

Dimensionnement d'une communication CPL OFDM dans l'aéronautique

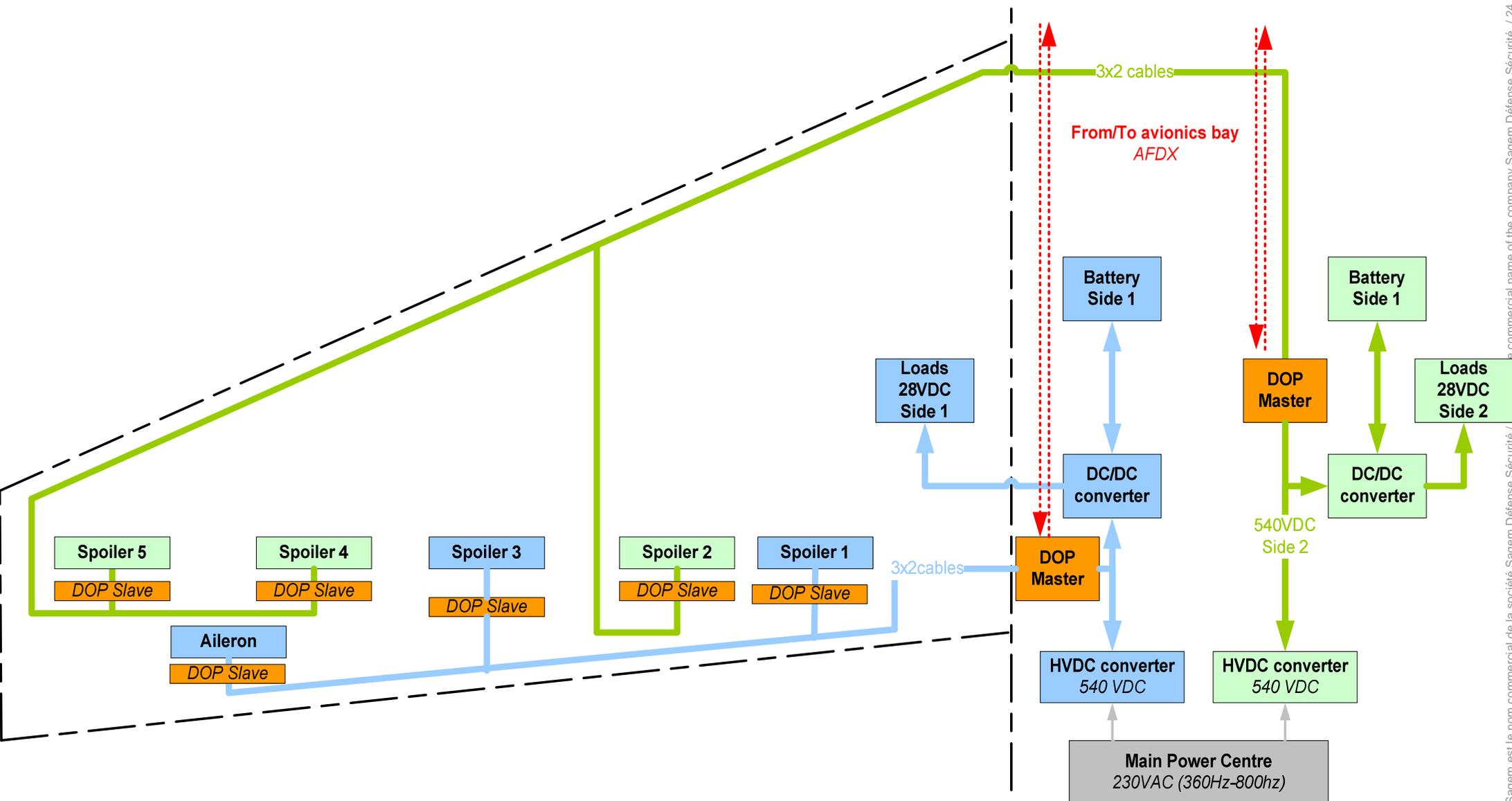
Thomas LARHZAOU



Présentation du sujet

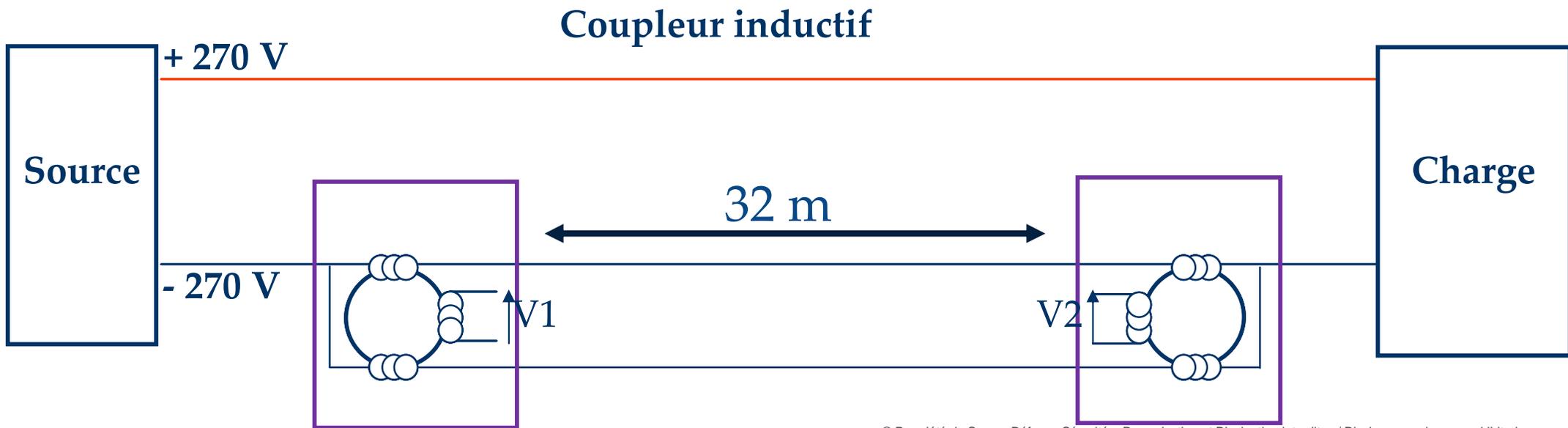
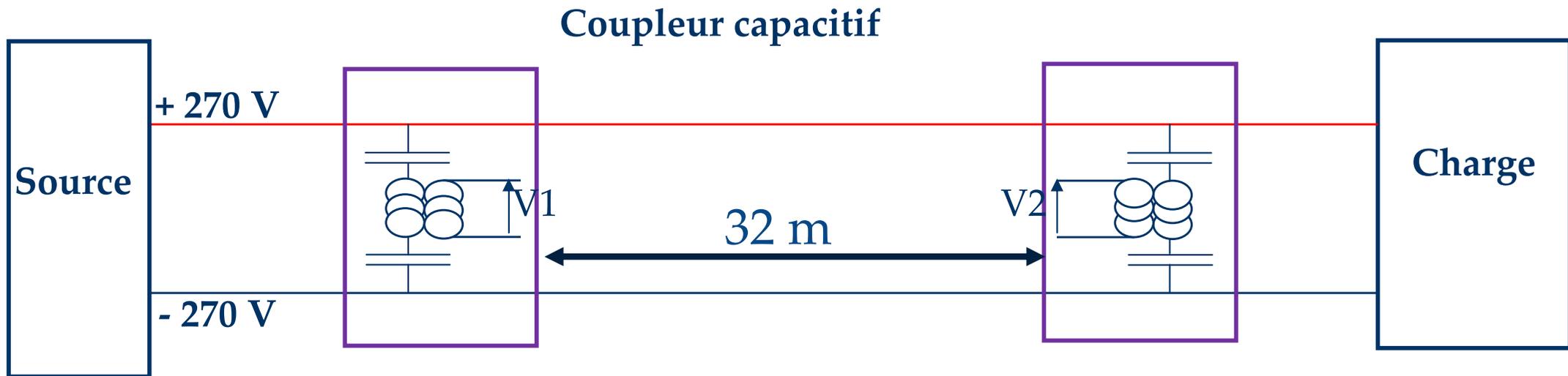
© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Mise en situation



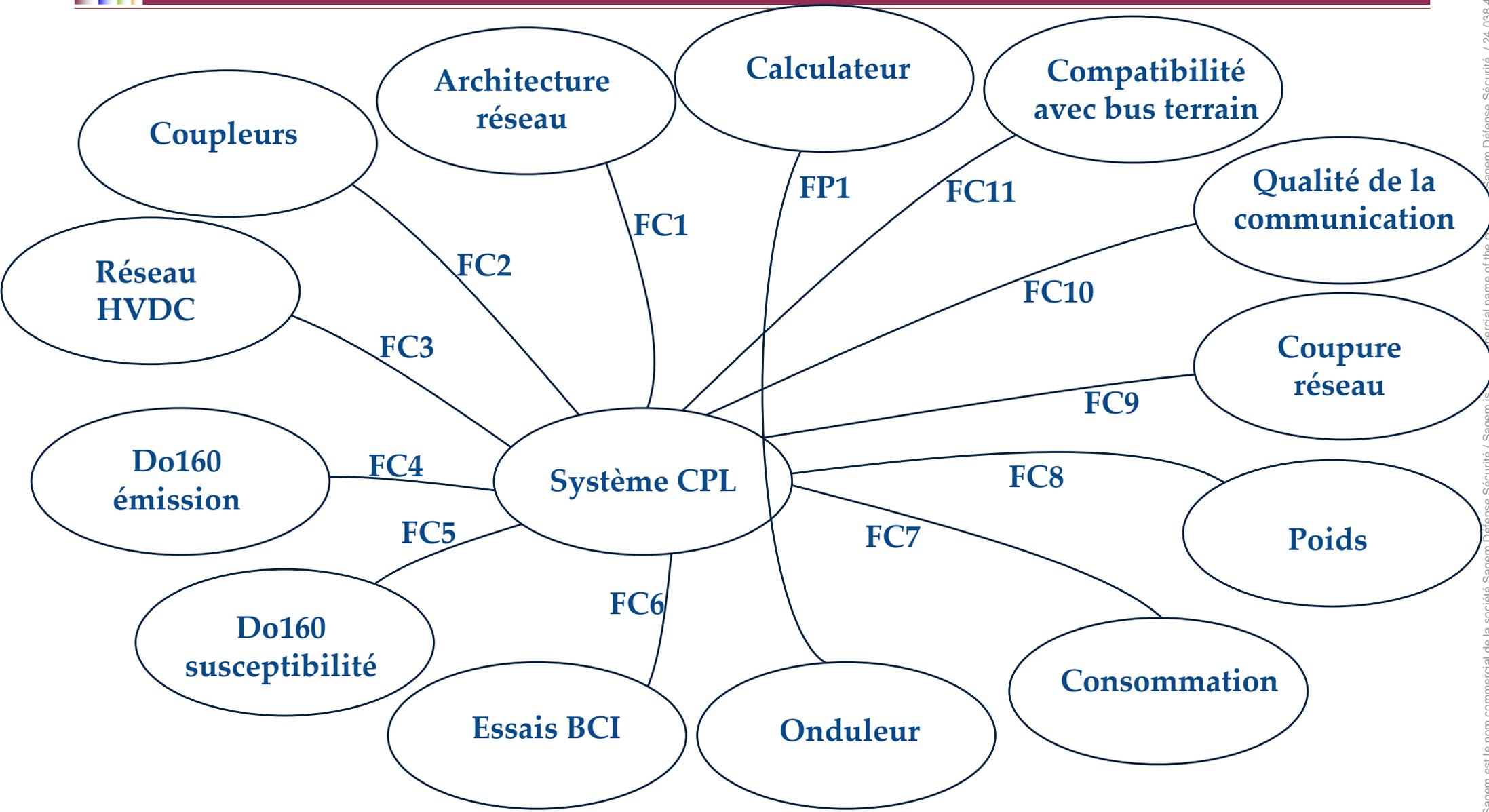
© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Coupleurs



© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgation interdites / Disclosure and copy prohibited.

Diagramme pieuvre



© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Description des fonctions

- **FP1 : transmettre les données numériques relatives à l'actionnement des commandes de vol du calculateur à l'onduleur**
- **FC1 : s'adapter sur un réseau point-à-point ou point-à-multipoint**
- **FC2 : s'adapter sur les coupleurs inductifs ou capacitifs (SAGEM)**
- **FC3 : s'adapter sur le réseau HVDC (540 V, 50 m, quadrifilaire torsadé (coupleur inductif) ou bifilaire torsadé (coupleur capacitif))**
- **FC4 : respecter la norme Do160 en émission conduite**
- **FC5 : supporter les agressions électromagnétiques des autres systèmes de l'avion suivant la Do160**
- **FC6 : supporter les essais BCI (norme Do160)**
- **FC7 : consommer moins de 3 W sans convertisseur DC/DC**
- **FC8 : peser moins de 120 g sans le convertisseur DC/DC**
- **FC9 : permettre une réinitialisation rapide en cas de coupure du réseau (voire latence FC10)**
- **FC10 : assurer une communication de qualité (taux d'erreur de 10^{-9} par heure de vol pour un évènement redouté, débit utile=10 Mbits/s, latence=16-30 μ s (vitesse) 166-300 μ s (position), système déterministe)**
- **FC11 : accepter les données utiles des bus terrains utilisés pour les commandes de vol (ML-STD-1553, Arinc 429, CAN (Arinc 825))**

Calcul du temps de latence exigé

Boucle de vitesse : 1000 Hz
Boucle de position : 100 Hz

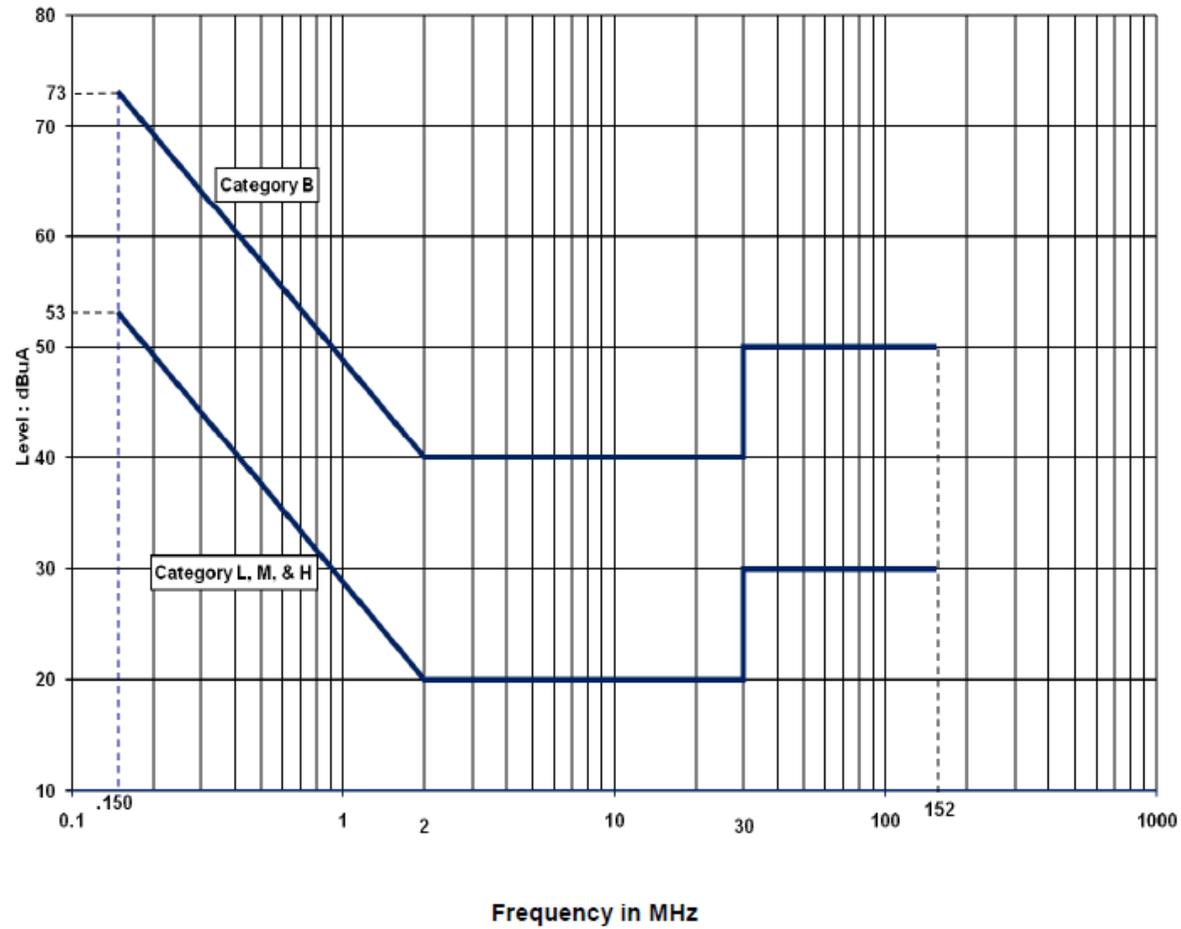
Une loi empirique fréquemment utilisée dans le monde analogique pour garantir la stabilité impose une dynamique 6 fois supérieure à la bande passante visée

Boucle de vitesse : 6000 Hz -> 160 μ s
Boucle de position : 600 Hz -> 1666 μ s

La latence du système CPL doit être comprise entre 10 et 20 % de la latence total (exigence SAGEM)

Boucle de vitesse : 16-32 μ s
Boucle de position : 166-333 μ s

Gabarit Do160 en émission conduite



Curve definition : Limit Level = slope * log(freq in MHz) + intercept
 Category B: F<2 MHz slope = -29.335, intercept = 48.83
 Category L,M,&H: F<2 MHz slope = -29.335, intercept = 28.83

FIGURE 21-1: MAXIMUM LEVEL OF CONDUCTED RF INTERFERENCE - POWER LINES

© Propriete de Sagem Defense Securite - Reproduction et Divulgation interdites / Disclosure and copy prohibited.

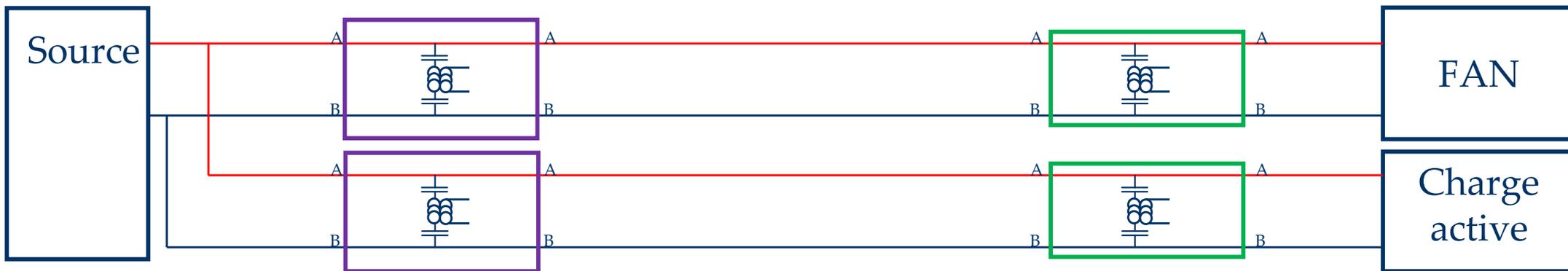


Mesures

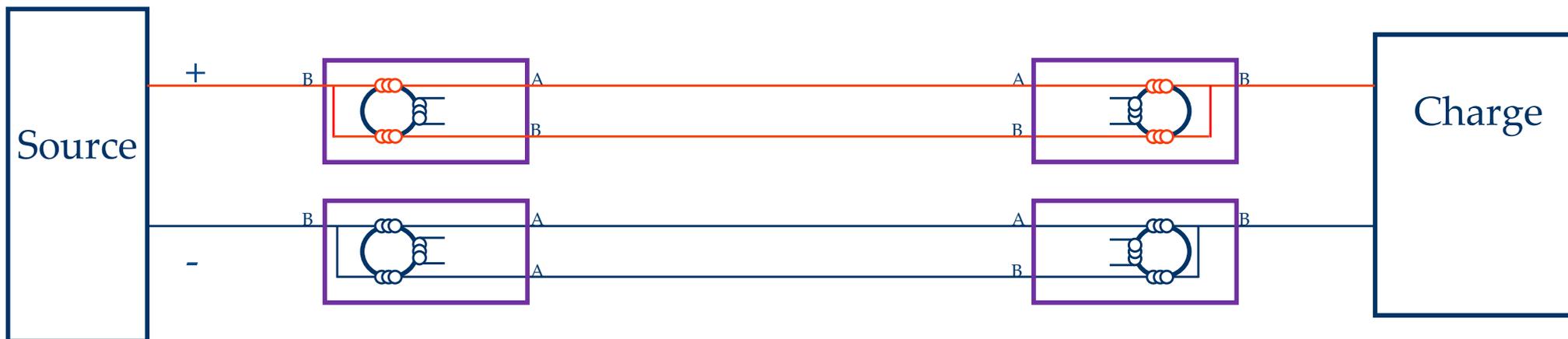
© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

- **But : mesure de bruits et de fonctions de transfert, et essais fonctionnel des modems**
- **Banc : alimentation filtré, charge active représentatives, câbles réalisé par safran engineering services (anciennement Labinal), coupleur SAGEM**

Coupleur capacitif en mode point-à-point

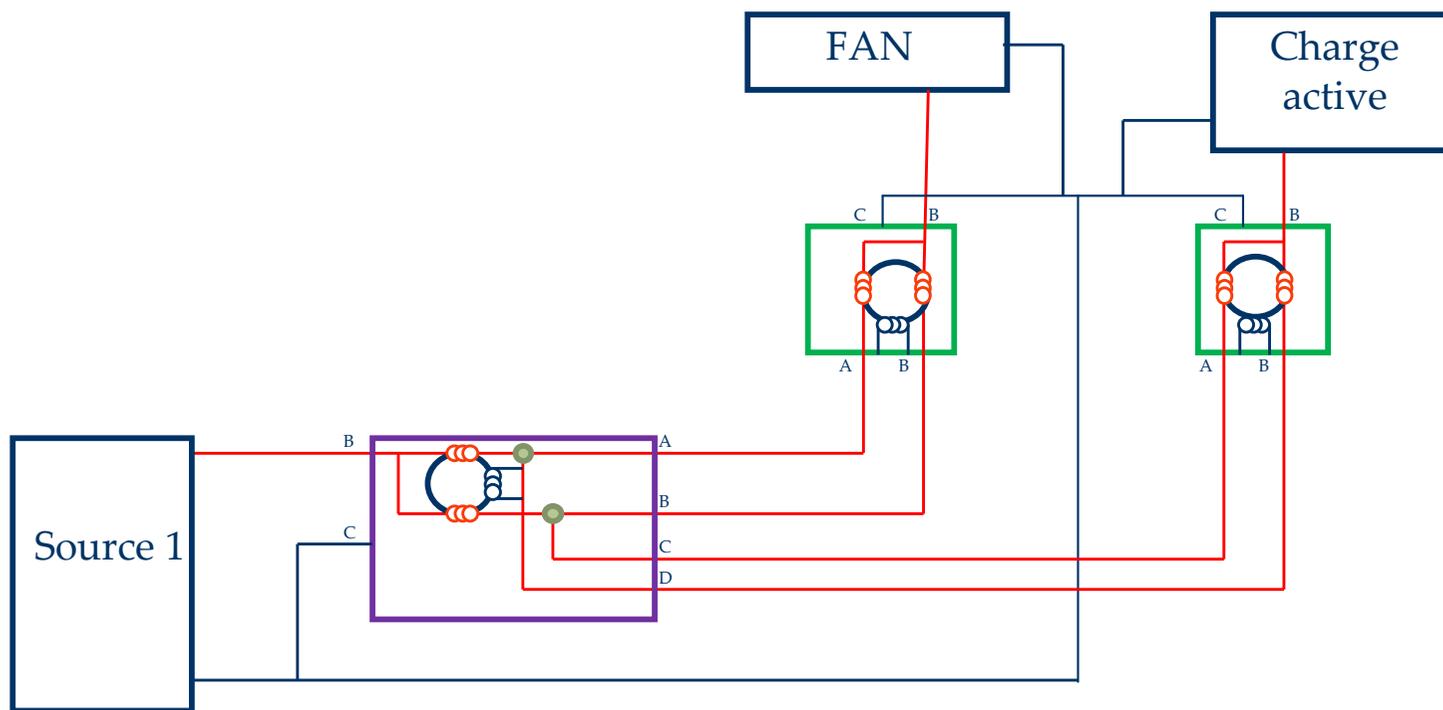


Coupleur inductif en mode point-à-point



© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Coupleur inductif en mode point-à-multipoint

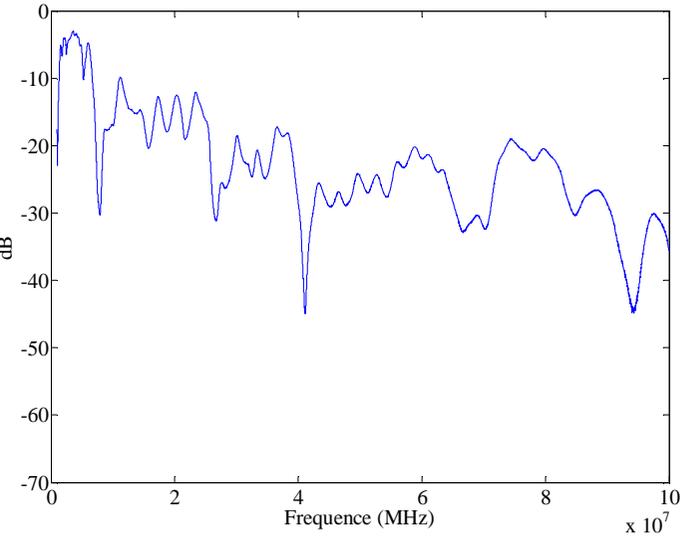


Modem maître █

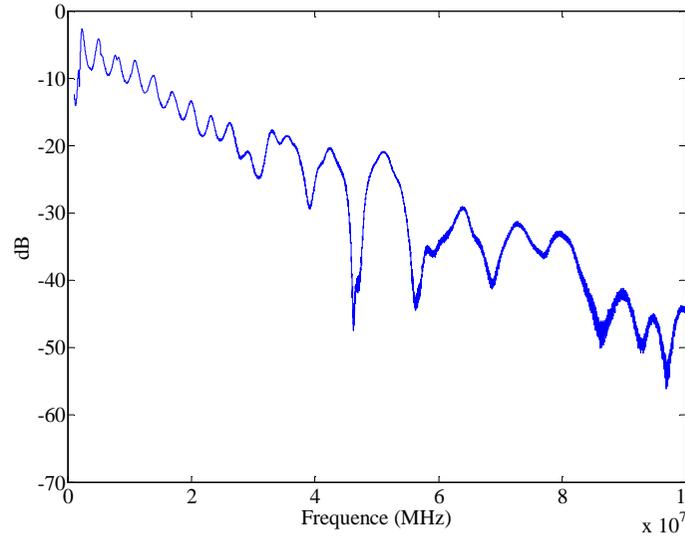
Modem esclave █

Fonctions de transfert

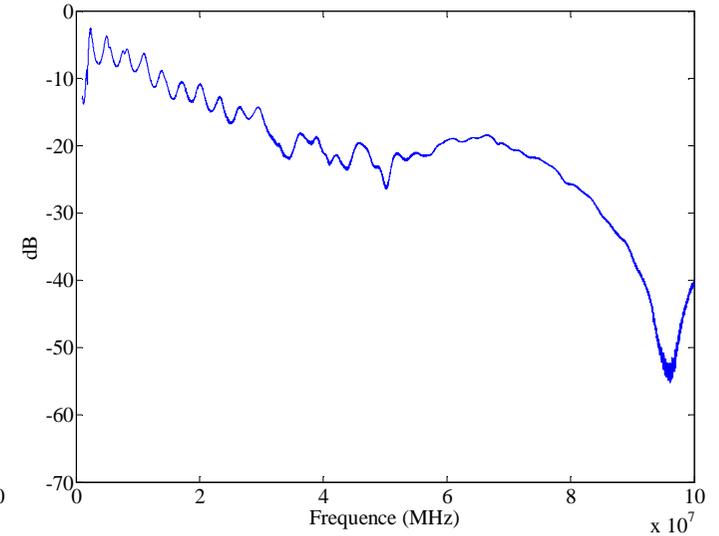
fonction de transfert pour coupleur capacitif à vide



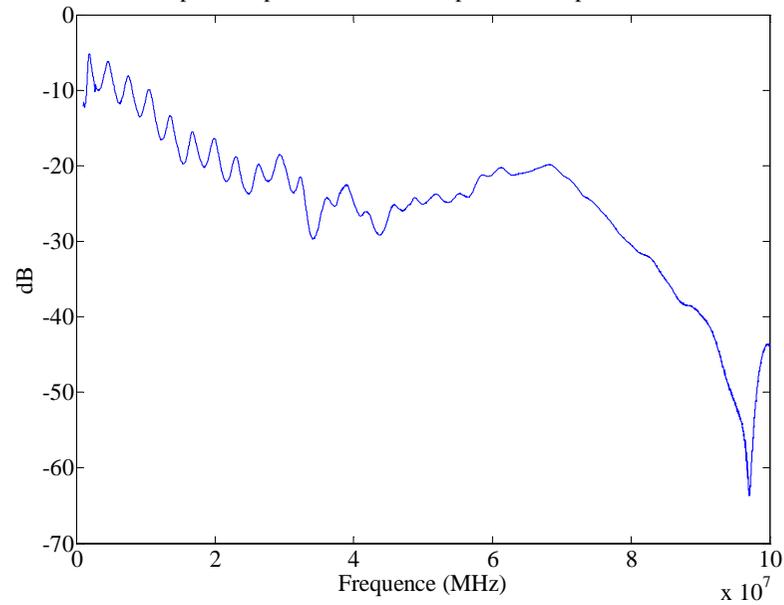
fonction de transfert pour coupleur inductif (polarité moins) à vide



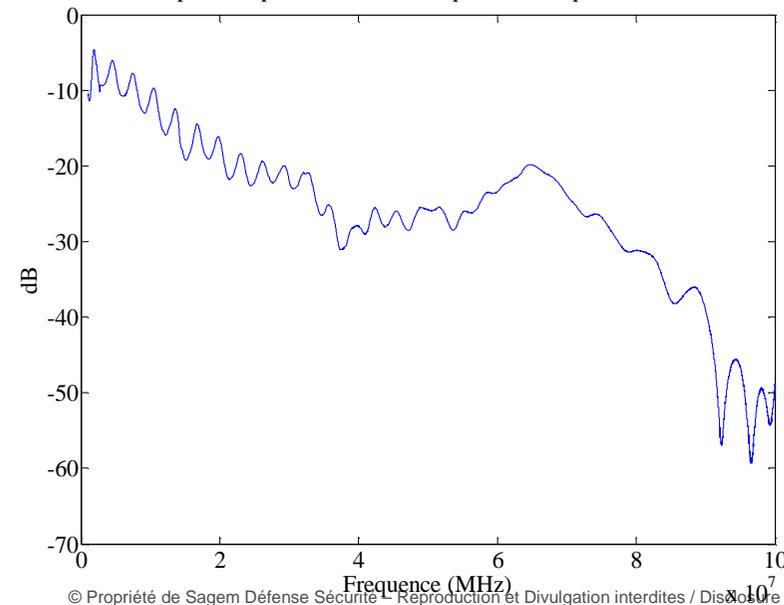
fonction de transfert pour coupleur inductif (polarité plus) à vide



fonction de transfert pour coupleur inductif mode point à multipoint liaison source CA à vide



fonction de transfert pour coupleur inductif mode point à multipoint liaison source FAN à vide



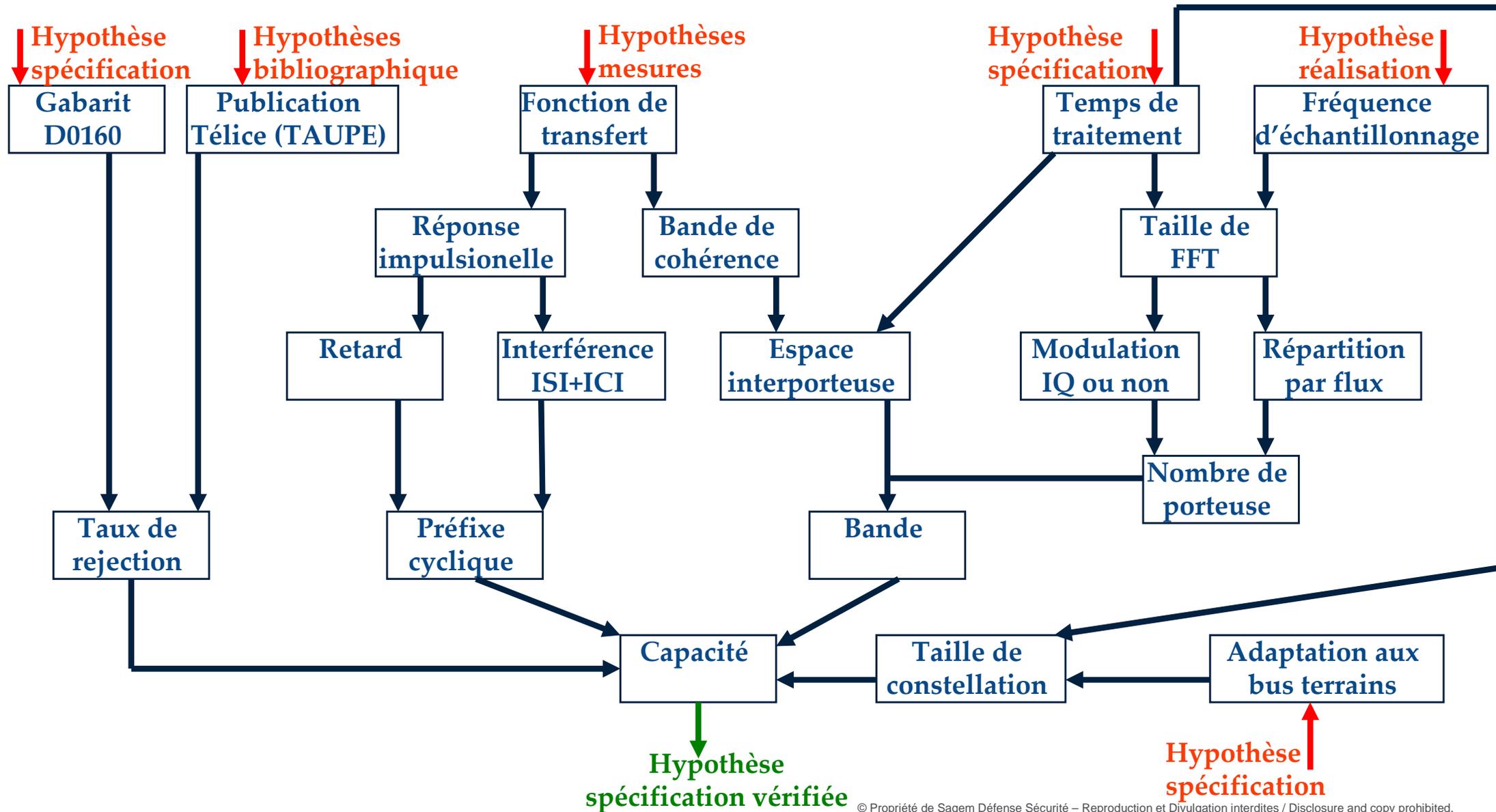
© Propriété de Sagem Défense Sécurité. Reproduction et Divulgation interdites / Disallowed and copy prohibited.



Etude paramétrique

© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Schéma synoptique du paramétrage du symbole OFDM



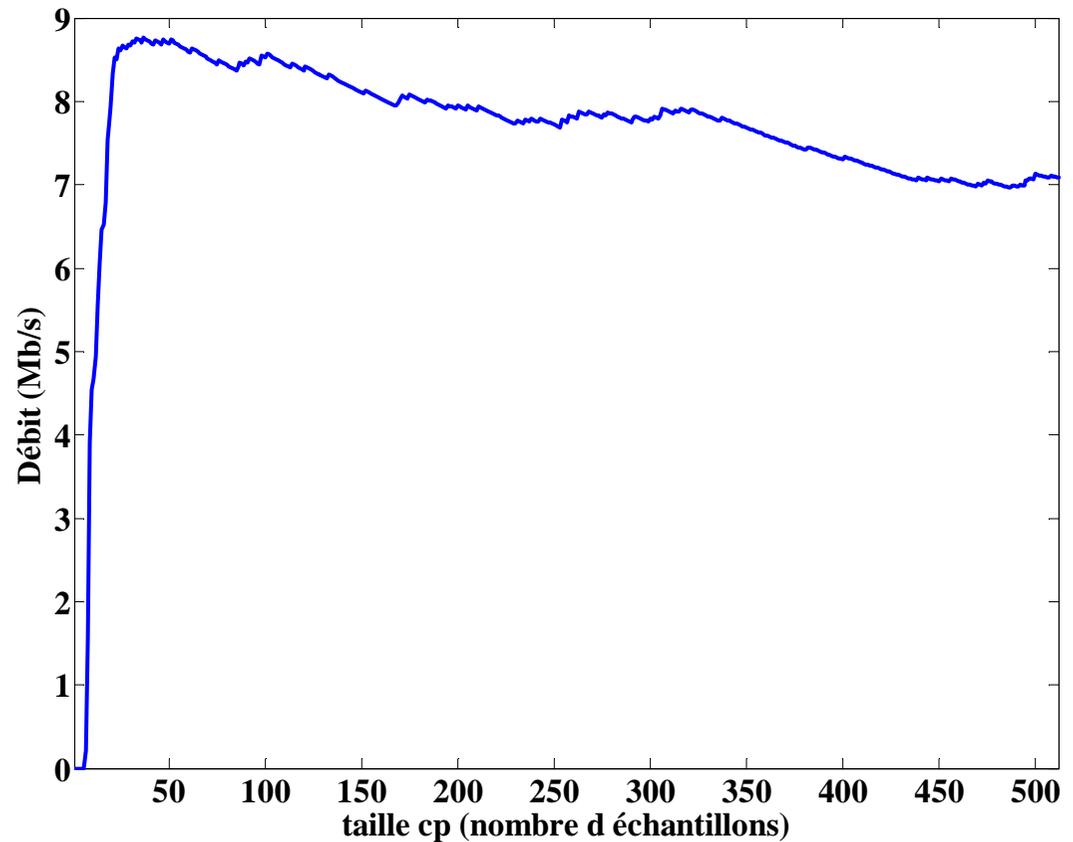
© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgation interdites / Disclosure and copy prohibited.

$$\text{Débit} = \frac{T_{FFT}}{T_{FFT} + L_{cp}} \Delta f \sum_{m=1}^N \min\left(E\left(\log_2\left(1 + \frac{|H_m|^2 \sigma_c^2}{\Gamma(\sigma_n^2 + N_{ISI+ICI}(m))}\right)\right), c\right)$$

- T_{FFT} : taille de FFT (égale au nombre de porteuses dans notre cas)
- L_{cp} : taille du préfixe cyclique
- N : nombre de porteuses
- Δf : espace interporteuse
- Γ : marge de SNR
- H_m : fonction de transfert
- σ_c^2 : variance du signal
- σ_n^2 : variance du bruit
- c : taille maximale de la constellation

Débit en fonction du CP

- $T_{\text{FFT}} = 512$
- $N = 512$
- $\Delta f = 70 \text{ kHz}$
- Bande = [1 37] MHz
- $\Gamma = 4$
- SNR : 25 dB
- H_m : coupleur inductif polarité plus à vide
- Taille de constellation maximale : BPSK



© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Dimensionnement du symbole en fonction du canal

Nombre de porteuse	Bande du signal (MHz)	Espace interporteuse (kHz)	T_{ofdm} (μs)	Nombre de porteuse pilote	Nombre de porteuse utile	Débit BPSK (10 dB taux de rejection) (MHz)	Débit BPSK (20 dB taux de rejection) (MHz)	Débit BPSK (30 dB taux de rejection) (MHz)
128	9	70,87	14,11	12	116	7,6	7,6	7,6
256	18	70,59	14,17	25	231	15,2	15,2	15,2
512	36	70,45	14,19	51	461	18,2	30,5	30,5
1024	72	70,38	14,21	102	922	18,2	60,9	60,9

- Configuration : coupleur inductif polarité plus à vide
- Porteuse pilote tous les 500 kHz
- Intervalle de garde : 400 ns
- Marge de SNR : 4
- Espace interporteuse 70 kHz (bande de cohérence divisée par 10)
- $T_{\text{ofdm}} = 1/\text{espace interporteuse} = 16 \mu\text{s}$ (respecte le cahier des charges)

© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgateion interdites / Disclosure and copy prohibited.

Hypothèses de réalisation

- **Latence calculée avec Xilinx (core generator) :**
 - Taille FFT
 - Fréquence horloge (800 MHz, SAGEM)
 - Algorithme de décimation : radix 4
- **Bande de cohérence calculée grâce aux mesures PROVEN :**
 - $B_c = 700$ kHz
 - espace inter-porteuse de 70 kHz
 - porteuses pilotes tous les 500 kHz

Dimensionnement du symbole en fonction de la réalisation

Fréquence d'horloge (MHz)	Taille FFT	Temps de traitement FFT (μ s)	Nombre de porteuse (avec symétrie hermitienne)
200	256	4,26	128
200	512	8,835	256
200	1024	17,155	512
200	2048	36,45	1024
400	256	2,13	128
400	512	4,418	256
400	1024	8,578	512
400	2048	18,225	1024
600	256	1,42	128
600	512	2,945	256
600	1024	5,7185	512
600	2048	12,15	1024
800	256	1,065	128
800	512	2,209	256
800	1024	4,289	512
800	2048	9,1125	1024

© Propriété de Sagem Défense Sécurité – Reproduction et Divulgation interdites / Disclosure and copy prohibited.

■ Symbole OFDM :

- Intervalle de garde : 400 ns
- Espace interporteuse : 70 kHz
- FFT : 1024 maximum
- Bande : [1;37] MHz minimum
- Taille de constellation : 1024-QAM

- **Simulation matlab pour vérifier la pertinence de l'étude paramétrique en terme de TEB (avec codage canal)**
- **Implantation**