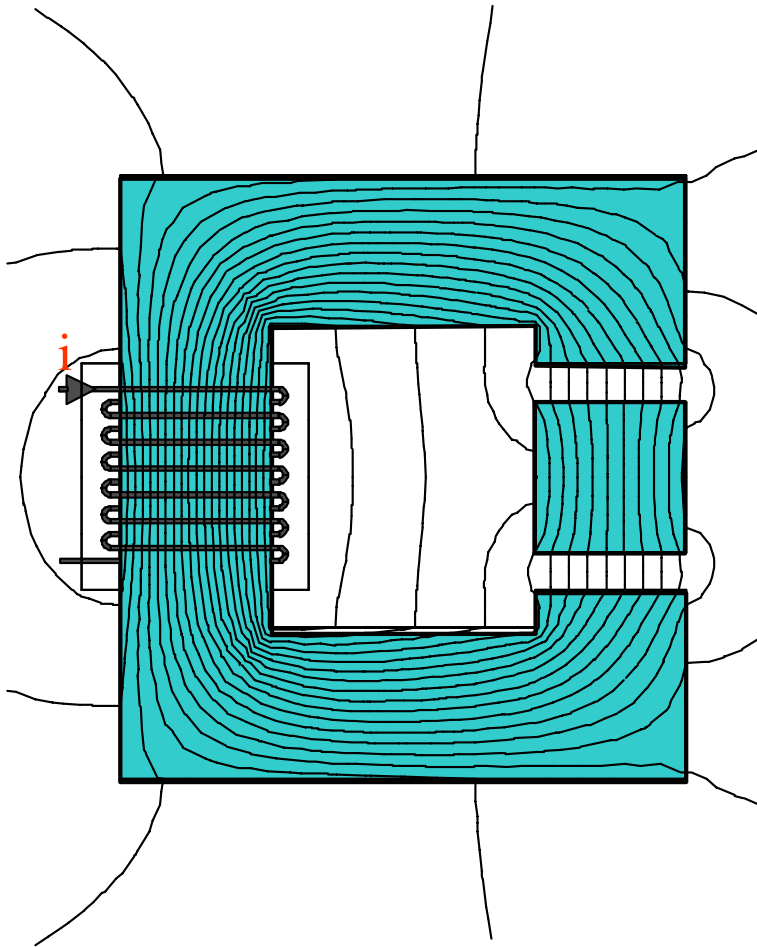
**Le circuit magnétique ci contre possède deux entrefers.**

**Il est soumis à un champ d'induction magnétique généré par un bobinage parcouru par un courant.**

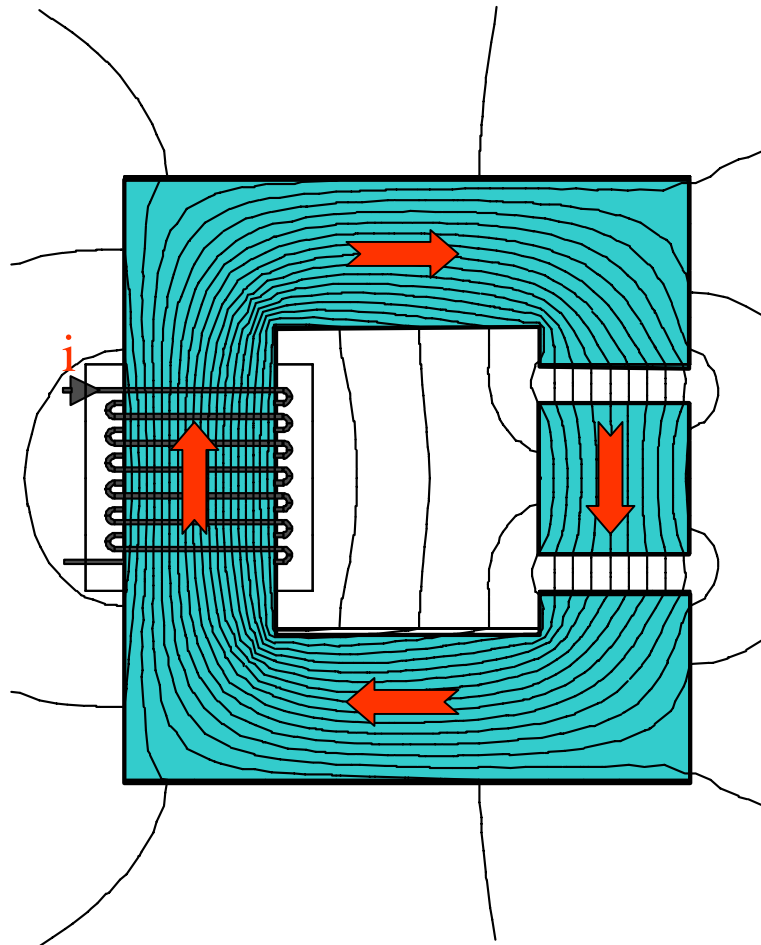
**Les lignes de champ d'induction ont été obtenues par simulation informatique.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

**En supposant le courant « $i$ » positif, indiquer le sens des lignes de champ.**



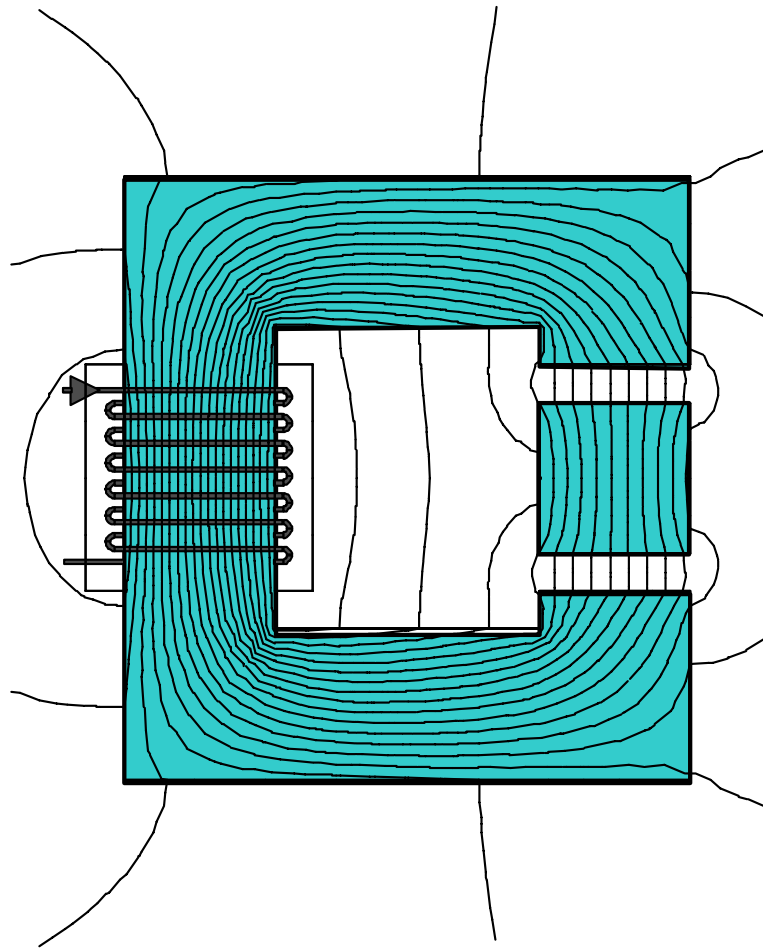
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**En supposant le courant « $i$ » positif, indiquer le sens des lignes de champ.**

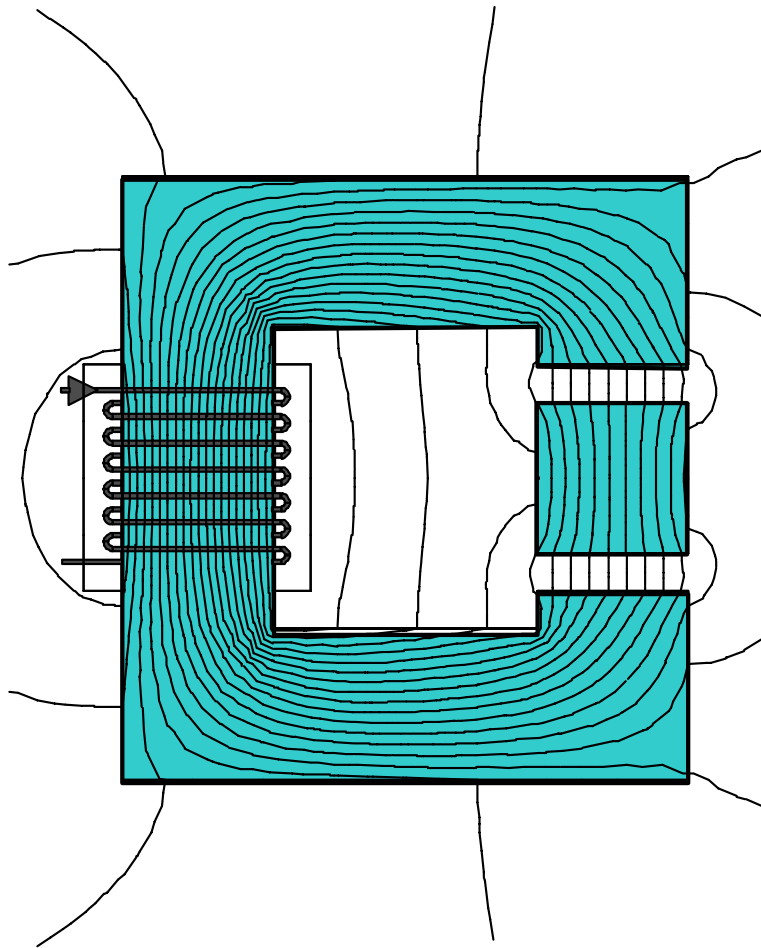
**On peut utiliser la « règle de la main droite », la « règle du tire-bouchon » etc.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**En s'appuyant sur la loi de conservation du flux, préciser si la valeur du champ d'induction augmente ou diminue lorsque les lignes de champ s'écartent.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

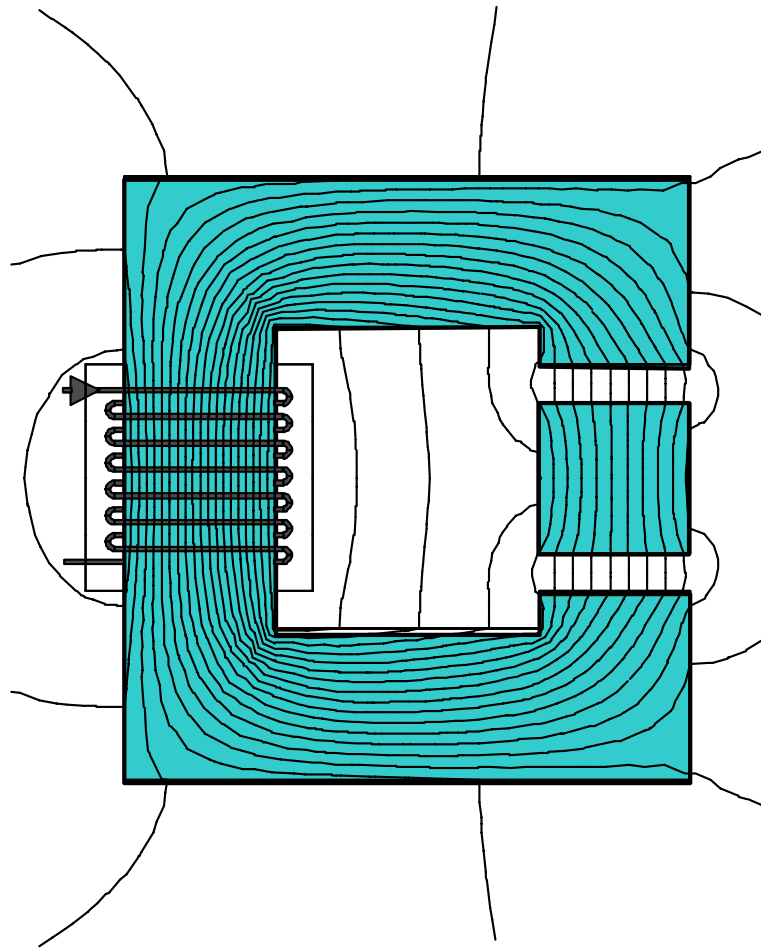


**En s'appuyant sur la loi de conservation du flux, préciser si la valeur du champ d'induction augmente ou diminue lorsque les lignes de champ s'écartent.**

**Deux lignes de champ peuvent être considérées comme les limites d'un « tube de champ d'induction »**

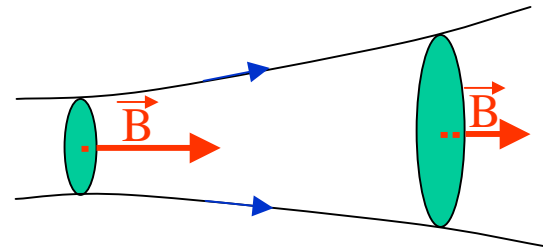


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

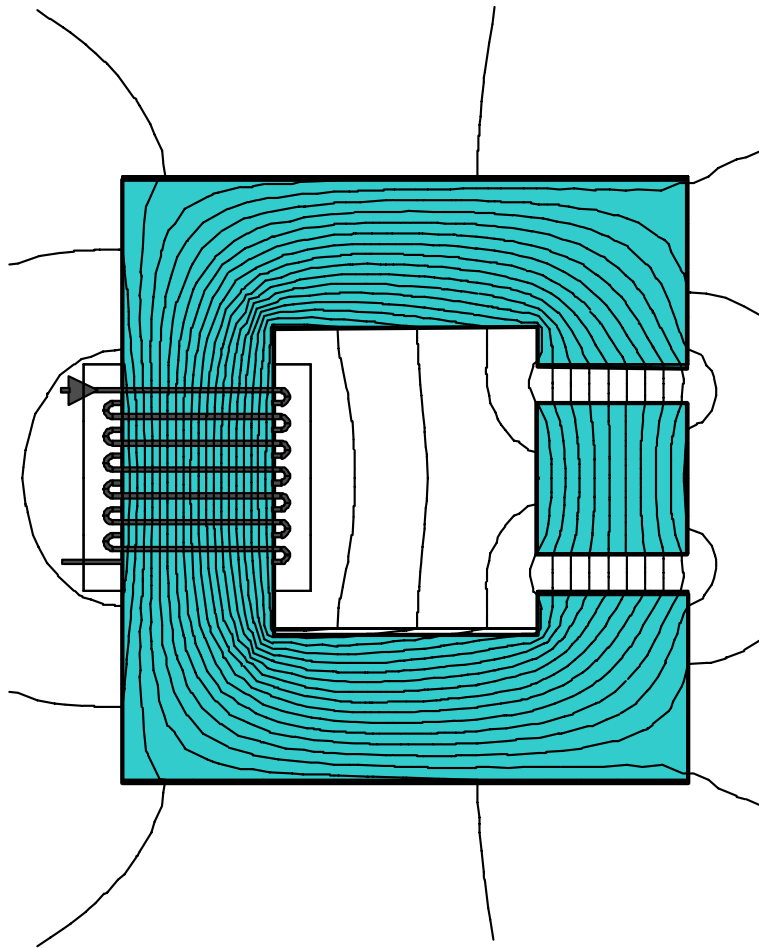


**En s'appuyant sur la loi de conservation du flux, préciser si la valeur du champ d'induction augmente ou diminue lorsque les lignes de champ s'écartent.**

**Deux lignes de champ peuvent être considérées comme les limites d'un « tube de champ d'induction »**

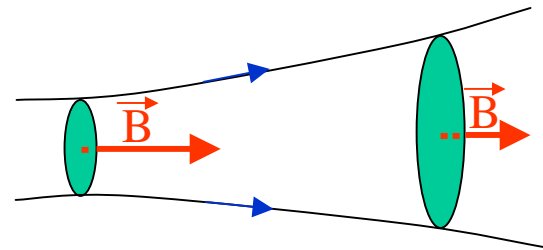


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**En s'appuyant sur la loi de conservation du flux, préciser si la valeur du champ d'induction augmente ou diminue lorsque les lignes de champ s'écartent.**

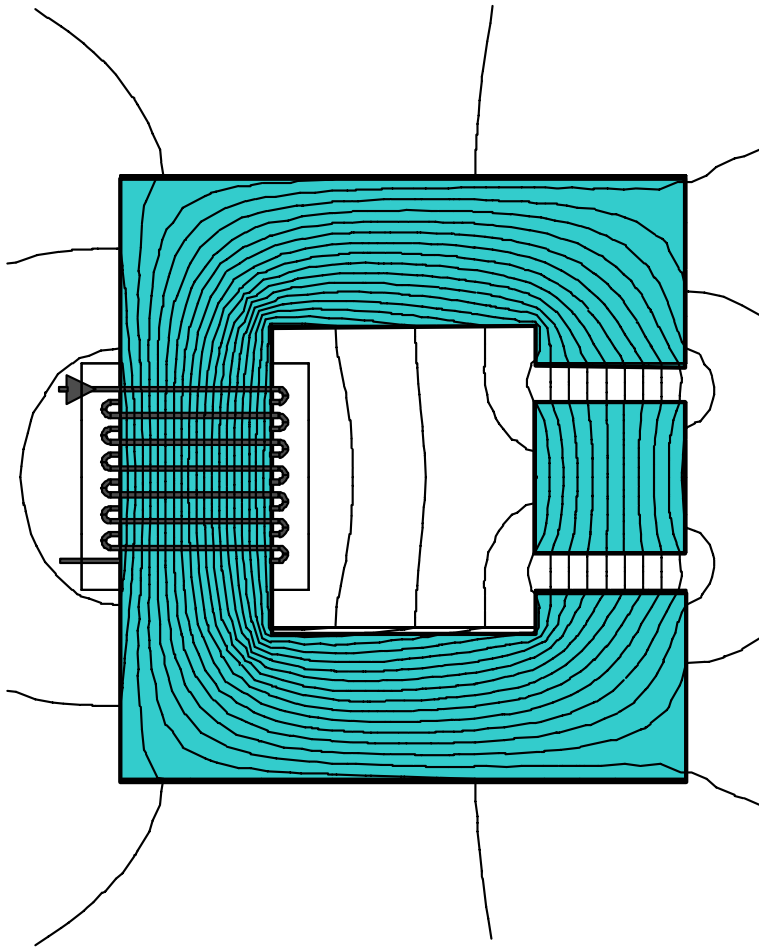
**Deux lignes de champ peuvent être considérées comme les limites d'un « tube de champ d'induction »**



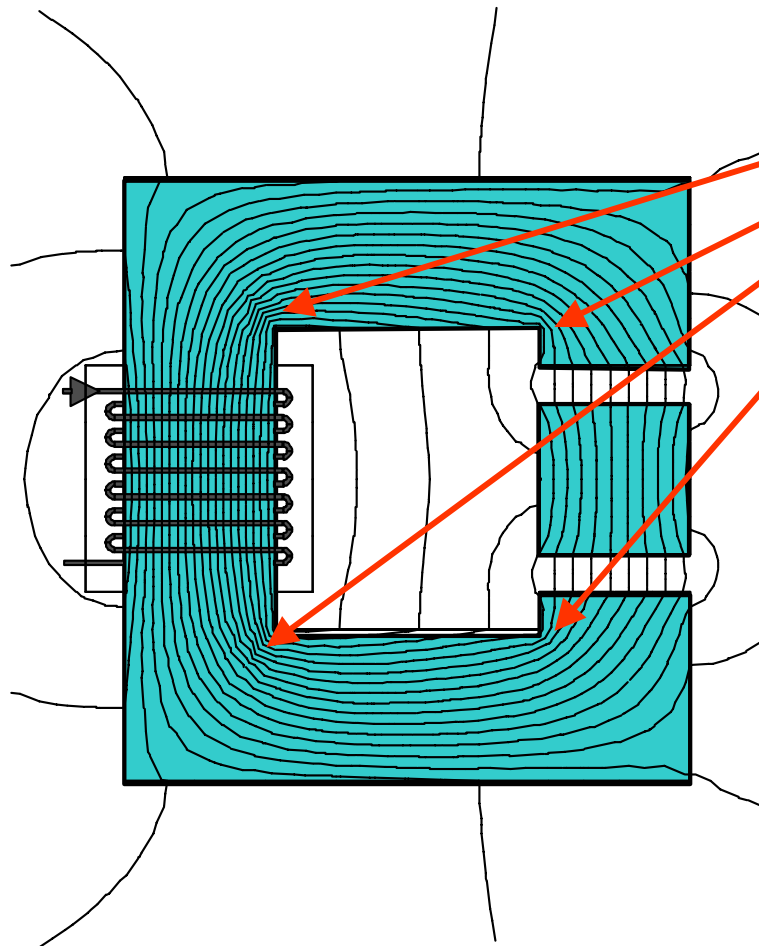
**Le flux étant conservatif, la valeur du champ d'induction diminue lorsque les lignes de champ s'écartent**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

En déduire les zones du circuit magnétique où la valeur du champ d'induction est la plus **élevée**

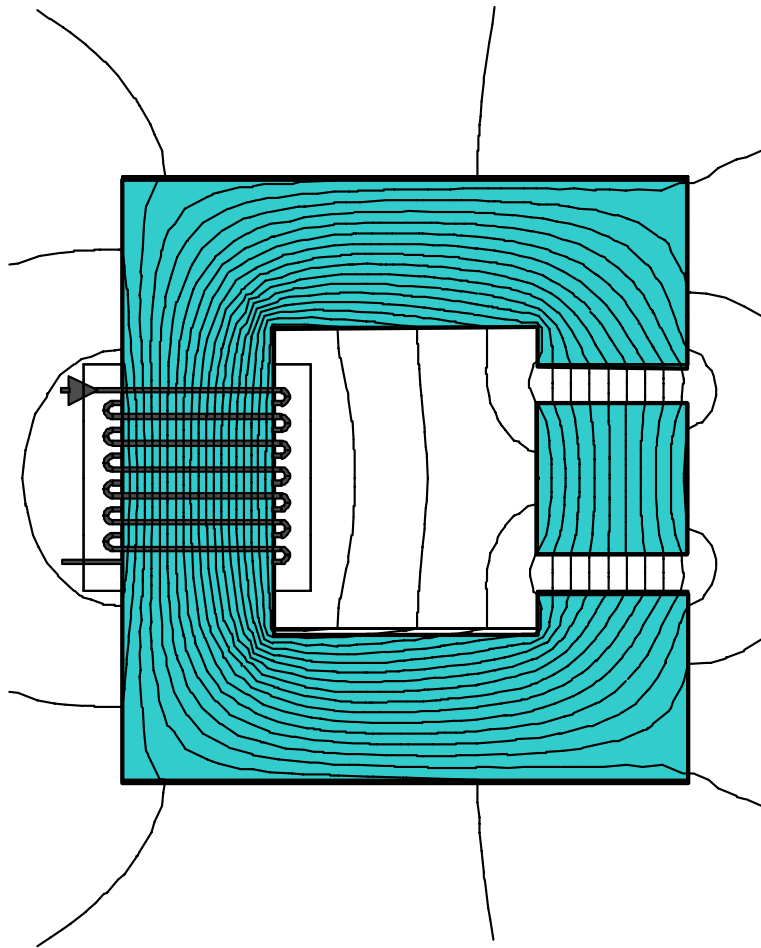


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



En déduire les zones du circuit magnétique où la valeur du champ d'induction est la plus **élevée**

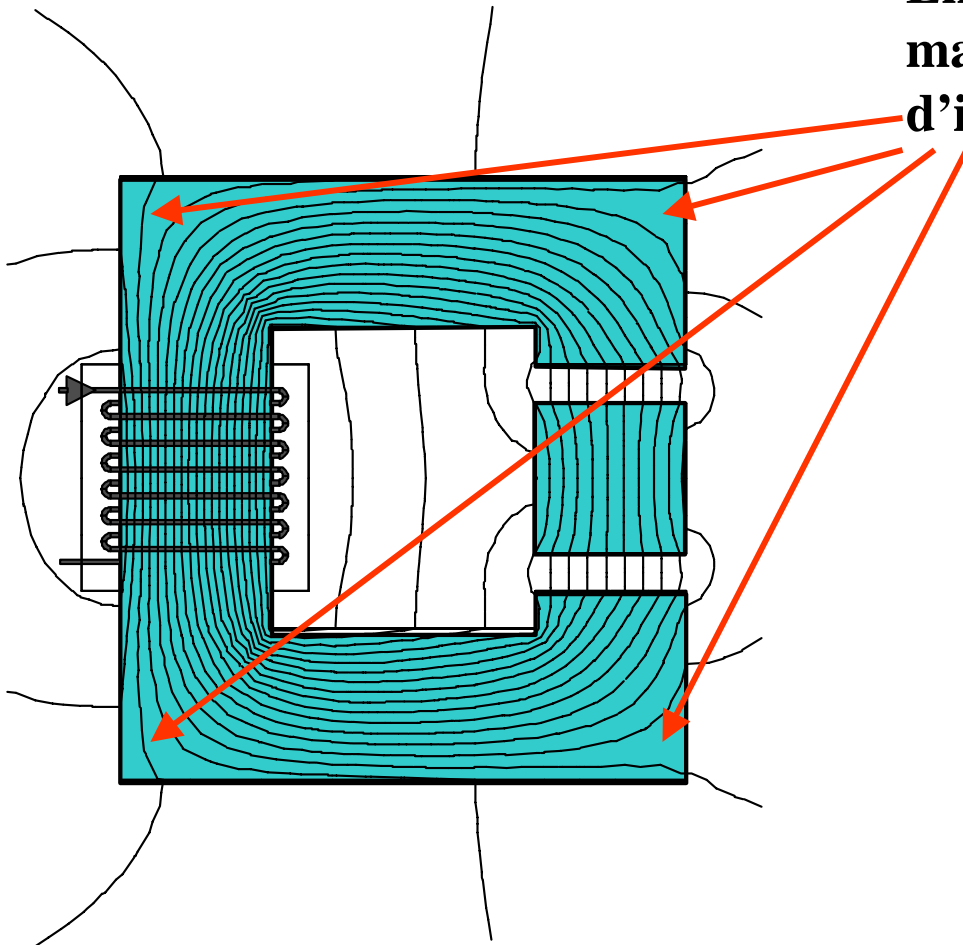
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



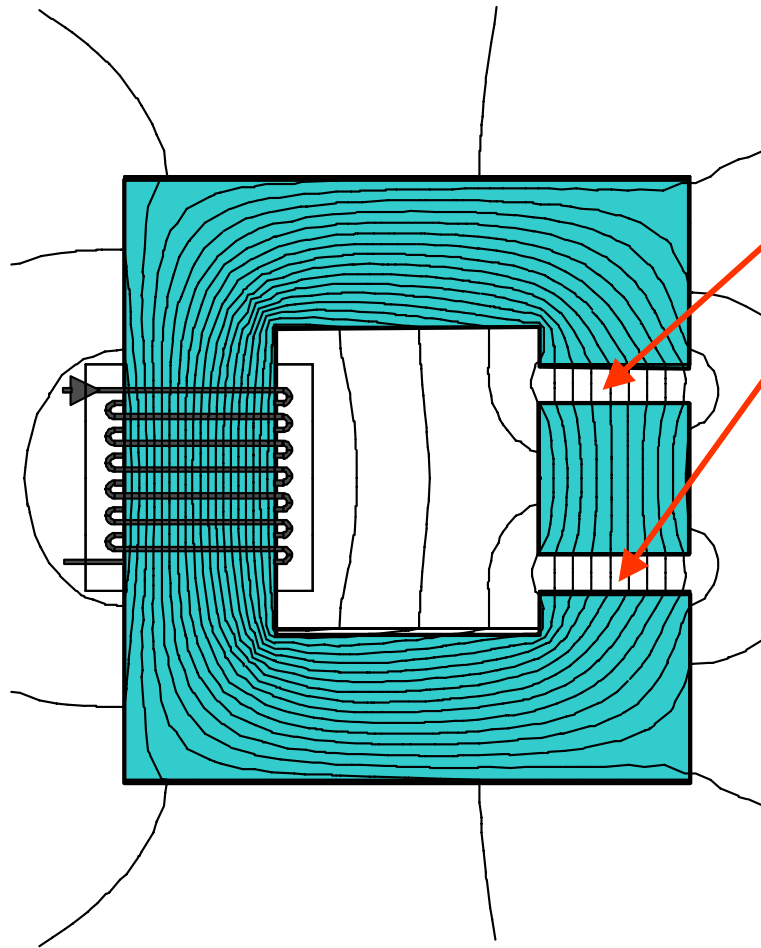
**En déduire les zones du circuit magnétique où la valeur du champ d'induction est la plus **faible****

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

En déduire les zones du circuit magnétique où la valeur du champ d'induction est la plus **faible**

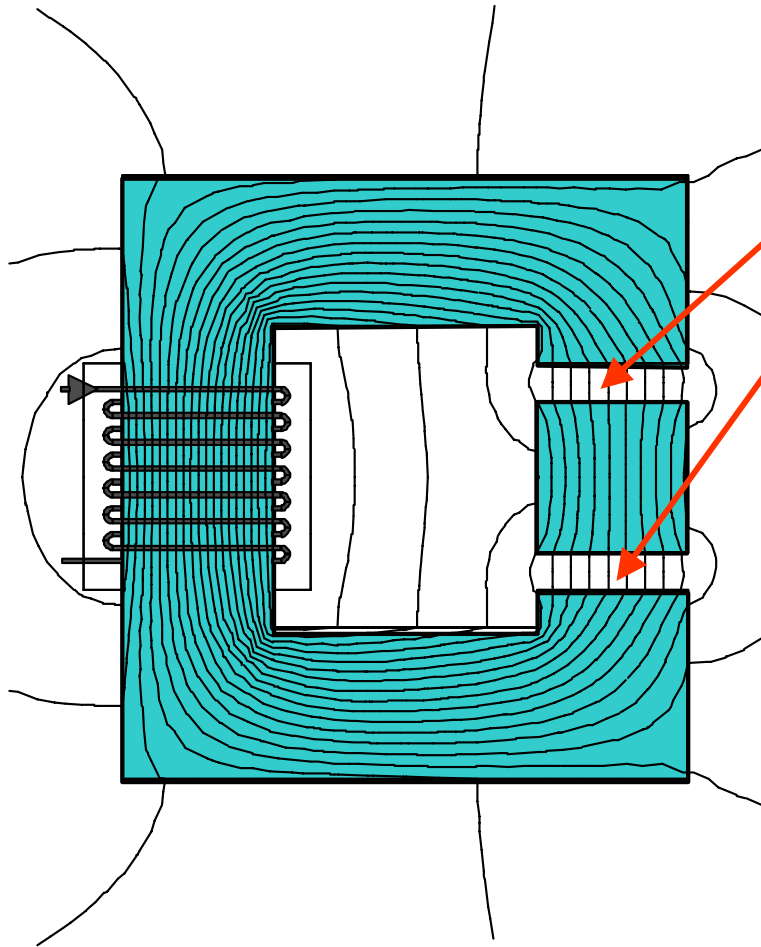


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Dans les « entrefers », les lignes de champ « s'épanouissent » peu.  
Que peut-on en déduire sur la valeur du champ d'induction dans les entrefers?**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

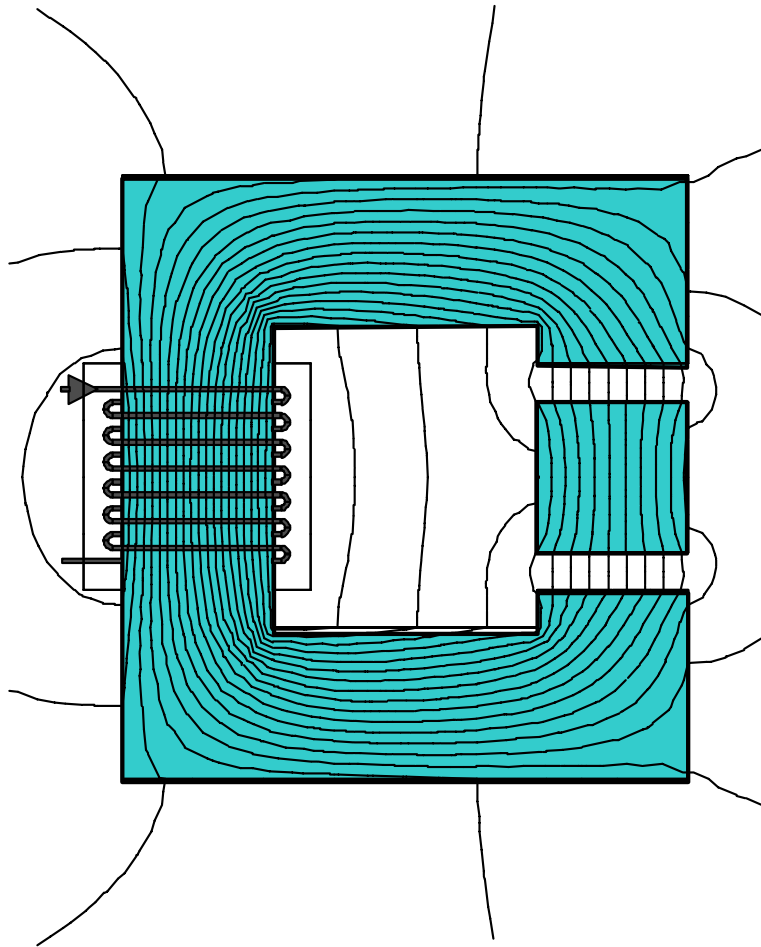


**Dans les « entrefers », les lignes de champ « s'épanouissent » peu. Que peut-on en déduire sur la valeur du champ d'induction dans les entrefers?**

**Si les lignes d'induction s'épanouissent peu, (à condition que l'épaisseur de l'entrefer soit faible par rapport à sa section droite), on peut considérer que le champ d'induction dans l'entrefer est du même ordre de grandeur que dans le circuit magnétique à ses frontières**

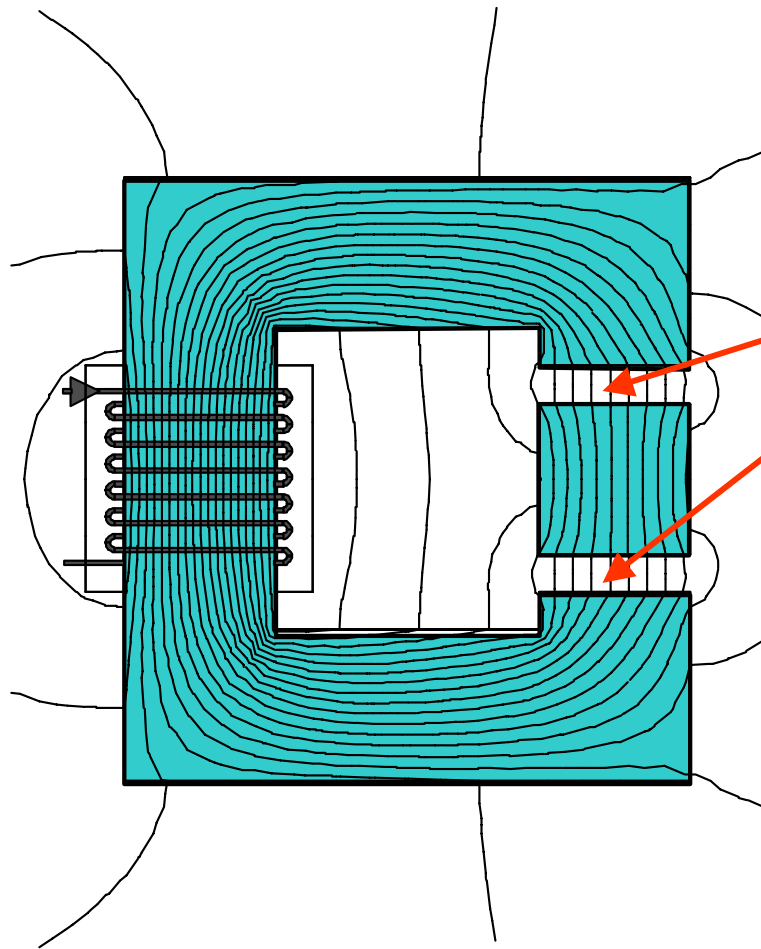


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Que peut-on dire de la valeur du champ d'induction dans l'air environnant le circuit magnétique?**

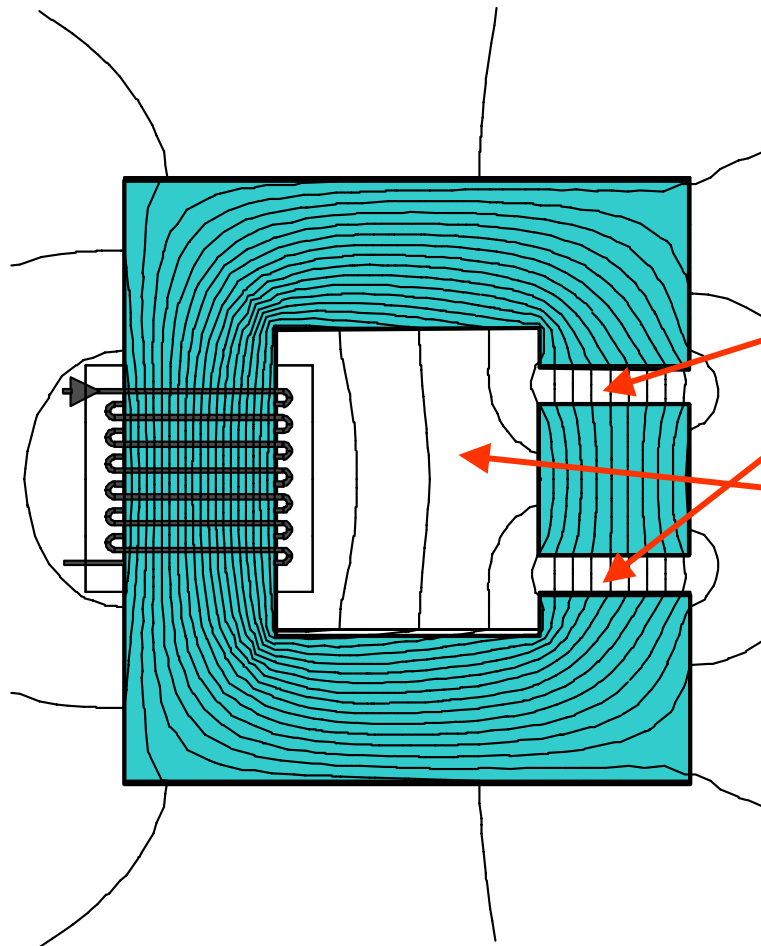
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Que peut-on dire de la valeur du champ d'induction dans l'air environnant le circuit magnétique?**

**Même ordre de grandeur dans le fer et les « entrefers »**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

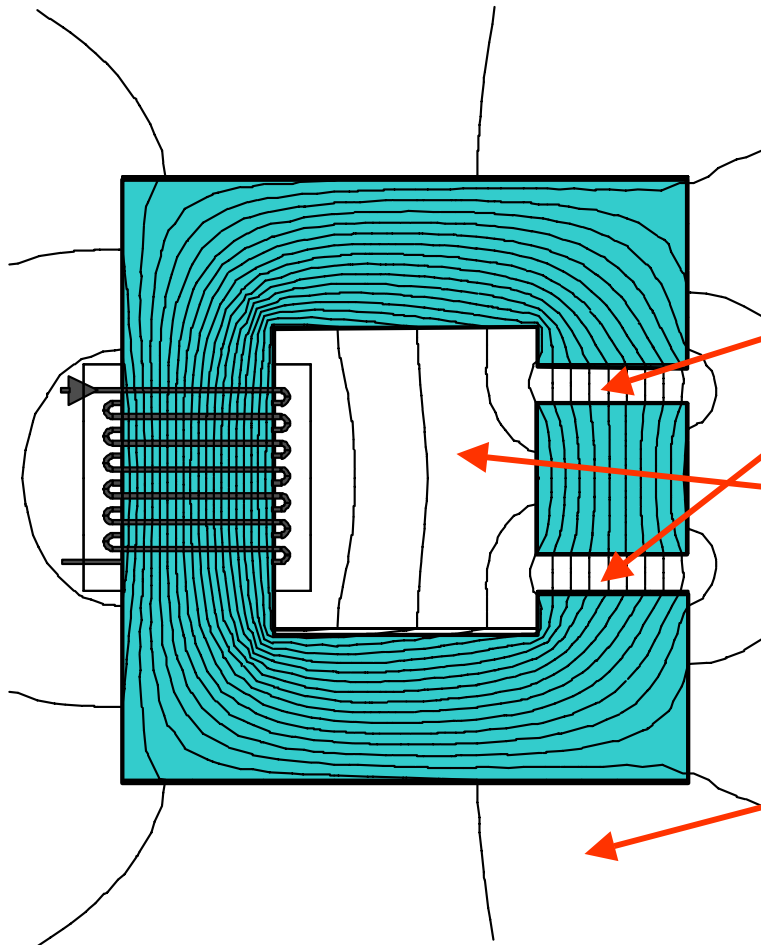


**Que peut-on dire de la valeur du champ d'induction dans l'air environnant le circuit magnétique?**

**Même ordre de grandeur dans le fer et les « entrefers »**

**Très faible dans la « fenêtre »**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



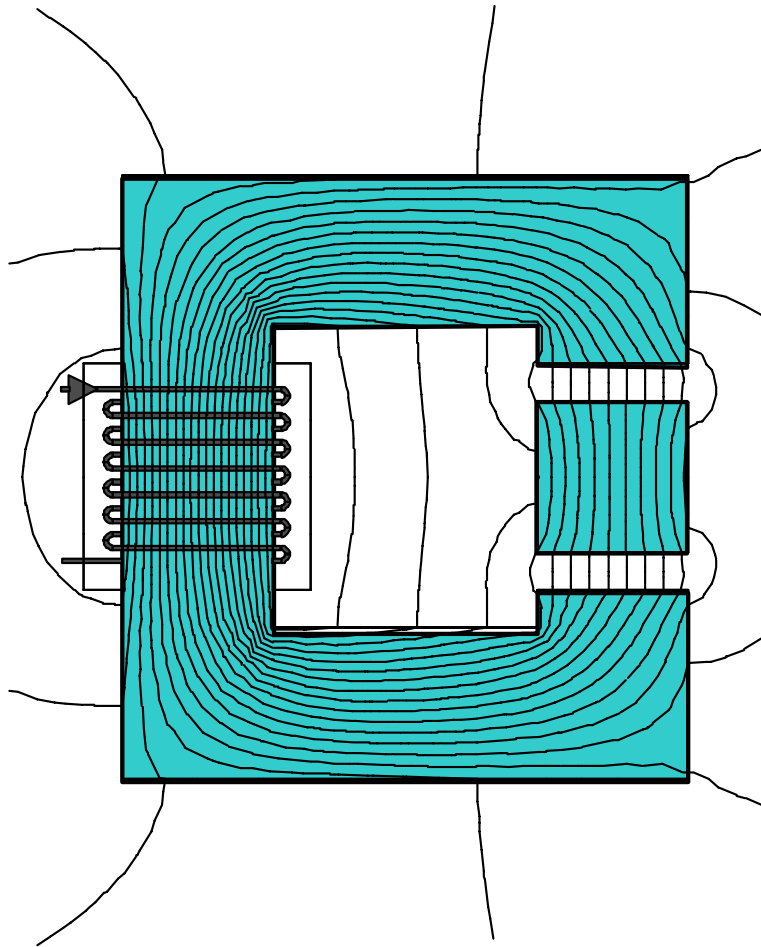
**Que peut-on dire de la valeur du champ d'induction dans l'air environnant le circuit magnétique?**

**Même ordre de grandeur dans le fer et les « entrefers »**

**Très faible dans la « fenêtre »**

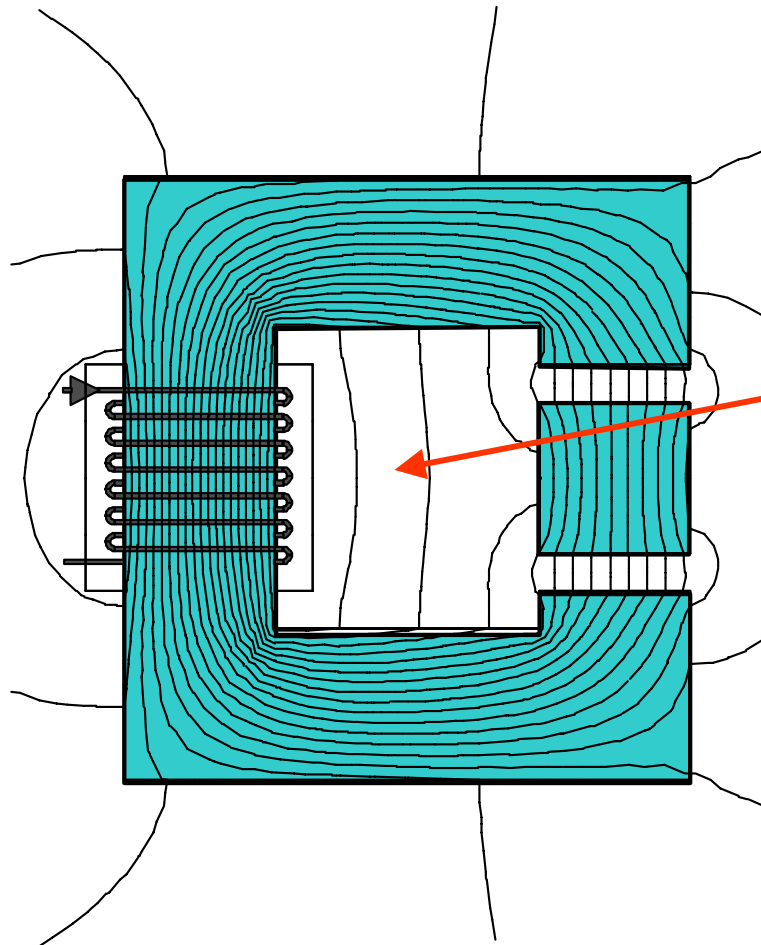
**Le champ d'induction dans l'air environnant est généralement négligeable par rapport à sa valeur dans le fer. On dit que le circuit magnétique « canalise » les lignes de champ.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Les lignes de champ qui « s'échappent » du circuit magnétique sont généralement qualifiées de « fuites ». Où trouve-t-on principalement les fuites?**

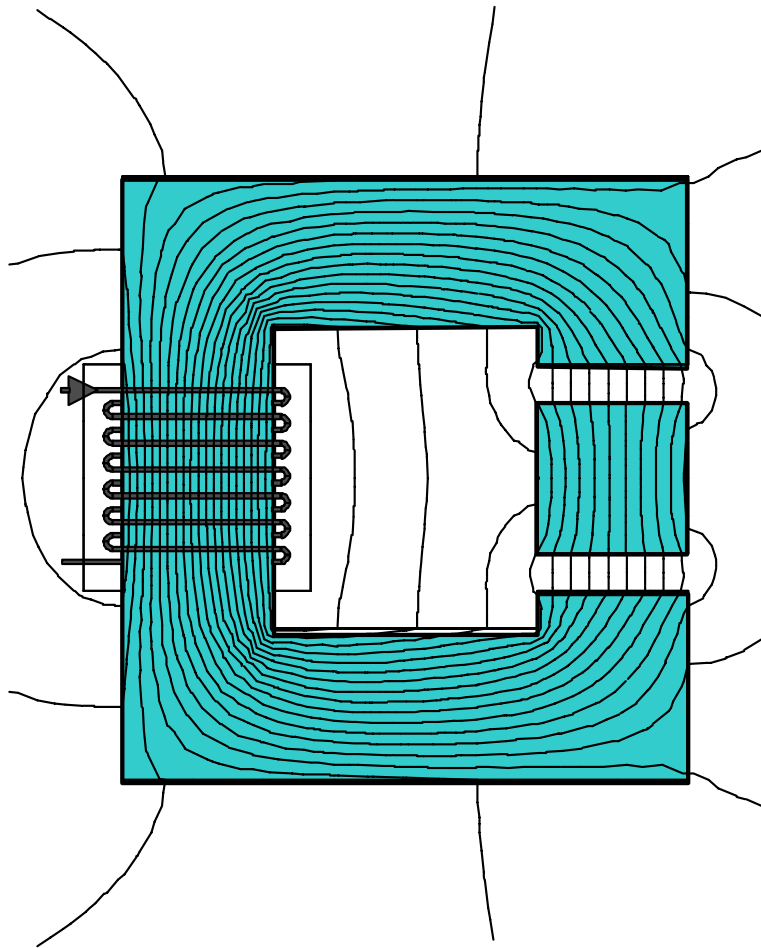
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



Les lignes de champ qui « s'échappent » du circuit magnétique sont généralement qualifiées de « fuites ». Où trouve-t-on principalement les fuites?

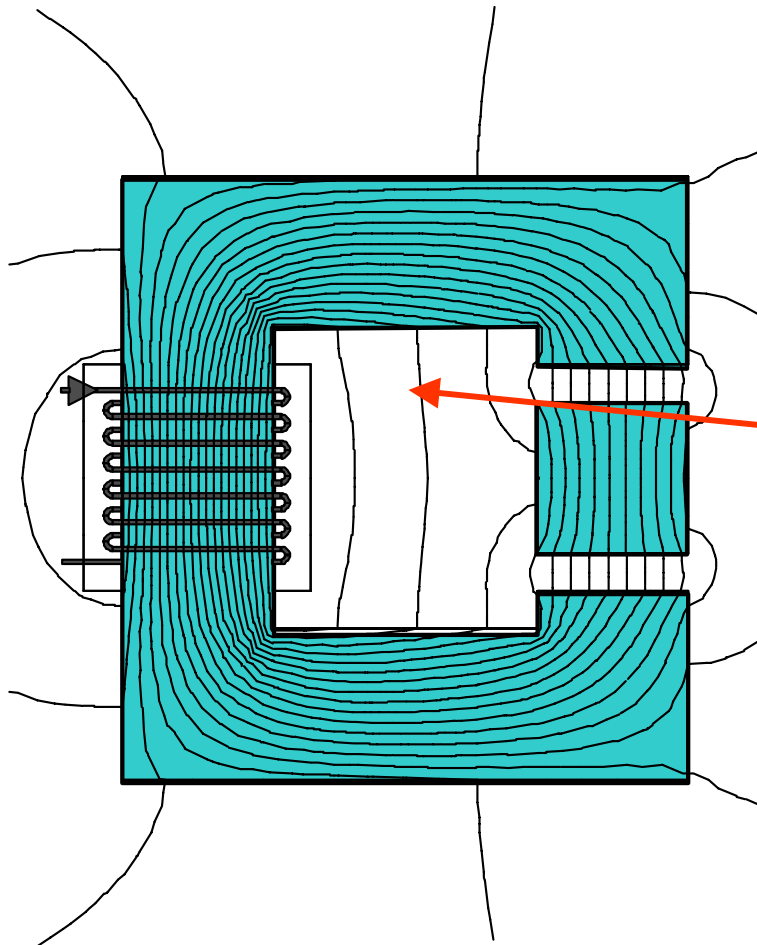
**Dans la fenêtre**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Dans le but de calculer « à la main » l'état magnétique d'un circuit magnétique, on adopte généralement un certain nombre d'hypothèse simplificatrices. Quelles sont ces hypothèses?**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

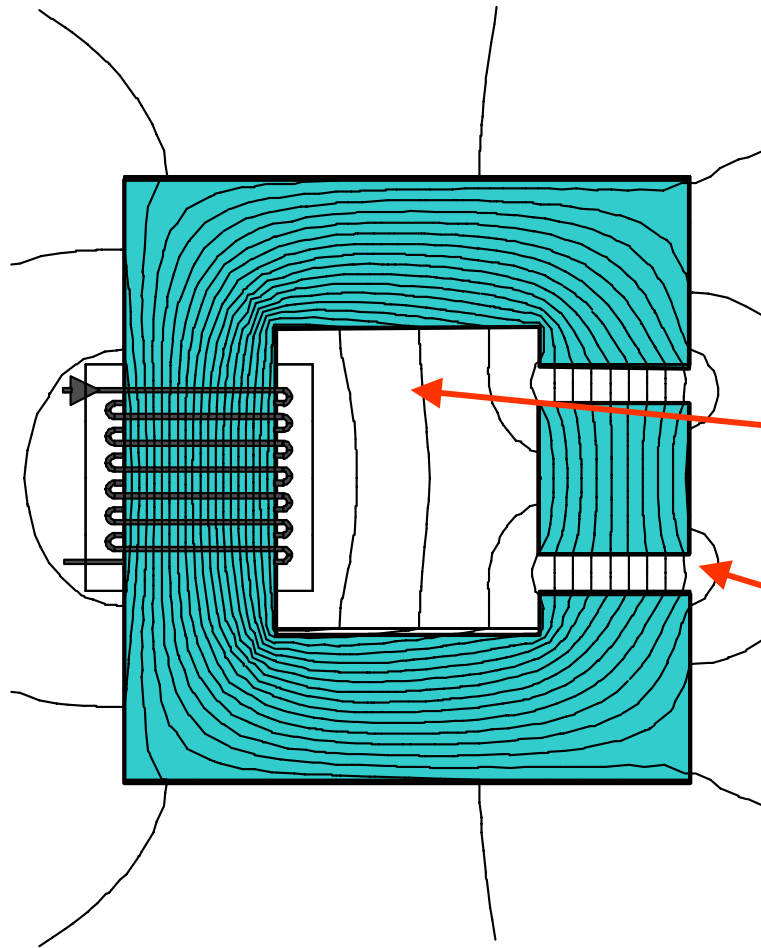


**Dans le but de calculer « à la main » l'état magnétique d'un circuit magnétique, on adopte généralement un certain nombre d'hypothèse simplificatrices. Quelles sont ces hypothèses?**

**Les fuites sont négligées (circuit magnétique sans fuites)**



## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

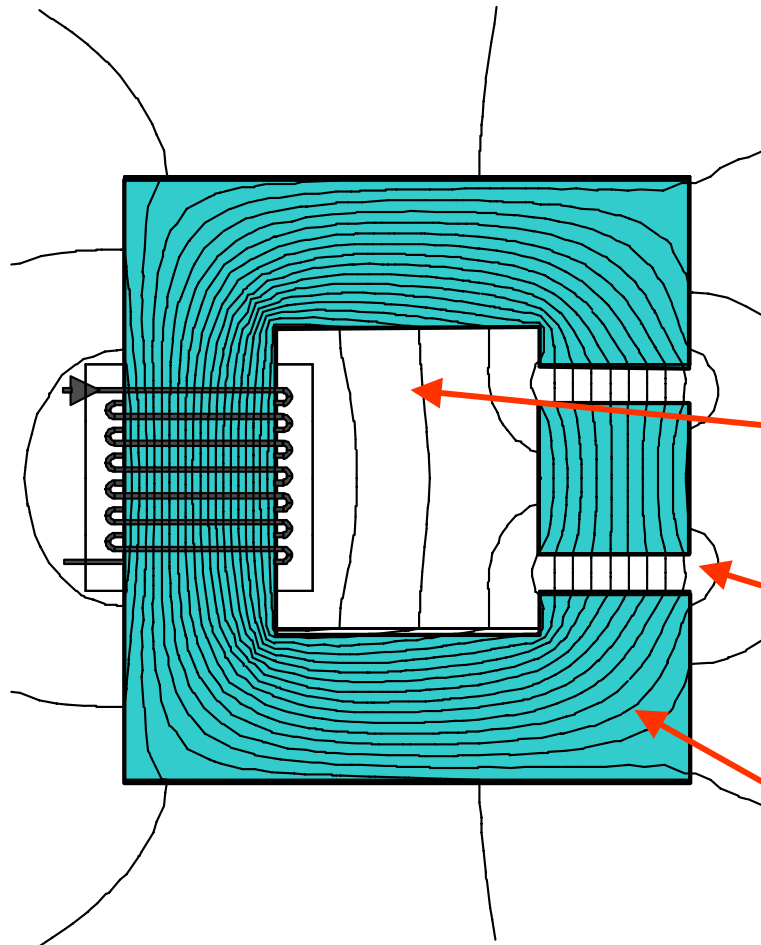


**Dans le but de calculer « à la main » l'état magnétique d'un circuit magnétique, on adopte généralement un certain nombre d'hypothèse simplificatrices. Quelles sont ces hypothèses?**

**Les fuites sont négligées (circuit magnétique sans fuites)**

**L'épanouissement des lignes de champ dans les entrefers est négligé**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



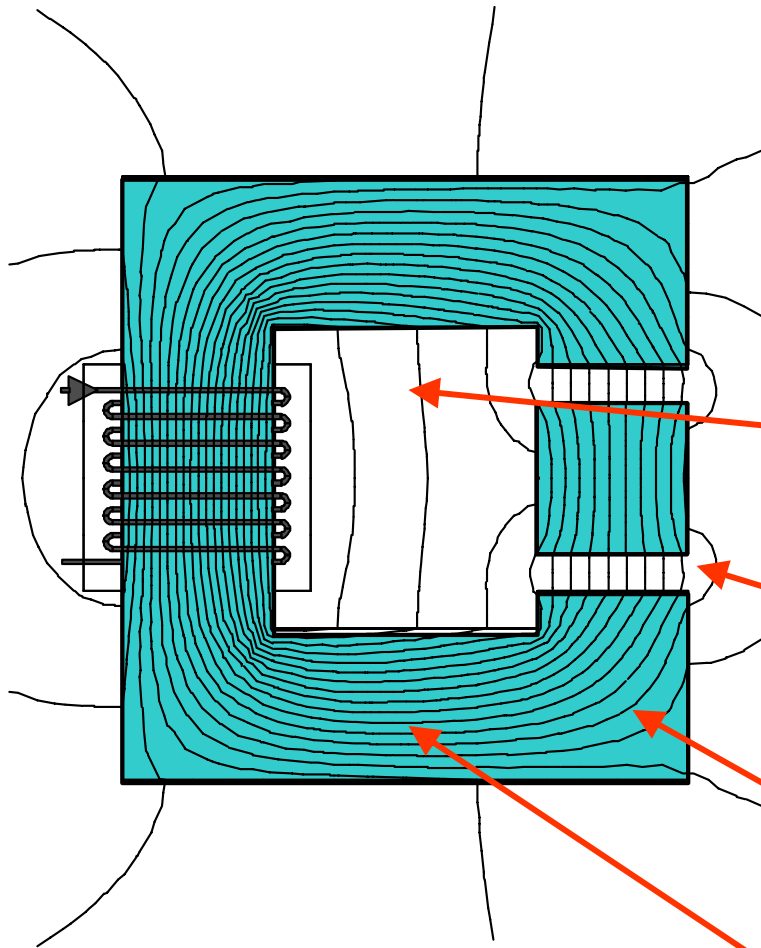
**Dans le but de calculer « à la main » l'état magnétique d'un circuit magnétique, on adopte généralement un certain nombre d'hypothèse simplificatrices. Quelles sont ces hypothèses?**

**Les fuites sont négligées (circuit magnétique sans fuites)**

**L'épanouissement des lignes de champ dans les entrefers est négligé**

**La répartition des lignes de champ dans les angles est négligée.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Dans le but de calculer « à la main » l'état magnétique d'un circuit magnétique, on adopte généralement un certain nombre d'hypothèse simplificatrices. Quelles sont ces hypothèses?**

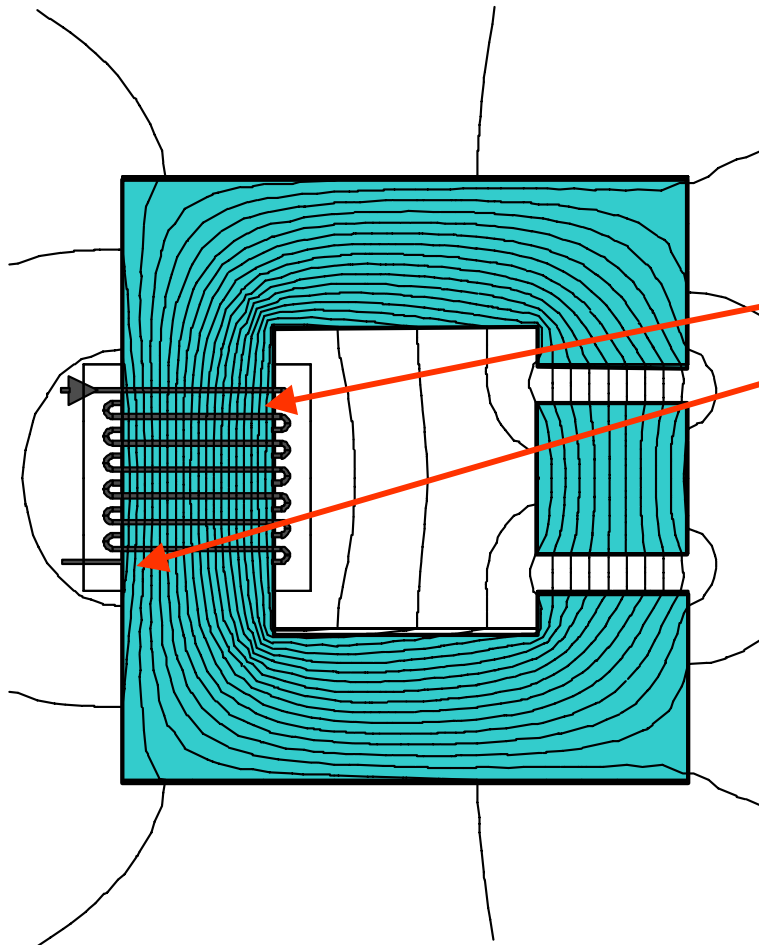
**Les fuites sont négligées (circuit magnétique sans fuites)**

**L'épanouissement des lignes de champ dans les entrefers est négligé**

**La répartition des lignes de champ dans les angles est négligée.**

**Le champ d'induction est supposé « uniforme dans les parties droites.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

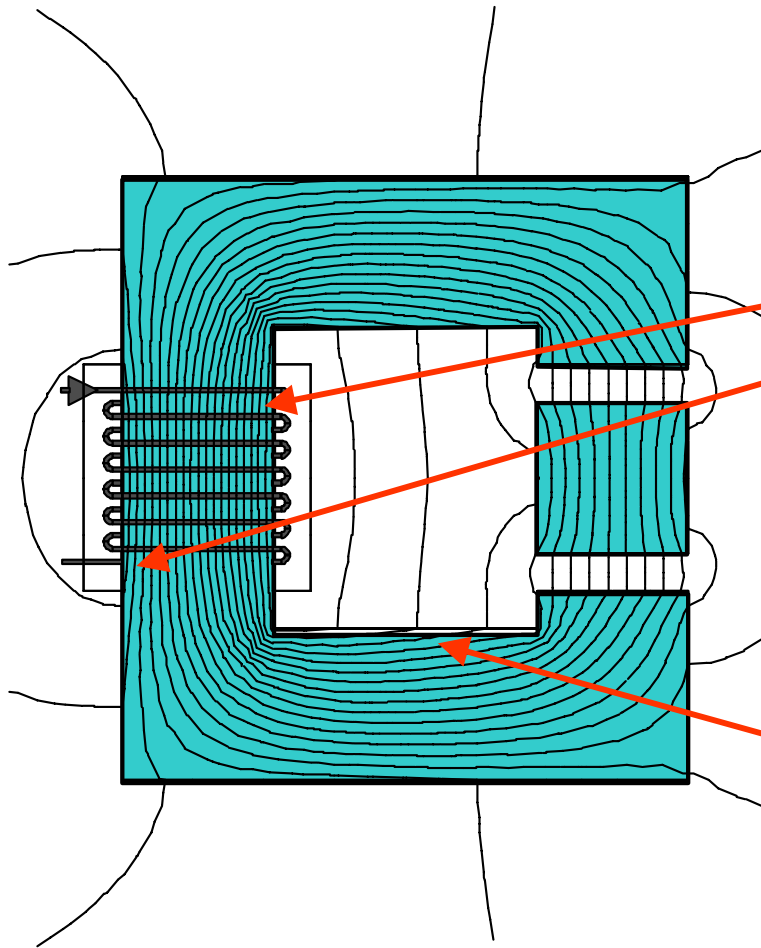


**Considérons deux lignes de champ qui se referment uniquement dans le circuit magnétique et les entrefers.**

**L'une est proche de la fenêtre et l'autre est située vers l'extérieur.**

**Dans les parties droites, sur laquelle de ces lignes de champ trouve-t-on la valeur de champ la plus élevée?**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



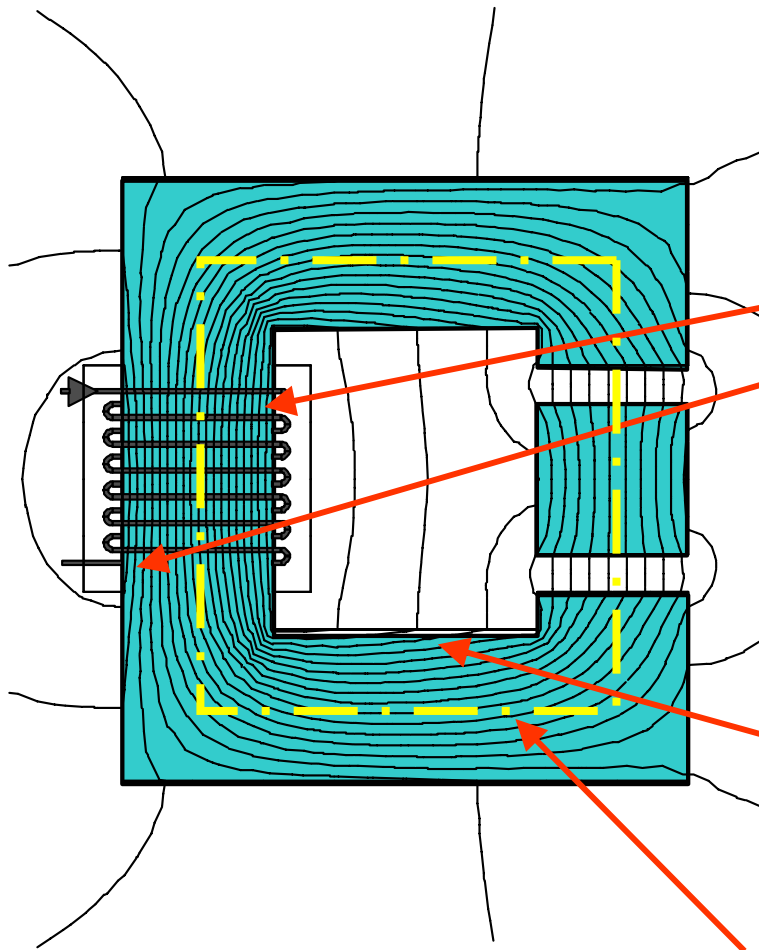
**Considérons deux lignes de champ qui se referment uniquement dans le circuit magnétique et les entrefers.**

**L'une est proche de la fenêtre et l'autre est située vers l'extérieur.**

**Dans les parties droites, sur laquelle de ces lignes de champ trouve-t-on la valeur de champ la plus élevée?**

**D'après le théorème d'Ampère, le champ est plus élevé sur la ligne de champ la plus courte.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



Considérons deux lignes de champ qui se referment uniquement dans le circuit magnétique et les entrefers.

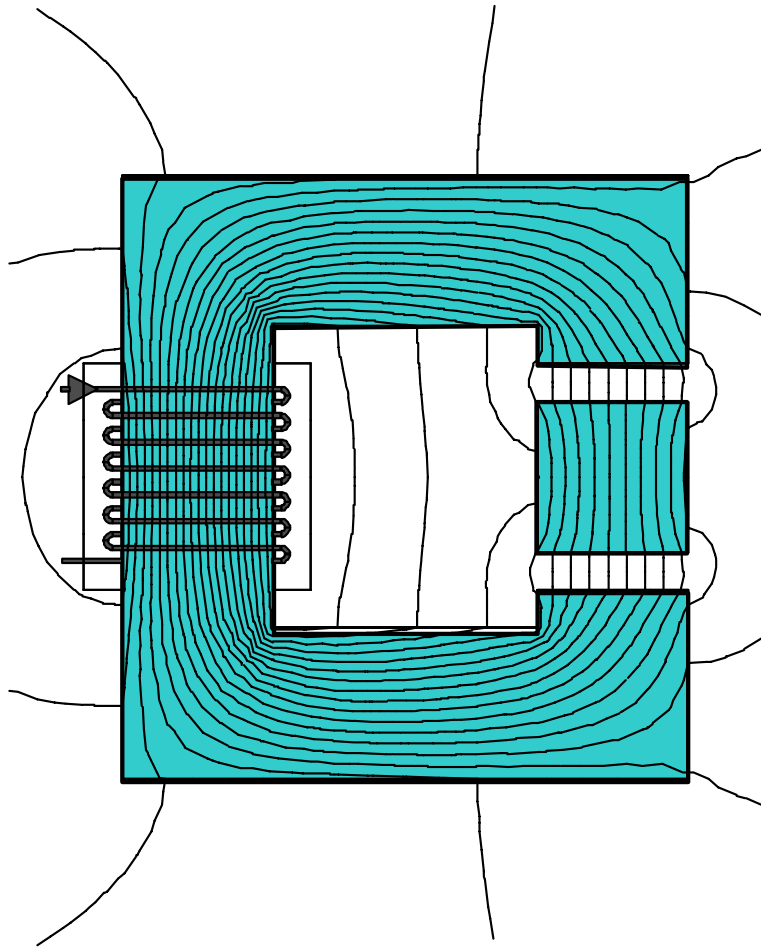
L'une est proche de la fenêtre et l'autre est située vers l'extérieur.

Dans les parties droites, sur laquelle de ces lignes de champ trouve-t-on la valeur de champ la plus élevée?

D'après le théorème d'Ampère, le champ est plus élevé sur la ligne de champ la plus courte.

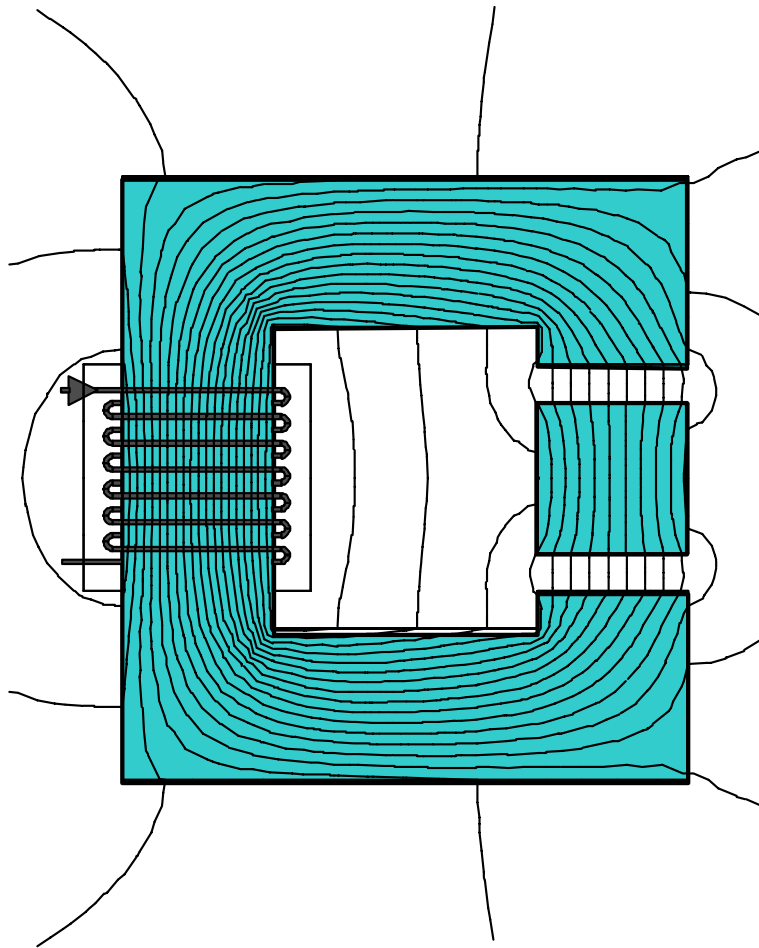
Pour limiter les erreurs de calcul, on choisit donc généralement de les effectuer sur une ligne d'induction moyenne appelée « **fibre moyenne** »<sup>30</sup>

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**A la surface de séparation fer/air, les lignes de champ changent de direction. Quelle particularité peut-on remarquer?**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

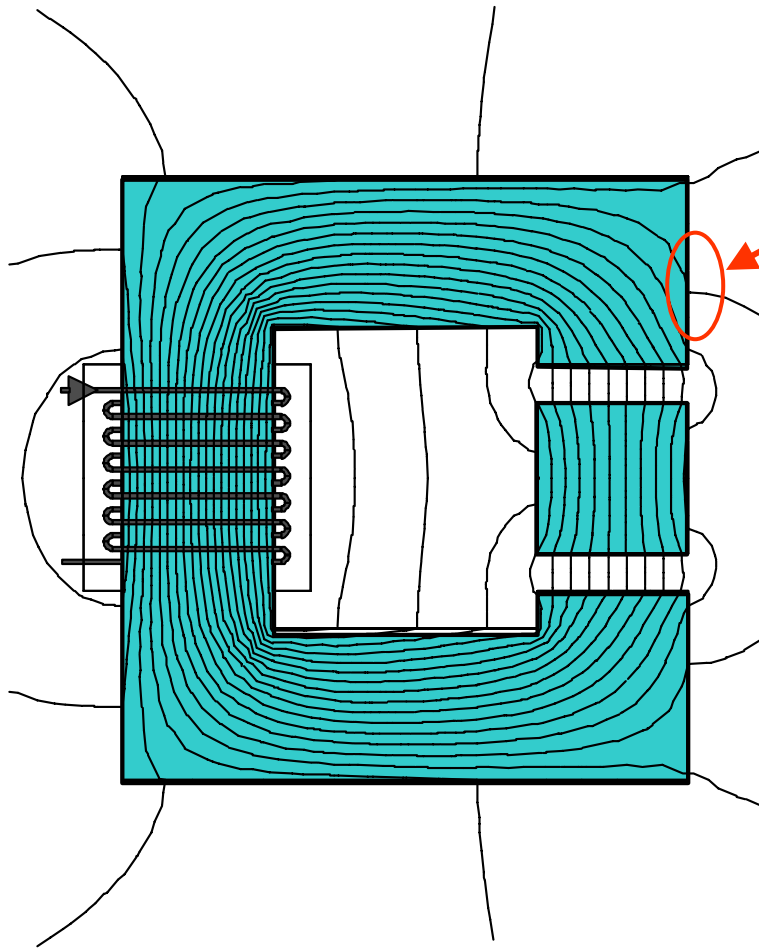


**A la surface de séparation fer/air, les lignes de champ changent de direction. Quelle particularité peut-on remarquer?**

**Les lignes de champ sortent du fer perpendiculairement à la surface de séparation**

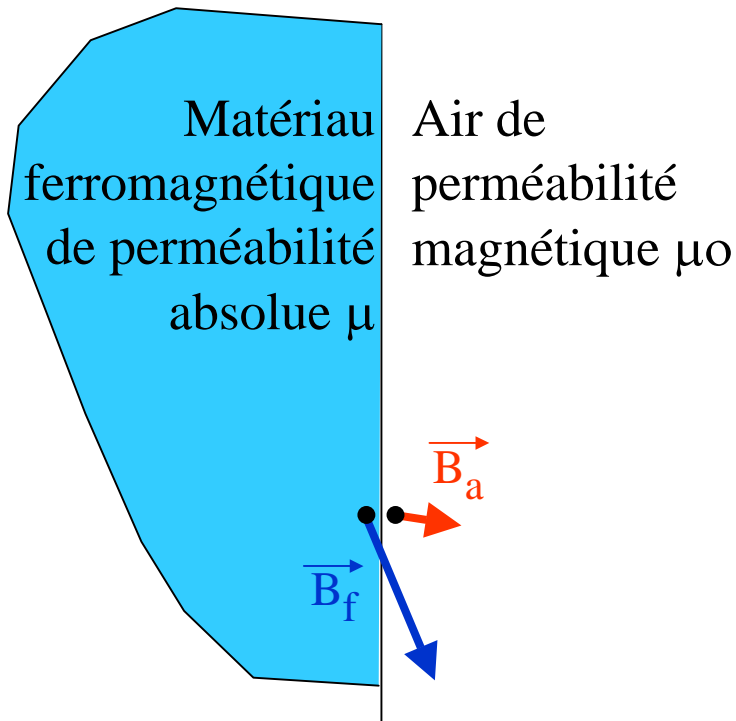


## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**A l'aide de la loi de conservation du flux et du théorème d'Ampère, nous allons déterminer la relation entre les champs d'induction de chaque côté d'une surface de séparation entre du matériau ferromagnétique et de l'air.**

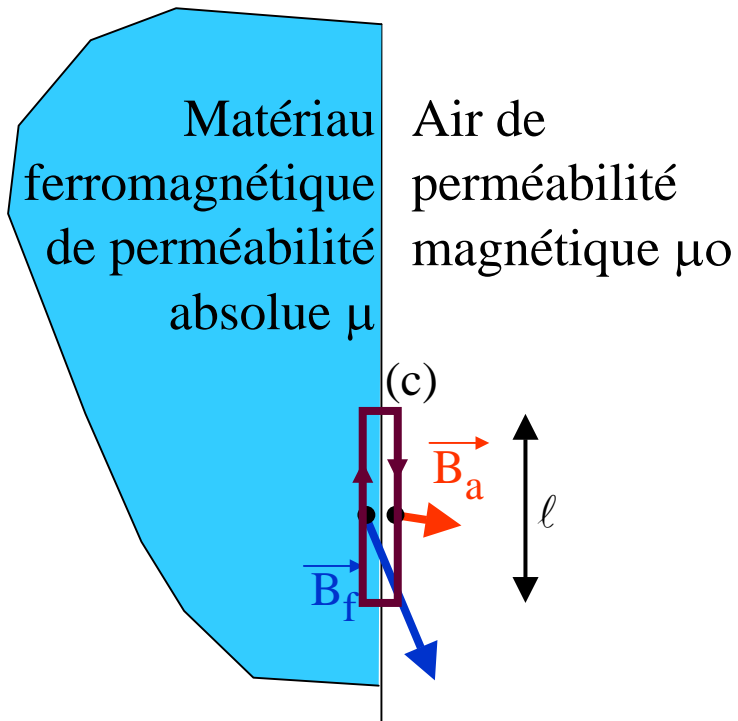
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Considérons deux points très proches l'un de l'autre situés de part et d'autre de la surface de séparation fer/air.**

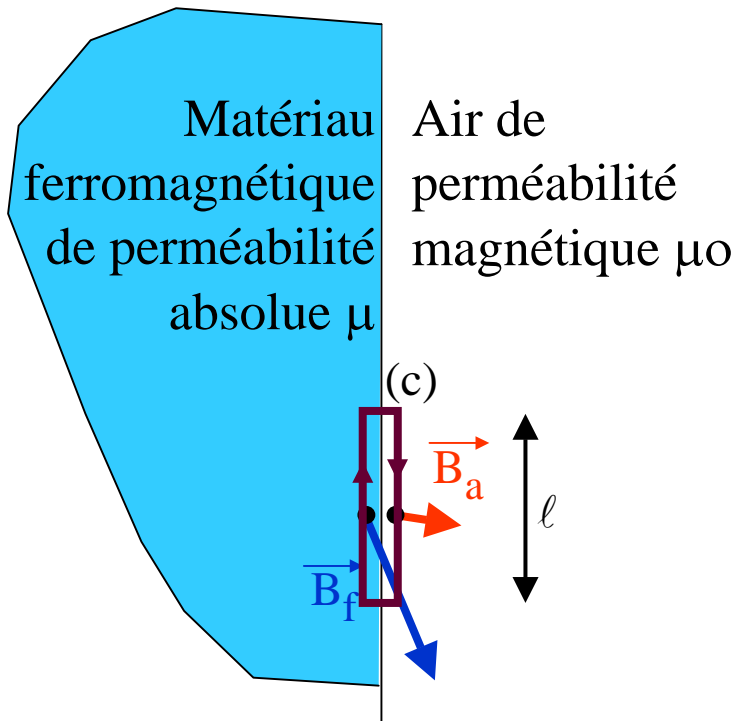
**Soit  $\vec{B}_f$  le champ d'induction dans le fer et  $\vec{B}_a$  le champ d'induction dans l'air.**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



En appliquant le théorème d'Ampère sur le chemin fermé (c), en déduire la relation entre les composantes tangentielles  $B_{tf}$  de  $\vec{B}_f$  et  $B_{ta}$  de  $\vec{B}_a$  .

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

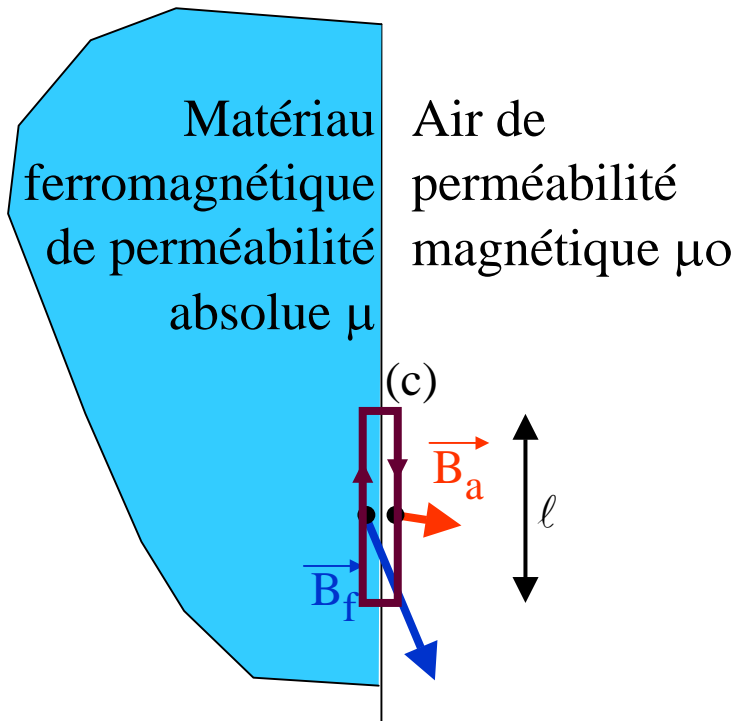


En appliquant le théorème d'Ampère sur le chemin fermé (c), en déduire la relation entre les composantes tangentielles  $B_{ta}$  de  $\vec{B}_a$  et  $B_{tf}$  de  $\vec{B}_f$ .

$$H_{ta} \cdot \ell - H_{tf} \cdot \ell = 0 \Leftrightarrow H_{ta} = H_{tf}$$

$$\Rightarrow \frac{B_{ta}}{\mu_0} = \frac{B_{tf}}{\mu}$$

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



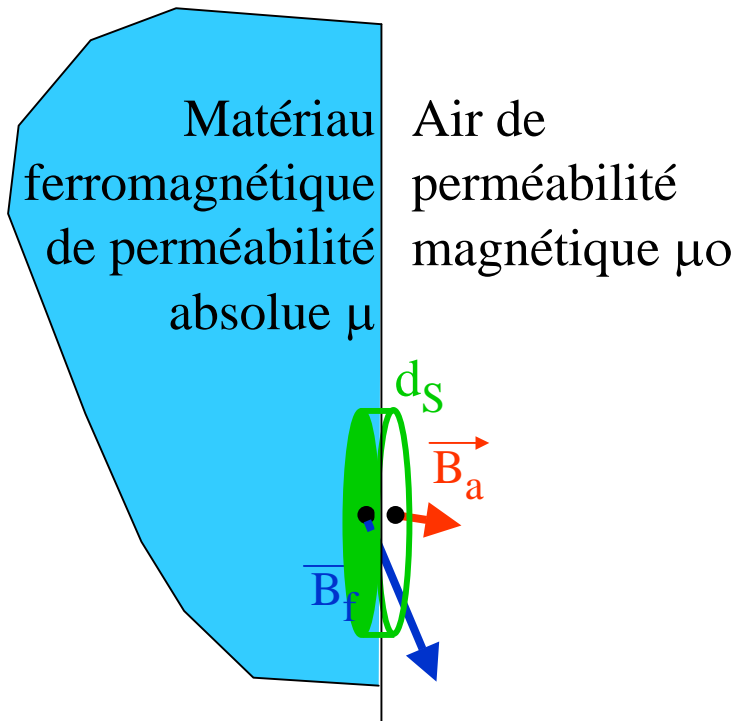
En appliquant le théorème d'Ampère sur le chemin fermé (c), en déduire la relation entre les composantes tangentielles  $B_{ta}$  de  $\vec{B}_a$  et  $B_{tf}$  de  $\vec{B}_f$ .

$$H_{ta} \cdot \ell - H_{tf} \cdot \ell = 0 \Leftrightarrow H_{ta} = H_{tf}$$

$$\Rightarrow \frac{B_{ta}}{\mu_0} = \frac{B_{tf}}{\mu}$$

Les composantes tangentielles du champ d'induction magnétique de part et d'autre de la surface de séparation sont inversement proportionnelles à la perméabilité magnétique des milieux considérés.

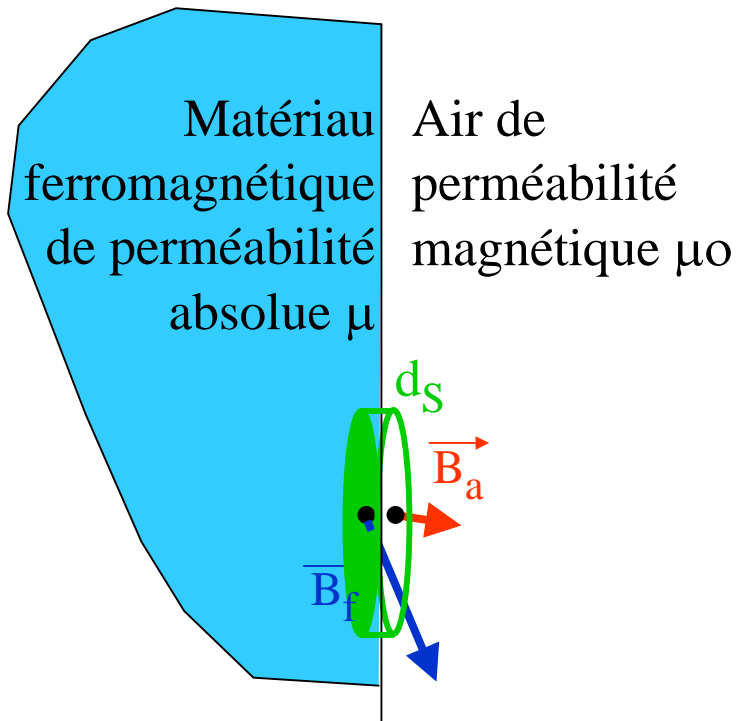
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



**Considérons deux surfaces de même aire  $d_s$  parallèles à la surface de séparation et contenant les deux points très proches l'un de l'autre situés de part et d'autre de la surface de séparation fer/air.**

**En appliquant la loi de conservation du flux, déterminer la relation entre les composantes normales  $B_{nf}$  de  $\vec{B}_f$  et  $B_{na}$  de  $\vec{B}_a$**

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



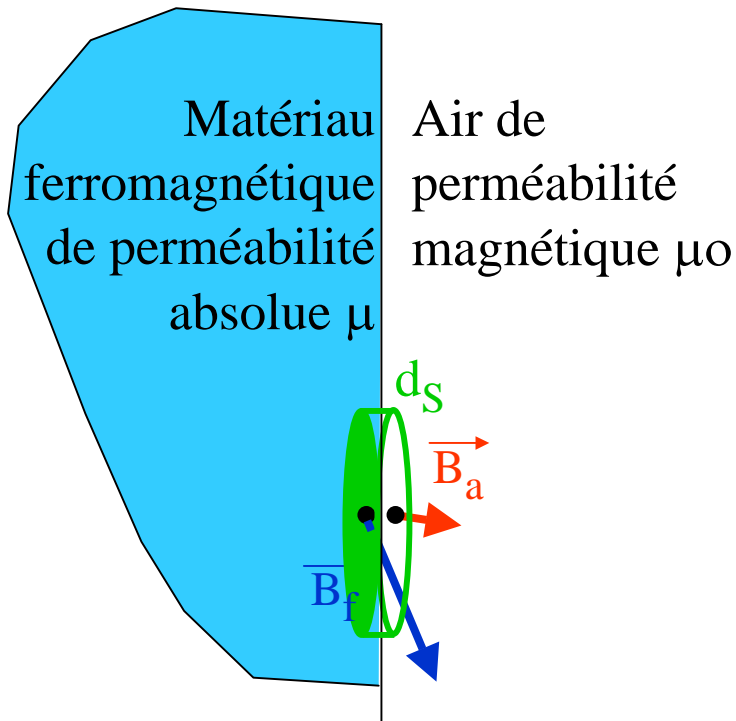
**Considérons deux surfaces de même aire  $d_s$  parallèles à la surface de séparation et contenant les deux points très proches l'un de l'autre situés de part et d'autre de la surface de séparation fer/air.**

**En appliquant la loi de conservation du flux, déterminer la relation entre les composantes normales  $B_{nf}$  de  $\vec{B}_f$  et  $B_{na}$  de  $\vec{B}_a$**

Les deux surfaces parallèles  $d_s$  étant infiniment proches, elles sont traversées par le même flux:

$$\varphi = B_{nf} \cdot d_s = B_{na} \cdot d_s \Rightarrow B_{nf} = B_{na}$$

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



Considérons deux surfaces de même aire  $d_s$  parallèles à la surface de séparation et contenant les deux points très proches l'un de l'autre situés de part et d'autre de la surface de séparation fer/air.

En appliquant la loi de conservation du flux, déterminer la relation entre les composantes normales  $B_{nf}$  de  $\vec{B}_f$  et  $B_{na}$  de  $\vec{B}_a$

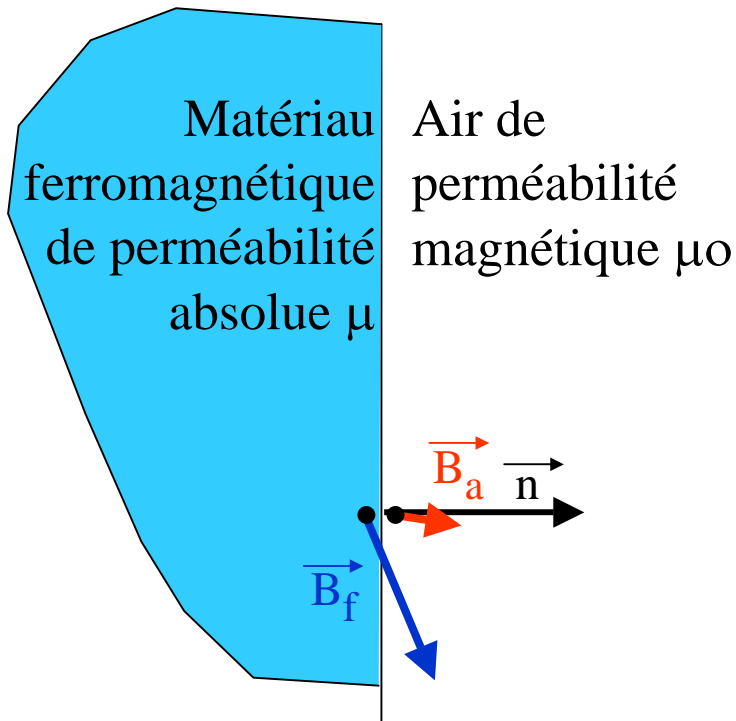
Les deux surfaces parallèles  $d_s$  étant infiniment proches, elles sont traversées par le même flux:

$$\varphi = B_{nf} \cdot d_s = B_{na} \cdot d_s \Rightarrow B_{nf} = B_{na}$$

**Les composantes normales du champ d'induction magnétique de part et d'autre de la surface de séparation sont égales.**



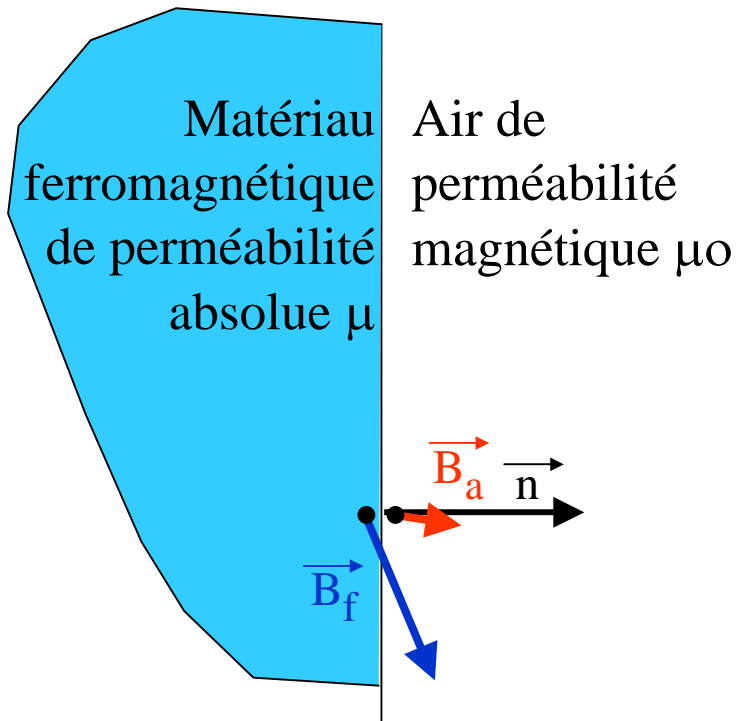
## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les angles  $\gamma_f$  et  $\gamma_a$  que font  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$  avec la normale à la surface de séparation.

$$\operatorname{tg}(\gamma_a) = \frac{B_{ta}}{B_{na}} ; \operatorname{tg}(\gamma_f) = \frac{B_{tf}}{B_{nf}}$$

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

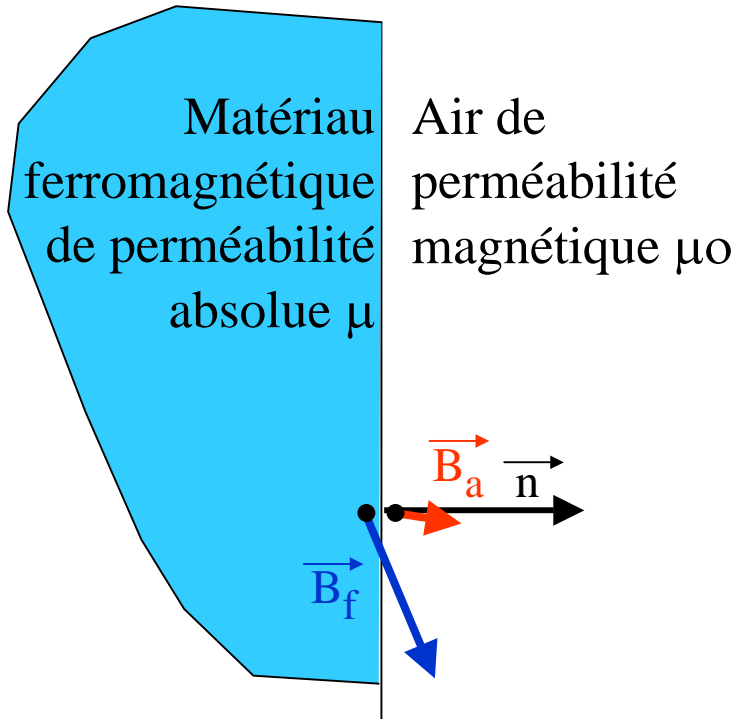


Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les angles  $\gamma_f$  et  $\gamma_a$  que font  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$  avec la normale à la surface de séparation.

$$\operatorname{tg}(\gamma_a) = \frac{B_{ta}}{B_{na}} ; \operatorname{tg}(\gamma_f) = \frac{B_{tf}}{B_{nf}}$$

$$\Rightarrow \frac{\operatorname{tg}(\gamma_a)}{\operatorname{tg}(\gamma_f)} = \frac{\frac{B_{ta}}{B_{na}}}{\frac{B_{tf}}{B_{nf}}} = \frac{B_{ta}}{B_{tf}} = \frac{\mu_0}{\mu_f} = \frac{1}{1000}$$

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



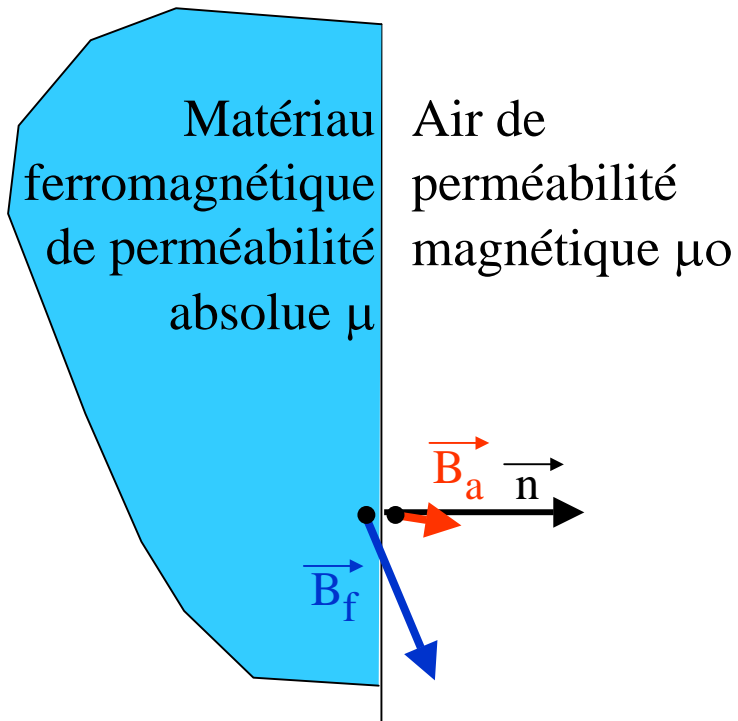
Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les angles  $\gamma_f$  et  $\gamma_a$  que font  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$  avec la normale à la surface de séparation.

$$\operatorname{tg}(\gamma_a) = \frac{B_{ta}}{B_{na}} ; \operatorname{tg}(\gamma_f) = \frac{B_{tf}}{B_{nf}}$$

$$\Rightarrow \frac{\operatorname{tg}(\gamma_a)}{\operatorname{tg}(\gamma_f)} = \frac{\frac{B_{ta}}{B_{na}}}{\frac{B_{tf}}{B_{nf}}} = \frac{B_{ta}}{B_{tf}} = \frac{\mu_0}{\mu_f} = \frac{1}{1000}$$

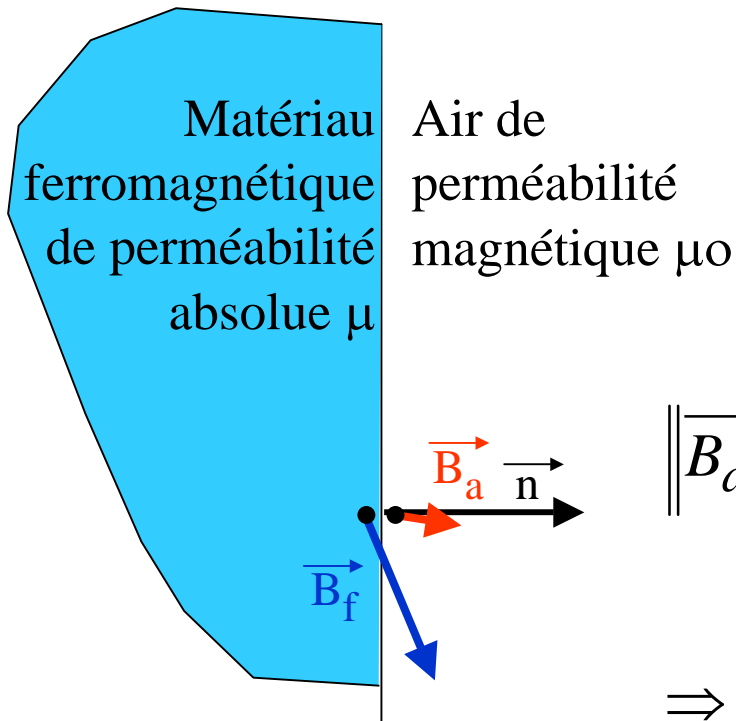
Ce qui justifie que  $\vec{B}_a$  soit quasiment normal à la surface de séparation

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique



Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les modules de  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$  .

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

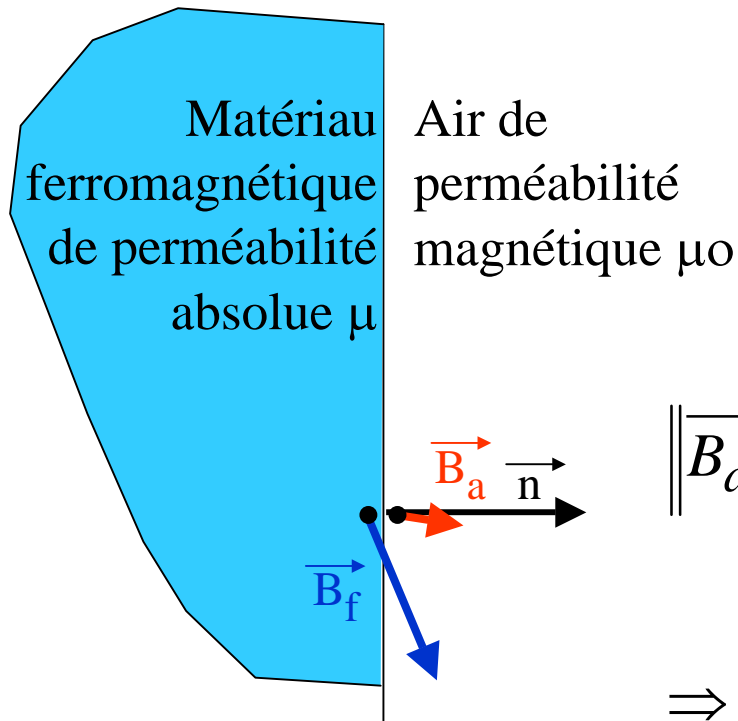


Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les modules de  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$ .

$$\|\vec{B}_a\| = \sqrt{B_{ta}^2 + B_{na}^2} ; \|\vec{B}_f\| = \sqrt{B_{tf}^2 + B_{nf}^2}$$

$$\Rightarrow \|\vec{B}_f\| = \sqrt{(1000 \cdot B_{ta})^2 + B_{na}^2}$$

## Champ d'induction dans et au voisinage d'un circuit magnétique

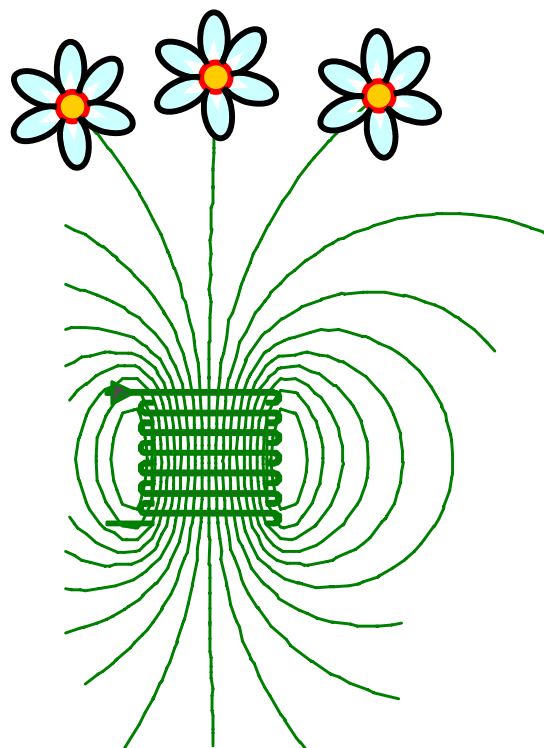


**Si on considère que le matériau ferromagnétique a une perméabilité magnétique relative de 1000 (par exemple), en déduire la relation entre les modules de  $\vec{B}_f$  et  $\vec{B}_a$  .**

$$\|\vec{B}_a\| = \sqrt{B_{ta}^2 + B_{na}^2} \quad ; \quad \|\vec{B}_f\| = \sqrt{B_{tf}^2 + B_{nf}^2}$$

$$\Rightarrow \|\vec{B}_f\| = \sqrt{(1000 \cdot B_{ta})^2 + B_{na}^2}$$

Ce qui justifie que la valeur du champ d'induction dans le fer est beaucoup plus élevée que dans l'air (sauf si les lignes de champ du côté « fer » sont normales à la surface de séparation).



FIN