

Avion composite: nouvel environnement électromagnétique dans la distribution électrique

A.Goleanu, JM.Guichon, JL.Schanen,

M.Dunand,

M.Lionet

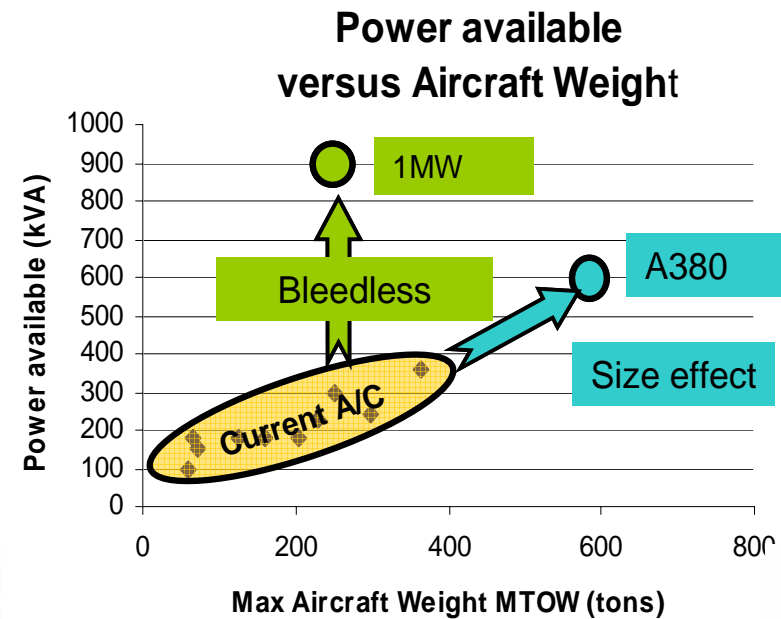
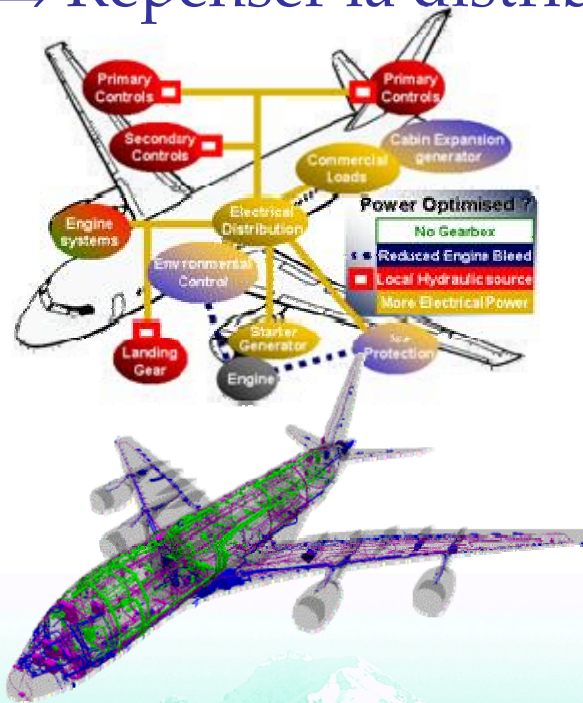


Plan de l'exposé

1. Introduction
2. Cas d'étude
3. Méthode de modélisation
4. Résultats
5. Conclusion

1- Introduction: Avion plus électrique

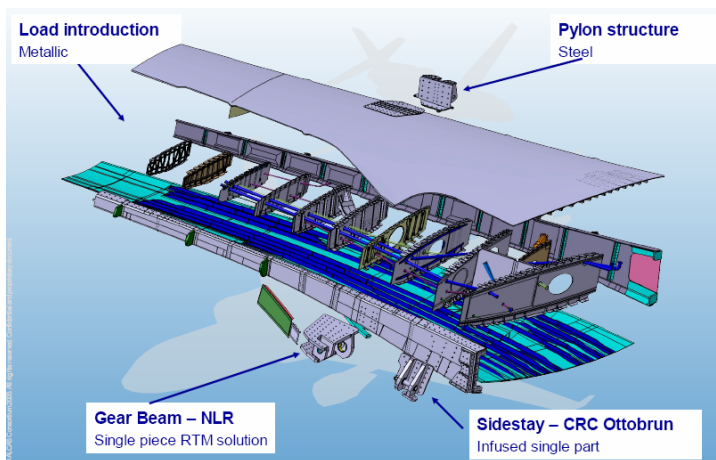
- Consommation électrique augmente (Bleedless, IFE, ...)
 - Réduire masse, consommation de kérosène
 - Maintenabilité améliorée
- ⇒ Power by Wire, avion plus électrique
- ⇒ Repenser la distribution électrique en aéronautique



1- Introduction: Avion Composite

- Gains de masse
- Rigidité
- Gain d'entretien

- Composite = assez mauvais conducteur
- Échauffements interdits



1- Introduction: des besoins de modélisation

- Nécessité de créer un référentiel électrique assurant les fonctionnalités d'une carlingue aluminium (ESN, CRN).
 - Passage des courants de retour
 - Equipotentialité
 - Ecoulement des courants de défaut
 - Écoulement des courants foudre
 - Protection HIRF, CEM.
- Garantir les contraintes sur le matériau
 - Circulation de courant, échauffements
 - Courants induits par proximité
- Maitriser la sécurité électrique
 - Fonctionnement dégradé du référentiel électrique

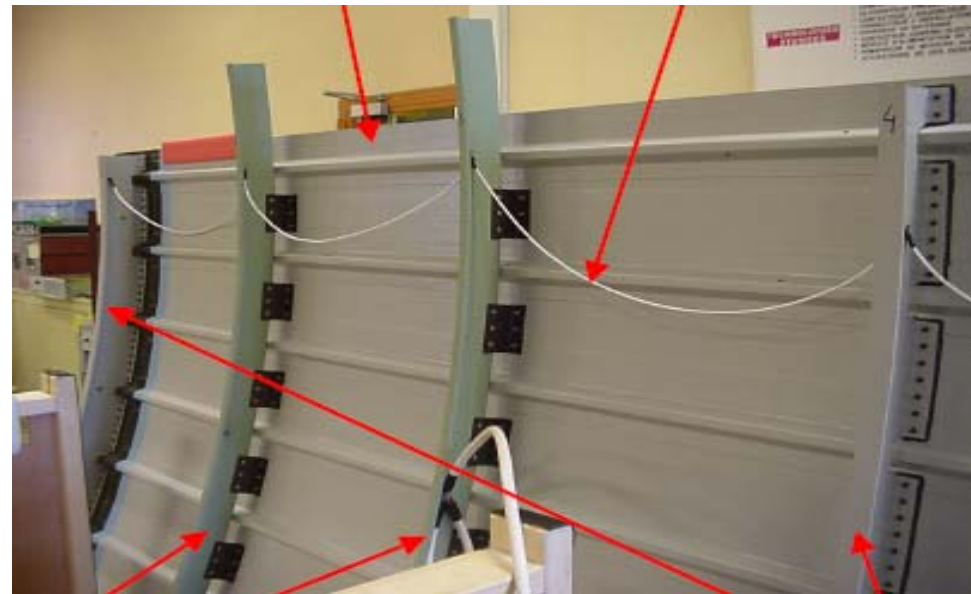
Nécessité de pouvoir modéliser un ensemble câble/composite

2- Cas d'étude

- Maquette composée de:
 - Câbles (harnais)
 - Peau composite
 - Cadres Carbone
- Courbure négligée
- Câble rectiligne

Fuselage en carbone

Harnais de puissance

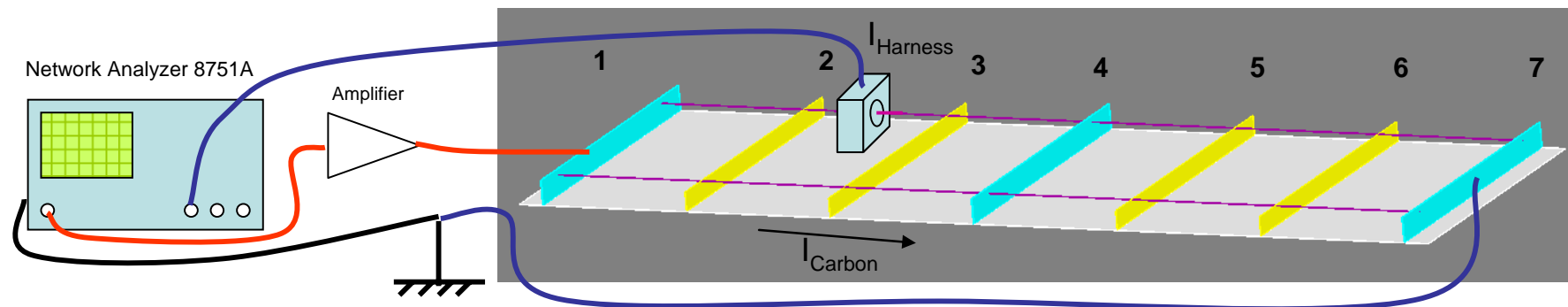


Cadres métalliques connectés au fuselage par des connexions carbone-carbone

Cadres métalliques connectés au fuselage par des connexions métal-carbone

2- Cas d'étude

- Test: excitation électrique
 - Alimentation entre les Cadres 1 et 7
 - Mesure du courant sur le câble en différents endroits
 - Courant peau obtenu par différence $I_{\text{peau}} = I_{\text{tot}} - I_{\text{câble}}$
 - Précaution de câblage pour le circuit externe (influence négligée)
 - Gamme de fréquence investiguée: DC-100 kHz

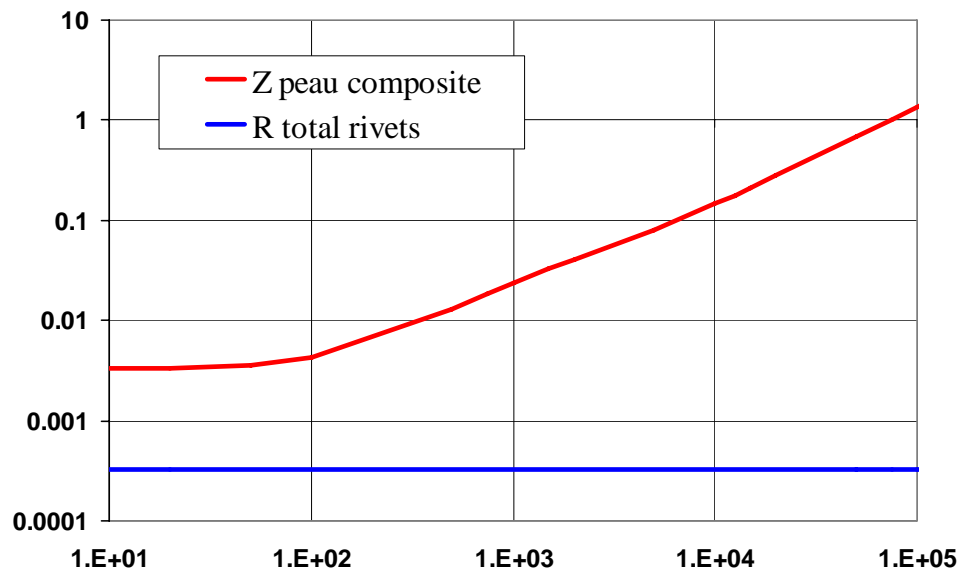


2- Cas d'étude

- Gamme de fréquence investiguée: DC-100 kHz
 - 28VDC : Petites puissances
 - 115 VAC : Fortes puissances classiques
 - 270VDC : Fortes puissances APE
 - 230 VAC : Fortes puissances APE
 - Fréquence variable 400-800Hz
 - Onduleurs, Convertisseurs
 - Harmoniques
 - Impact de foudre
 - ...

2- Cas d'étude: simplifications

- Influence des rivets négligée (Cadres – Peau)



A toutes fréquences $Z_{\text{peau}} \gg R_{\text{rivets}}$

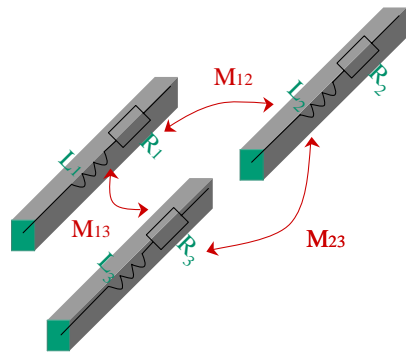
\Rightarrow Connexion idéalisée
(équipotentielle) Cadres - peau

3- Méthode de modélisation

- Choix d'une méthode
 - Différences finis, Eléments finis (FDTD)
 - Lourdeur de mise en œuvre pour des grands systèmes (maillage de l'air)
 - Temps de calcul importants.
 - Méthode des moments, (MoM)
 - Maillage des conducteurs uniquement (Faible nombre d'inconnues)
 - Plutôt utilisée en calcul de champs,
 - Faible convergence en basses fréquences
 - Partial Element Equivalent Circuit (PEEC)
 - Maillage des conducteurs uniquement (Faible nombre d'inconnues)
 - Exploitation directe sous forme de schéma électrique
 - Bon candidat potentiel

3- Méthode de modélisation

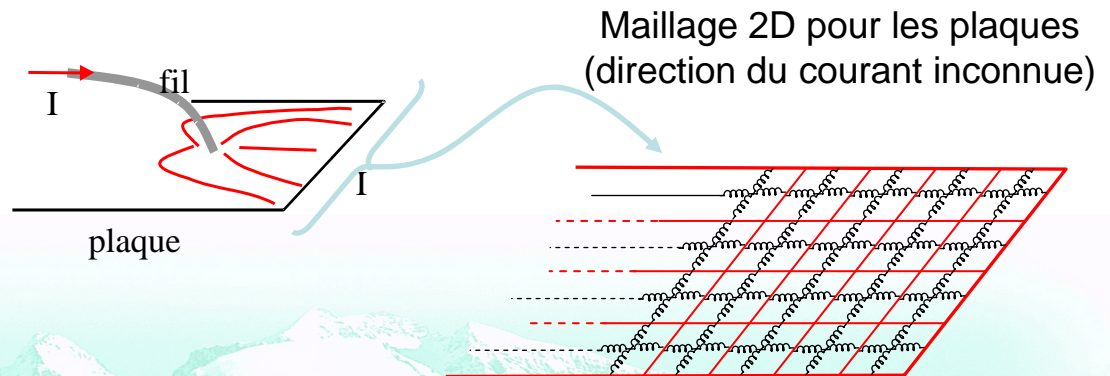
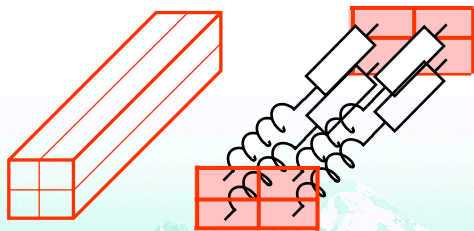
- Méthode PEEC
 - Chaque élément du circuit électrique est décrit comme un circuit R, L auquel il faut associer les couplages avec les autres éléments



$$[V] = [Z][I] \quad \text{avec} \quad [Z] = \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & R_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} + j\omega \begin{bmatrix} \ddots & & \\ & M_{ij} & \\ & & \ddots \end{bmatrix}$$

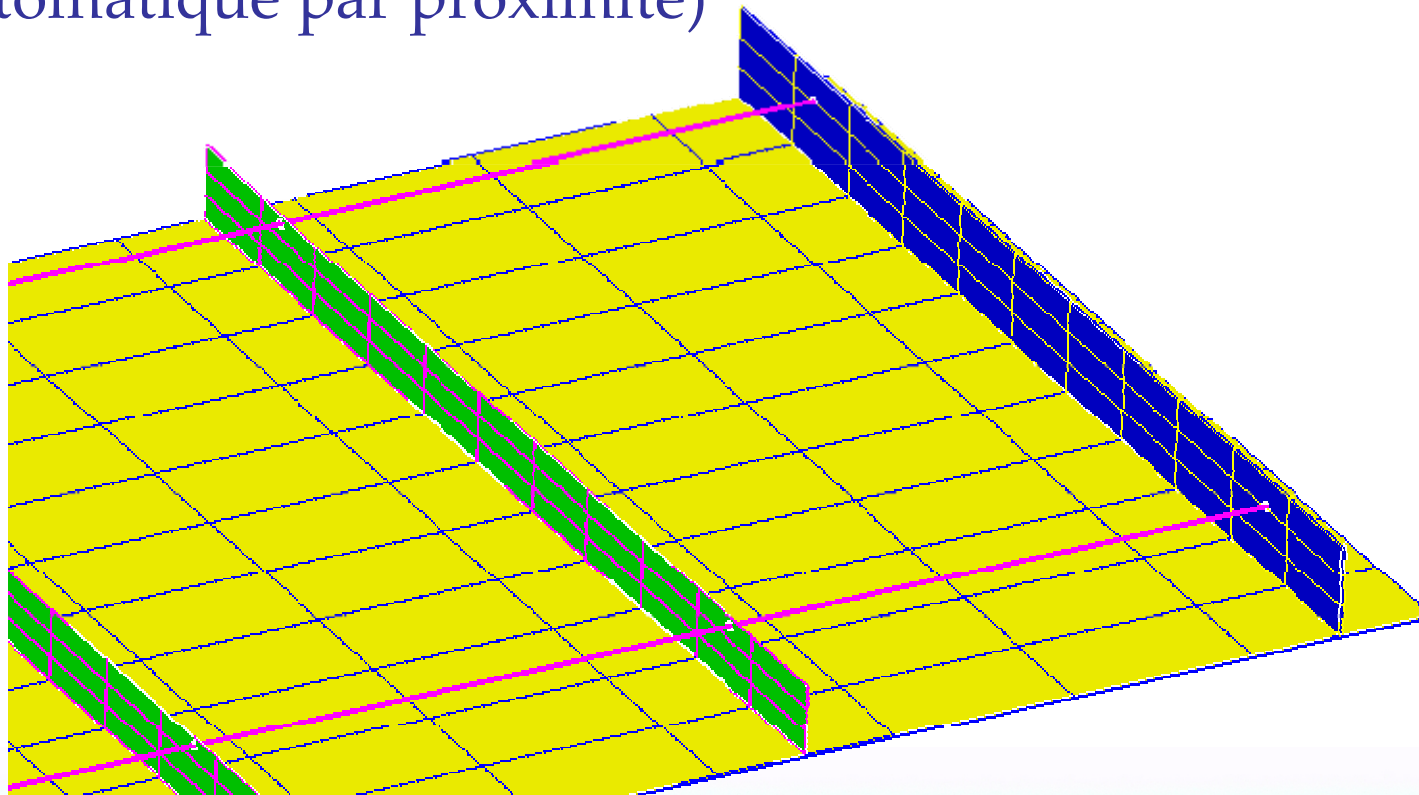
- Pour des géométries complexes ou pour prendre en compte les effets de la fréquence : maillage

Maillage 1D
(Direction du courant connue)



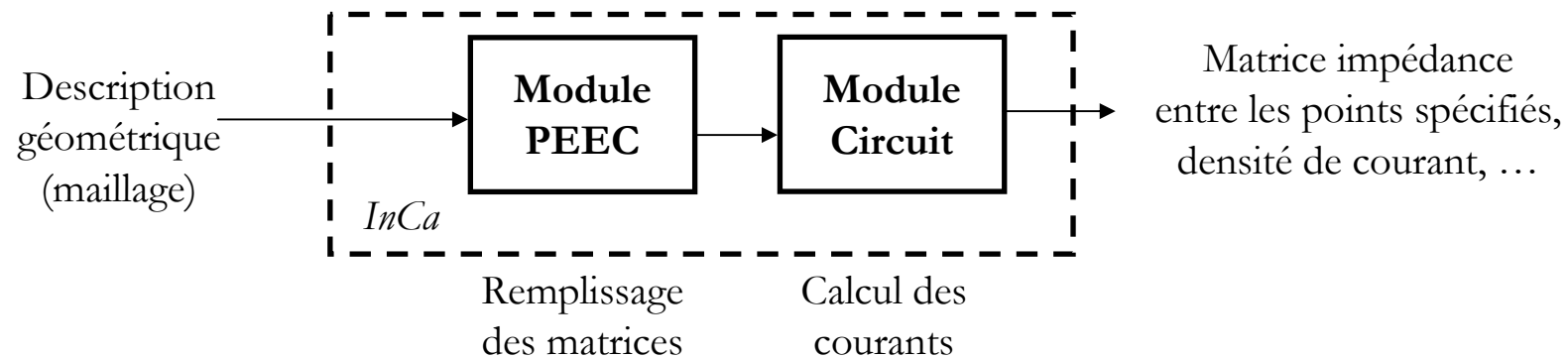
3- Méthode de modélisation

- Plaque maillée en 2D, cadres en 2D, câbles en 1D
- Connexion point à point des maillages cadres-peau (automatique par proximité)



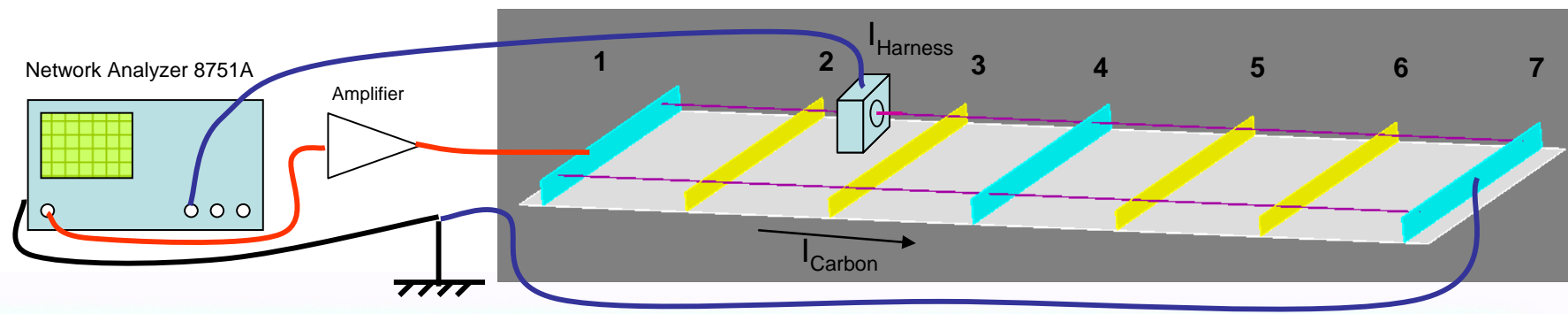
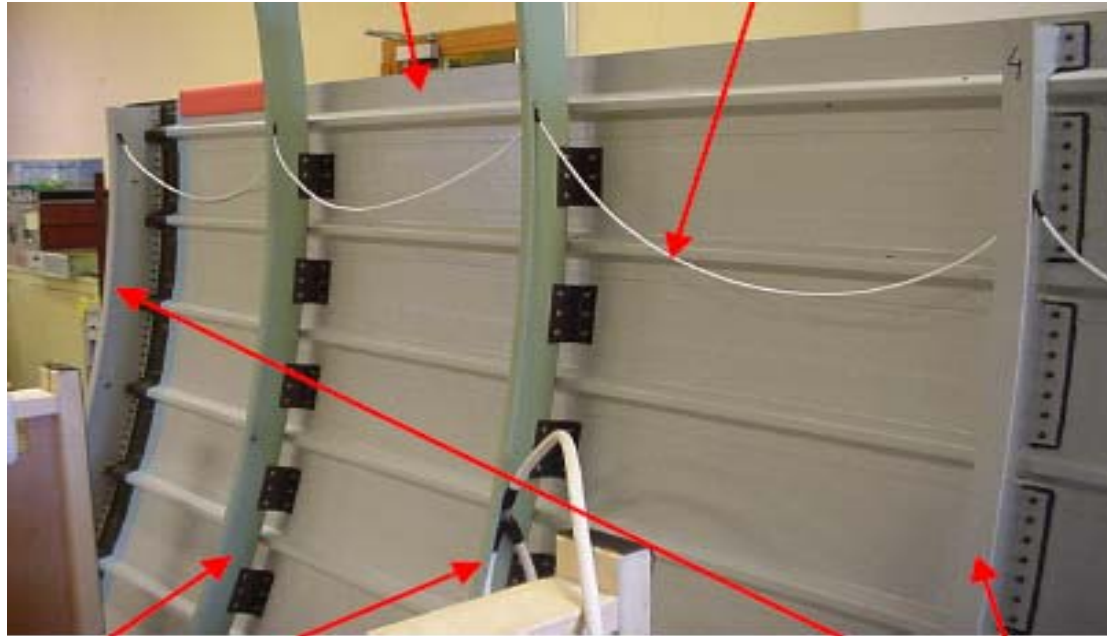
3- Méthode de modélisation

- Maillage 2D => nombre élevé d'éléments (reste raisonnable vis-à-vis de la MEF)
- Méthode PEEC => prise en compte des couplages impérative => Matrices pleines
- Solveur circuit dédié implanté dans l'outil PEEC utilisé



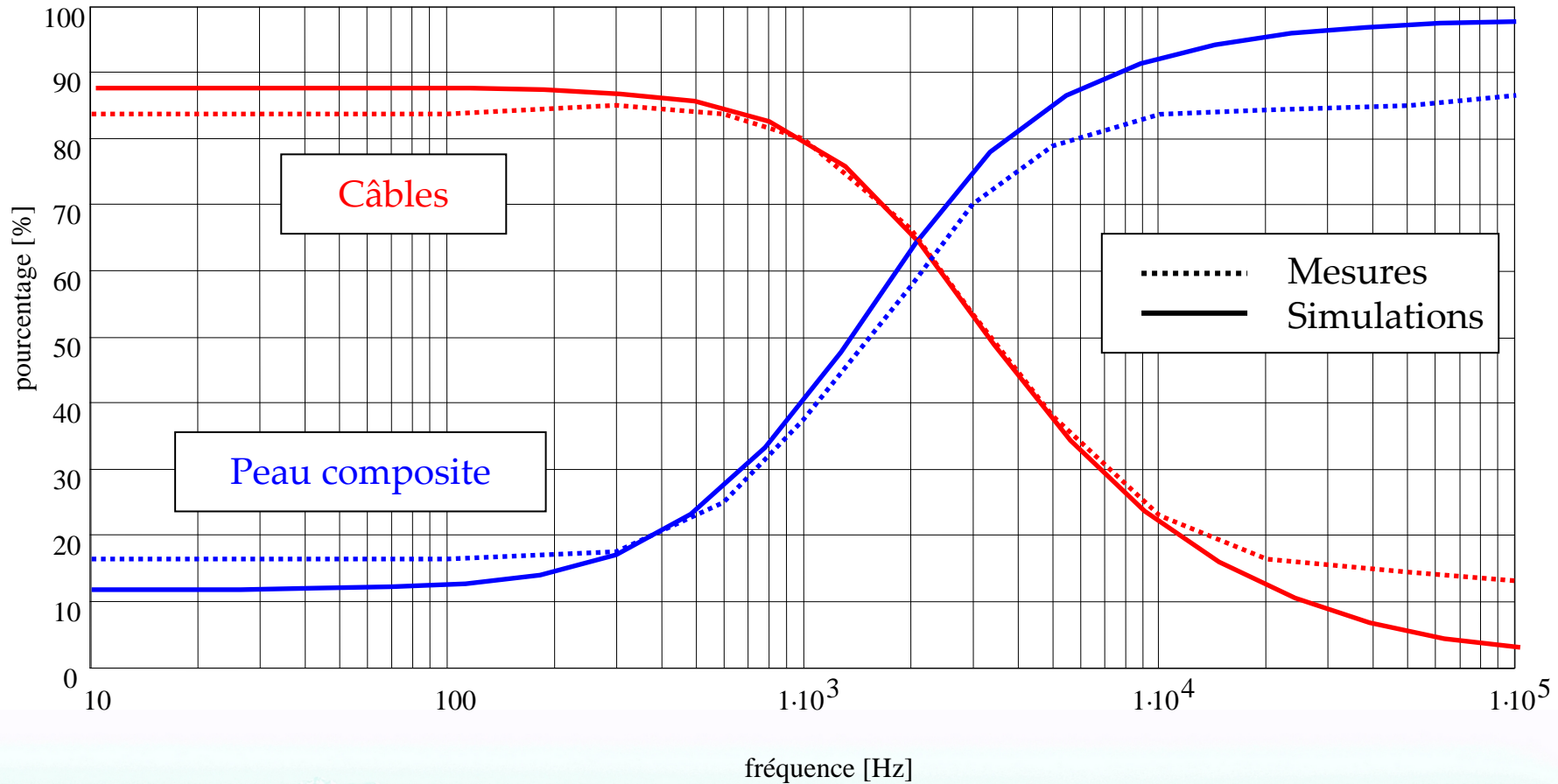
- Impossible de traiter tout un avion actuellement (programmes de recherche déposés et/ou en cours)

4- Résultats



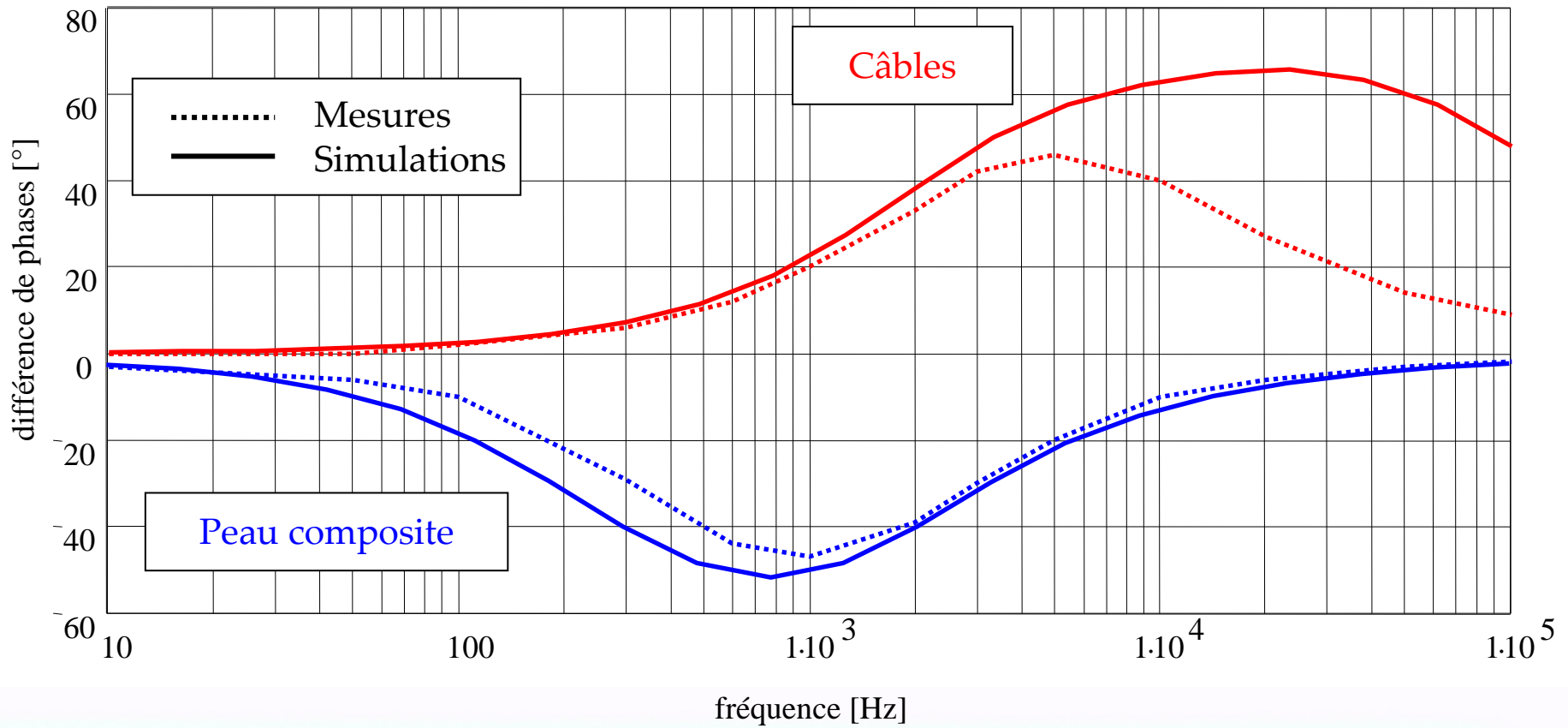
4- Résultats

- Comparaison avec la mesure – module $\frac{I_{c\grave{a}ble}}{I_{tot}}$ et $\frac{I_{peau}}{I_{tot}}$



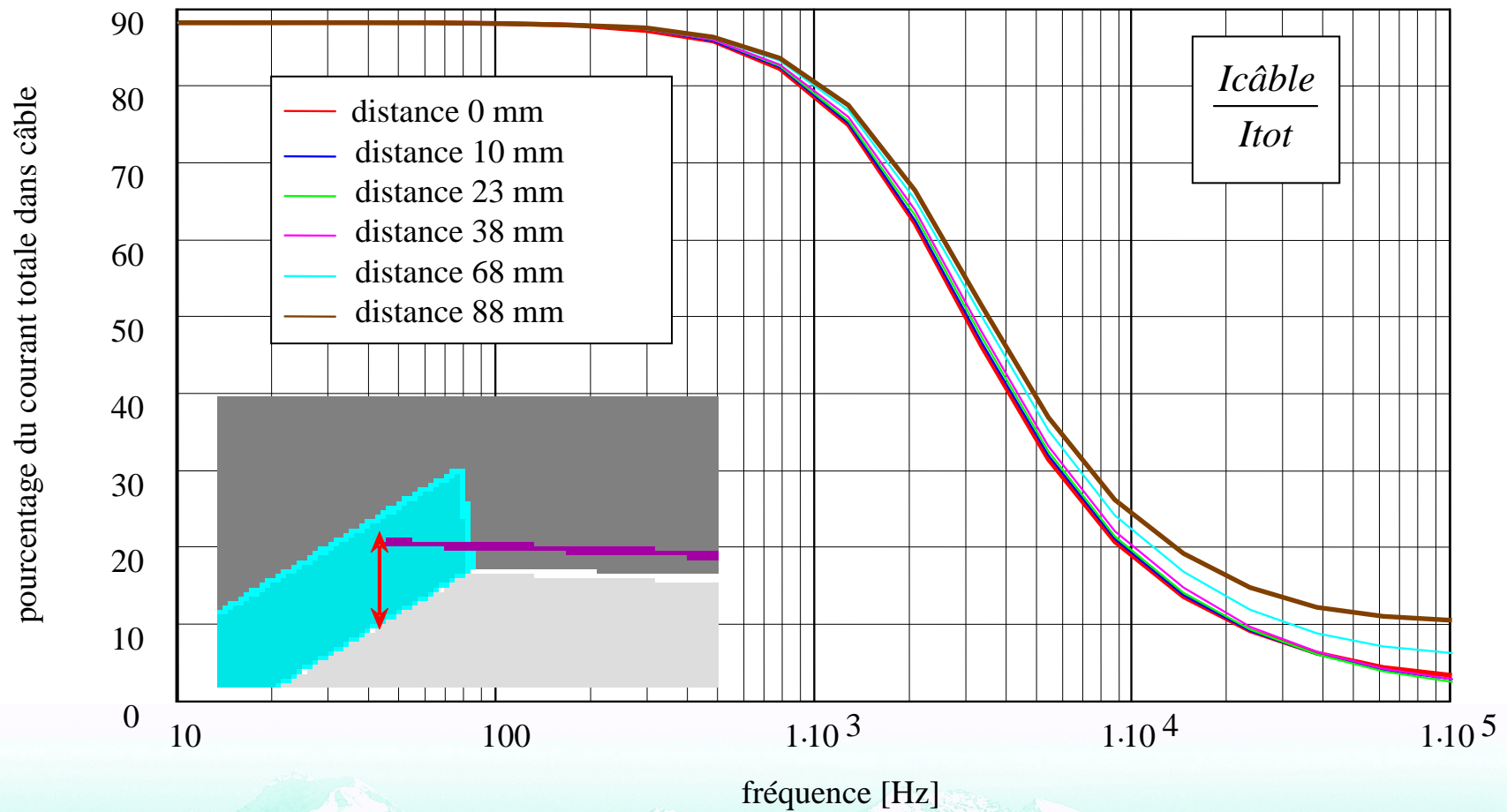
4- Résultats

- Comparaison avec la mesure – phase $\frac{I_{c\grave{a}ble}}{I_{tot}}$ et $\frac{I_{peau}}{I_{tot}}$



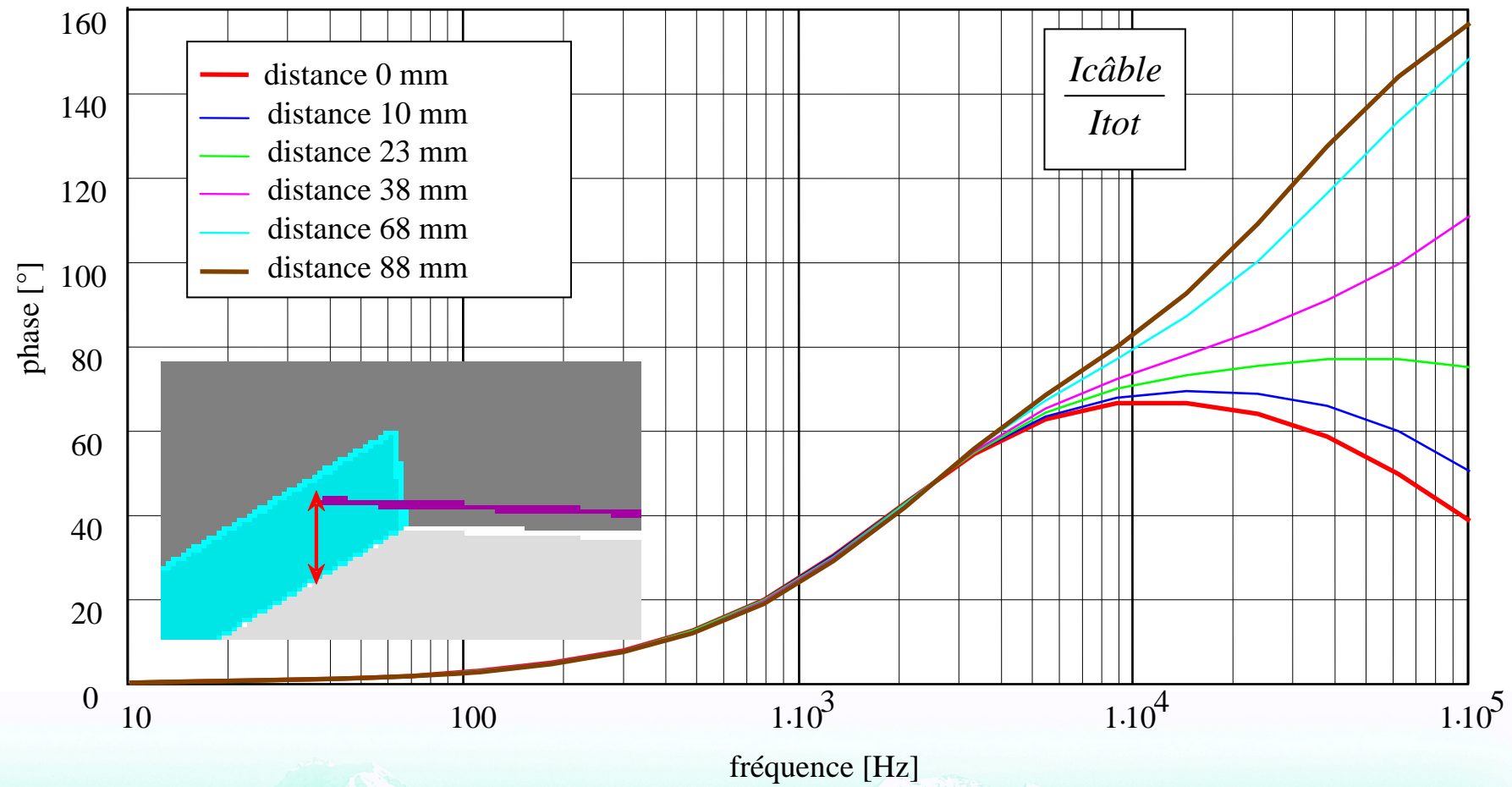
4- Résultats

- Etude de sensibilité: influence de la distance câble-peau



4- Résultats

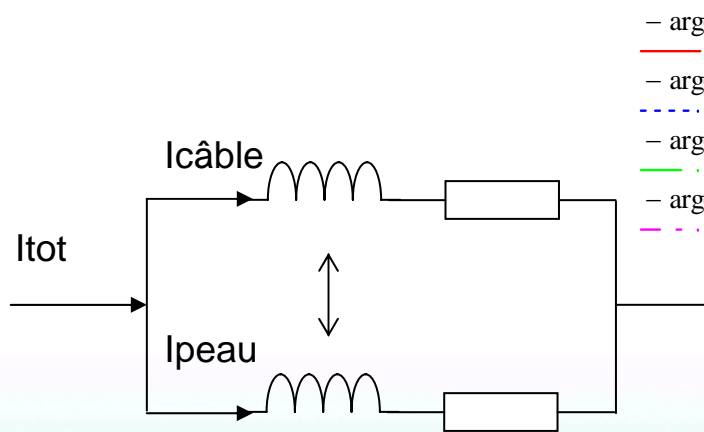
- Etude de sensibilité: influence de la distance câble-peau



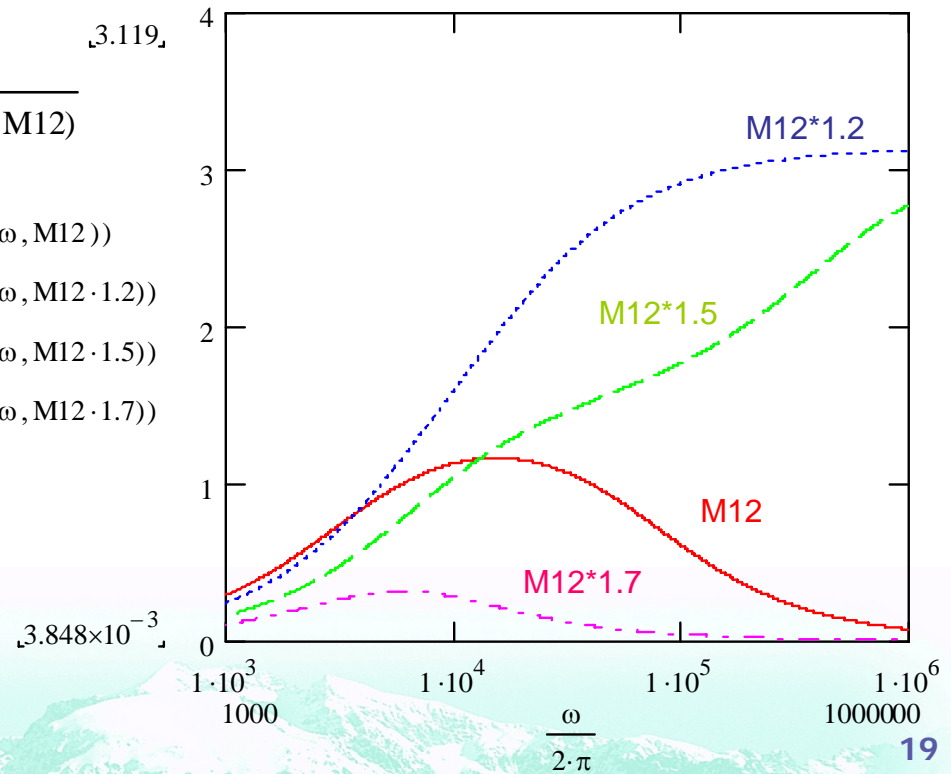
4- Résultats

- Forte sensibilité de la phase (effet des couplages)
- Le déphasage peut atteindre 180° en haute fréquence (courant câble de sens inverse au courant total => courant peau bien supérieur) ($I_{\text{peau}} = I_{\text{tot}} - I_{\text{câble}}$)

$$I_{\text{cable_Itot}}(\omega, M12) := \frac{R2 - MR12 + 1i \cdot \omega \cdot (L2 - M12)}{R1 + R2 - 2 \cdot MR12 + 1i \cdot \omega \cdot (L1 + L2 - 2 \cdot M12)}$$



- arg(Icable_Itot(ω, M12))
- arg(Icable_Itot(ω, M12 · 1.2))
- arg(Icable_Itot(ω, M12 · 1.5))
- arg(Icable_Itot(ω, M12 · 1.7))

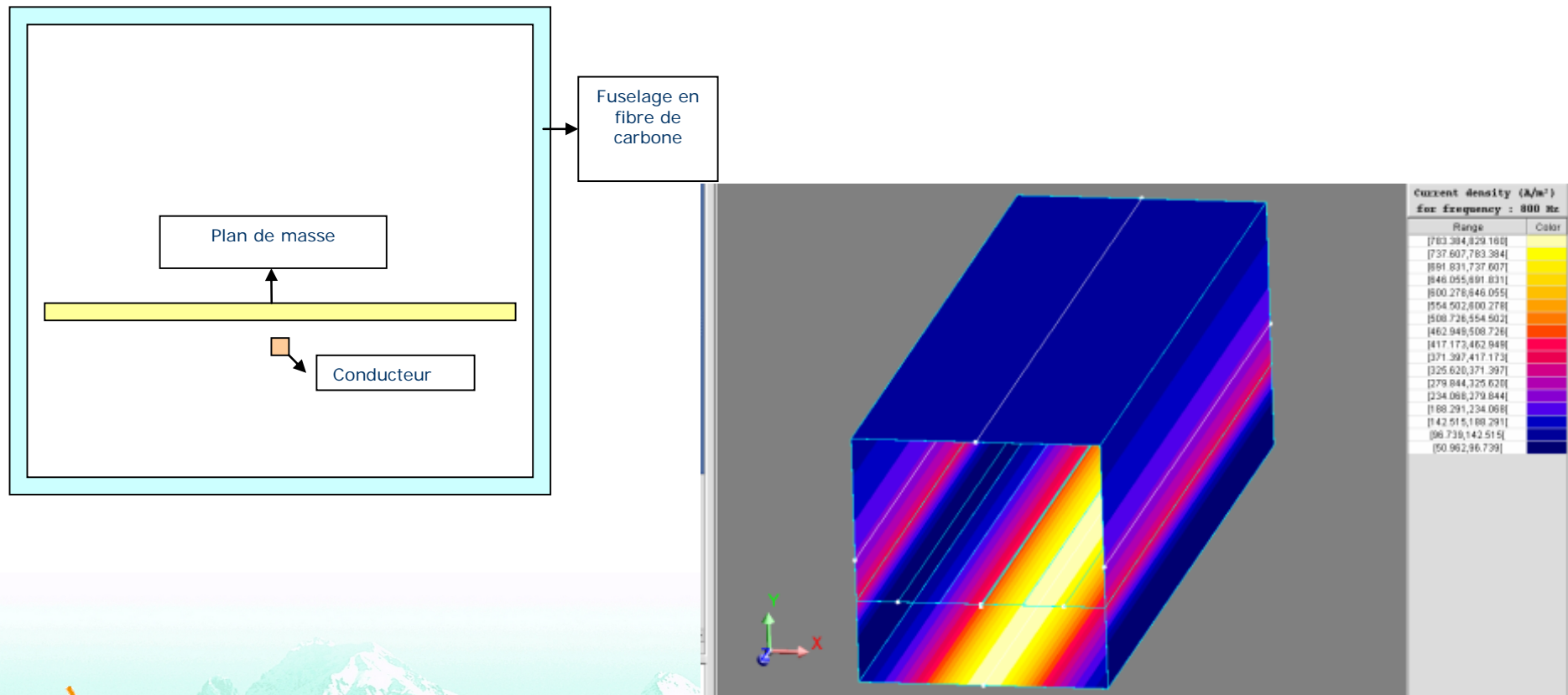


5- Conclusion

- Méthode PEEC apte à traiter ce type de configuration (modification de certaines formulations analytiques)
- Forte sensibilité des déphasages aux distances câble peau (effet des couplages en HF)
- La taille du problème est limitée par le nombre d'éléments du maillage des conducteurs (essentiellement peau et cadres en 2D) – matrices pleines

5- Conclusion

- Possibilité de prise en compte de conducteurs « aller »
- Possibilité de connaître les densités de courant

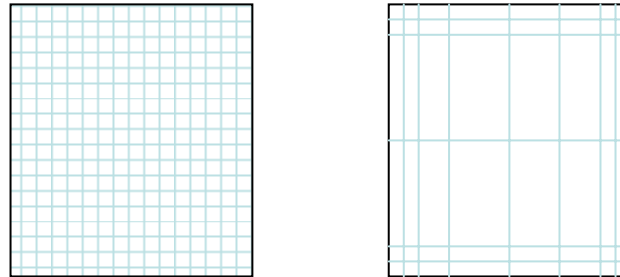


5- Perspectives

- La méthode PEEC semble être un candidat intéressant pour modéliser les retours de masse dans les avions composites
 - Maillage des conducteurs uniquement
 - Validation expérimentale
 - Accès aux répartitions de courant
 - Prise en compte du réseau « aller » aisée (conducteurs non maillés), importance forte de ces conducteurs « aller »
 - Règles de câblage possibles
- Mais
 - Matrices pleines
 - Nombre d'éléments limités
 - Méthode doit être adaptée pour traiter un gros système

5- Perspectives

- Des pistes d'évolution...
 - Maillage adapté



- Simplifications géométriques (exemple rivets)
- *Prise en compte simplifiée des couplages avec des éléments lointains (développements multipolaires)*