



CEVAA

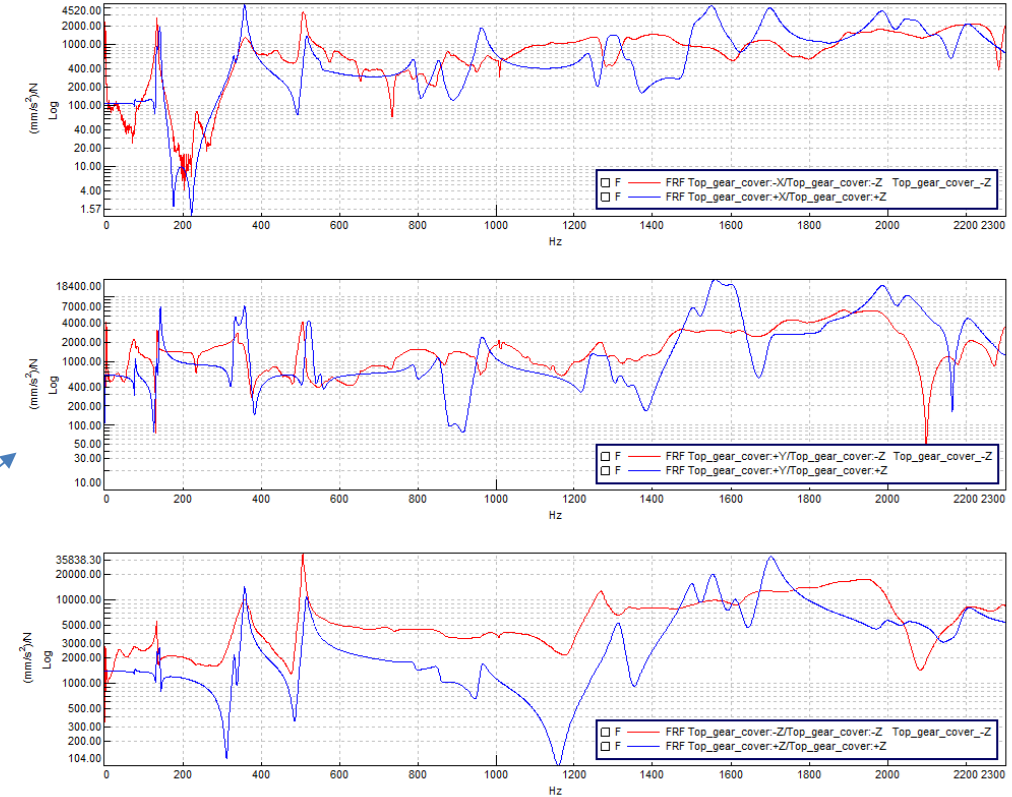
CENTRE D'EXPERTISE ET D'ESSAIS
VIBRATION / ACOUSTIQUE / FIABILITÉ

Présentation

- Aujourd'hui les outils de corrélations essais/calcul sont basés principalement sur le MAC (Modal Assurance Criterion).
- Décliné ensuite sous différentes formulations (COMAC, ECOMAC, IMAC etc.), il permet de vérifier le degré de linéarité entre des vecteurs modaux et comparer les déformées modales de deux bases.
- L'information fréquentielle n'est pas apparente pour ce critère.
- D'autres critères, dérivés du principe du MAC, se basent directement sur les FRF (Fonctions de Réponses en Fréquences) ou font apparaître l'information de fréquence, tels que le FMAC, FRAC ou FDAC.

Recalage de FRF

- La comparaison des FRF est souvent réalisée en les superposant, sans utilisation de critères.
- La notion de corrélation est donc plutôt subjective et peut parfois mener à des erreurs d'appréciation.
- L'utilisation de critères pourrait amener de l'objectivité dans la confrontation des résultats et ainsi augmenter la confiance dans les recalages.



Quelle est la qualité de corrélation dans un cas de figure tel que celui-ci ?

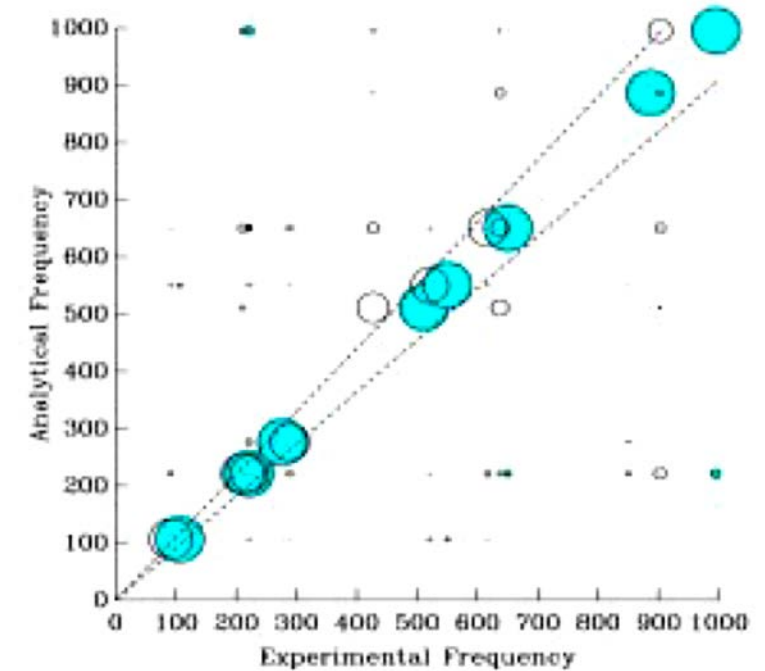
Certaines fréquences semblent correctes mais les amplitudes diffèrent.

Quelles est la limite fréquentielle de validité si corrélation il y a ?

Confrontation de FRF numériques (bleues) et expérimentales (rouge)

Graphique FMAC (Frequency Modal Assurance Criterion)

- A la différence des critères FRAC and FDAC, le FMAC n'est pas calculé à partir des FRF.
- Il est une façon de représenter les résultats MAC avec comme échelles les fréquences expérimentales et numériques.



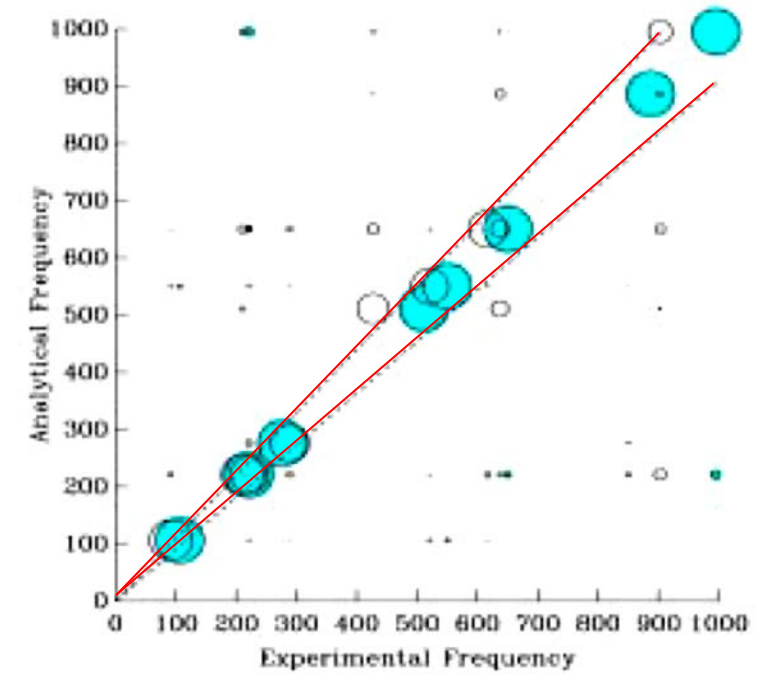
Graphique FMAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

Graphique FMAC (Frequency Modal Assurance Criterion)

- A la différence des critères FRAC and FDAC, le FMAC n'est pas calculé à partir des FRF.
- Il est une façon de représenter les résultats MAC avec comme échelles les fréquences expérimentales et numériques.

Écart de $\pm 10\%$ en fréquence



Graphique FMAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

FRAC (Frequency Response Assurance Criterion)

- Il se base un calcul équivalent au COMAC mais appliqué entre les FRF numériques et expérimentales.
- La méthode basée sur les FRF présente quelques avantages:
 - Celles-ci sont plus facile à obtenir que les vecteurs propres (demandant une analyse modale)
 - Si les mesures sont bruitées, il est souvent difficile d'extraire correctement les vecteurs modaux, alors que certaines FRF restent exploitables.
 - Des dispersions peuvent apparaître lors de l'analyse modale suivant la sélection des pôles, ce qui n'est pas le cas pour les FRF.
- Compare les mêmes fréquences pour les FRF expérimentales et numériques, il est donc sensible aux décalages fréquentiels des modes.
- De même que le COMAC il permet notamment de valider la pertinence de la sélection des degrés de liberté pour les recalages.

$$FRAC(j, k) =$$

$$\frac{\left| \{A H_{jk}(\omega)\}^T \{X H_{jk}(\omega)\}^* \right|^2}{\left(\{A H_{jk}(\omega)\}^T \{A H_{jk}(\omega)\} \right) \left(\{X H_{jk}(\omega)\}^T \{X H_{jk}(\omega)\}^* \right)}$$

$A H_{jk}(\omega)$: FRF numériques aux fréquences numériques ω pour les degrés de liberté j et k

$X H_{jk}(\omega)$: FRF expérimentales aux fréquences expérimentales ω pour les degrés de liberté j et k

FDAC (Frequency Domain Assurance Criterion)

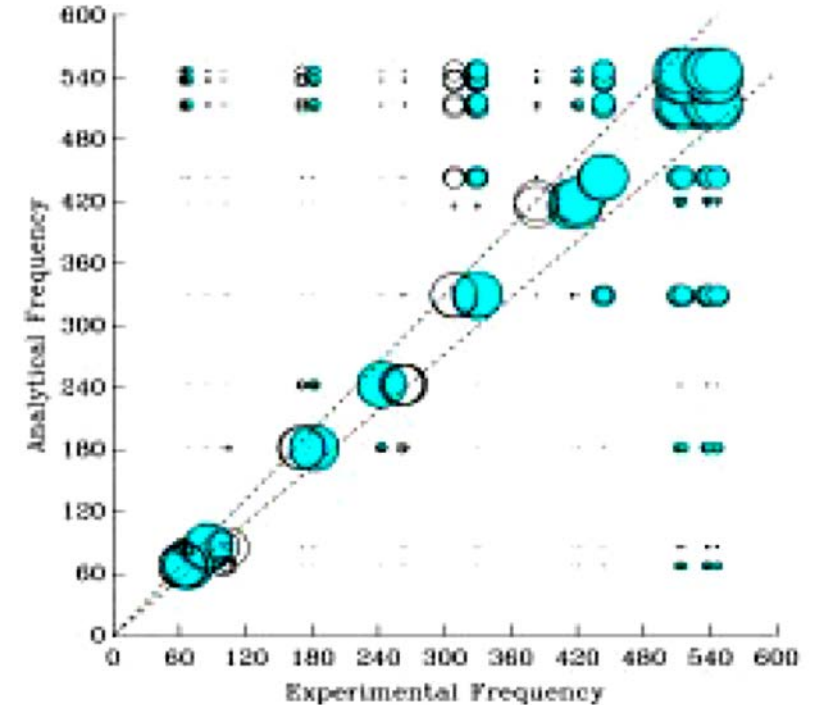
- De la même manière que le FRAC, le FDAC est un outil calculé à partir des FRF numériques et expérimentales.
- Il s'apparente au MAC puisqu'il est calculé pour chaque vecteur.
- Sa formulation permet cependant d'appairer deux FRF dont les phases sont opposées, ce qui n'est pas souhaitable du point de vue physique.

$$FDAC_{A\omega, X\omega} =$$

$$\frac{\left(\{A H(A\omega)\}^T \{X H(X\omega)\}^* \right)^2}{\left(\{A H(A\omega)\}^T \{A H(A\omega)\}^* \right) \left(\{X H(X\omega)\}^T \{X H(X\omega)\}^* \right)}$$

$A H(A\omega)$: FRF numériques aux fréquences numériques $A\omega$

$X H(X\omega)$: FRF expérimentales aux fréquences expérimentales $X\omega$



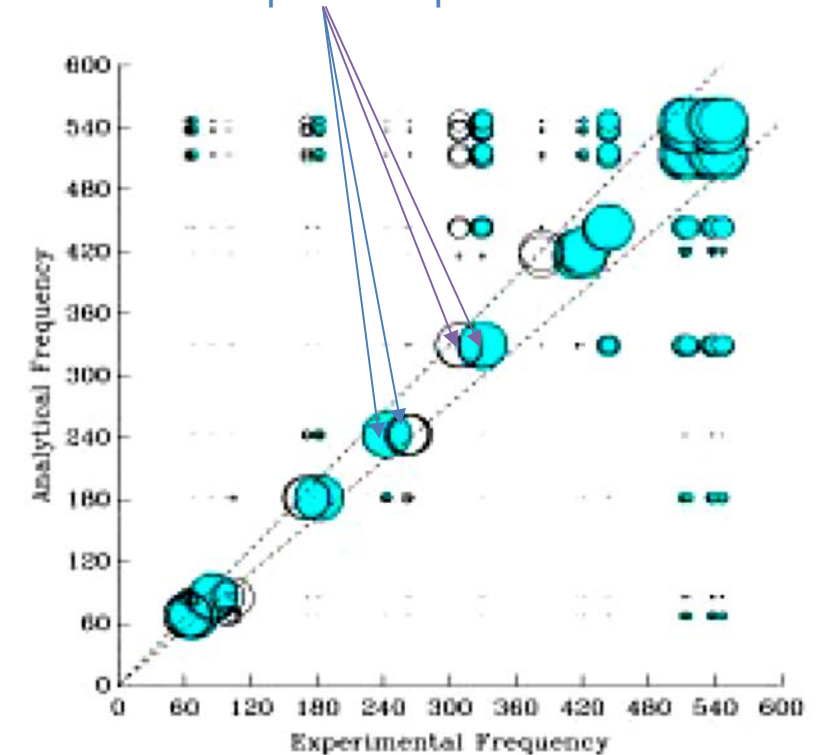
Graphique FDAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

FDAC (Frequency Domain Assurance Criterion)

- De la même manière que le FRAC, le FDAC est un outil calculé à partir des FRF numériques et expérimentales.
- Il s'apparente au MAC puisqu'il est calculé pour chaque vecteur modal.
- Sa formulation permet cependant d'appairer deux FRF dont les phases sont opposées, ce qui n'est pas souhaitable du point de vue physique.

Écarts fréquentiels entre numérique et expérimental

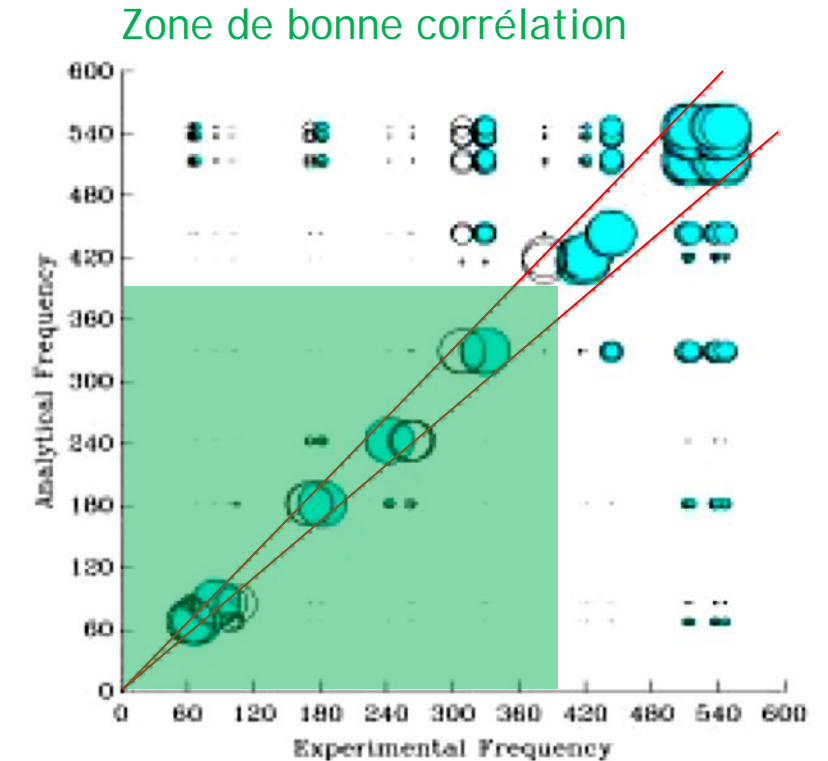


Graphique FDAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

FDAC (Frequency Domain Assurance Criterion)

- De la même manière que le FRAC, le FDAC est un outil calculé à partir des FRF numériques et expérimentales.
- Il s'apparente au MAC puisqu'il est calculé pour chaque vecteur modal.
- Sa formulation permet cependant d'appairer deux FRF dont les phases sont opposées, ce qui n'est pas souhaitable du point de vue physique.

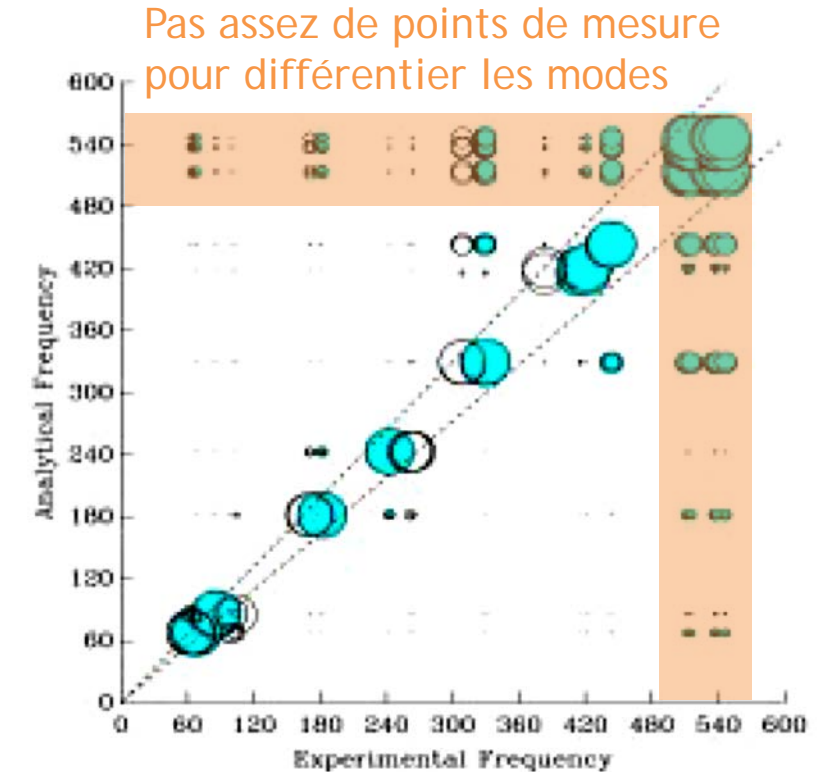


Graphique FDAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

FDAC (Frequency Domain Assurance Criterion)

- De la même manière que le FRAC, le FDAC est un outil calculé à partir des FRF numériques et expérimentales.
- Il s'apparente au MAC puisqu'il est calculé pour chaque vecteur modal.
- Sa formulation permet cependant d'appairer deux FRF dont les phases sont opposées, ce qui n'est pas souhaitable du point de vue physique.



Graphique FDAC avec échelles en fréquences

Source: *Application of the MAC in frequency domain*, D. Fotsch and D.J. Ewins

Synthèse

- Les outils vus précédemment sont de bonnes alternatives aux méthodes modales car plus simples à mettre en œuvre.
- Le FDAC a de nombreuses applications, notamment dans la détection en temps réel de dommages de structures.

En effet il permet de mettre rapidement en évidence un décalage fréquentiel pour un ou plusieurs modes identifiés auparavant.

Domaine	Niveau de recalage	
	Local (degrés de liberté)	Global (modes)
Modal	COMAC	MAC
Fréquentiel	FRAC	FDAC