

ATELIER 2

Phénomènes dynamiques en rotation – Incertitudes et erreurs en mesure et analyse NVH

Animé par :

Laurent Capron
Müller-BBM VibroAkustik Systeme SARL
Parc Saint Christophe
10, avenue de l'entreprise
95865 Cergy Pontoise CEDEX
E-mail : info.fr@MuellerBBM-vas.fr



Fig. 1 : Cas expérimental : Machine tournante avec une dent manquante

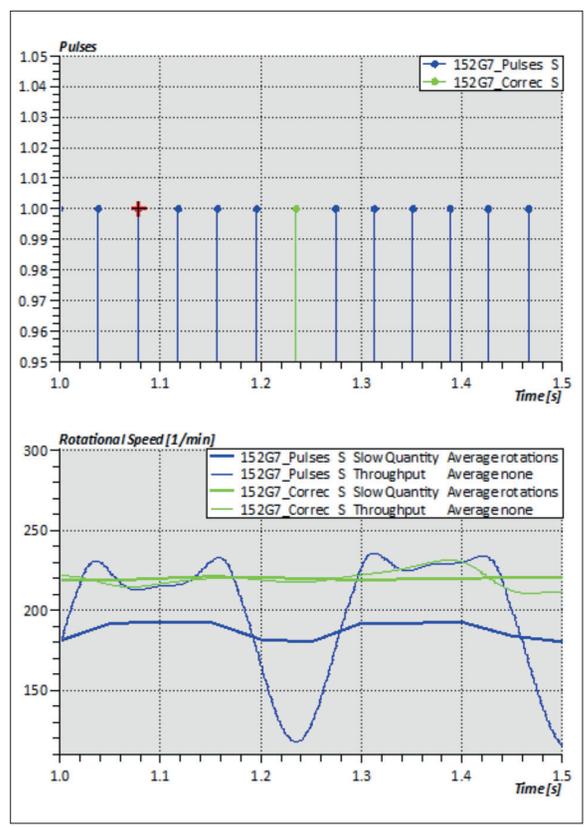


Fig. 2 : Dent manquante

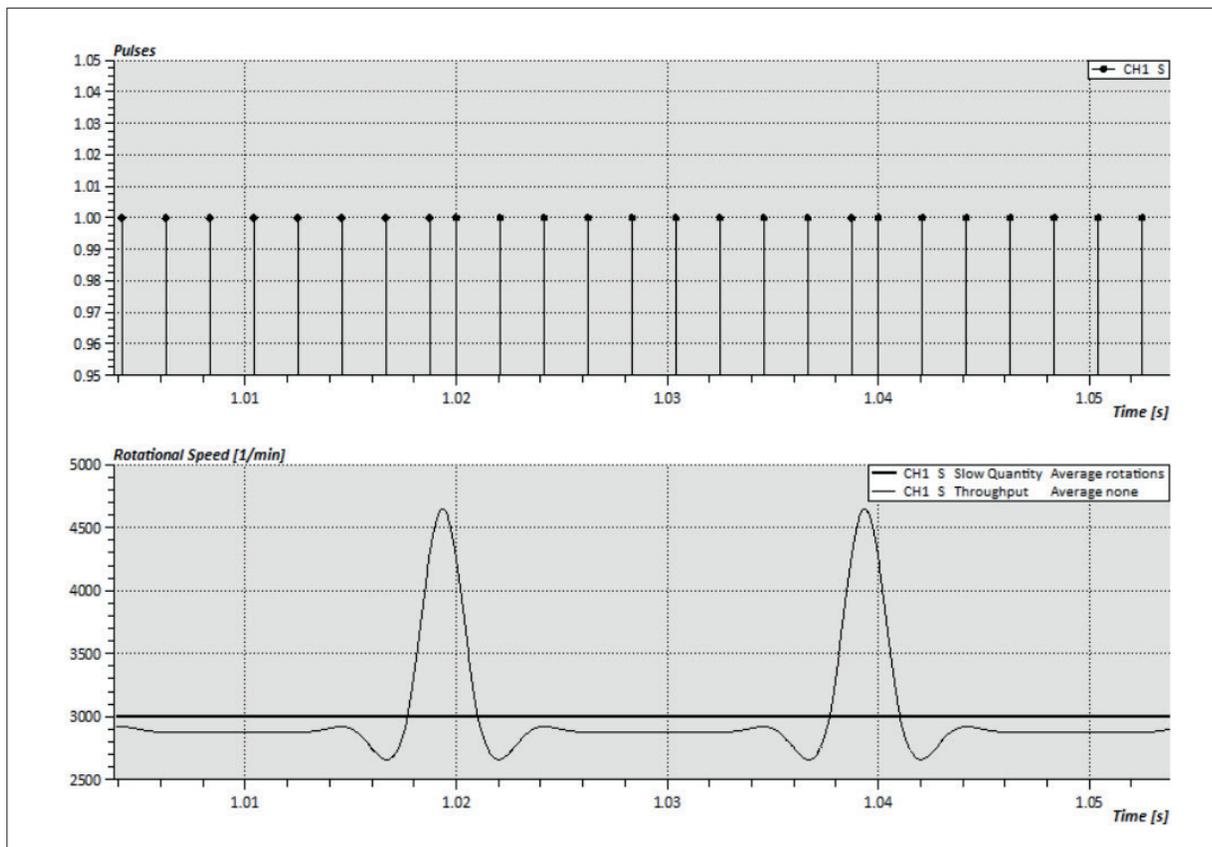


Fig. 3 : Erreur de jointure de bande

La mesure de la vitesse de rotation d'une machine tournante est couramment effectuée à l'aide d'un capteur tachymétrique, réagissant au passage d'une couronne dentée. Certains biais de cette technique sont illustrés à partir d'un cas expérimental simple et de divers exemples.

Dent manquante (figures 1 & 2)

Les fronts montants (et/ou descendants) induits sur le signal temporel des capteurs tachymétriques permettent de dater chaque passage de dent et d'estimer ainsi la vitesse.

Lorsqu'une dent manque ou n'est pas détectée (ici 1 sur 7), la vitesse moyenne est sous-estimée et la vitesse instantanée présente des décélérations et accélérations virtuelles.

L'erreur inverse se produit si une double impulsion est détectée (dent cassée, aspérité...). Dans les deux cas, les impulsions obtenues (Pulses) peuvent être corrigées par un algorithme adéquat.

Erreur de jointure de bande (figures 3)

Pour des raisons de facilité d'instrumentation, une bande réfléchissante zébrée est parfois appliquée sur le pourtour d'un axe de rotation. Cette technique crée automatiquement un espacement irrégulier entre les deux impulsions à la jointure de la bande et génère une accélération instantanée virtuelle. Si à première vue le problème semble similaire à une double impulsion, on ne peut pas simplement supprimer une des deux impulsions : cela induirait un espacement plus important entre les impulsions voisines restantes, et donc une décélération virtuelle à chaque tour. Ce cas de figure nécessite d'appliquer un algorithme de correction spécifique.

Moyennage (figures 4, page suivante)

Pour obtenir une vitesse moyenne à partir des impulsions, différentes méthodes sont possibles : moyennage sur un nombre de tours, sur un temps fixe, sur une durée identique à une analyse FFT... On observe une disparité relativement importante dans notre exemple.

Il n'y a pas d'erreur à proprement parler, la méthode adaptée doit être choisie selon l'utilisation qui sera faite ensuite.

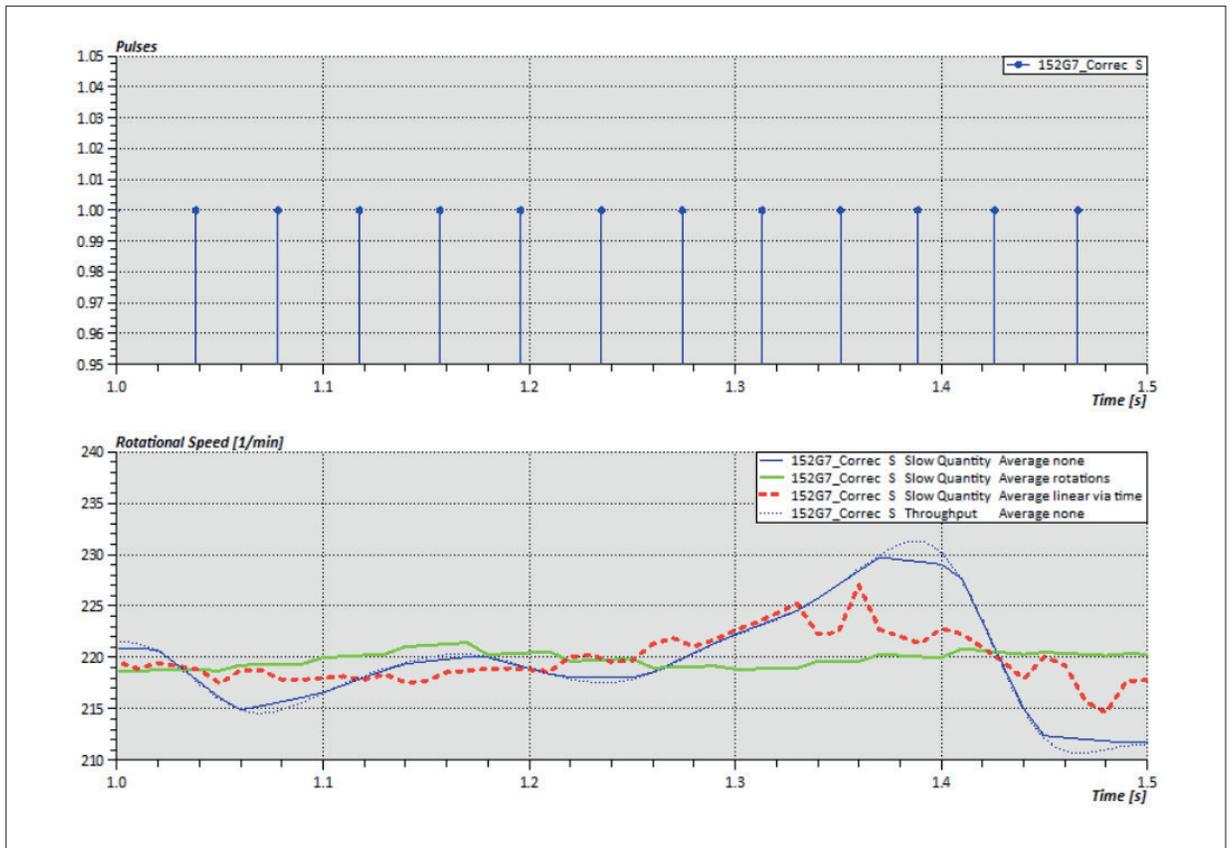


Fig. 4 : Moyennage

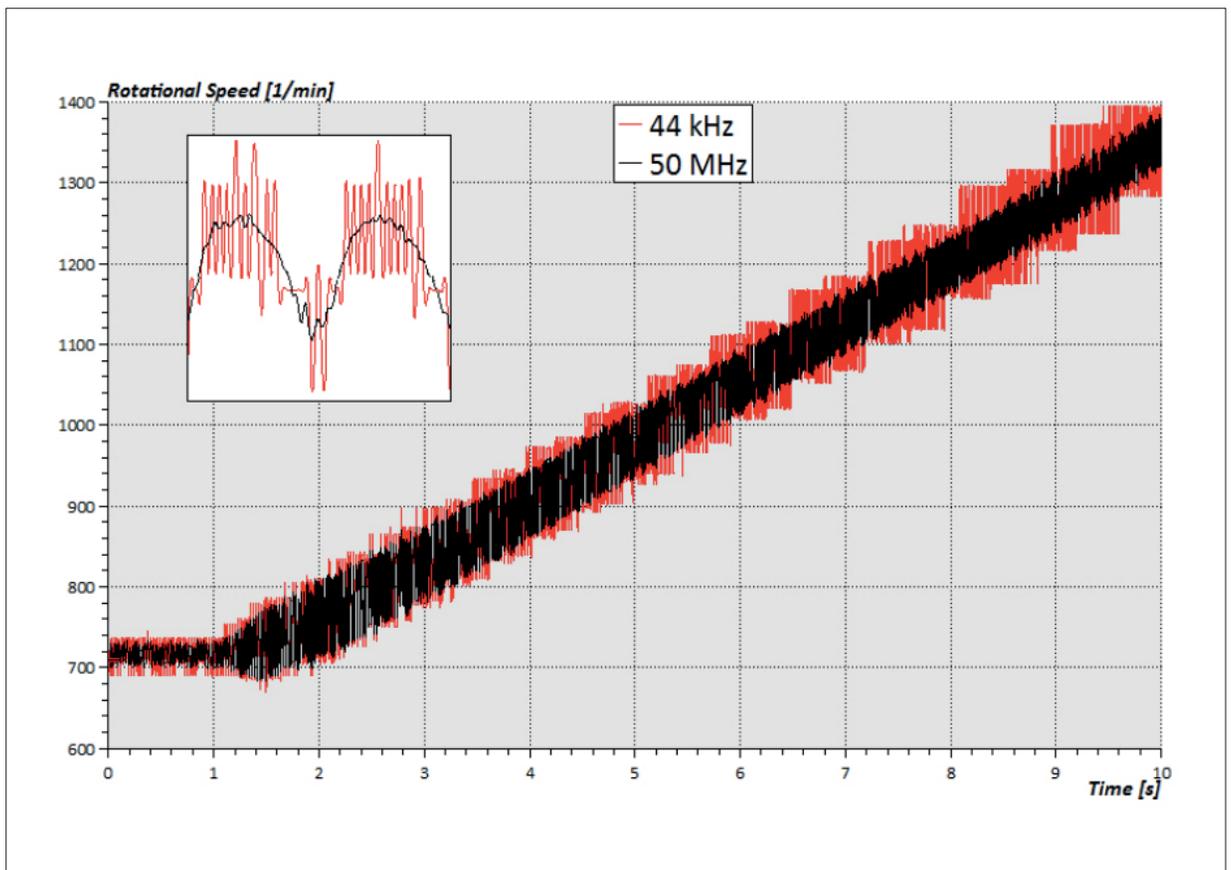


Fig. 5 : Fréquence d'échantillonnage

Fréquence d'échantillonnage (figure 5)

La fréquence d'échantillonnage du signal tachymétrique a peu d'effet sur l'estimation de la vitesse moyenne. En revanche, elle impacte fortement celle de la vitesse instantanée qui est basée sur l'écart de temps entre chaque paire d'impulsions successives. La quantification de l'amplitude de vitesse instantanée correspond directement à la précision de la datation du signal tachymétrique dans le domaine temporel. Une quantification de qualité insuffisante se retrouve sous forme de paliers (échelons) sur une courbe de vitesse instantanée à échantillonnage trop faible, comme on peut le voir sur la courbe rouge ci-après, échantillonnée à 44 kHz comparativement au même signal échantillonné à 50 MHz.

Assignation des valeurs de régime pour l'analyse d'ordre (figures 6)

Une machine en rotation génère typiquement des phénomènes acoustiques et vibratoires harmoniques, qu'il convient d'analyser en fonction de la vitesse de rotation moyenne. Dans notre exemple, le niveau de l'harmonique 1 (ordre 1) en fonction de la vitesse est extrait d'un multi-spectre en fréquence (autospectre). Le signal de vitesse original (1 dent manquante sur 7) est utilisé pour obtenir la courbe rouge, alors que le signal corrigé est utilisé

pour la courbe bleue. Avec une dent manquante, la vitesse est sous-estimée. L'ordre 1 représenté en fonction de la vitesse est donc décalé en vitesse (axe X), et l'estimation de l'amplitude est peu précise (axe Y).

La précision dépend de l'occurrence de l'algorithme choisi et de ses paramètres pour l'extraction d'ordre. Avec une méthode de Fourier classique (FFT), la résolution fréquentielle (liée à la taille de bloc) et le nombre de lignes fréquentielles à prendre en compte (fixe ou pourcentage) doivent être adaptés.

Analyse d'ordre par rééchantillonnage (figures 7, page suivante)

L'analyse d'ordre par la méthode de Fourier présente l'inconvénient de la dualité Durée de bloc – Résolution :

- Pour obtenir la FFT d'un signal à un régime donné, alors que le régime évolue dans le temps, une taille de bloc courte est requise.
- Pour bien dissocier deux harmoniques proches, une résolution élevée est nécessaire, mais implique une durée de bloc longue. (figure 7a, page suivante)

Pour pallier ce problème le signal peut être rééchantillonné dans le domaine angulaire, afin d'obtenir des blocs de durée variable dans le domaine temporel, mais fixe dans le domaine angulaire.

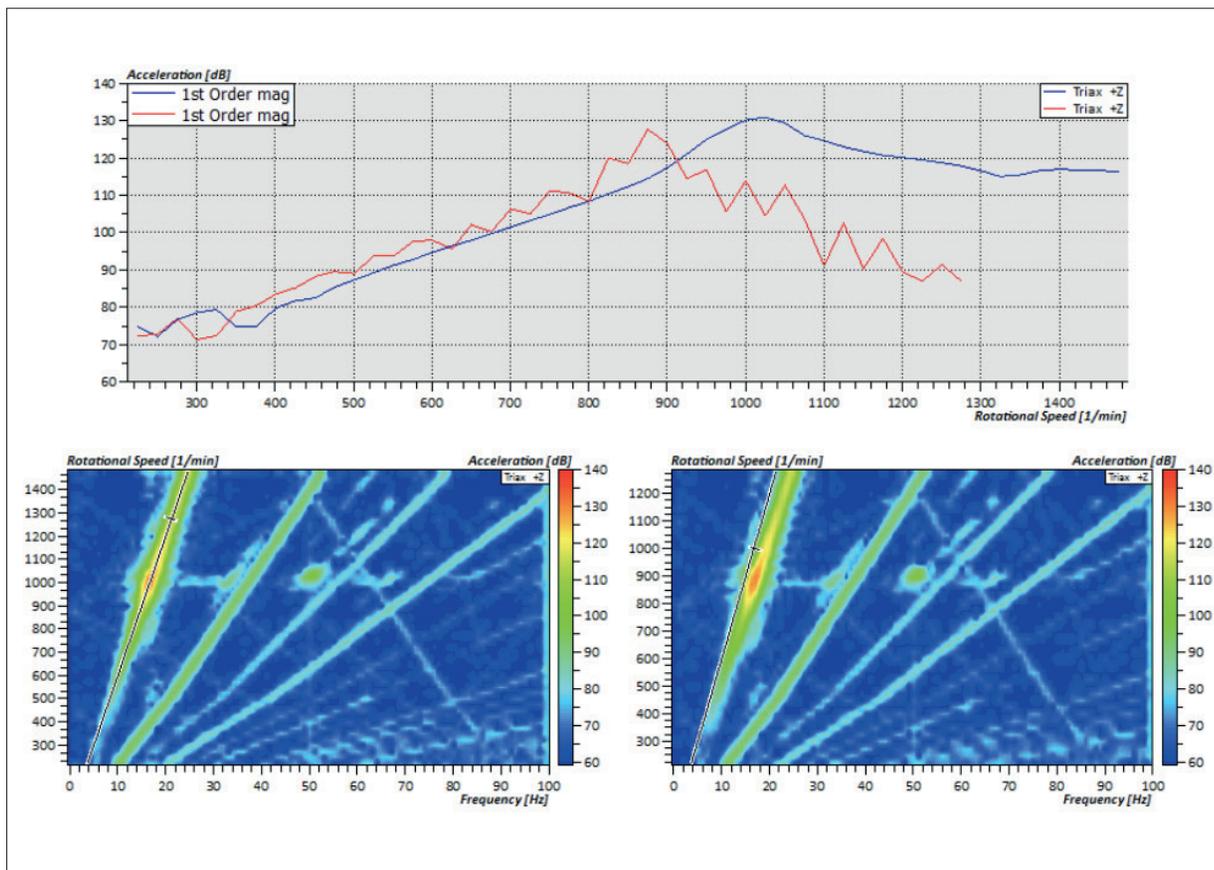
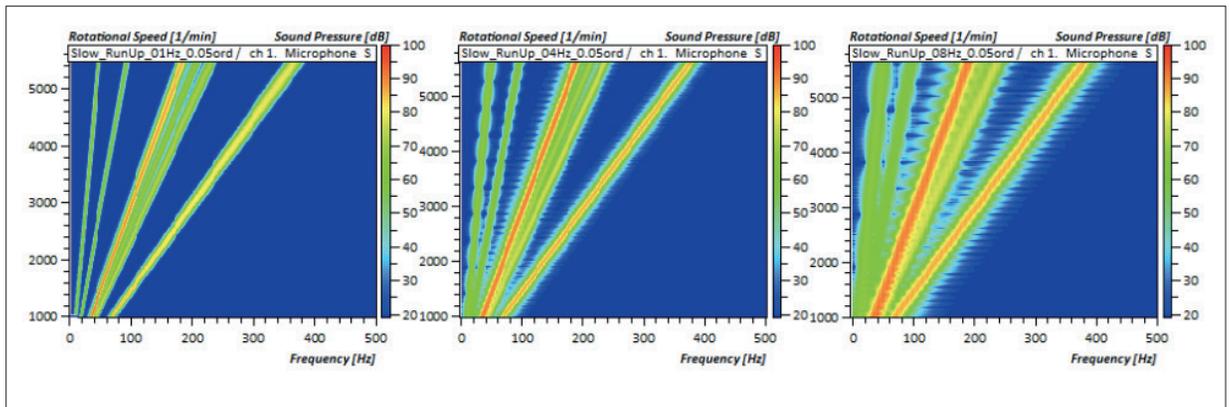
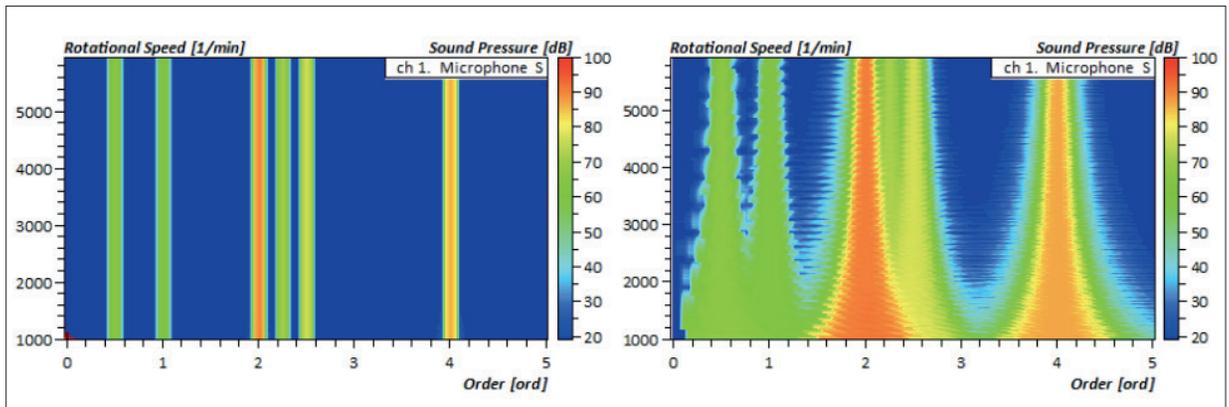


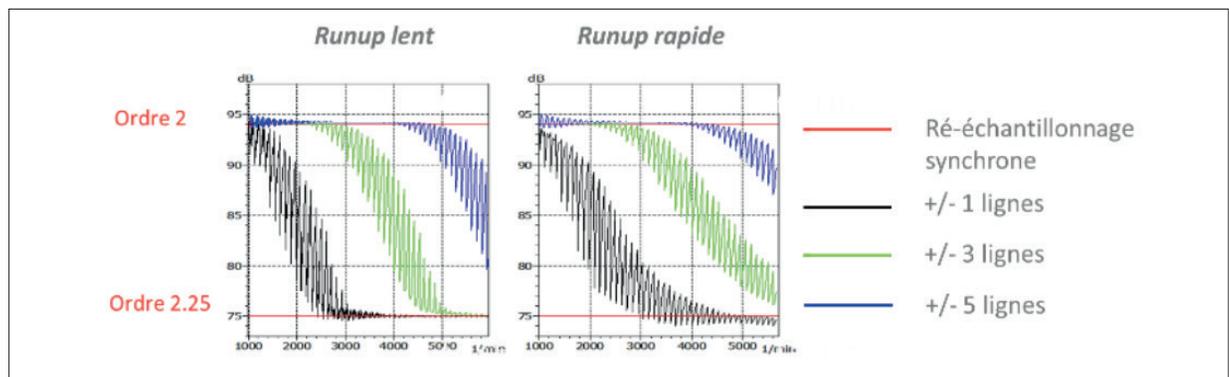
Fig. 6 : Assignation des valeurs de régime pour l'analyse d'ordre



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 : Analyse d'ordre par rééchantillonnage

Un signal harmonique virtuel, contenant les ordres 0.5, 1, 2, 2.25, 2.5 et 4 à niveau constant entre 1 000 et 6 000 tr/min est d'abord analysé par FFT, avec différentes résolutions fréquentielles.(figure 7b)

Un spectre en ordre est ensuite calculé, par rééchantillonnage et par méthode de Fourier, avec la résolution semblant la plus adaptée.

En s'intéressant plus particulièrement à des ordres proches comme les ordres 2 et 2.25, on remarque qu'il est particulièrement difficile d'estimer correctement un ordre de niveau faible proche d'un ordre dominant. (figure7c)

Influence du nombre d'impulsions par tour

La mesure d'une vitesse de rotation moyenne ne nécessite qu'une impulsion par tour. En pratique, cela dépend des couronnes dentées disponibles physiquement sur la machine. En revanche, la mesure de la vitesse instantanée nécessite un nombre d'impulsions élevées pour avoir autant de valeurs par rotation.

Alors que pour la numérisation de signaux dynamiques classiques on applique un filtre anti-repliement conformément au critère de Shannon, cela n'est pas possible en datant le passage de chaque impulsion : il faut donc un nombre d'impulsions supérieur à 2 fois l'ordre maximum attendu.

