

# Conception et test de transmissions

**L'entreprise Spicer Off-Highway Drivetrain Products de Bruges appartient à DANA Holding Corporation, un groupe actif dans l'industrie automobile, dont le siège se trouve à Toledo, dans l'Ohio (Etats-Unis), et qui emploie 35.000 personnes dans 26 pays. Le site de Bruges développe et produit des transmissions pour les véhicules 'off-highway'. Chaque nouveau développement fait l'objet de nombreux tests.**

Lorsque des erreurs se présentent aux essais, celles-ci sont analysées en détail : il faut savoir d'où vient cette erreur et quelle est la pièce qui en est responsable. Si c'était assez difficile à trouver par le passé, des tests récents effectués avec un appareil de mesure SPM ont démontré qu'il est possible de remédier très tôt à un début de panne. Le fait de pouvoir y remédier tôt permet d'en trouver les causes. *Industrie Technique et Management* s'est entretenu sur ces nouveaux outils SPM avec **Tommy Van Acker**, ingénieur d'essai du **Spicer Off-Highway Transmission Technology Center** et **Jef Dellafaille**, de **SPM Instrument**.

## UN CENTRE D'ESSAIS POUR DE NOUVELLES BOÎTES DE VITESSES

Les véhicules *Off-highway* sont des véhicules que l'on ne rencontre normalement pas sur les autoroutes : des véhicules lourds et à déplacement lents comme des tracteurs agricoles, de l'équipement pour l'industrie minière, des excavatrices, des chariots élévateurs, etc., ainsi que des véhicules militaires. Le point fort du site de



Spicer Off-Highway Drivetrain Products de Bruges utilise l'équipement de mesure de SPM pour la surveillance des essais de transmission.

Bruges est qu'il fournit du travail sur mesure à ses clients : une boîte de vitesses est élaborée en fonction du véhicule, puis fabriquée en série à Bruges ou ailleurs.

Une transmission se compose principalement d'un convertisseur de couple, d'une transmission par engrenages et d'embrayages hydrauliques, ainsi qu'une unité de commande. Le convertisseur de couple assure la liaison entre le moteur et la boîte de vitesses, et décuple le couple.

Cela permet de déplacer des charges et des véhicules très lourds avec une puissance de moteur modeste. La vitesse souhaitée est transmise, via l'unité de commande, aux embrayages hydrauliques, mettant ainsi en œuvre les engrenages nécessaires. Les différences entre les transmissions *Off-highway* et les boîtes de vitesses classiques se situent au niveau des couples élevés mais aussi de l'utilisation. De nom-

breuses applications disposent de plusieurs vitesses en marche arrière et peuvent passer de la marche avant à la marche arrière sans s'arrêter.

Après le développement et avant le lancement de la production en série, chaque boîte de vitesses et chaque adaptation lors de la conception sont testées dans les moindres détails. Malgré les outils numériques disponibles en conception (3D, calculs de résistance, etc.), seule la pratique et

ses tests en conditions réelles comptent comme résultat valable. Pour ce faire, le site DANA de Bruges dispose d'un centre d'essai TTC (*Transmission Technology Center*) à côté de l'usine. Les tests commencent par la mise à l'épreuve de chaque composant séparément, puis c'est la transmission complète qui est testée. Outre les tests fonctionnels classiques, il y a les tests de durée de vie, de fonctionnement longue durée, des tests de charge, ... Des situations de test sont mises en œuvre pour chaque essai. Les tests de durée, par exemple, sont effectués sur des bancs d'essai équipés de gros moteurs électriques ou diesel, avec une charge simulée via un frein piloté. Pour les tests avec des moteurs diesel, sept cellules de test entièrement équipées permettent de tester une pièce pendant plusieurs mois, 24 heures sur 24, avec des couples de freinage allant jusqu'à 10.000 Nm. Le centre dispose également de six bancs d'essai électriques et de plusieurs petits bancs d'essai hydrauliques.

Sept employés de formation supérieure (ingénieurs d'essai, instrumentation) et six ouvriers-techniciens travaillent au centre. Ces derniers se chargent de la construction des prototypes (DUT - *device under test*) et de la préparation ou de l'adaptation des cellules d'essai. Un élément unique au centre est que la majeure partie des bancs d'essai est de propre conception. Le labo possède en outre des moyens nécessaires pour réaliser rapidement et sur place, des conceptions très spécifiques.

## TESTER POUR APPRENDRE

Le but de ces essais pratiques est de s'assurer que la boîte de vitesses soit conforme aux exigences de durabilité auxquelles elle sera soumise pendant son cycle de vie. Parallèlement à cela, s'il y a une erreur quelque part, il faut trouver le maillon faible et savoir où commence précisément le problème. Cela implique donc l'arrêt des essais dès la première

années étaient réalisés avec des mesures des vibrations. Les spécialistes d'*Advanced Engineering* ont effectué des analyses FFT (transformée de Fourier rapide), et de bonnes conclusions ont été tirées du signal parasite. Néanmoins, dans un environnement de test, la mesure vibratoire ne peut être utilisée comme outil décisionnel. Tirer des conclusions à partir de la mesure d'un spectre



**Avant d'être fabriqué en série, chaque développement est testé dans les moindres détails au Transmission Technology Center.**

anomalie, lorsque le tout premier dommage se produit et avant qu'il n'entraîne de gros dégâts.

Pour ce faire, il faut assurer le suivi des principaux paramètres comme la pression, le couple, la vitesse, le débit et l'hydraulique. Généralement, quand on se rend compte qu'il y a un problème, c'est généralement trop tard. Dès la détection d'un problème sur base de ces paramètres et les essais arrêtés, les dégâts peuvent parfois être conséquents : axes cassés, dents d'engrenages brisées, ... et il est souvent très difficile de connaître l'origine du problème. Ce n'est précisément qu'en connaissant l'origine du problème que l'on peut apporter des améliorations.

Pour détecter les anomalies de départ au plus tôt dans le processus d'erreur, et arrêter les essais à temps, les essais de ces dernières

vibratoire ne semblait pas faisable. Les vibrations du moteur diesel correspondant à celles du frein, de l'accouplement cardan, ... et le signal vibratoire devient un signal parasite.

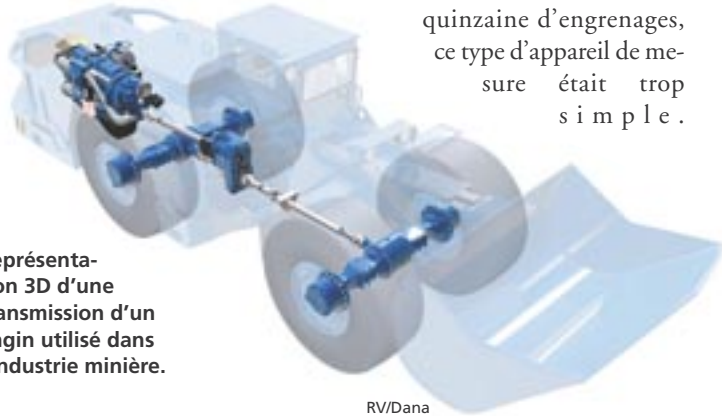
## UNE ANALYSE SPM COMME DÉCLENCHEUR PRÉCOCE

Il fallait trouver un système qui permette à un ingénieur d'essai (pas un spécialiste FFT après plusieurs séances d'analyse) de détecter le début d'une anomalie en un coup d'oeil afin qu'il puisse arrêter les essais et observer les dégâts.

C'est en recherchant une solution que Spice est entrée en contact avec SPM Instrument, le fournisseur d'appareils de mesure basés sur une mesure SPM. SPM est l'abréviation de Shock Puls Methode, une technique (brevetée en 1969 par SPM Instrument) qui permet de suivre les ondes de choc se produisant dans des par-

est question d'une vingtaine de roulements et d'une quinzaine d'engrenages, ce type d'appareil de mesure était trop simple.

Représentation 3D d'une transmission d'un engin utilisé dans l'industrie minière.



RV/Dana

ties rotatives et de déduire, à partir du patron, l'état et la cause du dommage des roulements et des engrenages.

Cette technique est utilisée pour surveiller l'état des paliers à chapeau à billes, des boîtes d'engrenages et autres machines rotatives. L'appareil mesure le signal de choc dans une échelle de décibels sur deux niveaux. Le microprocesseur évalue le signal sur base du type de roulement (numéro ISO) et de la vitesse de roulement (RPM et diamètre du roulement). Lorsqu'un dommage apparaît en surface dans la partie tournante, cela entraîne une forte augmentation des amplitudes des ondes de choc, ainsi qu'une modification dans le rapport entre les impulsions faibles et les impulsions fortes. Ces valeurs sont traduites en 'état' via le logiciel d'analyse intégré. Les signaux sont enregistrés dans l'appareil (pour analyse) et le logiciel fournit soit une indication 'verte' (pas de dommage), 'jaune' (anomalie naissante) ou 'rouge' (dommage important).

Pour découvrir la technique, un module classique de contrôle d'état SPM a été acheté mais il s'est vite avéré qu'il n'offrait pas de solution. Il pouvait par contre être mis en œuvre pour la détection de dommages aux roulements des volants d'inertie. Pour les boîtes de transmission, où il

Conseil fut pris auprès de Jef Delafaille de SPM Instrument qui proposa l'enregistreur automatique portable et multifonction Leonova Infinity. En introduisant le type de roulement à analyser et en plaçant la sonde contre la boîte, il a pu démontrer que la méthode de mesure SPM serait aussi efficace dans cette application complexe.

### D'ABORD TESTER, PUIS INVESTIR

Hésitante en raison de l'expérience négative avec les mesures vibratoires, Spicer ne voulait pas s'engager dans l'investissement d'un tel système de mesure en ligne SPM. Finalement, l'entreprise a quand même acheté un système de monitoring et d'analyse en ligne de première génération, en occasion. Cette solution fut testée sur trois dispositifs.

Le premier fut un *pump drive test* du *pump drive train*; l'entraînement d'une ou de plusieurs pompes hydrauliques (la plupart des tracteurs disposent d'un circuit hydraulique supplémentaire pour actionner des outils externes. Les pompes sont entraînées par le moteur diesel via un réducteur de vitesse entre l'axe de la pompe et l'axe et l'arbre). Lors du test, on a fait fonctionner le *pump drive train* (3 engrenages sur palier, un à entraînement et deux éléments actionnés) pendant qu'un circuit hydraulique raccordé aux deux

pompes via des vannes pilotées était limité jusqu'à 200 bars. Ceci pendant une période d'un mois non-stop. Et, malheureusement pour la construction mais très intéressant pour le labo, un problème est survenu au niveau d'un engrenage pendant les essais. Un technicien est arrivé un matin et a remarqué que le système de mesure SPM avait enregistré une anomalie, alors que les appareils de mesure classiques n'avaient rien détecté. Le test fut arrêté et le boîtier d'engrenages fut examiné de manière endoscopique. Un des engrenages avait quelques dents cassées. A quelques heures près, c'était tout le boîtier qui aurait été détruit. Après analyse du signal de mesure, il s'avère que le système SPM avait détecté le problème six heures auparavant. Une belle preuve de la fonctionnalité d'un tel système. Et l'investissement dans l'appareil fut d'emblée récupéré.

*bearing test*. Les engrenages et roulements d'une boîte de vitesses furent systématiquement testés, et ce à chaque vitesse. La durée du test était équivalente à la durée de vie, dans le cas présent, il s'agissait de 82 jours en charge extrême. Ce test se passa bien, et en finale, un dommage dû à l'usure fut naturellement détecté qui pouvait aussi être suivi via la mesure SPM. Il y eut un troisième test, également un *gear & bearing test*, mais suite à un manque de possibilités du système, seules les pièces jugées critiques ont été suivies et un problème se posa à une position non contrôlée.

C'était néanmoins une nouvelle preuve qu'il fallait investir dans le système Intellinova le plus récent et le plus performant. Ce système repose sur des Commander Units disposant chacune de 32 canaux pour le suivi des mesures d'impulsions de chocs, de vibrations



RV/Dana

Les tests commencent par la mise à l'épreuve de chaque composant de la transmission, puis c'est la transmission complète qui est testée. En photo : équipement pour la réalisation d'un essai Hertz.

Spice était convaincue à l'époque qu'il fallait investir dans des appareils plus étendus qui permettraient, via l'envoi de signaux à la centrale d'alarme et rappels de techniciens à la clé, de constater immédiatement les alarmes (sans devoir se déplacer), mais elle a néanmoins demandé un second test plus complexe: un *gear &*

et/ou analogiques, selon une combinaison définie par l'utilisateur. Le logiciel de communication LinX déclenche, contrôle et filtre les mesures et les données, et traite les messages entre la base de données et une ou plusieurs Commander Units. Cela permet d'assurer le suivi des points critiques d'une ligne. Spicer a acheté



Des stands d'essai spécifiques sont utilisés pour chaque test. En photo: une infrastructure pour les essais Watt.

cinq systèmes, agencés de manière mobile pour pouvoir les utiliser en plug & play sur une dizaine de bancs d'essai.

A terme, l'entreprise veut établir une liaison avec le système IT via un lien SQL ou OPC. Les techniciens de garde pourront ainsi

recommencer le test (avec la quasi-certitude que le même agencement posera à nouveau problème) et les conséquences financières, parmi lesquelles les frais de carburant (un moteur diesel V8 qui tourne à plein régime consomme 75 l/h, 24h/24h, pendant trois mois)



Infrastructure d'essai pour le test Ampère.

recevoir, outre le service de mail par SMS, une alarme leur demandant d'intervenir. Via OPC, les résultats de mesure peuvent être couplés à des charges spécifiques de certaines pièces.

Voici une idée du bénéfice offert par de telles mesures : imaginons qu'un problème se pose à la fin d'un test d'une durée de trois mois et qu'il est impossible de l'arrêter à temps. Impossible donc de savoir avec certitude quelle est la cause du problème. Il faut alors

augmentent de manière drastique. Une détection rapide permet donc le rendement immédiat de l'investissement. En outre, les données enregistrées par le système SPM sont précieuses pour l'analyse des causes possibles du problème. Spicer a d'ores et déjà décidé de prévoir des filetages sur les prototypes pour fixer plus rapidement les capteurs SPM sur les agencements de test. ■

[www.industrie.be](http://www.industrie.be)