

1<sup>ère</sup> Année Master machines électriques (promotion 2020/2021)

Matière : **Champ magnétique dans les machines électriques**

## Corrigé type d'examen

**Durée : 1 heure**

يمنع استعمال قلم الرصاص و القلم الأحمر الجاف

**Exercice n°1 (10 Pts) :** *Cocher la case convenable، ضع علامة × في الخانة المناسبة،*

	Vrai صحيح	Faux خطأ
Les lignes du champ magnétique partent vers l'infini. <b>01 Pt</b>		×
La divergence d'un champ électrique est toujours nulle. <b>01 Pt</b>		×
Quand un conducteur se déplace dans un champ magnétique, en coupant des lignes de flux une force magnétomotrice est induite dans le conducteur. <b>01 Pt</b>		×
L'équation de Maxwell-Faraday signifie que c'est la variation du champ électrique qui produit un champ magnétique et non le champ électrique tout seul. <b>01 Pt</b>		×
Le modèle magnétostatique vectoriel est utilisé pour les machines parcourues par des courants nuls. <b>01 Pt</b>		×
Le théorème de Gauss établit que le flux total sortant d'une surface fermée est égal à la charge totale contenue à l'intérieur de cette surface. <b>01 Pt</b>	×	
La densité du flux électrique ou l'induction électrique est un champ de vecteurs. <b>01 Pt</b>	×	
Le rotationnel d'un champ magnétique est la somme de sa dépendance à la variation du champ électrique au cours du temps et un courant électrique fixe. <b>01 Pt</b>	×	
Le gradient est une opération scalaire qui s'applique au champ des scalaires dont le résultat est un vecteur. <b>01 Pt</b>	×	
Dans le modèle magnétodynamique le champ magnétique et le champ électrique sont couplés par les courants induits. <b>01 Pt</b>	×	

1. **Les équations du milieu ont une relation avec :** **01 Pt**
  - a) la perméabilité magnétique
  - b) la permittivité électrique
  - c) la conductivité électrique
  
2. **La perméabilité magnétique d'un matériau ferromagnétique est caractérisée par:** **01 Pt**
  - a) une courbe non linéaire
  - b) ~~une courbe linéaire~~
  - c) ~~une valeur numérique~~
  
3. **L'équation  $\text{div}\vec{B} = 0$  permet de définir le potentiel vecteur magnétique  $\vec{A}$  :** **01 Pt**
  - a)  $\vec{B} = \text{rot}\vec{A}$
  - b)  ~~$\vec{A} = \text{rot}\vec{B}$~~
  - c)  ~~$\vec{B} = \text{div}\vec{A}$~~
  
4. **Le modèle magnétodynamique est utilisé pour les machines parcourues par :** **01 Pt**
  - a) des sources de tensions variables dans le temps
  - b) des sources de courants variables dans le temps
  - c) ~~des courants nuls~~
  
5. **Pour que  $\vec{A}$  soit totalement défini, il faut ajouter la condition :** **01 Pt**
  - a)  $\text{div}\vec{A} = 0$
  - b)  ~~$\vec{B} = \text{div}\vec{A}$~~
  - c)  ~~$\text{div}\vec{B} = 0$~~
  
6. **L'équation  $\text{div}\vec{D} = \rho$  est :** **01 Pt**
  - a) l'équation de Maxwell-Gauss
  - b) ~~l'équation de Maxwell-Faraday~~
  - c) ~~l'équation de Maxwell-Ampère~~
  
7. **L'équation  $\vec{B} = \mu\vec{H} + \vec{B}_r$  caractérise :** **01 Pt**
  - a) ~~le matériau conducteur électrique dans la machine~~
  - b) ~~le matériau isolateur électrique dans la machine~~
  - c) le matériau ferromagnétique dans la machine
  
8. **L'équation  $\vec{J} = \sigma\vec{E}$  caractérise :** **01 Pt**
  - a) le matériau conducteur électrique dans la machine
  - b) le matériau isolateur électrique dans la machine
  - c) ~~le matériau ferromagnétique dans la machine~~
  
9. **Le modèle magnétostatique vectoriel est régi par les équations suivantes:** **01 Pt**
  - a)  $\left\{ \text{rot}\vec{H} = \vec{J}, \quad \text{div}\vec{B} = 0, \quad \vec{B} = \mu\vec{H} + \vec{B}_r \right.$
  - b)  ~~$\left\{ \text{rot}(\vec{E} + \partial\vec{A}/\partial t) = \vec{0}, \quad \text{div}\vec{B} = 0, \quad \vec{B} = \mu\vec{H} + \vec{B}_r \right.$~~
  - c)  ~~$\left\{ \text{rot}\vec{H} = 0, \quad \text{div}\vec{B} = 0, \quad \vec{B} = \mu\vec{H} + \vec{B}_r \right.$~~
  
10. **La grandeur caractéristique de la manière dont un champ de vecteurs varie dans l'espace est :** **01 Pt**
  - a) la divergence
  - b) le rotationnel
  - c) ~~le gradient~~

1<sup>ère</sup> Année Master machines électriques (promotion 2020/2021)

Matière : Construction des machines électriques

## Corrigé type d'examen

Durée : 1 heure

يمنع استعمال قلم الرصاص و القلم الأحمر الجاف

**Exercice n°1 (10 Pts)** : Cocher la case convenable، ضع علامة × في الخانة المناسبة،

	Vrai صحيح	Faux خطأ
Dans les machines électriques, les lignes de flux magnétiques passent à travers les encoches.		×
Si on veut étudier le circuit magnétique d'une machine quadripolaire, on divise la géométrie de la machine en deux.		×
Le pas polaire d'une machine électrique a une relation avec le nombre de pair de pôles et le diamètre extérieur du stator.		×
Le nombre des encoches statoriques a une relation directe avec la longueur de la machine.		×
Le calcul de la force magnétomotrice totale d'une machine électrique se commence par le calcul de la force magnétomotrice de la culasse statorique.		×
Dans les machines électriques, les intervalles entre les pôles magnétiques réduisent la surface de l'entrefer.	×	
Dans les machines électriques, les interruptions du fer réduisent la surface de l'entrefer.	×	
Les encoches statoriques sont positionnées autour du périmètre intérieur du stator.	×	
La surface de l'entrefer d'une machine tournante a une forte relation avec la longueur de la machine.	×	
Dans les machines électriques, le nombre des encoches statoriques est nécessaire pour calculer le facteur de Carter.	×	

**Exercice n°2 (10 Pts) :**

1. Le schéma magnétique équivalent d'une machine asynchrone bipolaire, inclure le nom de chaque tronçon. **(04 Pts)**

$\mathfrak{R}_{cs}$  : Réductance de la culasse statorique

$\mathfrak{R}_{cr}$  : Réductance de la culasse rotorique

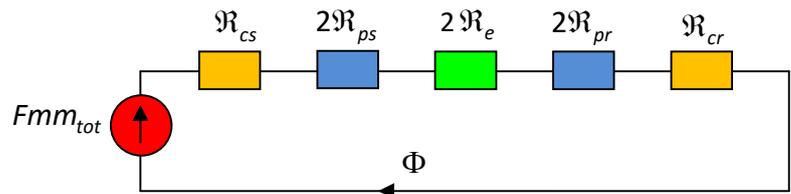
$\mathfrak{R}_{ps}$  : Réductance du pôle statorique

$\mathfrak{R}_{pr}$  : Réductance du pôle rotorique

$\mathfrak{R}_e$  : Réductance d'entrefer

$Fmm_{tot}$  : Force magnétomotrice totale

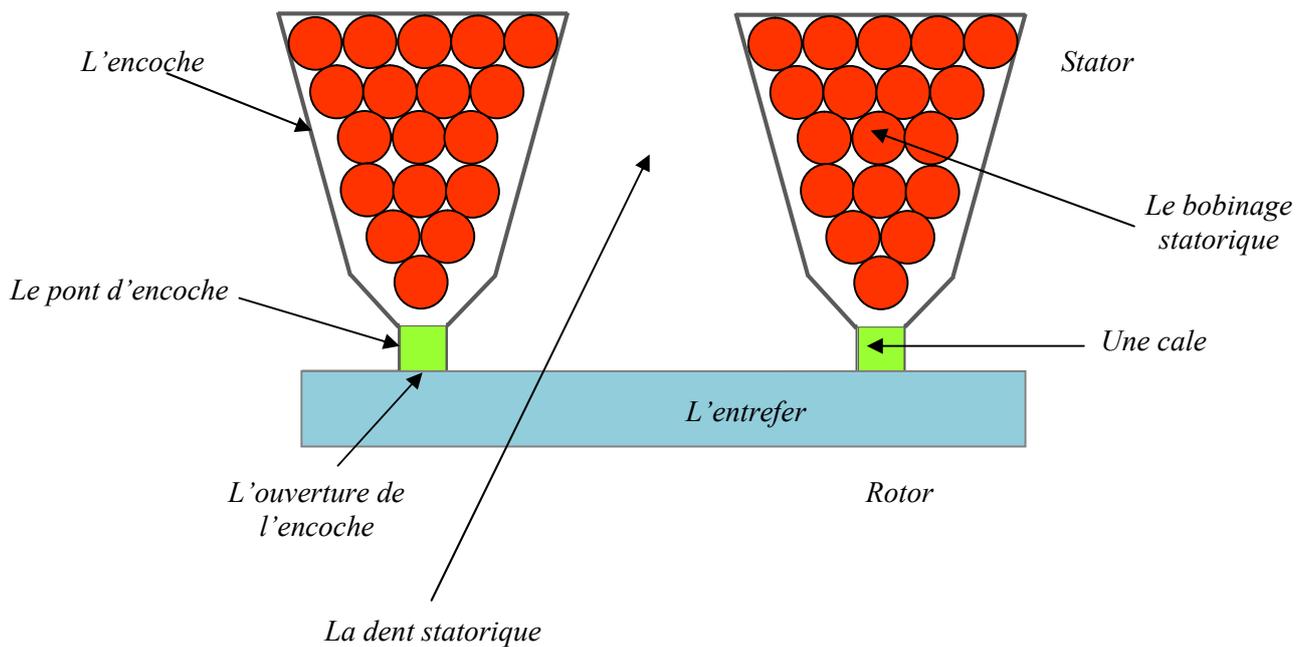
$\Phi$  : Flux magnétique



2. L'expression de la force magnétomotrice totale de la machine précédente. **(02 Pts)**

$$Fmm_{tot} = N_{phase} * i = 2N_{pole} * i = \sum Hdl = H_{cs}l_{cs} + 2H_{ps}l_{ps} + 2H_e e + 2H_{pr}l_{pr} + H_{cr}l_{cr}$$

3. Le schéma d'une dent statorique (l'encoche a une forme trapézoïdale semi ouverte), inclure le nom de chaque zone. **(04 Pts)**



## الإجابة النموذجية لامتحان أخلاقيات المهنة و الملكية الصناعية

الإجابة الأولى ..... (05 نقاط)

{لا} القصد الجنائي : لا تقوم الجريمة إلا إذا تعمد الفاعل إفشاء فلا تحصل إن تم الإفشاء على إهمال أو عدم احتياط و عليه لا تقوم الجريمة في حث الطبيب ان ترك معلومات سرية في مكان غير آمن

{لا} تنازع المصالح : وهي الوضعية التي يوجد فيها موظف عمومي له مصلحة خاصة ، من شأنها أن تؤثر على السير الموضوعي والعدل لمهامه الرسمية.

{لا} عقوبة إفشاء السر المهني : يعاقب القانون الجزائري على جنحة الإفشاء للسر المهني بالحبس من شهر إلى 6

أشهر و غرامة من 500 دج إلى 5000 دج

{لا} التصاميم الصناعية: هي المظهر أو الشكل الجمالي أو الزخرفي المستخدم مع قطعة مصنوعة من شيء ما، عبارة عن مجسم؛ أي عنصر ثلاثي الأبعاد كأشكال القطع.

{لا} المصنف المنجز في إطار علاقة عمل: هو الذي يتعهد فيه أحد المتعاقدين بأن يعمل في خدمة المتعاقد الآخر وتحت إدارته أو إشرافه مقابل أجر.

الإجابة الثانية ..... (05 نقاط)

{لا} الحقوق المجاورة : حقوق الفنان أو العازف ، منتجي التسجيلات الصوتية ، هيئات البث السمعي أو السمعي البصري

{نعم} المؤشرات الجغرافية: هي نوع من أنواع الإشارات التي تشمل أيضاً ما يُعرَف باسم تسميات المنشأ، وهي تتبع شهرة، أو وصفات، أو خصائص

{لا} باقي التحويلات الأصلية: يقصد بها التغييرات إلى أن يتم إدخالها على مصنفات أصلية فتتحول إلى مصنفات مشتقة

{لا} الملكية الفكرية : حق لا يسقط بعدم الإستعمال لمدة زمنية صغيرة أو كبيرة بل يدوم مادام محله دائم

{نعم} الحلم : يعد الحلم أحد المميزات الرئيسية لأخلاقيات المهنة وهو ما يعرف بضبط النفس عند الغضب، أي العامل أو الموظف يكون حليماً و متزناً و ذو حكمة في المواقف الصعبة

الإجابة الثالثة ..... (04 نقاط)

1- أن تكون صادق مع نفسك ومع خصمك

2/ الأمناء بحكم الضرورة

3- يتناول المؤلف خلال هذه المرحلة أفكاره بالدراسة والتقييم

4- حق غير قابل للحجز عليه

الإجابة الرابعة ..... (06 نقاط)

1- الإفصاح المالي: وهو إجراء تنص عليه سياسات منع تضارب المصالح ويلزم الموظفون بموجبه

بتقديم إقرارات تتعلق بأنفسهم وزوجاتهم أو أزواجهم وأبنائهم القاصرين. وتحتوي هذه الإقرارات

على شهادة تفيد بأن الأصول المالية المملوكة لهم لا تمثل تضارباً في المصلحة بين أداء واجبات

الموظف الرسمية ومصالح الهيئة التي يعمل لديها

Composé type de Module :

Ampl. Echan. et Rég. Num.

F.T, Dép. GE

2020/2021

EX:01

1) a)  $f(k) = 2 \cdot e^{-b k T_e} \rightarrow F(z) = \sum_{k=0}^{+\infty} 2 \cdot z^{-k} - \sum_{k=0}^{+\infty} e^{-b k T_e} \cdot z^{-k}$

Alors:  $F(z) = 2 \cdot \frac{z}{z-1} - \frac{z}{z-e^{-b T_e}}$  (02,5)

b)  $F(p) = \frac{2}{p(p+4)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{p} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{p+4}$   
 $\rightarrow F(z) = \frac{1}{2} Tz \left[ \frac{1}{p} \right] - \frac{1}{2} Tz \left[ \frac{1}{p+4} \right] = \frac{1}{2} \left[ \frac{z}{z-1} - \frac{z}{z-e^{-4 T_e}} \right]$  (02,5)

c)  $F(p) = \frac{3}{p(p+4)^2} = \frac{3}{16} \cdot \frac{1}{p} - \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{(p+4)^2} - \frac{3}{16} \cdot \frac{1}{p+4}$   
 $\rightarrow F(z) = \frac{3}{16} \cdot \frac{z}{z-1} - \frac{3}{4} \cdot \frac{T_e \cdot z \cdot e^{-4 T_e}}{(z-e^{-4 T_e})^2} - \frac{3}{16} \cdot \frac{z}{z-e^{-4 T_e}}$  (04)

2)  $F(p) = \frac{2}{p(p+3)} = \frac{N(p)}{D(p)} \rightarrow \begin{cases} N(p) = 2 \\ D(p) = p(p+3) = p^2 + 3p \rightarrow D'(p) = 2p + 3 \end{cases}$

$F(p)$  a 2 pôles simples:  $p=0$  et  $p=-3$

Donc:  $F(z) = \frac{N(0)}{D'(0)} \cdot \frac{1}{1-e^{-1} z^{-1}} + \frac{N(-3)}{D'(-3)} \cdot \frac{1}{1-e^{-3 T_e} z^{-1}}$

$\rightarrow F(z) = \frac{2}{3} \cdot \frac{z}{z-1} - \frac{2}{3} \cdot \frac{z}{z-e^{-3 T_e}}$  (03)

EX:02

$s_k = 0,1 z^k + 0,2 s_{k-1} - 0,3 s_{k-2}$

①  $S(z) = 0,1 E(z) + 0,2 z^{-1} S(z) - 0,3 z^{-2} S(z) \dots (*)$  (01)

② (\*)  $\rightarrow z^2 S(z) - 0,2 z S(z) + 0,3 S(z) = 0,1 z^2 E(z)$

$\rightarrow H(z) = \frac{S(z)}{E(z)} = \frac{0,1 z^2}{z^2 - 0,2 z + 0,3}$  (01)

③  $\lim_{z \rightarrow 1} \left[ \left( \frac{z-1}{z} \right) (E(z) \cdot H(z)) \right] = \lim_{z \rightarrow 1} \left[ \left( \frac{z-1}{z} \right) \left( \frac{z}{z-1} \cdot \frac{0,1 z^2}{z^2 - 0,2 z + 0,3} \right) \right]$   
 $= \frac{0,1}{1 - 0,2 + 0,3} = \frac{0,1}{1,1} = 0,09$  (01)

### Exo 3

1) FTBO  $\Rightarrow h(z) = \frac{2K}{z^2 - 5z + 0,1}$  ;  $K > 0$

FTBF:  $H(z) = \frac{h(z)}{1+h(z)} = \frac{2K}{z^2 - 5z + 0,1 + 2K} = \frac{N(z)}{D(z)}$  (0,5)

2) L'équation, caractéristique de  $H(z)$  est :

$$D(z) = z^2 - 5z + 0,1 + 2K = 0 \dots \textcircled{1}$$

on pose :  $z = \frac{1+w}{1-w}$

Alors:  $\textcircled{1} \Leftrightarrow \left(\frac{1+w}{1-w}\right)^2 - 5\left(\frac{1+w}{1-w}\right) + 0,1 + 2K = 0$

$$\Leftrightarrow (1+w)^2 - 5(1+w)(1-w) + (0,1 + 2K)(1-w)^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow w^2(6,1 + 2K) + w(1,8 - 4K) + 2K - 3,9 = 0 \quad \textcircled{1,5}$$

Tableau de Routh-Hurwitz :

$w^2$	$6,1 + 2K$	$2K - 3,9$
$w^1$	$1,8 - 4K$	0
$w^0$	$2K - 3,9$	

$\Rightarrow$  le système est stable si :

$$\begin{cases} 6,1 + 2K > 0 \\ 1,8 - 4K > 0 \\ 2K - 3,9 > 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 1,8 - 4K > 0 \\ 2K - 3,9 > 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} K < \frac{1,8}{4} \\ K > \frac{3,9}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K < 0,45 \\ K > 1,95 \end{cases}$$

Alors : ~~le~~ le système est toujours instable quelque soit la valeur de  $K$ .  $\textcircled{2}$



Cochez uniquement les bonnes réponses:

➤ Le convertisseur approprié pour faire varier la vitesse d'un moteur courant continue MCC est:  
Onduleur Triphasé  Redresseur non commandé  Hacheurs dévolteurs  Gradateur Triphasé

➤ Les convertisseurs permettent de contrôler le moteur MCC dans les quatre quadrants de couple et de vitesse sont :  
Deux ponts complets de redresseurs commandés  Hacheur réversible en tension  Hacheur série  Hacheur en pont

➤ Les convertisseurs permettent de contrôler le moteur MCC dans deux quadrants de couple et de vitesse sont :  
Hacheur réversible en courant  Hacheur réversible en tension  Hacheur série  Hacheur en pont

➤ Dans la figure ci-dessous les caractéristique mécanique d'un moteur MCC pour différents tension (U1, U2, U3, U4, U5) avec la profiles de charge:

1- Pour avoir la vitesse maximale on applique la tension:

U1  U2  U3  U4  U5

2- Pour avoir la vitesse minimale en charge on applique la tension:

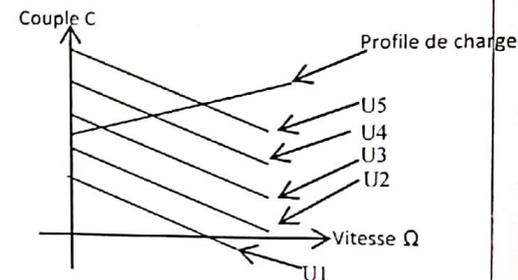
U1  U2  U3  U4  U5

3- Pour avoir le courant de démarrage minimal à vide sans charge, appliquer la tension :

U1  U2  U3  U4  U5

4- Pour éliminer l'appel de courant de démarrage progressivement selon le profil de charge(en charge) jusqu'à la vitesse maximale, on applique les tensions dans l'ordre suivant:

U4,U3, U2,U1  U1,U2, U3  U3,U4, U5  U1,U2, U3,U4, U5  U3,U4



➤ Les convertisseurs approprié pour faire varier les caractéristique mécanique d'un moteur Asynchrone sont :  
Onduleur Triphasé  Redresseur commandé associé au rotor pour varie la résistance rotorique  Hacheurs série  Gradateur Triphasé

➤ L'association d'un onduleur avec un moteur asynchrone permet de contrôler :  
Seulement la tension V  Seulement la fréquence f  La fréquence f et la tension V  La constate V/f

➤ L'augmentation de paramètres suivante permet d'augmenter le couple de démarrage d'un moteur asynchrone  
La fréquence f et la tension V  La tension V et résistance statorique  La tension V et la résistance Rotorique  La fréquence f

➤ Dans la figure ci-dessous les caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone pour différents fréquence (f1, f2, f3, f4, f5) avec le profiles de charge:

1- Trouver la fréquence appropriée à la vitesse minimale:

f1  f2  f3  f4  f5

2- Trouver la fréquence appropriée à la vitesse maximale en charge sans décrochage du moteur pour le démarrage direct :

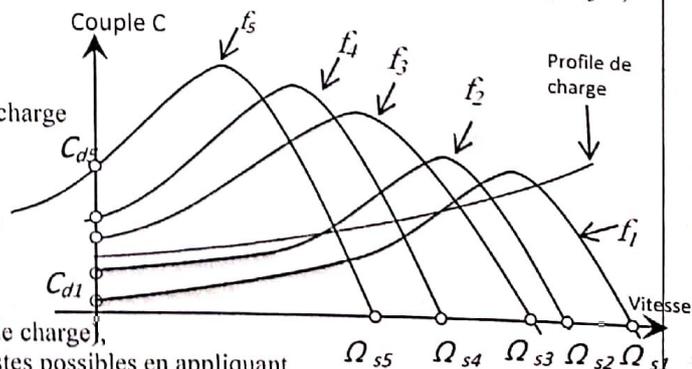
f1  f2  f3  f4  f5

3- Déterminer la fréquence appropriée à la vitesse maximale à vide:

f1  f2  f3  f4  f5

4- Pour avoir la vitesse maximale en charge (selon le profil de charge), sans décrochage du moteur asynchrone, déterminez les pistes possibles en appliquant les fréquences dans l'ordre suivant :

f1, f2, f3, f4, f5  f2, f1  f3, f2, f1  f4, f3, f2  f5, f4, f1  f5, f3, f1  f5, f2, f1



**RECOMMANDATIONS : Soin et présentation= 2 pts**

- Ce formulaire sert de feuille-réponse.
- Il vous est demandé de répondre aux questions de façon synthétique, claire et précise.
- Les copies illisibles ou rédigées au crayon à papier et au stylo rouge ne seront pas corrigées.
- La notation tiendra compte des recommandations ci-dessus.

**Activité1 18 pts :**

Dans cet exercice, le matériau n'est pas linéaire, il est donc impossible d'utiliser la formule d'Hopkinson :  $NI = \mathfrak{R}\Phi$ . Il est donc impératif de n'utiliser que le théorème d'ampère appliqué aux circuits magnétiques simplifiés :  $NI = \int_C \vec{H} \cdot d\vec{l}$  où  $C$  est le libre parcours moyen, c'est-à-dire en utilisant les hypothèses classiques :  $NI = \int_C H \cdot dl = H \cdot L$  où  $L$  est la longueur du circuit homogène.

1) On désire avoir  $\Phi = 2 \cdot 10^{-3}$  Wb, c'est-à-dire :  $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-4}} = 1 \text{ T}$  1

On lit alors dans le tableau que le champ correspondant est :  $H = 760 \text{ A/m}$ . 0.5

Le théorème d'Ampère s'écrit alors :  $NI = H \cdot L$  c'est-à-dire que :

$$N_{\text{mini}} = \frac{H \cdot L}{I_{\text{max}}} = \frac{760 \times 80 \cdot 10^{-2}}{20} = 30,4 \text{ soit donc : } 31 \text{ spires.}$$
 1

On considère donc à présent que  $N = 62$  spires. 0.5

2) L'apparition de l'entrefer rend le circuit magnétique non homogène. La décomposition de l'intégrale du théorème d'ampère se réduit à :  $NI = H_{\text{acier}} \cdot L + H_{\text{air}} \cdot 2 \cdot e$  1

L'air représente un milieu linéaire dans lequel  $H_{\text{air}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 795,7 \text{ kA/m}$  1

Dans l'acier, on lit toujours dans le tableau :  $H_{\text{acier}} = 760 \text{ A/m}$  0.5

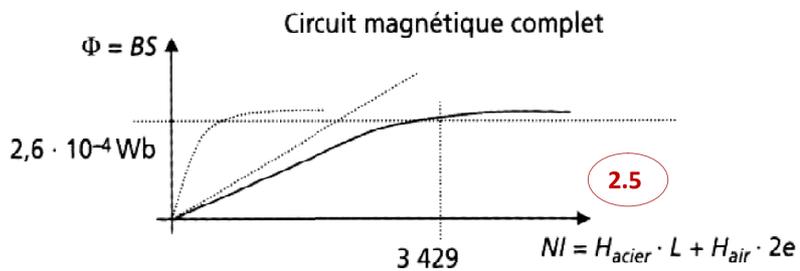
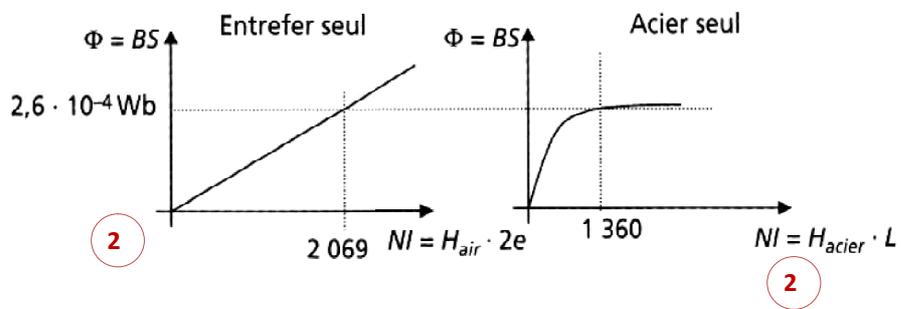
On en déduit :

$$I = \frac{H_{\text{acier}} \cdot L + H_{\text{air}} \cdot 2 \cdot e}{N} = \frac{760 \times 80 \cdot 10^{-2} + 795,7 \cdot 10^3 \times 2 \cdot 10^{-3}}{62} = 35,47 \text{ A}$$
 1

Le courant étant limité à 20 A, il est nécessaire de prévoir un nombre de spires tel que  $NI = 35,47 \times 62 = 2200$  avec  $I = 20 \text{ A}$ . C'est-à-dire :  $N = 110$  spires. 1

3) Il faut noter que le flux et l'induction sont proportionnels puisqu'on écrit :  $\Phi = B \cdot S$ . De même, le champ magnétique et le courant sont également proportionnels puisque  $NI = H \cdot L$ . Ainsi, les courbes  $B(H)$  ou  $\Phi(I)$  ont exactement les mêmes formes, mais évidemment pas les mêmes échelles. On représente ainsi les allures des courbes  $\Phi(H_{\text{acier}} \cdot L)$  et  $\Phi(H_{\text{air}} \cdot 2e)$  en fonction de  $\Phi = B \cdot S$ . Les points correspondant à  $B = 1,3 \text{ T}$  (c-à-d  $\Phi = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ ) sont cotés sur chaque dessin. 3

On en déduit l'allure de :  $NI = H_{\text{acier}} \cdot L + H_{\text{air}} \cdot 2 \cdot e$  qui caractérise les ampères tours en fonction de  $\Phi$  pour le circuit magnétique avec entrefer.



On constate sur ces schémas de principe que l'entrefer a un effet dé-saturant sur la courbe d'aimantation du circuit magnétique.

1