

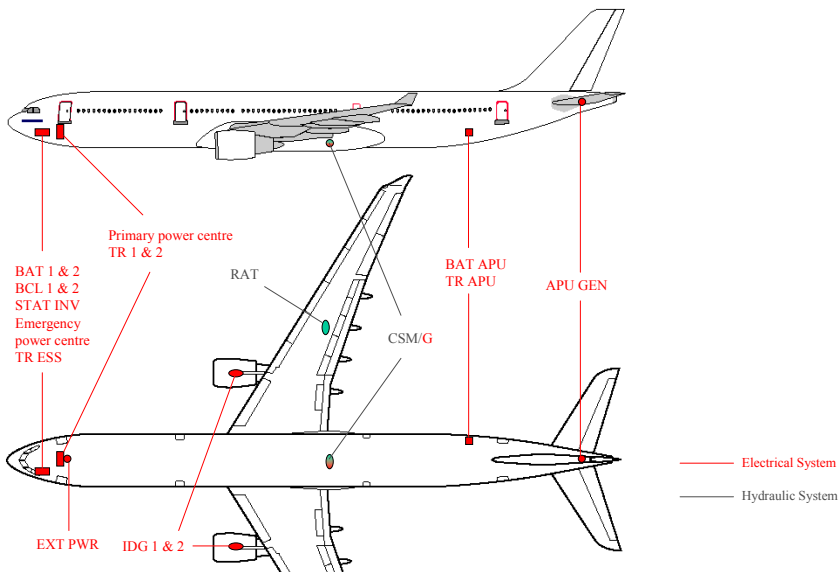


*Électronique de Puissance
pour la qualité de l'énergie
des réseaux de bord d'avion*

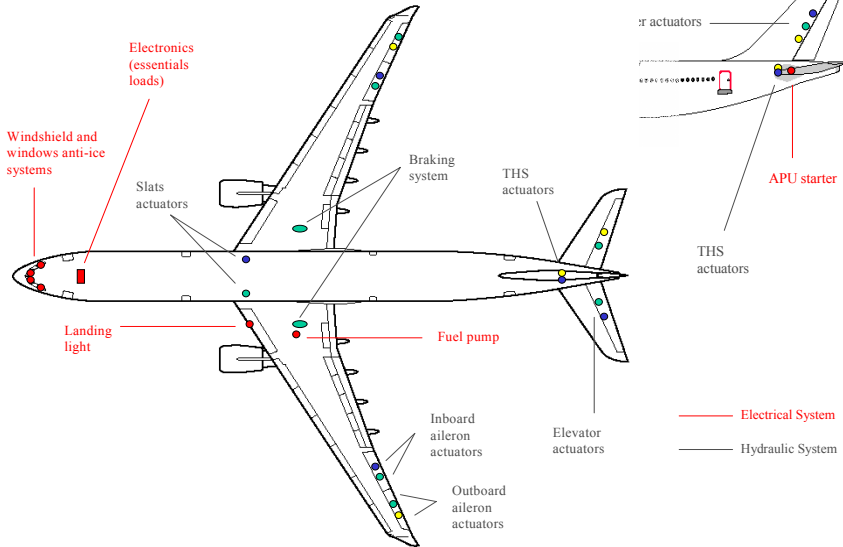
P. Ladoux, F. Richardeau, L. Raulin

Le système électrique avion

Ex



Ex : A330-300 – Major power consumers (emergency configuration)



• **TENDANCES : L'AVION d'aujourd'hui et de demain**

– Réseau & Consommateurs : de **plus forte puissance**

• Puissance installée de la génération principale :

» A340 : 300 kVA

» A380 : 600 kVA

» MEA (More Electrical Aircraft) : ≥ 1 MVA

– Généralisation de l'**Electronique de Puissance**

• Etages de redressement passif 115VAC / 270VDC

» 6-Pulses

» 12-Pulses

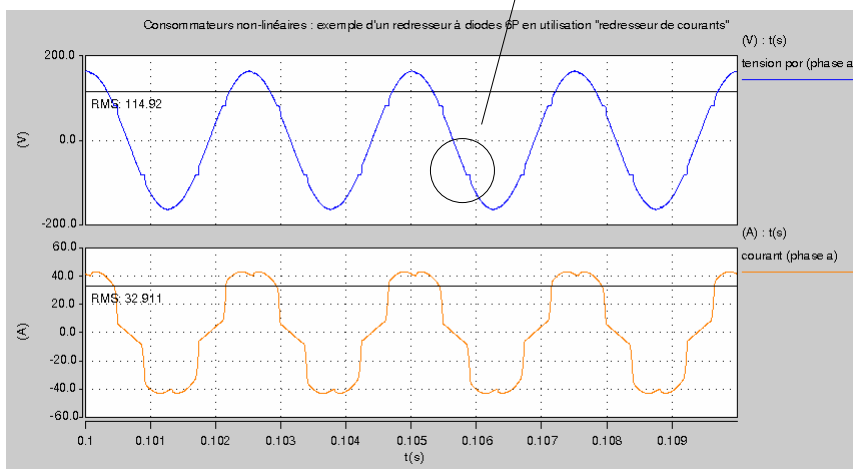
• Convertisseurs statiques pilotés

» Ensembles Onduleur/Moteur

» Convertisseurs AC/DC & DC/DC

• **CHARGES non-linéaires**

Distorsion sur la tension délivrée au POR



• LA QUALITE RESEAU

– Risques et impacts :

- Augmentation des **pertes** : sur-dimensionnement du système
- Diminution du **MTBF** des équipements
- Impact sur la **performance** des équipements

▸ Un besoin :

–Maîtriser le **THDV** au “Point Of Regulation”

- En imposant des **contraintes topologiques**
- En évaluant des solutions de **filtrage actif**
 - **EGIDE** : contrôleur de FAN à absorption sinus
 - **COMPENSATEUR PARALLELE**

😊 *Aucune modification des étages d'entrée des récepteurs non linéaires*

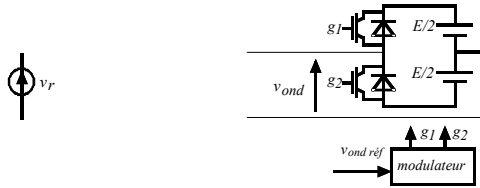
$$f_{max} = 800 \text{ Hz} \quad \text{Rang 25 : } f = 20 \text{ kHz} !$$

😞 *fréquence de commutation élevée*

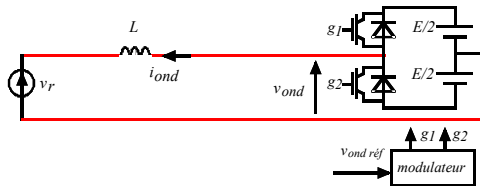
😞 *Tension de bus continu élevée*

?

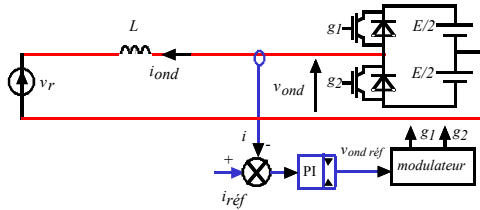
Raccordement d'un onduleur de tension sur le réseau



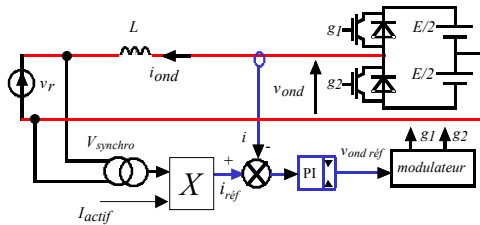
Raccordement d'un onduleur de tension sur le réseau



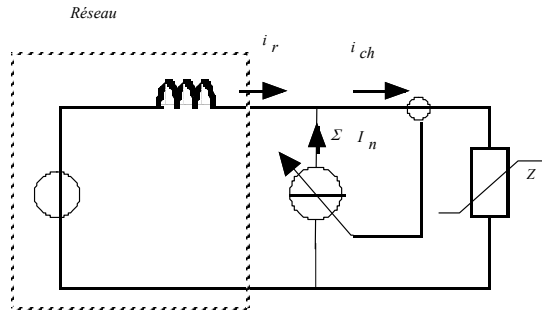
Raccordement d'un onduleur de tension sur le réseau



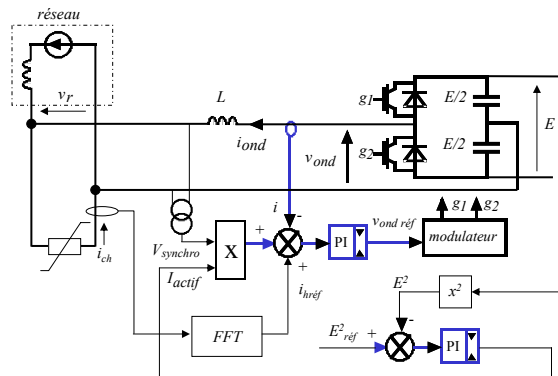
Raccordement d'un onduleur de tension sur le réseau



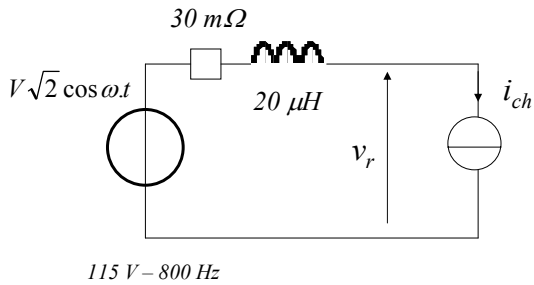
Principe du filtrage actif parallèle



Réalisation d'un filtrage actif parallèle



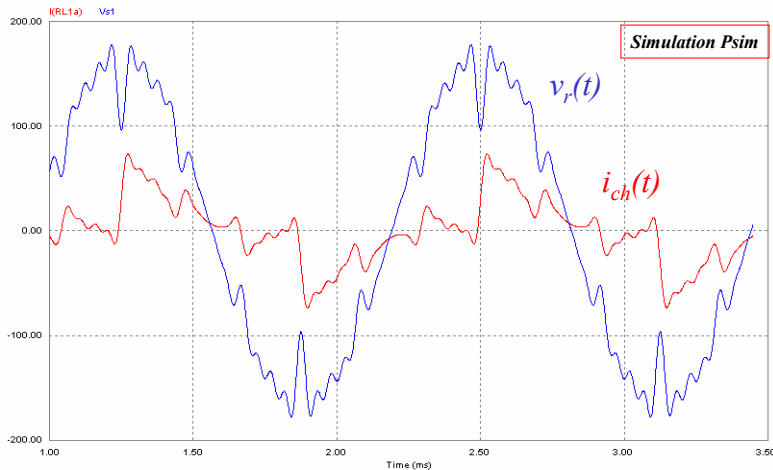
Exemple de dimensionnement :



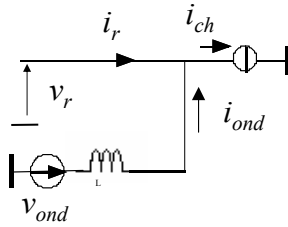
Rang	Valeur efficace (A)
1	25
3	9
5	9
7	7,5
11	5
13	5
17	2,5
19	2,5
23	2
25	2

$$i_{ch}(t) = I_1 \sqrt{2} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right) + I_3 \sqrt{2} \sin 3\omega t + \sum_{h=1}^4 I_{6h \pm 1} \sqrt{2} \sin(6h \pm 1)\omega t$$

Exemple de dimensionnement :



Choix de la tension du bus continu



Compensation des harmoniques jusqu'au rang 25 :

$$i_{ond}(t) = I_3 \sqrt{2} \sin 3\omega t + \sum_{h=1}^4 I_{6h\pm 1} \sqrt{2} \sin(6h \pm 1)\omega t$$

Tension délivrée par l'onduleur :

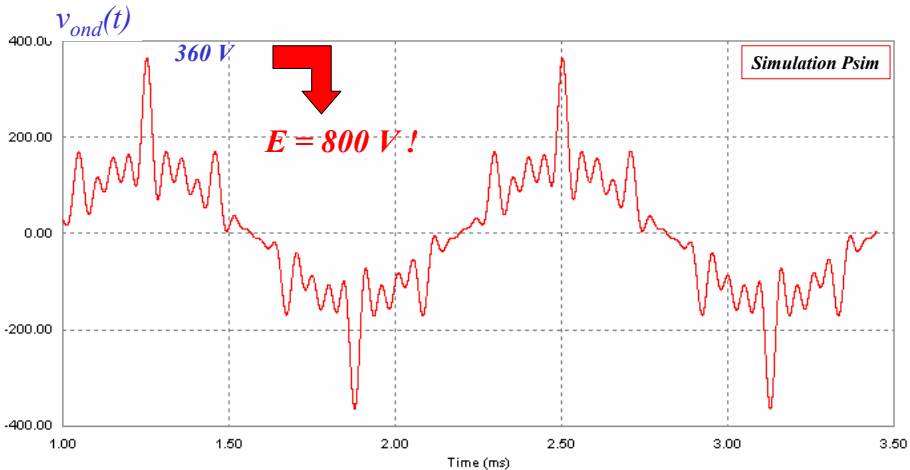
$$v_{ond} = v_r + L \frac{di_{ond}}{dt}$$

$$v_{ond}(t) = V_r \sqrt{2} \cos \omega t + L \cdot \omega \cdot I_3 \sqrt{2} \cos 3\omega t + L \cdot \omega \cdot \sqrt{2} \sum_{h=1}^4 I_{6h\pm 1} \cos(6h \pm 1)\omega t$$

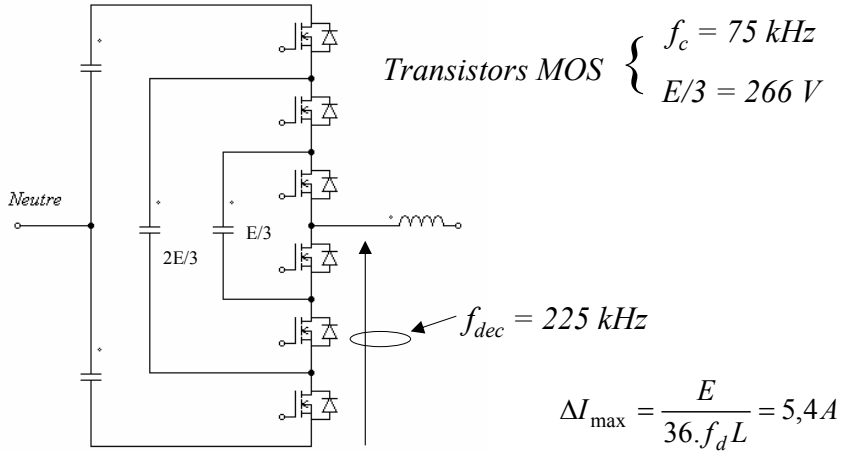
Détermination de la tension E :

$$E = \frac{2 \cdot \text{Max}(v_{ond}(t))}{m_{a \max}}$$

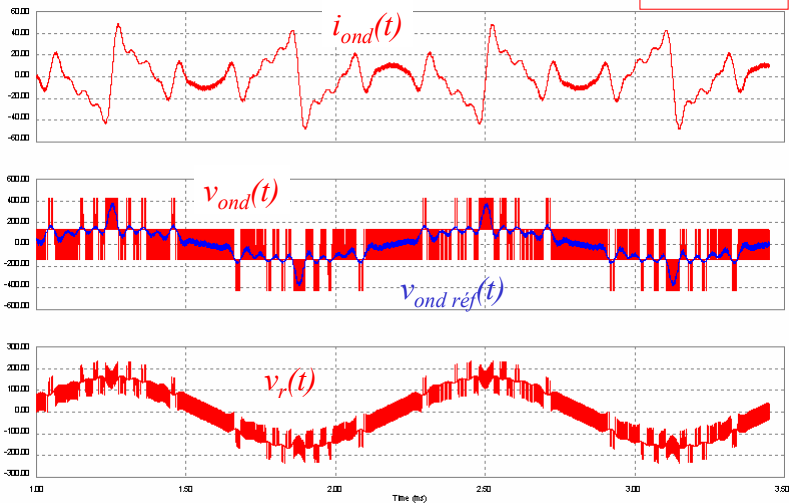
Formes d'ondes (L = 55 μH)



Bras d'onduleur multiniveaux à trois cellules imbriquées

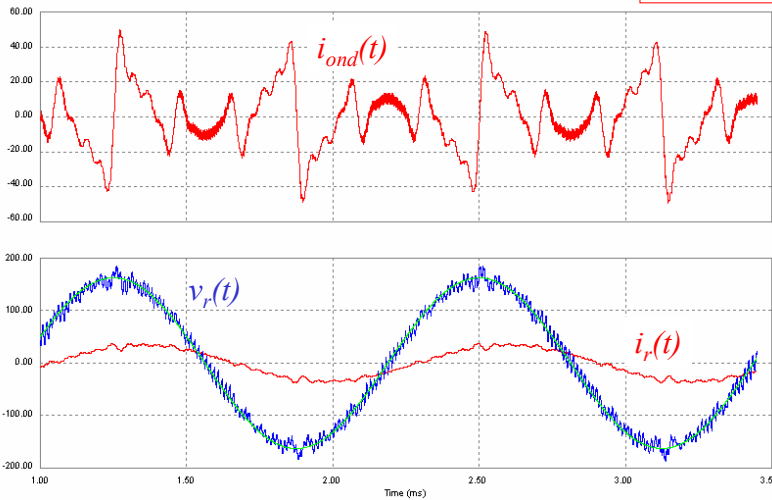


Formes d'ondes



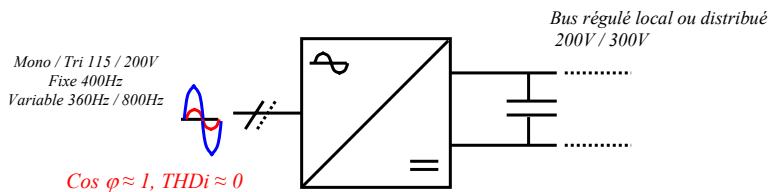
Formes d'ondes avec filtre LC

Simulation Psim



Un objectif double :

- ➔ Absorption sinusoïdale du courant intégrée à un convertisseur AC / DC
- ➔ Régulation de la tension d'un bus DC

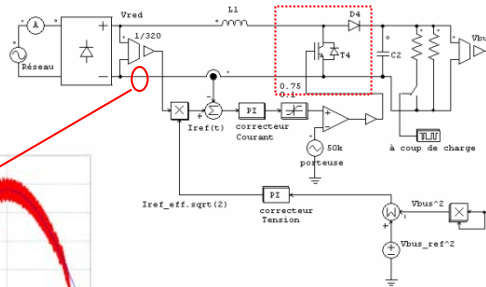
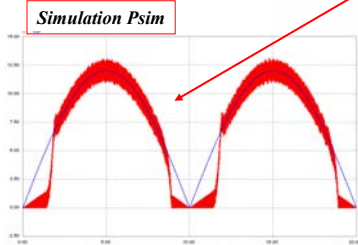


Critères de conception :

- ➔ Minimiser la masse des éléments passifs (inductances en particulier) et la masse (volume) d'un dissipateur. Il y a donc, a priori, une fréquence de découpage optimale vis-à-vis de la Masse globale de l'équipement
- ➔ Examiner la conséquence d'un défaut au sein du convertisseur, établir une stratégie permettant de sécuriser le convertisseur, son environnement et de poursuivre le fonctionnement

PFC "simple (économique)"

$$\alpha = 1 - |V_{res}| / V_{bus}$$



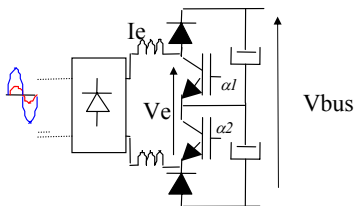
Tension découpée à l'entrée du CVS
à deux niveaux : +Vbus, 0.

$$L = V_{bus} / (4 \cdot F_{dec} \cdot K_{\%} \cdot I_{max})$$

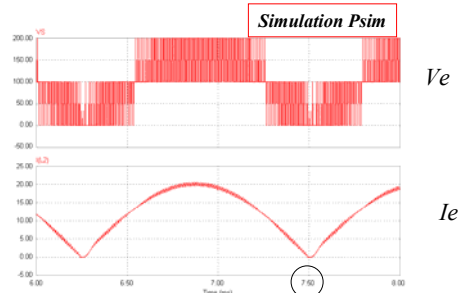
Défaut en "court-circuit" du transistor : le bus est naturellement protégé, c'est la protection amont qui est sollicitée.

Défaut en "ouverture" du transistor : alimentation permanente du réseau sur le bus (type pont de diode), la tension moyenne du bus est diminuée.

PFC "multiniveaux série"



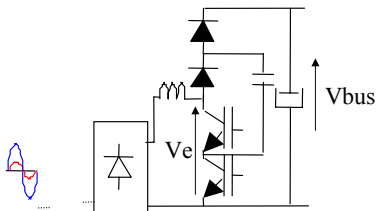
Tension flottante à stabiliser par la commande ($\alpha1-\alpha2$).



Entrelacement des commandes : Tension 3N : 0, Vbus/2, Vbus.
Doublement de la fréquence apparente.

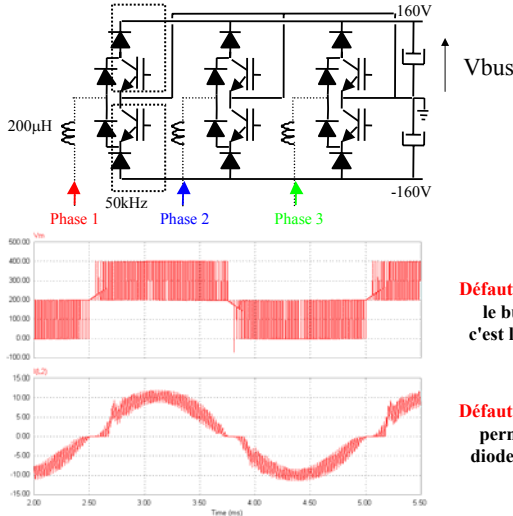
$$L = V_{bus} / (16 \cdot F_{dec} \cdot K_{\%} \cdot I_{max})$$

Défaut sur les interrupteurs : même effet qu'en deux niveaux, sauf si le défaut n'affecte qu'un seul transistor.



Tension flottante stable (filtre équilibrant externe)

Extension au Triphasé (non réversible)



2 boost à cde séquentielle / bras
2N par demi-période (0, Vbus) :

Cas identique au simple boost :
 $L = V_{bus} / (4 \cdot F_{dec} \cdot K_{\gamma} \cdot I_{max})$

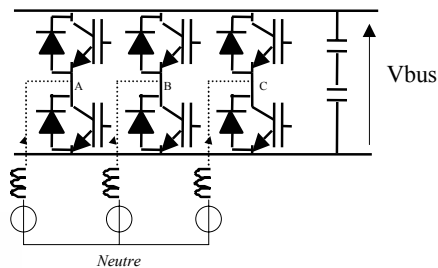
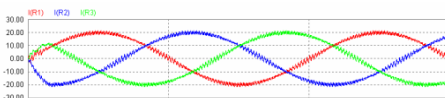
Défaut en "court-circuit" des transistors d'un bras :
le bus est naturellement protégé par les diodes,
c'est la protection amont qui est sollicitée (réseau).

Défaut en "ouverture" du transistor : alimentation
permanente du réseau sur le bus (type pont de
diodes), la tension moyenne du bus est diminuée.

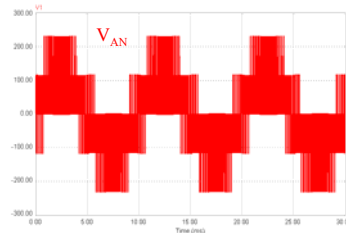
Onduleur de tension "triphasé"






Tension Bras 2 niveaux : $\pm V_{bus}$
Tension phase - neutre :
($\pm 2V_{bus}/3, \pm V_{bus}/3, 0$) pseudo 5 niveaux !
Harmonique majoritaire à 2Fdec

Courants réseau



- le rapport cyclique est centré autour de 1/2, il n'est plus limité, aucune distorsion au passage par zéro de la tension.
- le court-circuit d'un bras (2 transistors en série) est hautement critique -> CC du bus. Une protection locale et rapide est indispensable (intégrée au composant / driver).



 Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle	CONCLUSIONS	 27	
<p>Redresseurs actifs</p> <p>Solutions à moindre coût</p> <p>Bonne disponibilité : marche dégradé possible</p> <p>Filtre actif</p> <p>Structure avec une commande complexe</p> <p>Electronique ultra – performante !</p>			
	 CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	18 – 19 mars 2004 Journées EEA	

 Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle		 28	
<p><i>Ce document et son contenu sont la propriété d'AIRBUS FRANCE S.A.S. Aucun droit de propriété intellectuelle n'est accordé par la communication du présent document ou son contenu. Ce document ne doit pas être reproduit ou communiqué à un tiers sans l'autorisation expresse et écrite d'AIRBUS FRANCE S.A.S. Ce document et son contenu ne doivent pas être utilisés à d'autres fins que celles qui sont autorisées.</i></p> <p><i>Les déclarations faites dans ce document ne constituent pas une offre commerciale. Elles sont basées sur les postulats indiqués et sont exprimées de bonne foi. Si les motifs de ces déclarations n'étaient pas démontrés, AIRBUS FRANCE S.A.S serait prêt à en expliquer les fondements.</i></p> <div style="text-align: center;">  <p>AIRBUS AN EADS JOINT COMPANY WITH BAE SYSTEMS</p> </div>			
	 CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	18 – 19 mars 2004 Journées EEA	