

BEA-TT

*Bureau d'enquêtes sur les accidents
de transport terrestre*

*Rapport d'enquête technique
sur la dérive d'un wagon
sur une voie principale
à forte pente
le 24 janvier 2013
à Modane (73)*

mai 2015



**Conseil Général de l'Environnement
et du Développement Durable**

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transport Terrestre**

Affaire n° BEATT-2013-001

**Rapport d'enquête technique
sur la dérive d'un wagon
sur une voie principale à forte pente
le 24 janvier 2013 à Modane (73)**

Bordereau documentaire

Organisme commanditaire : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE)

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la dérive d'un wagon sur une voie principale à forte pente le 24 janvier 2013 à Modane (73)

N° ISRN : EQ-BEAT--15-5--FR

Proposition de mots-clés : frein, distributeur, attelage, tendeur, dérive, collision, régime de freinage

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 du titre II du livre VI du code des transports et du décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'événement analysé et en établissant les recommandations de sécurité utiles. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

SOMMAIRE

GLOSSAIRE.....	9
RÉSUMÉ.....	11
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	13
1.1 - L'accident.....	13
1.2 - La situation après l'accident.....	13
1.3 - Les secours et le bilan.....	16
1.4 - Les mesures prises après l'accident.....	16
1.5 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	16
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	17
2.1 - La section frontière Modane – Bardonnèche.....	17
2.2 - Le train n° 47315.....	19
2.3 - Les wagons concernés.....	19
2.3.1 -Le wagon accidenté.....	19
2.3.2 -Le treizième wagon.....	20
2.4 - L'entreprise ferroviaire Captrain-Italia.....	20
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	23
3.1 - Les résumés des déclarations et des témoignages.....	23
3.1.1 -Les déclarations du Chef de Manœuvre SNCF de Fourneaux.....	23
3.1.2 -Les déclarations du conducteur du train.....	23
3.1.3 -Les déclarations du chef de train.....	24
3.1.4 -Les déclarations des agents SNCF du poste de la gare de Modane.....	25
3.1.5 -Les déclarations du dirigeant mouvement RFI de Modane.....	26
3.2 - L'examen des enregistrements d'événements conduite.....	26
3.3 - Orientation de l'enquête.....	27
3.4 - Les investigations sur la rupture de l'attelage.....	28
3.4.1 -L'attelage.....	28
3.4.2 -Les caractéristiques des tendeurs d'attelage.....	28
3.4.3 -La maintenance des tendeurs d'attelage.....	28
3.4.4 -L'examen visuel du tendeur rompu.....	29
3.4.5 -Les expertises de la vis du tendeur.....	30
3.4.6 -L'examen des ressorts de traction.....	31
3.4.7 -L'évaluation des efforts longitudinaux de traction.....	32
3.4.8 -Retour sur la composition du train n° 47315.....	33
3.4.9 -Conclusions relatives à la rupture d'attelage.....	33

3.5 - Les investigations sur le frein.....	33
3.5.1 -Rappel des principes de fonctionnement du frein des wagons.....	33
3.5.2 -La continuité de la conduite générale sur l'ensemble du train.....	35
3.5.3 -Le fonctionnement du frein sur le dernier wagon.....	37
3.5.4 -Recherche des causes du dysfonctionnement du frein du dernier wagon.....	37
3.5.5 -Le scénario de dysfonctionnement du frein.....	40
3.6 - Les investigations sur la conduite.....	42
3.6.1 -La formation du train.....	42
3.6.2 -La conduite du train.....	42
3.6.3 -Les actions de l'équipe de conduite après la rupture d'attelage.....	43
3.6.4 -Les habilitations et le suivi du personnel de conduite impliqué.....	43
3.7 - Le management de la sécurité dans la relation SNCF – Captrain-Italia.....	44
3.7.1 -Généralités.....	44
3.7.2 -La conduite des trains par les agents SFI sur le RFN.....	44
3.7.3 -Les réunions annuelles de sécurité.....	45
4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....	47
5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	51
5.1 - Les causes de l'accident.....	51
5.2 - La mise en conformité des tendeurs d'attelage avec les normes récentes.....	52
5.3 - L'étanchéité des distributeurs de type C3A aux basses températures.....	53
5.4 - Les autres orientations préventives.....	54
5.4.1 -Le respect des règles de composition des trains.....	54
5.4.2 -La qualité de la conduite des trains par les agents de Captrain-Italia sur le site de Modane.....	54
5.4.3 -La fiabilité des équipements de bord du système SCMT sur les locomotives de la série E436.....	54
6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	55
6.1 - Les causes de l'accident.....	55
6.2 - Les recommandations.....	55
ANNEXES.....	57
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	59
Annexe 2 : Analyse de la conduite du train n° 47315 au-delà de la gare de Modane par l'Autorité Nationale de Sécurité Ferroviaire italienne.....	61
Annexe 3 : Résultats des essais de frein effectués le 8 février 2013 à Modane sur les 13 ^e et 14 ^e wagons du train n° 47315.....	63
Annexe 4 : Rapport de l'expertise du distributeur du frein du wagon parti en dérive, effectuée le 30 avril 2013 par la SNCF au Technicentre de Rennes.....	65
Annexe 5 : Rapport des essais du distributeur du frein du wagon parti en dérive, effectués en avril 2014 par la société Faiveley-Transport.....	77

Glossaire

- **AC** : Agent Circulation
- **AdC** : Agent de Conduite
- **AEF** : Agence d'Essai Ferroviaire
- **ANS** : Autorité Nationale de Sécurité ferroviaire
- **CdT** : Chef de Train
- **CETIM** : Centre d'Études Techniques des Industries Mécaniques
- **CF** : Cylindre de Frein
- **CG** : Conduite Générale de frein
- **CIM** : Centre d'Ingénierie du Matériel de la SNCF
- **COGC** : Centre Opérationnel de Gestion des Circulations
- **CTI** : CapTrain-Italia (*entreprise ferroviaire italienne*)
- **DGIF** : Direzione Generale Investigazioni Ferroviarie (*organisme d'enquêtes ferroviaires*)
- **DM** : Dirigeant Mouvement
- **ECM** : Entité en Charge de la Maintenance
- **EPSF** : Établissement Public de Sécurité Ferroviaire
- **FU** : Freinage d'urgence
- **GSM-R** : Global System for Mobile communications - Railway
- **PK** : Point Kilométrique
- **RA** : Réservoir Auxiliaire
- **RC** : Réservoir de Commande
- **RFI** : Rete Ferroviaria Italiana (*réseau ferré italien*)
- **RFN** : Réseau Ferré National
- **RSC** : Repetizione Signali Continua (*répétition des signaux continue*)
- **SCMT** : Sistema di Controllo Marcia Treni (*système de contrôle de la marche des trains*)
- **SNCF** : Société Nationale des Chemins de fer Français
- **UIC** : Union Internationale des Chemins de fer
- **VACMA** : Veille Automatique à Contrôle de Maintien d'Appui

Résumé

Le 24 janvier 2013 à 20h00, alors que le train de Fret SNCF n° 47315 circulant entre Modane et Orbassano (Italie) est engagé dans le tronçon en rampe entre Modane et la frontière italienne, une rupture d'attelage se produit juste avant son dernier wagon.

Après s'être arrêté, ce wagon chargé de grumes de bois part en dérive à contre-sens et vient percuter violemment la rame du train Trenitalia n° 42338 qui stationne sur la voie 16 du faisceau pair de la gare de Modane. Le choc a lieu à 20h15. Le wagon parti en dérive et la locomotive de queue du train percuté sont fortement endommagés. Deux agents qui se trouvaient sur cet engin moteur sont blessés et un troisième est contusionné.

Cet accident a deux causes immédiates : la rupture de l'attelage et le desserrage rapide du frein du dernier wagon du train de Fret SNCF n° 47315.

La rupture de l'attelage a été provoquée :

- par les réactions longitudinales engendrées par un déclenchement intempestif du freinage d'urgence qui a été commandé par le système de contrôle de vitesse SCMT¹ du train concerné ;
- par la fragilité de la vis du tendeur d'attelage de l'avant-dernier wagon, qui n'était pas conforme aux normes en vigueur ;
- par une possible non-conformité du régime de freinage de ce train.

Le desserrage rapide du frein du wagon qui a dérivé est ensuite la conséquence d'un défaut d'étanchéité de son distributeur dû très probablement à la perte de souplesse à basse température, en lien avec le vieillissement de l'élastomère les constituant, des manchettes des dispositifs « *de coupure* » et « *de premier temps* » de cet organe.

Au vu de ces éléments, le BEA-TT formule trois recommandations portant respectivement :

- pour la première, sur la mise en conformité des tendeurs d'attelage des wagons avec les normes européenne ou nationales reconnues ;
- pour les deux autres, sur les spécifications permettant de garantir, à basse température, l'étanchéité des distributeurs de frein de type C3A et C3W.

Par ailleurs, le BEA-TT invite les entreprises ferroviaires SNCF et Captrain-Italia, chacune pour ce qui la concerne, à fiabiliser le processus de préparation des trains sur le site de Modane, à améliorer la formation des conducteurs de Captrain-Italia qui y circulent et à accroître la fiabilité du fonctionnement sur les locomotives de la série E436 du système de contrôle SCMT qui y a été intégré.

1 Sistema di Contollo Marcia Treni (système de contrôle de la marche des trains)

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - L'accident

Le 24 janvier 2013 à 20h00, alors que le train de Fret SNCF n° 47315 circulant entre Modane et Orbassano (Italie) est engagé dans le tronçon en rampe entre Modane et la frontière italienne, une rupture d'attelage se produit juste avant son dernier wagon.

Après s'être arrêté, ce wagon chargé de grumes de bois part en dérive à contre-sens et vient percuter violemment la rame du train Trenitalia n° 42338 qui stationne sur la voie 16 du faisceau pair de la gare de Modane. Le choc a lieu à 20h15. Le wagon parti en dérive et la locomotive de queue du train percuté sont fortement endommagés. Deux agents qui se trouvaient sur cet engin moteur sont blessés et un troisième est contusionné.



Figure 1 : Vue du wagon et de la locomotive après le choc

1.2 - La situation après l'accident

Le wagon grumier n° 31 87 352 6369-7 est encastré dans la locomotive n° 652-112 approximativement au km 236,050. Il n'a pas déraillé.

Les traverses de tête des deux véhicules sont enfoncées et leurs longerons de châssis sont pliés.

De nombreux rondins se sont libérés de leurs amarres et ont été projetés à une vingtaine de mètres du point d'arrêt du wagon, signe de la violence du choc due à la vitesse acquise par le wagon dans la descente. Toutefois, aucun n'a pénétré dans la cabine de conduite de l'engin qui a été protégée par le dossier d'extrémité du wagon.



Figure 2 : Vue d'ensemble montrant les rondins projetés par le choc

Les manettes du frein du wagon sont dans les positions suivantes :

- isolement du distributeur sur « en service » ;
- dispositif vide-chargé sur « chargé » ;
- sélecteur de régime sur « voyageurs ».

Le frein à main est desserré.



Figure 3 : Position des manettes sur le wagon

Sur la traverse avant² du wagon, sur la vis du tendeur d'attelage rompue, on observe que l'écrou de la manille est pratiquement au contact de l'embase de la manivelle, un seul filet est visible. Le robinet de la conduite générale (CG) est ouvert et le demi-accouplement pneumatique est pendant mais intact.

² Dans la suite de ce chapitre, l'avant et l'arrière sont définis par rapport au sens de circulation du train 47315.



Figure 4 : Vue de la traverse avant du wagon accidenté.

Sur la traverse arrière, celle qui est entrée en collision avec la locomotive, le tendeur d'attelage et le demi-accouplement sont en place sur leur crochet de repos, ce qui est normal. En revanche le robinet de la CG est ouvert de même que celui de la locomotive percutée ce qui, a priori, n'est pas normal.



Figure 5 : Vue de la traverse arrière du wagon accidenté

L'arrière du train SNCF immobilisé se trouve au km 237,934.

Le robinet de CG à l'arrière du 13^e et dernier wagon est fermé. Le tendeur d'attelage avec le tronçon de vis rompue est pendante. Le demi-accouplement pneumatique est pendante mais intact.

Le départ de la dérive est localisé approximativement au km 237,900. Cet endroit, se trouve donc à 1700 m environ du lieu de la collision, dans une zone en rampe d'environ 25 ‰.

Aucune cale, qui aurait pu être utilisée pour tenter d'immobiliser le wagon dételé n'a été remarquée par les enquêteurs à cet endroit.



Figure 6 : Vue de l'arrière du 13^e wagon

1.3 - Les secours et le bilan

Alertés à 20h15 par l'agent circulation de la gare, les sapeurs-pompiers du centre de Modane sont arrivés sur les lieux de la collision à 20h30. Deux agents de Trenitalia blessés dans la locomotive de queue du train n° 42338 ont été évacués vers le centre hospitalier de Saint-Jean-de-Maurienne. Un troisième, contusionné est soigné sur place.

Sur le plan matériel, la locomotive Trenitalia n° 652-112 est gravement endommagée, son châssis étant déformé. Le wagon impliqué dans la dérive est très gravement endommagé et n'est probablement pas réparable. D'autres véhicules du train n° 42338 subissent des dégâts mineurs.

1.4 - Les mesures prises après l'accident

L'AC* du poste de Modane prend immédiatement les mesures de protection du faisceau concerné. Il demande la coupure d'urgence du secteur puis il réalise la consignation caténaire des voies 14, 16 et 18.

Le reste du train n° 47315, après avoir été visité sur place, retourne au faisceau de Fourneaux le 25 janvier à 0h05. La circulation reprend normalement sur les deux voies principales à 0h20.

Les voies 14, 16 et 18 sont rendues à l'exploitation le 26 janvier à 20h.

1.5 - L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances et du contexte de cet accident, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 29 janvier 2013 une enquête technique en application des articles L 1621-1 à L 1622-2 du code des transports.

L'enquêteur a eu communication des pièces de l'enquête préliminaire, par le procureur de la République d'Albertville.

Les expertises et essais nécessaires à la présente enquête technique ont été réalisés en lien avec l'expert désigné dans le cadre de la procédure civile.

* Terme figurant dans le glossaire

2 - Contexte de l'accident

2.1 - La section frontière Modane – Bardonnèche

La section Modane – Bardonnèche qui fait partie de la ligne internationale Chambéry – Turin, s'étend sur environ 20 km dont 13 sur le territoire français et 7 en Italie. Jusqu'à la frontière, elle appartient au réseau ferré national français (RFN) ; au-delà, elle fait partie du réseau ferré italien (RFI).

En raison de son caractère transfrontalier, cette section est soumise à des modalités d'admission, d'exploitation et d'équipement particulières visant à faciliter les interpénétrations des trains internationaux, en application de la convention tripartite du 1^{er} janvier 2006 établie entre Rete Ferroviaria Italiana (RFI), gestionnaire d'infrastructure du réseau ferré italien, Réseau Ferré de France, gestionnaire d'infrastructure du réseau ferré national et la SNCF, gestionnaire d'infrastructure délégué.

Notamment :

- la gare de Modane est désignée « *gare de contact* ». À ce titre, c'est dans cette gare que se font :
 - les échanges de machines et d'équipes de conduite ;
 - le transfert de la garde du convoi entre entreprises ferroviaires ;
 - la mise en conformité du convoi avec les règles applicables sur le parcours Modane – Orbassano.
- en gare de Modane, jusqu'au km 237,100, ce sont les règlements français qui s'appliquent ;
- à partir du km 237,100 ce sont les règlements italiens qui s'appliquent et la gestion des circulations est assurée par le Dirigeant Central Opérationnel (DCO) de Bardonnèche ;
- la langue opérationnelle est le français en gare de Modane ; c'est l'italien au-delà ;
- l'interface entre les exploitants (SNCF et RFI) est assurée par le Dirigeant Mouvement (DM) qui est un agent de RFI situé dans le poste de la gare de Modane à proximité de l'agent circulation et des aiguilleurs SNCF.

En gare de Modane, les équipements de sécurité, la signalisation et les installations de traction électrique sont de type français.

Au-delà, les équipements sont de type italien, notamment :

- la répétition continue des signaux à bord des engins par le système RSC³ ;
- le contrôle de vitesse par balises SCMT⁴ ;
- la radio sol-train GSM-R⁵ ;
- l'électrification en courant continu 3000 V.

3 Ripetizione Segnali Continua

4 Sistema di Controllo Marcia Treni

5 Global System for Mobile communications - Railway

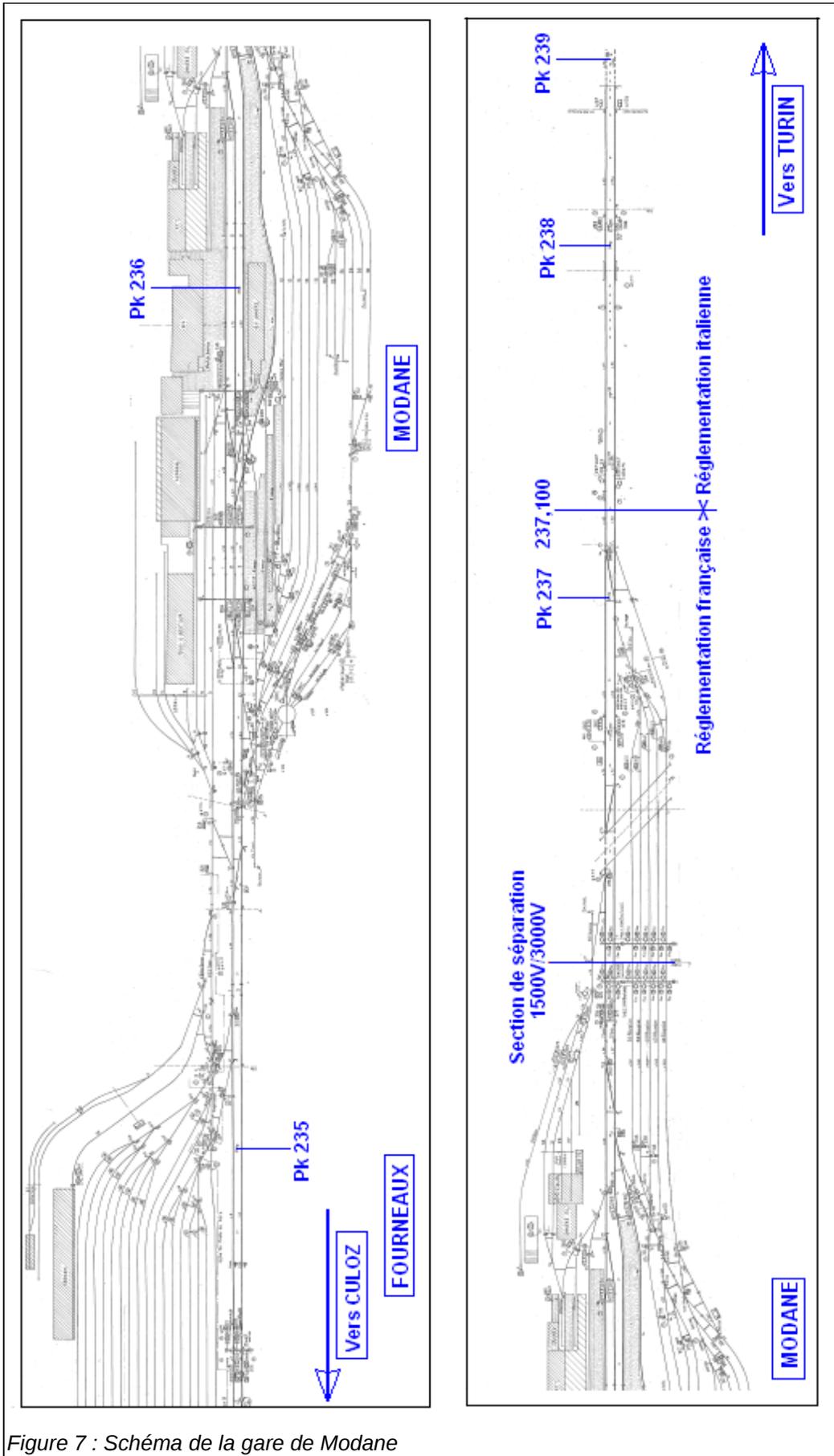


Figure 7 : Schéma de la gare de Modane

Plus classiquement, la ligne est à double voie, équipée du block automatique et d'installations permanentes de contre-sens.

Elle est en forte rampe entre Modane et le tunnel du Fréjus avec un gradient pouvant atteindre 28 ‰. Le point le plus haut de la ligne est atteint à l'intérieur du tunnel.

La vitesse maximale des trains les plus rapides est de 110 km/h. C'est la principale voie de communication ferroviaire entre la France et l'Italie. Son trafic est d'environ 40 trains par jour dont les TGV Paris – Milan et les trains de l'autoroute ferroviaire alpine (AFA) entre Aiton et Orbassano.

2.2 - Le train n° 47315

Le train n° 47315 est un train de fret circulant entre les triages de Sibelin (Lyon) et d'Orbassano (Turin). Il circule sous le certificat de sécurité de la SNCF jusqu'à la frontière franco-italienne, puis sous celui de Captrain-Italia.

Lors du relais de Modane, il est procédé, si nécessaire, à une modification de sa composition et, systématiquement à l'échange du personnel de conduite, par des agents de l'entreprise Captrain-Italia.

Le jour de l'accident, au départ de Sibelin, le train n° 47315 est composé de 21 wagons de bois à destination de l'Italie. C'est un train de la catégorie ME100 telle que définie par la réglementation en vigueur sur le RFN ; il est freiné au régime LL.⁶

Arrivé sur le faisceau de Modane-Fourneaux à 16h52, les sept wagons de queue sont coupés car la masse remorquée du train dépasse le maximum admis au-delà de Modane.

À l'arrivée de l'équipe de conduite de Captrain-Italia, il subit une vérification de composition et un essai de frein complet.

Au départ de Fourneaux, il a une composition homogène de 14 wagons grumiers à bogies chargés de rondins de bois avec, en tête, la BB 36351 et la BB 36340, locomotives tri-courant aptes à la circulation sur les réseaux français et italien. Sa masse totale est de 1221 t pour une longueur de 319 m.

Il est freiné au régime PG⁷ conformément aux règles en vigueur sur le RFI.

2.3 - Les wagons concernés

Les wagons du train sont du type R54, transformés dans les années 2000 à partir de wagons grumiers de type plus ancien.

Fret SNCF en est le détenteur alors que la société ERMEWA assure les fonctions d'entité en charge de la maintenance (ECM).

2.3.1 - Le wagon accidenté

Le wagon accidenté porte le n° 31 87 352 6369-7.

Il est à jour par rapport à son plan de maintenance avec une dernière opération de type « *Autres Travaux Périodiques* » effectuée en juillet 2012 pour un potentiel de 4 ans et sa

⁶ Selon la catégorie du train, sa masse et sa longueur, différents régimes de freinage sont à utiliser. Le régime LL prévoit que la locomotive et les 5 premiers wagons du train soient freinés au régime « *Marchandises* », le reste du convoi étant freiné au régime « *Voyageurs* ».

⁷ Le régime PG prévoit que la locomotive soit freinée au régime « *Marchandises* » alors que les véhicules remorqués sont freinés au régime « *Voyageurs* ».

dernière révision générale en février 1995 pour un potentiel de 19 ans.

Son distributeur de frein est du type C3A et sa dernière révision date de février 2002 pour une périodicité de 18 ans. Il n'a fait l'objet d'aucun signalement de dysfonctionnement depuis qu'il a été monté sur ce wagon en mars 2002.

Les seules interventions sur l'équipement de frein du wagon sont une réparation de la commande de changement de régime et des remplacements de semelles.



Figure 8 : La plaque d'inscriptions du wagon accidenté

2.3.2 - Le treizième wagon

Le treizième wagon du train, dont provient le tendeur d'attelage rompu, porte le n° 31 87 352 6526-2. Il est également à jour par rapport à son plan de maintenance avec une dernière opération de type « *Autres Travaux Périodiques* » effectuée en novembre 2010 et une révision générale en mars 1997.

Comme tous les wagons de son type, il est doté d'un attelage ayant une résistance à la rupture de 850 kN.

Aucune intervention ni signalement concernant l'attelage n'est enregistrée sur son historique de maintenance qui remonte jusqu'en 1994.

2.4 - L'entreprise ferroviaire Captrain-Italia

Captrain est la marque internationale des activités de transport européen de fret ferroviaire de SNCF-Géodis.

Captrain-Italia est une filiale de la SNCF-Géodis titulaire d'une licence d'entreprise ferroviaire et du certificat de sécurité n° 60-2010 délivré par l'autorité nationale de sécurité ferroviaire italienne (ANSF).

Au titre de ce certificat, elle est autorisée à circuler sur toute la partie Nord du réseau ferré italien et notamment entre la frontière française et Turin.

Captrain-Italia n'a pas de certificat de sécurité sur le RFN ni d'extension de son certificat de sécurité italien l'autorisant à circuler sur la section frontière et dans la gare de contact de Modane.

Sur le territoire français, elle opère donc sous couvert du certificat de sécurité de la SNCF, en tant que sous-traitante de cette dernière.

Les modalités de cette sous-traitance, et notamment les aspects en lien avec la sécurité, sont définies dans la convention de coopération SFI⁸-SNCF de juin 2009.

Dans ce cadre, les agents et les engins moteurs de Captrain-Italia pénètrent sur le RFN jusqu'à la gare de Modane incluse.

8 SFI (SNCF Fret Italia) est l'ancienne dénomination de Captrain-Italia.

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Les résumés des déclarations et des témoignages

Les résumés présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations et des témoignages dont ils ont eu connaissance, en retenant les éléments qui paraissent utiles à la compréhension des événements. Il peut donc y avoir des divergences entre les différents témoignages, ou avec des constats présentés par ailleurs, ou avec la description des faits retenue par les enquêteurs telle qu'elle apparaît au chapitre 4.

Par ailleurs, à partir de Modane, l'équipe de conduite du train n° 47315 est formée de deux agents de nationalité et de langue italienne. Les paragraphes ci-après sont basés sur des traductions certifiées de leurs déclarations.

3.1.1 - *Les déclarations du Chef de Manœuvre SNCF de Fourneaux*

Après l'arrivée du train n° 47315 au faisceau de Fourneaux, l'agent décroche la locomotive de tête qui doit rentrer au dépôt. Il effectue la coupe de la rame derrière le 14^e wagon. Il remet le tendeur du 14^e wagon sur son support, ferme le robinet de queue et remet le demi-accouplement sur son support. Ensuite il dételle les locomotives de pouce en vue de leur évolution vers la tête du train.

Il précise qu'il n'a manœuvré aucun autre robinet ou organe sur cette rame.

3.1.2 - *Les déclarations du conducteur du train*

Déclarations sur le déroulement de l'essai de frein

L'essai de frein commence à 19h10 environ lorsque le chef de train (CdT) informe le conducteur (agent de conduite - AdC) qu'il est prêt pour effectuer l'essai de frein.

Avant d'effectuer l'essai de frein, l'AdC interrompt l'alimentation de la conduite générale (CG) afin de vérifier l'absence de fuite. Il ne relève aucune fuite. Il signale alors qu'il est prêt à effectuer l'essai de frein. Ensuite, il reçoit de la part du CdT, le signal à main réglementaire donnant l'ordre de serrer. Le conducteur effectue une dépression dans la CG de 0,6 bar puis il ferme la conduite. Une fois arrivé en queue du train, afin de donner l'ordre de desserrer, le chef de train ouvre le robinet de queue de la CG. À l'aide des instruments de bord, le conducteur visualise que le chef de train a « *tiré en queue* ». Il attend que la conduite soit vidangée afin de la remplir de nouveau. Il alimente la CG et attend que la pression dans la conduite atteigne 5 bar afin de provoquer la surcharge à 5,4 bar.

Il maintient la CG à 5,4 bar pendant 2 minutes, ensuite il coupe la surcharge et attend 4 minutes afin que la pression dans la conduite redescende à 5 bar.

Quand le chef de train a terminé l'essai de frein, il informe l'AdC que le résultat est correct.

Durant toute la durée de l'essai de frein, le conducteur ne relève aucune anomalie sur les manomètres.

Déclarations sur la circulation entre Fourneaux et la sortie de la gare de Modane

En réponse à une question sur l'utilisation répétée du bouton poussoir d'acquiescement des signaux fermés, le conducteur précise que ce bouton poussoir a été aussi souvent utilisé

parce que, sur la partie de voie de Fourneaux à Modane-Gare, les balises KVB (crocodiles)⁹ présentes doivent être acquittées par le conducteur par action sur ce bouton. De plus, le SCMT* est en fonction et doit être acquitté par action sur le bouton d'acquiescement.

Aucune réaction anormale du train n'a été constatée pendant le parcours entre Fourneaux et Modane.

Concernant le déclenchement du freinage d'urgence de la VACMA* en gare de Modane, le conducteur admet que ce déclenchement est dû au fait qu'il n'a pas réarmé ce dispositif en temps voulu.

Déclarations sur la circulation du train jusqu'à l'immobilisation

Parti de Modane-Gare à 19h59 et arrivant à la section neutre du changement de tension, le conducteur baisse les pantographes puis, une fois la section neutre dépassée, il effectue les opérations prévues pour la circulation de l'engin moteur sous la caténaire 3 KV. Après avoir effectué ces opérations, il arrive sur la portion de ligne dotée de la répétition des signaux continue (RSC) et l'appareillage lui demande la mise en service de la fonction RSC. Immédiatement le conducteur actionne le bouton poussoir de commande mais l'appareillage déclenche le freinage d'urgence.

Déclarations sur le traitement de l'incident

Après l'arrêt, le moniteur affiche le message « *Défaut RSC à bord* » et le bouton poussoir de réarmement du frein (RF) est allumé fixe.

Le conducteur effectue le réarmement du frein sur l'appareillage. Constatant qu'il y avait toujours une fuite d'air et pensant que celle-ci était due à une avarie du robinet d'isolement du SCMT, il isole ce système. Constatant que cette manipulation n'a pas remédié à la fuite, il demande au CdT* de descendre pour effectuer la visite du train et rechercher la fuite.

Cet agent, lors de son arrivée sur l'avant-dernier wagon, constate la rupture de l'attelage entre ce wagon et le dernier. Immédiatement et après avoir fermé le robinet d'arrêt de l'avant-dernier wagon permettant la réalimentation de la conduite générale, il indique que le dernier wagon est freiné et juste après, il signale que ce wagon commence doucement à partir en dérive.

Immédiatement, le conducteur interrompt la communication avec le CdT pour informer le dirigeant mouvement (DM) de Modane de la dérive mais sans succès dans un premier temps.

Le conducteur précise qu'à aucun moment, il n'a fait reculer son train pour le rapprocher du 14^e wagon et tenter de rétablir l'attelage.

3.1.3 - Les déclarations du chef de train

Déclarations sur le déroulement de l'essai de frein

Entre 19h10 et 19h15, arrivant à proximité de la locomotive, le chef de train (CdT) demande au conducteur s'il est prêt à commencer l'essai de frein. Après sa réponse affirmative, il se rend, muni d'un marteau et d'une lampe, au niveau du premier wagon afin de vérifier si ses freins étaient desserrés. Après avoir constaté que le premier wagon était desserré, le CdT donne l'ordre de serrer en effectuant le signal à main réglementaire.

⁹ L'agent confond les balises du contrôle de vitesse KVB et les crocodiles de la répétition des signaux

* Terme figurant dans le glossaire

Ensuite, toujours avec le marteau, il vérifie le serrage de la rame et en arrivant en queue, puisque le train était accolé à une autre rame sur la même voie, il pénètre entre les deux rames et donne l'ordre de desserrage en ouvrant le robinet de queue. Une fois le robinet ouvert, il attend la vidange complète de la conduite générale puis il ferme ce robinet.

Ensuite, le chef de train remonte le côté opposé du train en vérifiant le desserrage de toute la rame. Une fois arrivé au niveau de la locomotive, il informe le conducteur de la fin de l'essai de frein et lui annonce que le résultat est correct.

Déclarations sur le traitement de l'incident

Après l'arrêt du train, le conducteur n'arrivant pas à rétablir la pression dans la conduite de frein, il demande au chef de train de descendre pour visiter le train.

Muni d'une lampe frontale et d'une cale prise sur la locomotive, le CdT commence la visite des wagons côté piste, laquelle est recouverte d'une couche de neige glacée qui rend l'opération de visite très difficile.

Presque arrivé au niveau de l'antépénultième wagon, il commence à entendre une fuite d'air et arrivé au niveau des 13^e et 14^e wagons, il constate la rupture d'attelage.

Il ferme le robinet d'arrêt du 13^e wagon.

Il s'approche ensuite du 14^e wagon, qui est arrêté à deux mètres derrière le reste du train, pour procéder à son immobilisation à l'aide de la cale et en agissant sur le frein à main. À ce moment, celui-ci commence à rouler lentement vers Modane.

Le CdT poursuit alors le wagon en tentant de l'immobiliser à l'aide de la cale.

Il avise immédiatement le conducteur puis il interrompt la communication pour aviser rapidement le dirigeant mouvement de Modane mais sans succès.

Le CdT précise que le temps écoulé, à partir de la descente de la locomotive jusqu'au point de rupture d'attelage, a été d'environ 8 à 10 mn. Il confirme qu'à aucun moment, le conducteur n'a fait reculer son train pour le rapprocher du 14^e wagon en vue de tenter de rétablir l'attelage.

3.1.4 - Les déclarations des agents SNCF du poste de la gare de Modane

Les déclarations de l'agent-circulation et des deux aiguilleurs en poste lors de l'accident sont concordantes ; elles peuvent être synthétisées comme suit.

Après le départ du train n° 47315 vers l'Italie, et l'entrée du train n° 42338, à 20h05, sur la voie 16 du faisceau import, le poste est appelé par l'équipe de manœuvre de Trenitalia qui vient de dételer la locomotive de queue de ce dernier train et qui demande à la garer à son dépôt. Les aiguilleurs tracent les itinéraires permettant de faire évoluer cette machine, puis, une fois ces itinéraires vérifiés, ils ouvrent le signal 261 ce qui a pour effet de figer les itinéraires concernés.

Quelques instants après les agents du poste observent que la zone 73, qui est la zone de la voie 1 située à hauteur de la section de séparation, vient d'être occupée.

Par la fenêtre du poste, ils voient arriver à vive allure un wagon qui se dirige vers la voie 16 et qui percute la locomotive de queue du train à l'arrêt.

L'agent circulation avise le COGC* et les secours et prend les mesures de protection de la voie concernée et des voies voisines.

* Terme figurant dans le glossaire

3.1.5 - Les déclarations du dirigeant mouvement RFI de Modane

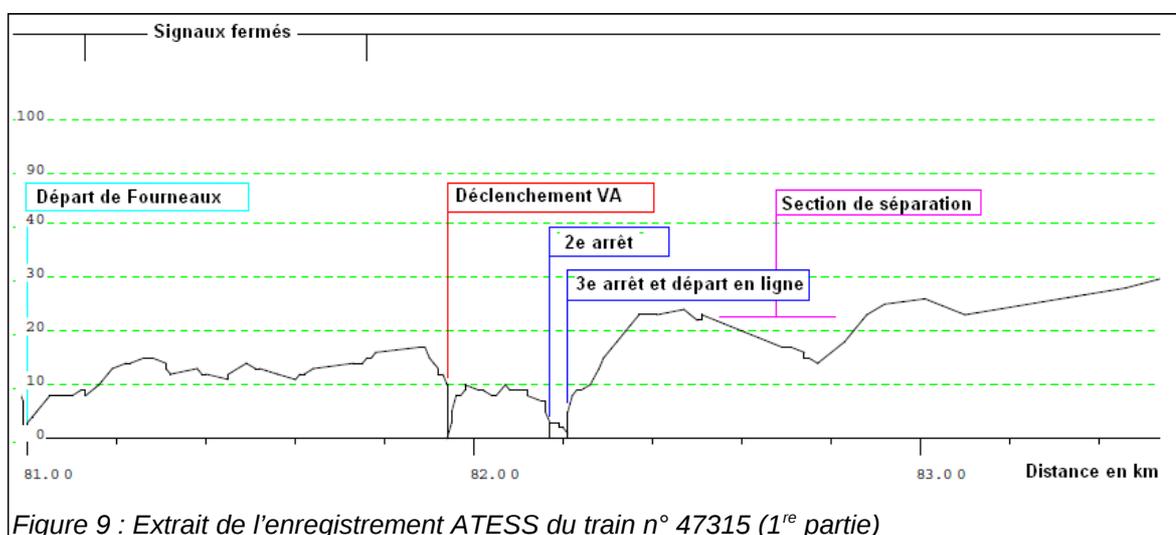
À 20h05, le dirigeant mouvement (DM) est appelé par le conducteur du train n° 47315 par le moyen du GSM-R*. Ce dernier l'avise d'un déclenchement du système SCMT et d'une probable rupture d'attelage.

Quelques instants plus tard, ce conducteur lui signale que le dernier wagon est manquant. Au même moment, le DM constate que la zone 73 passe au rouge puis il voit le wagon arriver et percuter la locomotive en attente d'évolution.

3.2 - L'examen des enregistrements d'événements conduite

L'examen du graphique des vitesses et la lecture du listing des événements enregistrés sur la locomotive du train n° 47315 met en évidence les points suivants.

Entre le départ de Fourneaux et l'arrêt au signal de sortie de la gare



Le conducteur s'identifie dans le système d'enregistrement à 19h 17mn 28s¹⁰ et la mise en mouvement a lieu à 19h 39mn 20s.

Il rencontre les signaux C215 et C243 qui sont enregistrés fermés.

Alors qu'un freinage avait été amorcé, un freinage d'urgence est déclenché par la VACMA à 19h 44mn 16s. La tête du train se trouve alors au km 235,900, au début du quai de la gare de Modane.

Après avoir redémarré, il marque un second arrêt de 14 secondes, 230 m plus loin. Puis après avoir parcouru 40 m sans dépasser la vitesse de 3 km/h, il s'arrête devant le signal C257. Ce dernier arrêt dure 6 mn et 14 s.

Outre le déclenchement de la VACMA, l'examen du listing montre plusieurs anomalies affectant la conduite notamment :

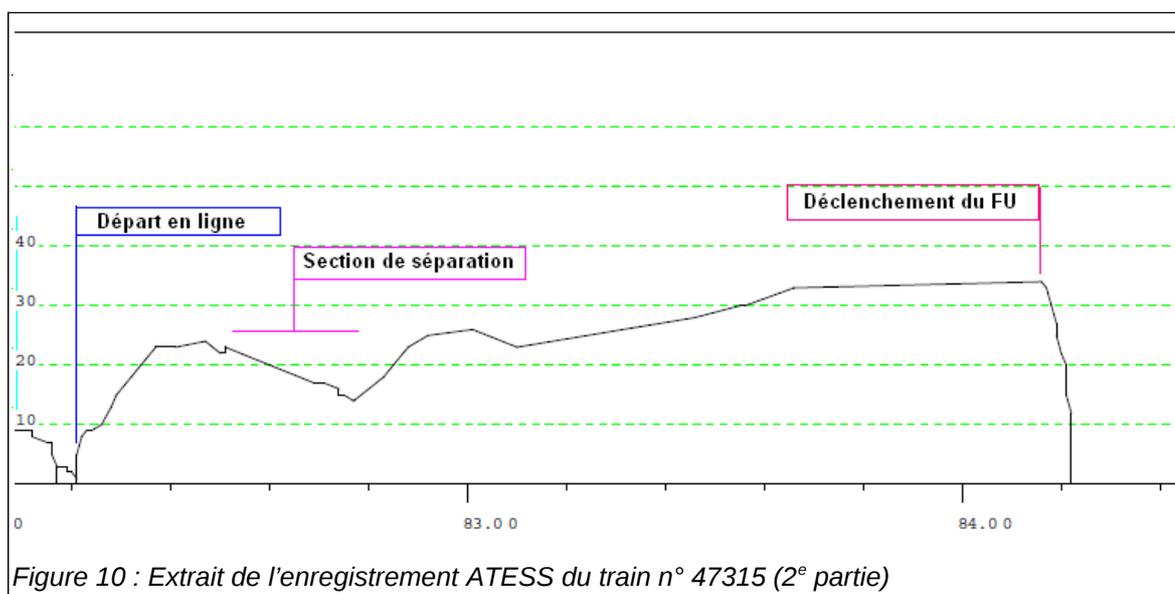
- l'actionnement injustifié et répété (20 fois) du bouton poussoir d'acquiescement alors que seuls deux signaux fermés nécessitant un tel acquiescement ont été franchis ;
- une vitesse irrégulière avec des alternances rapprochées de tractions et de freinages ;

* Terme figurant dans le glossaire

¹⁰ Les temps et les distances indiqués dans ce paragraphe sont ceux donnés par le système d'enregistrement de l'engin moteur.

➤ trois reprises de traction sans attendre le desserrage complet du frein.

Entre le départ en ligne et l'immobilisation du train



Le train part en ligne à 19h 54mn 10s.

La mise en vitesse s'effectue normalement jusqu'à 24 km/h puis la vitesse chute pendant la coupure de la traction lors du franchissement de la section de séparation 1500 – 3000 V.

Ensuite la circulation s'effectue normalement jusqu'au déclenchement du freinage d'urgence (FU) qui a lieu 1950 m après le départ, à 20h00. L'arrêt est obtenu au km 238,140 à 20h 00mn 10s.

L'enregistrement ATESS ne prend pas en compte la signalisation et les systèmes de sécurité italiens, ces aspects ont été analysés par l'autorité nationale de sécurité italienne (ANSF), sollicitée par le bureau d'enquête italien à la demande du BEA-TT.

L'avis exprimé par l'ANSF figure en annexe 2 au présent rapport.

Du point 2 de ce document, il ressort que les équipements de bord du système SCMT étaient en service et avaient été correctement initialisés et que, plus globalement, le comportement du personnel de conduite entre le point de changement de réglementation et le point d'arrêt du convoi est conforme à la réglementation en vigueur sur le réseau ferré italien.

Il apparaît donc que le déclenchement du freinage d'urgence est dû à un dysfonctionnement des équipements de bord.

3.3 - Orientation de l'enquête

Au vu des constats, des témoignages et des enregistrements, il apparaît que l'enquête devra particulièrement étudier les thèmes suivants :

- la rupture de l'attelage entre le 13^e et le 14^e wagon ;
- le comportement du frein du wagon dételé dans sa fonction d'immobilisation ;
- la conformité des actions de l'équipe de conduite lors de la préparation du train, pendant la circulation de celui-ci et lors de l'incident.

3.4 - Les investigations sur la rupture de l'attelage

3.4.1 - L'attelage

L'attelage entre le 13^e et le 14^e wagon était établi comme indiqué sur la figure ci-après.

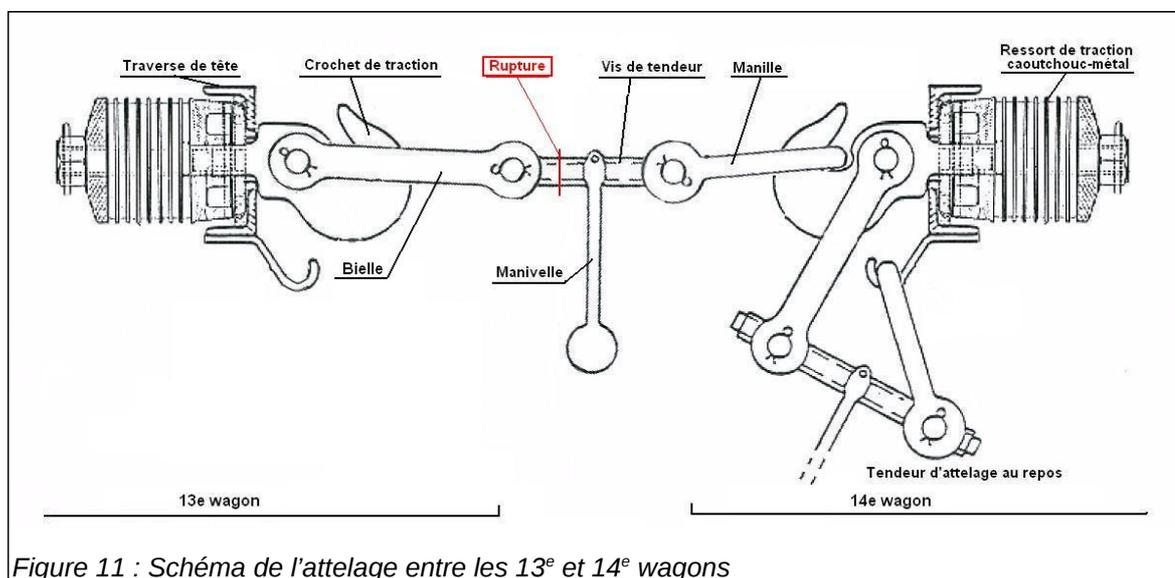


Figure 11 : Schéma de l'attelage entre les 13^e et 14^e wagons

Il s'agit d'un attelage de type classique spécifié pour supporter des efforts de 850 kN.

Ce type d'attelage équipe la majorité du parc européen de wagons. Les ruptures sont rares mais pas exceptionnelles et se produisent très généralement en tête ou au milieu du train.

3.4.2 - Les caractéristiques des tendeurs d'attelage

Les caractéristiques des attelages ferroviaires sont définies par des normes nationales et internationales et, s'agissant d'organes d'interopérabilité, par des documents internationaux à caractère obligatoire à savoir les fiches UIC* et les spécifications techniques d'interopérabilité (STI).

En l'occurrence, pour les matériels français, c'est la norme française NF F 10-407 de 1983 « *Tendeur d'attelage de 0,85 MN* », équivalente à la fiche UIC 826, qui était en vigueur depuis 1973 et jusqu'à la parution en 2009 de la norme européenne EN 15566 « *Organes de traction et tendeur d'attelage* », elle-même citée par la STI wagons.

Sur chaque pièce constitutive du tendeur, la conformité à ces normes est attestée par des marquages indiquant le fournisseur, l'année de fabrication et éventuellement le propriétaire.

3.4.3 - La maintenance des tendeurs d'attelage

Pour les attelages, les règles de maintenance de la SNCF, du VPI¹¹ et de ERMEWA sont semblables. Les tendeurs sont graissés et soumis à un examen visuel lors de chaque opération de maintenance préventive et curative du wagon. Ils sont soumis à un examen détaillé lors des révisions du wagon.

* Terme figurant dans le glossaire

11 Vereinigung der Privatgüterwagen-Interessenten (union des détenteurs de wagons de particuliers)

Ils ne font l'objet d'aucune dépose préventive systématique et demeurent donc en service aussi longtemps qu'aucune avarie visible ne les affecte.

La fiche VC3 503 de la SNCF prévoit le remplacement systématique, en révision, des tendeurs qui ne sont pas porteurs des marques « *U SNCF* » ou « *U St* » traduisant la conformité aux normes françaises ou européennes. Une telle règle vise à éliminer les tendeurs les plus anciens ou d'origine douteuse.

Toutefois, elle ne précise pas si l'absence de marque sur un ou plusieurs constituants du tendeur constitue ou pas un motif de dépose.

3.4.4 - *L'examen visuel du tendeur rompu*

Les bielles portent respectivement les marques « *U SNCF 65* » et « *U SNCF 80* » indiquant qu'elles ont été fabriquées pour la SNCF, respectivement en 1965 et 1980 et qu'elles sont conformes aux normes françaises de l'époque.

La manille porte un marquage différent indiquant sa fabrication en 1991 par la société MSI et sa constitution en acier 42C4. Il s'agit d'un fournisseur reconnu et d'un acier admis par la norme NF F 10-407 mais ce marquage n'atteste pas la conformité à une norme précise.

La vis de tendeur ne porte pas de marquage.



Figure 12 : Marquages des bielles et de la manille

Il apparaît donc que ce tendeur a été constitué, à un moment donné, après 1991, avec des pièces plus ou moins anciennes et dont certaines sont de provenance et de caractéristiques inconnues.

Ce tendeur n'est donc pas conforme aux prescriptions internationales qui imposent l'utilisation de pièces conformes aux normes nationales ou internationales et dûment marquées en conséquence.

À l'exception de la vis rompue, les pièces du tendeur ne présentent pas d'avarie apparente.

À l'examen du faciès de rupture de la vis du tendeur, on n'observe pas de trace d'une fissure de fatigue préexistante. L'ensemble de la surface est propre et présente les indices d'une rupture fragile.



Figure 13 : Vues des surfaces de rupture de la vis du tendeur

3.4.5 - Les expertises de la vis du tendeur

L'expertise réalisée par l'Agence d'Essai Ferroviaire (AEF) indique que la structure métallurgique correspond à un état « *normalisé*¹² » ce qui répond aux spécifications de la norme française NF F 10-407. Ce rapport indique également que la composition chimique de l'acier est conforme aux normes précitées, à l'exception de la teneur en manganèse de 1,03 % qui dépasse très légèrement le taux limite qui est de 1 %.

Cette expertise non-destructive n'inclut pas de vérification des caractéristiques mécaniques de l'acier.

L'attelage a également été expertisé par le CETIM* dans le cadre de l'enquête judiciaire.

Les conclusions sur l'état métallurgique et la composition chimique sont similaires à celles de l'AEF.

Mais en outre, le CETIM a pu prélever des éprouvettes sur la vis du tendeur qui lui ont permis d'effectuer des essais de flexion par choc permettant d'évaluer la résilience de l'acier utilisé.

Les résultats de ces essais figurent sur le tableau ci-après.

¹² Les normes françaises et européennes ainsi que le référentiel de l'UIC spécifient notamment que l'acier des tendeurs d'attelage doit subir un traitement thermique approprié qui peut être soit un traitement de normalisation, soit un traitement de trempe et revenu.

* Terme figurant dans le glossaire

Température d'essais	Essais	Energie de rupture KV ₂		Observations
0°C	1	4 J	Moyenne 6 J	Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	2	6 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	3	8 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
-10°C	4	5 J	Moyenne 4 J	Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	5	4 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	6	3 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
Ambiante	7	6 J	Moyenne 6.7 J	Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	8	6 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés
	9	8 J		Eprouvette rompue en deux morceaux séparés

Figure 14 : Résultats des essais de flexion par choc

On remarque que l'énergie de rupture KV₂ est très inférieure à la référence de 25 joules figurant dans les normes et à l'exigence de 15 joules figurant dans la fiche UIC 826 pour les tendeurs d'attelage en acier normalisé.

En outre, entre la température ambiante (20 °C) et -10 °C, sa valeur diminue de 40 %.

L'acier de la vis du tendeur n'est donc pas conforme aux prescriptions en vigueur depuis 1973 au moins.

Le CETIM pointe également la présence de défauts oxydés en fond et flanc de filet. De tels défauts ne sont pas détectables visuellement et leur présence n'est donc pas anormale sur une pièce soumise à des chocs et à des agressions diverses. Toutefois, ils constituent des zones de concentration de contraintes propices à l'amorçage d'une rupture en cas d'effort de traction élevé.

Au total il apparaît que la fragilité, notamment à faible température, de l'acier de la vis du tendeur et la détérioration de son état de surface étaient de nature à affaiblir sensiblement la résistance à la rupture de l'attelage, notamment en cas variation brutale de l'effort de traction.

3.4.6 - L'examen des ressorts de traction

Les systèmes d'attelage des matériels roulants sont munis de dispositifs élastiques dont la fonction est d'atténuer les pics des efforts longitudinaux de traction auxquels les tendeurs sont soumis notamment lors des transitions freinage – traction.

Dans le cas des wagons concernés, ces dispositifs sont réalisés par des ressorts de traction en caoutchouc-métal.

Sur les wagons impliqués, l'examen visuel de ces ressorts montre qu'ils sont dans un état correct, cohérent avec la date de révision des wagons.



Figure 15 : Vue du bloc de traction de l'attelage rompu

3.4.7 - L'évaluation des efforts longitudinaux de traction

Le Centre d'Ingénierie du Matériel (CIM) a réalisé, à la demande du BEA-TT, un calcul des efforts longitudinaux de traction susceptibles de se produire, lors d'un freinage d'urgence, dans les attelages d'un convoi dont la composition est semblable à celle du train n° 47315.

La synthèse des résultats de ce calcul figure dans le tableau ci-après.

	Configuration	Paragraphe	Freinage rame	Freinage locomotives	Etat des organes de choc et traction	Force de Traction totale Locomotives au moment du FU	Rampe	ELT maximal sur dernier attelage [kN]	ELT maximal sur le train [kN]
Configurations nominales	Régime GP	4.1	P	G	moyen	300	Réelle	250	>850
	Régime PP	4.2	P	P	moyen	300	Réelle	100	~550
	Régime LL	4.3	LL	G	moyen	300	Réelle	~550	>850
Variantes	Régime PLL	4.4	LL	P	moyen	300	Réelle	200	>850
	derniers wagons non freinés	4.5	P dont 4 derniers wagons non freinés	G	moyen	300	Réelle	0	<200
	derniers wagons freinés	4.6	P dont 3 derniers wagons non serré	G	moyen	300	Réelle	0	<200
	Dernier attelage serré à refus	4.7	P	G	moyen	300	Réelle	250	>850
	Tous attelages serrés à refus	4.8	P	G	moyen	300	Réelle	100	~550
	Jeu de 40 mm aux attelages	4.9	P	G	moyen	300	Réelle	400	>850
	Jeu de 40 mm aux attelages + régime LL	4.10	LL	G	moyen	300	Réelle	>850	>850
	Organes de choc et traction usés	4.11	P	G	usé	300	Réelle	>850	>850
	Organes de choc et traction neufs	4.15	P	G	neuf	300	Réelle	100	~750

Figure 16 : Synthèse des calculs des efforts longitudinaux de traction

Le bon état des organes de choc et traction vérifié sur le 13^e et le 14^e wagon, de même que le bon serrage des attelages observé sur l'ensemble de la rame conduisent à écarter les configurations 4.9, 4.10 et 4.11.

Il ressort que le dernier attelage ne subit des efforts élevés, se rapprochant de sa limite de rupture que dans la configuration 4.3 impliquant le régime de freinage LL.

3.4.8 - Retour sur la composition du train n° 47315

Comme indiqué au paragraphe 2.2, le train n° 47315 était freiné au régime LL sur son parcours de Sibelin à Modane et devait être remis au régime PG lors de son remaniement à Fourneaux. Ceci suppose que les manettes de changement de régime des cinq premiers wagons soient basculées du régime « *Marchandises* » au régime « *Voyageurs* ».

Le régime LL est marginal sur le RFN. Sur Chambéry – Modane, il n'est pratiqué que sur deux trains et ce depuis décembre 2012.

Or, le chef de train n'évoque jamais, dans ses déclarations, avoir manipulé ces manettes lors de la préparation du train et, en outre, il n'a pas été possible au BEA-TT d'obtenir, par l'intermédiaire de CTI*, une déclaration explicite du chef de train sur ce point.

Lors des constatations immédiates, la conformité du régime de freinage des wagons du train n'a pas été immédiatement vérifiée par les enquêteurs. Elle n'a été vérifiée que le lendemain de l'accident après le retour de la rame à Fourneaux et a été trouvée conforme.

3.4.9 - Conclusions relatives à la rupture d'attelage

La rupture de l'attelage entre le 13^e et le 14^e wagon est due à la conjonction :

- de la faiblesse mécanique du tendeur d'attelage ;
- d'efforts longitudinaux élevés qui se sont développés dans le corps du train lors du déclenchement intempestif du système SCMT.

La faiblesse du tendeur est clairement établie et s'explique par :

- l'utilisation d'une vis d'origine inconnue, fabriquée dans un acier présentant une faible résilience notamment à basse température ;
- la présence de défauts en fond et en flanc de filets sur la vis du tendeur.

En revanche, le niveau élevé des efforts de traction en queue de train pose question.

Les calculs du CIM montrent que l'atteinte d'un niveau très élevé d'efforts de traction dans l'attelage entre le dernier et l'avant-dernier wagon du train n'est possible que si les règles de composition ou de freinage ne sont pas respectées.

Ceci conduit le BEA-TT à ne pas écarter la possibilité que le freinage du train soit resté au régime LL au lieu de passer au régime PG lors du stationnement à Fourneaux.

3.5 - Les investigations sur le frein

3.5.1 - Rappel des principes de fonctionnement du frein des wagons

La conduite générale (CG) assure la commande du frein du wagon ainsi que la fourniture d'énergie pneumatique aux organes de ce frein par l'intermédiaire de variations de pression par rapport à la pression de référence qui est normalement de 5 bar.

* Terme figurant dans le glossaire

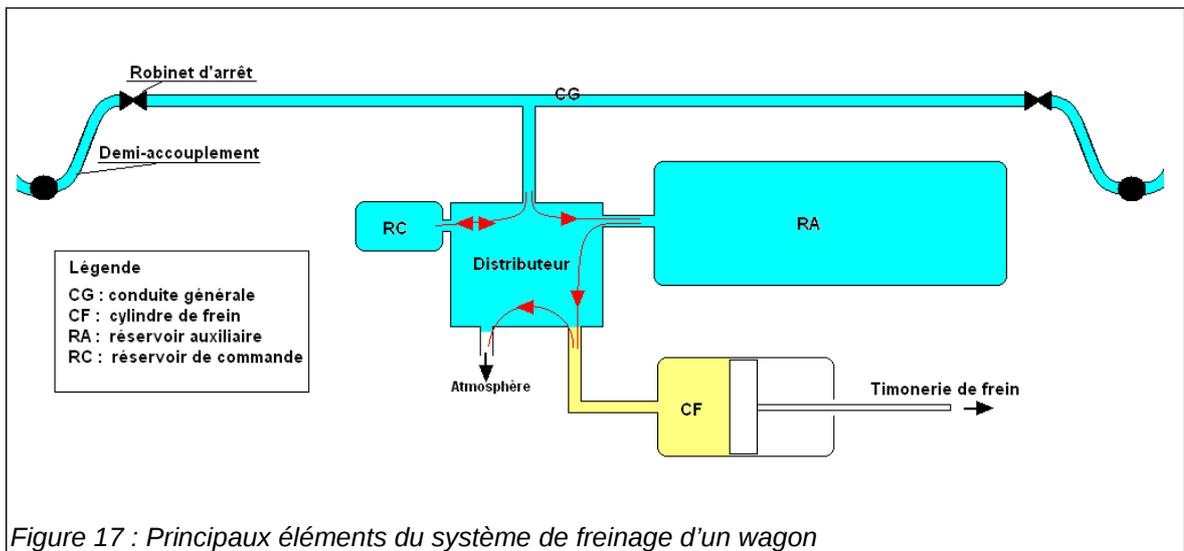


Figure 17 : Principaux éléments du système de freinage d'un wagon

Le réservoir auxiliaire (RA) constitue la réserve d'énergie pneumatique du système de freinage du wagon, utilisée lors des freinages. Sur le wagon R54, sa capacité est de 160 l.

Le réservoir de commande (RC) est un petit réservoir qui sert à conserver la pression de référence pendant les freinages. Sa capacité est de 10 l.

Le cylindre de frein (CF) actionne la timonerie de frein et assure le serrage du frein en fonction de la pression d'air qui lui est délivrée par le distributeur.

Le distributeur est l'organe central qui établit les communications entre les différents éléments du système afin notamment de :

- permettre le remplissage du RA entre les phases de freinage ;
- maintenir la pression de référence dans le RC ;
- piloter la pression dans le cylindre de frein en fonction de la différence entre la pression instantanée de la conduite générale (P_{CG}) et la pression de référence conservée par le réservoir de commande (P_{RC}) avec la loi suivante :

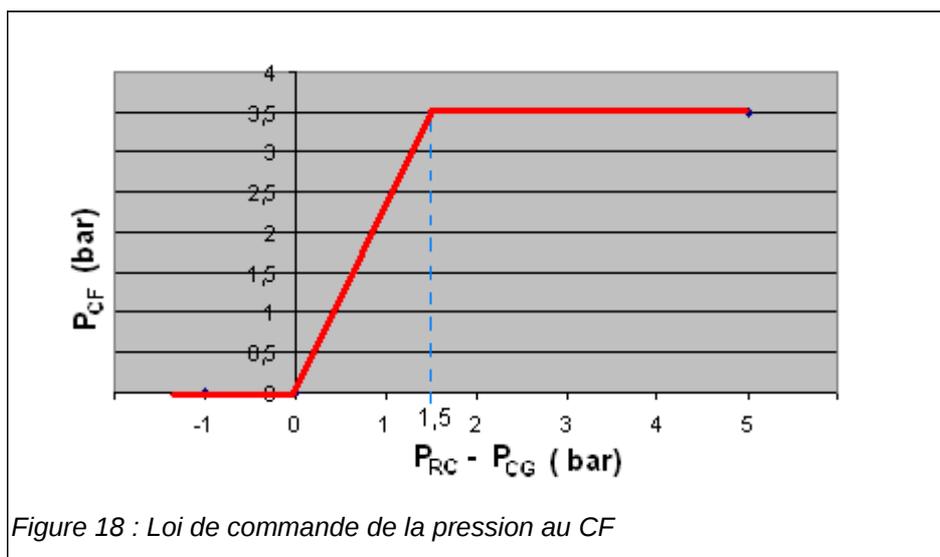


Figure 18 : Loi de commande de la pression au CF

Le frein pneumatique est conçu pour garantir un freinage normal des trains pendant leur circulation même en cas de fuites modérées sur la conduite générale ou sur les équipements des véhicules.

En revanche, le frein pneumatique ne garantit pas l'immobilisation sur une longue durée notamment pour un véhicule isolé. En effet, une fuite, notamment au niveau du CF, du RC ou du RA, aboutit au bout d'un temps plus ou moins long au desserrage du frein.

Toutefois, après un serrage à fond, si l'équipement du véhicule est dans un état normal, c'est-à-dire si les caractéristiques de ses différents éléments sont dans les tolérances de maintenance, le desserrage du frein ne se produit pas avant une heure.

En cas de stationnement d'un train ou d'un véhicule, des mesures d'immobilisation doivent être prises. Elles impliquent la pose de cales ou le serrage des freins à vis sur les véhicules qui en sont dotés.

3.5.2 - La continuité de la conduite générale sur l'ensemble du train

Indépendamment de l'essai complet du frein effectué par l'équipe de conduite avant le départ de Fourneaux, le fait, qu'après la rupture de l'attelage entre l'avant-dernier et le dernier wagon du train, le conducteur ait été dans l'impossibilité de rétablir la pression dans la conduite générale démontre que la continuité de la CG était établie sur l'ensemble du train.

Toutefois, le fait que le robinet d'arrêt de la conduite générale située à l'arrière (par rapport au sens normal du train) du dernier wagon ait été trouvé ouvert après la collision pourrait conduire à douter de cette conclusion.

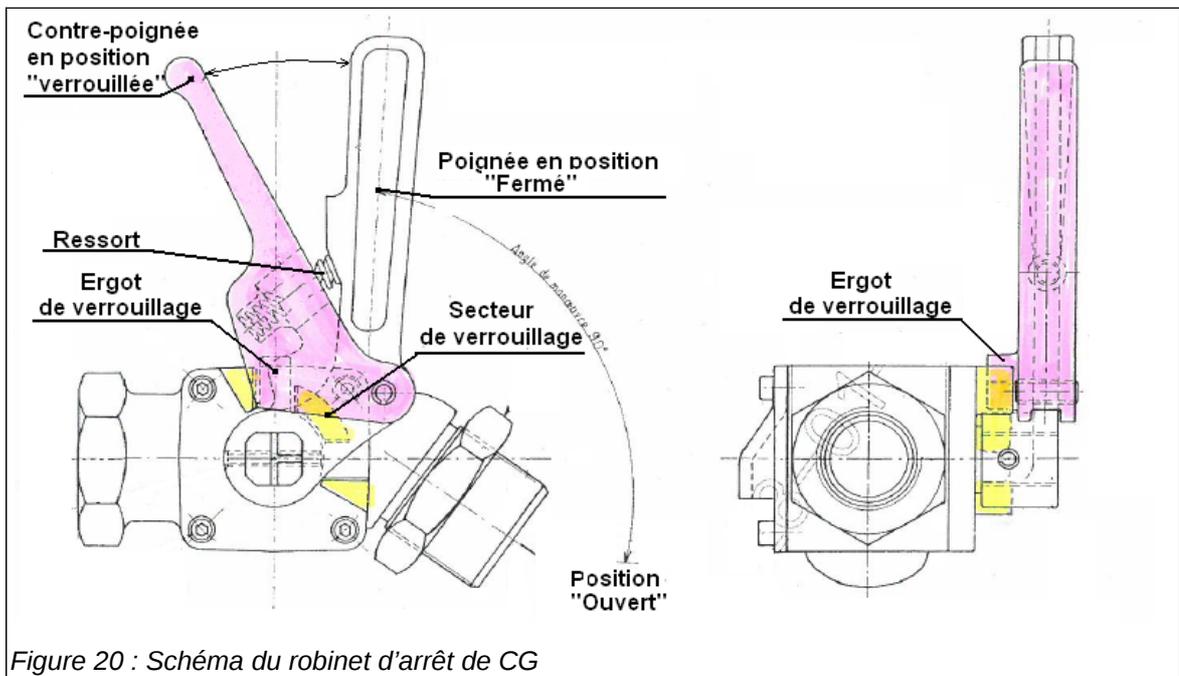


Figure 19 : Arrière du wagon avec robinet CG ouvert.

Explication de l'ouverture du robinet CG de queue

Les robinets d'arrêt de la CG sont actionnés par une poignée qui est en position haute lorsque le robinet est fermé et basse lorsqu'il est ouvert.

Afin que les trépidations et les chocs liés à la circulation et aux manœuvres ne puissent pas modifier indûment l'état du robinet, la poignée est immobilisée dans chacune des deux positions extrêmes par un verrouillage actionné par la contre-poignée.



Hypothèse du robinet ouvert au départ du train.

Si ce robinet avait été ouvert dès le départ du train, la pression de régime n'aurait pu être établie dans la CG du train que si la continuité de celle-ci était interrompue dans le corps du train.

Outre le fait que ceci aurait normalement été découvert lors de l'essai de continuité du frein réalisé avant le départ du train, une telle situation aurait eu pour conséquence que la rupture d'attelage n'aurait pas eu d'effet sur la pression CG. Après le déclenchement du SCMT, le conducteur aurait pu rétablir la pression de régime dans la CG et repartir sans s'apercevoir qu'il avait perdu un wagon.

Cette hypothèse est donc à écarter.

Hypothèse du robinet qui s'ouvre pendant la circulation du train.

Si le robinet n'avait pas été correctement verrouillé en position haute lors de la coupe des sept derniers wagons du train à Fourneaux, il n'est pas impossible qu'il se soit ouvert pendant la marche du train provoquant ainsi une vidange de la CG et un freinage.

Or le conducteur a formellement constaté un déclenchement de freinage d'urgence par le système SCMT avec affichage du signal de défaut correspondant.

Cette hypothèse supposerait donc que l'ouverture du robinet de queue et le déclenchement du SCMT aient été quasi simultanés ce qui est très improbable.

Hypothèse du robinet ouvert par le chef de train lors de son intervention.

Il a également été envisagé que le CdT, en l'absence de moyens d'immobilisation à sa disposition ait ouvert ce robinet dans une tentative pour arrêter le wagon qui commençait à dériver.

Outre le fait que le CdT ne mentionne pas une telle intervention et qu'elle n'aurait pas eu de sens, la CG du wagon étant déjà vide, une telle tentative dans l'obscurité et sur un sol couvert de neige aurait été très dangereuse pour l'agent.

Cette hypothèse est donc à considérer comme improbable.

Hypothèse du robinet qui s'ouvre lors de la collision.

Si l'on admet que la vitesse du wagon lors du choc est de 40 km/h et que l'arrêt se fait sur une distance de 0,50 m les calculs montrent que la décélération moyenne est de 122 m/s² soit 12 g.

La masse de la contre-poignée étant de 300 g environ, celle-ci est soumise à une force d'inertie d'environ 36 N appliquée à son centre de gravité et dirigée horizontalement vers l'avant du mouvement.

Dans la réalité, la décélération n'étant pas constante, la force d'inertie sur la contre-poignée peut atteindre par instants des valeurs bien supérieures à la valeur moyenne, suffisantes pour comprimer le ressort et déverrouiller la poignée.

Une fois la poignée déverrouillée, la force d'inertie la fait pivoter vers l'avant provoquant l'ouverture du robinet.

C'est cette hypothèse qui est à considérer comme la plus vraisemblable. Elle est confirmée par le fait que sur la locomotive percutée qui a subi des accélérations semblables mais de sens contraire, un des robinets de CG situés sur la traverse de tête a également été trouvé ouvert alors qu'il était fermé avant l'accident.

Au total il est démontré que la continuité de la CG était établie sur l'ensemble du train.

3.5.3 - Le fonctionnement du frein sur le dernier wagon

L'essai complet du frein effectué par l'équipe de conduite implique la vérification du serrage puis du desserrage sur chaque wagon.

Les constatations immédiates faites sur le wagon en cause après la collision ont relevé que la poignée d'isolement du frein était sur « *en service* ».

En outre, si son frein avait été isolé depuis le départ de Fourneaux, le wagon serait parti en dérive aussitôt après la rupture d'attelage ce qui n'a pas été le cas.

Tous ces éléments concordants permettent d'affirmer que le frein pneumatique fonctionnait sur le dernier wagon depuis le départ du train jusqu'à la rupture d'attelage.

3.5.4 - Recherche des causes du dysfonctionnement du frein du dernier wagon

À ce stade, il est acquis que la continuité de la conduite générale était établie sur l'ensemble du train et que le frein pneumatique du dernier wagon était en service.

La perte de l'immobilisation de ce dernier wagon quelques minutes après la rupture d'attelage constitue donc un dysfonctionnement du frein dont il convient de rechercher les causes.

Les essais de frein du 1^{er} février 2013

Le wagon en cause a fait l'objet d'un essai de fonctionnement du frein avec le banc d'essai mobile MOBiban, le 1^{er} février, alors que la température ambiante était d'environ 2 °C, donc nettement plus élevée que le jour de l'accident.

Avant l'essai proprement dit, il est constaté une fuite sur la conduite générale au niveau d'un raccord situé du côté de l'extrémité accidentée du wagon. Visuellement, on constate à cet endroit un désalignement des tuyaux, signe que cette fuite est très probablement une conséquence du choc.

Après serrage du frein automatique, il est également constaté une petite fuite au niveau du raccord du cylindre de frein et une autre au niveau du raccord du réservoir auxiliaire dont l'origine est indéterminée.

Avant de procéder à l'obturation de la fuite de la CG et à l'essai proprement dit, il est constaté que plus de 50 minutes après le serrage du frein, les semelles sont toujours serrées sur les roues.

La fuite de la CG est obturée avant de procéder à l'essai ; les deux autres sont laissées en l'état.

L'essai permet de constater que :

- la fuite au CF* est supérieure à la limite, qui est de 0,02 bar en 75 s, et constitue donc une non-conformité ;
- la fuite au RA* est inférieure à la limite.

Il permet également de détecter que le temps de serrage en régime « chargé – marchandises » est de 31,5 s, légèrement supérieur au maximum qui est de 30 s.

En résumé, les anomalies constatées sont mineures et ne permettent pas d'expliquer un éventuel desserrage intempestif et rapide du frein de ce wagon.

Les essais de frein du 8 février 2013

Au vu des résultats des essais du 1^{er} février, le BEA-TT a demandé la réalisation d'essais complémentaires visant à vérifier la tenue du serrage à une température négative, similaire à celle du 24 janvier qui était d'environ -8 °C.

Ces essais dont le rapport figure en annexe 3 ont été réalisés le 8 février par une température de -10 °C.

Ils ont été effectués, simultanément, non seulement sur le wagon impliqué dans la dérive mais aussi, à titre de wagon témoin, sur le wagon du même type qui le précédait immédiatement dans la rame du train n° 47315.

Trois essais successifs de 30 mn après serrage à fond par vidange de la CG ont eu lieu.

Dans les trois cas le desserrage des freins du wagon impliqué a été observé après respectivement 5 mn, 8 mn et 8 mn 40 s.

Simultanément, une fuite audible a été constatée au niveau du distributeur, le bruit de la fuite diminue progressivement puis cesse au moment où se produit le desserrage.

Parallèlement, on observe que la sortie de la tige du CF se réduit progressivement d'environ 10 mm par minute jusqu'au desserrage complet.

Dans le même temps, les freins du wagon témoin sont restés serrés normalement pendant toute la durée de ces essais successifs jusqu'à ce que leur desserrage soit provoqué en réalimentant la CG.

Les mêmes essais, sur les deux wagons, ont été réitérés en provoquant, sur la CG, une dépression de 1 bar au lieu d'une vidange complète. Les desserrages intempestifs du wagon impliqué ne se sont pas reproduits.

À l'issue de ces essais, il est clair que le distributeur du wagon n° 31 87 352 6369-7 présente un fonctionnement anormal par temps froid qui est probablement la cause du desserrage intempestif et de la dérive qui a provoqué l'accident du 24 janvier.

* Terme figurant dans le glossaire

L'expertise du distributeur à l'atelier de Rennes le 30 avril 2013

À la demande du BEA-TT, afin de simuler les effets du froid, l'essai au banc du distributeur a été réalisé après que ce dernier ait été maintenu pendant 24h dans un congélateur.

Le rapport d'essai figure en annexe 4.

Lors du premier essai, il a été constaté, pendant une dizaine de secondes, une fuite au niveau du dispositif de coupure provoquant une mise à l'air du circuit du cylindre de frein.

Lors des essais suivants, le distributeur s'étant réchauffé au contact de l'air ambiant, l'anomalie ne s'est pas reproduite.

À ce stade, l'hypothèse la plus probable pour expliquer cette fuite serait que le diaphragme supérieur (manchette) du dispositif de coupure durcirait sous l'effet du froid et n'assurerait plus l'étanchéité entre le circuit du cylindre de frein et l'atmosphère.

L'expertise de la manchette du dispositif de coupure du distributeur

Cette manchette a été expertisée par le CETIM ainsi que par un expert chimiste indépendant. Il en ressort d'une part que la manchette accuse une déformation permanente, d'autre part, qu'elle présente une souplesse diminuée par rapport à celle d'une membrane neuve.

Les essais du distributeur chez Faiveley-Transport les 29 et 30 avril 2014

À la demande du BEA-TT, des essais de fonctionnement du distributeur en cause ont été réalisés dans la chambre climatique du laboratoire de la société Faiveley-Transport à Amiens. Le rapport d'essai figure en annexe 5.

La manchette d'origine n'étant plus disponible, le distributeur avait été équipé d'une manchette prélevée sur un distributeur ancien.

Aucune anomalie n'a été constatée lors des essais à température ambiante, à -10 °C et à -15 °C.

En revanche, lors des essais à -25 °C, une fuite au dispositif de coupure a été systématiquement constatée.

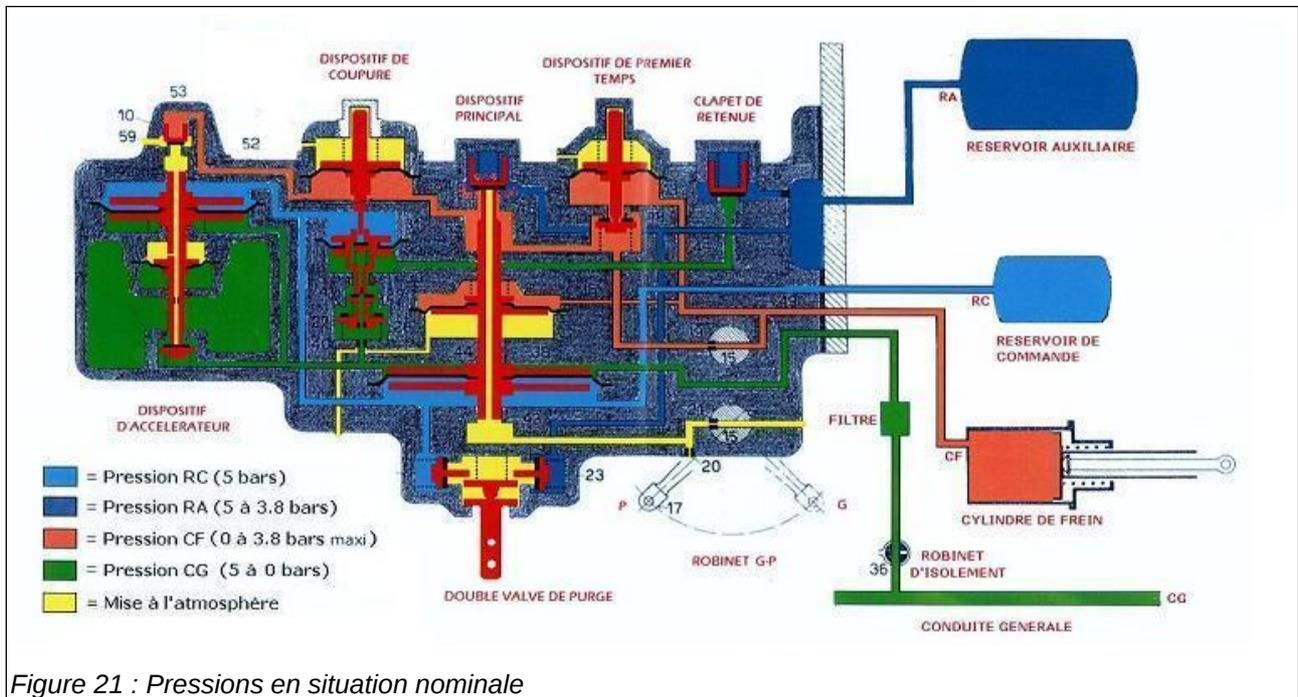
Contrairement à Rennes où la fuite s'est arrêtée après 10 secondes et n'a pu être reproduite, à Amiens la fuite s'est maintenue systématiquement jusqu'à l'épuisement du RA et donc au desserrage du CF qui a été obtenu en 6 mn environ.

Pendant cette fuite, il a été vérifié que le dispositif de coupure continuait à assurer l'étanchéité du réservoir de commande, la pression du RC* restant constante à 5 bar environ.

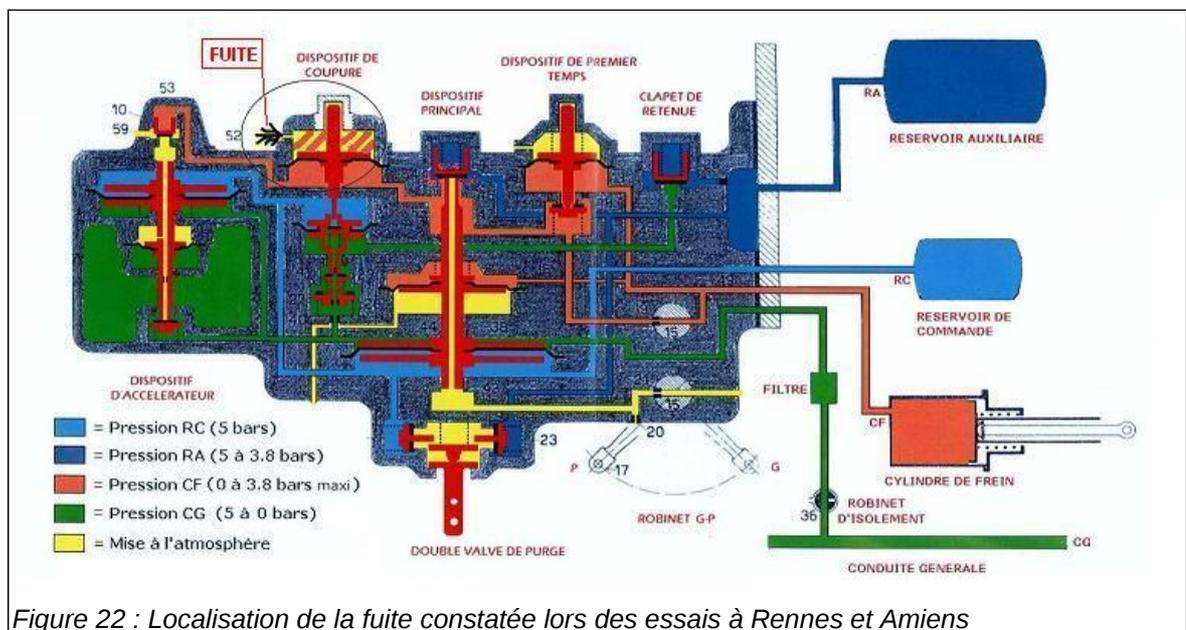
* Terme figurant dans le glossaire

3.5.5 - Le scénario de dysfonctionnement du frein

La répartition des pressions dans le distributeur, en situation nominale est donnée dans le schéma ci-après.

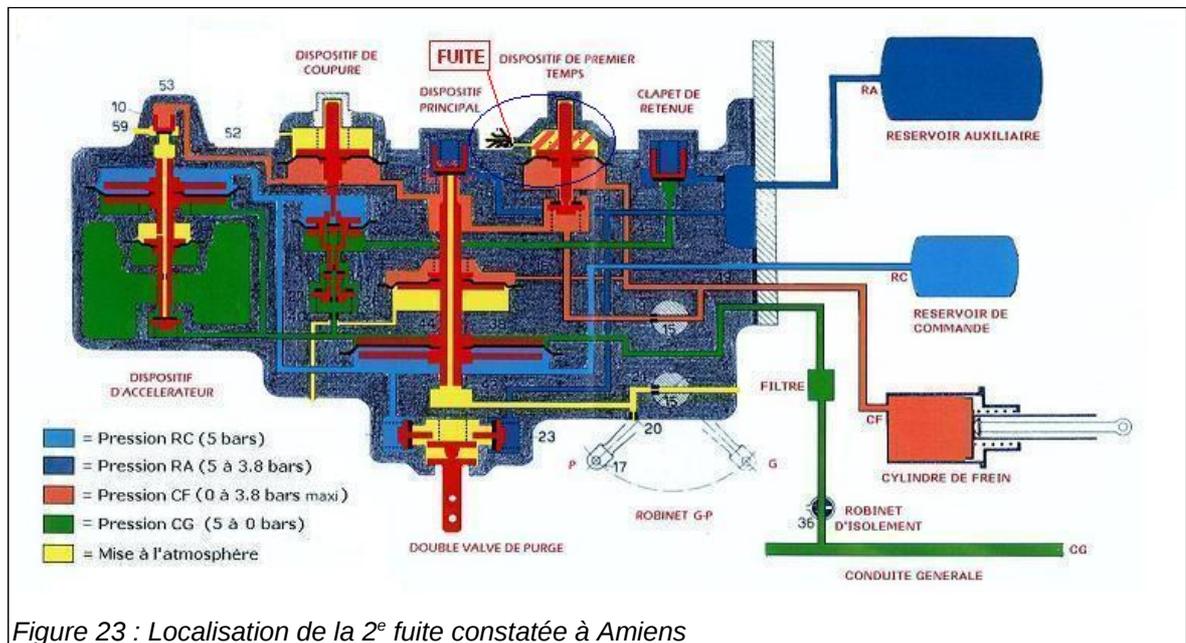


La fuite observée lors des essais à Rennes et à Amiens est représentée sur le schéma ci-après. Elle implique une perte d'étanchéité au niveau de la manchette du dispositif de coupure du distributeur.



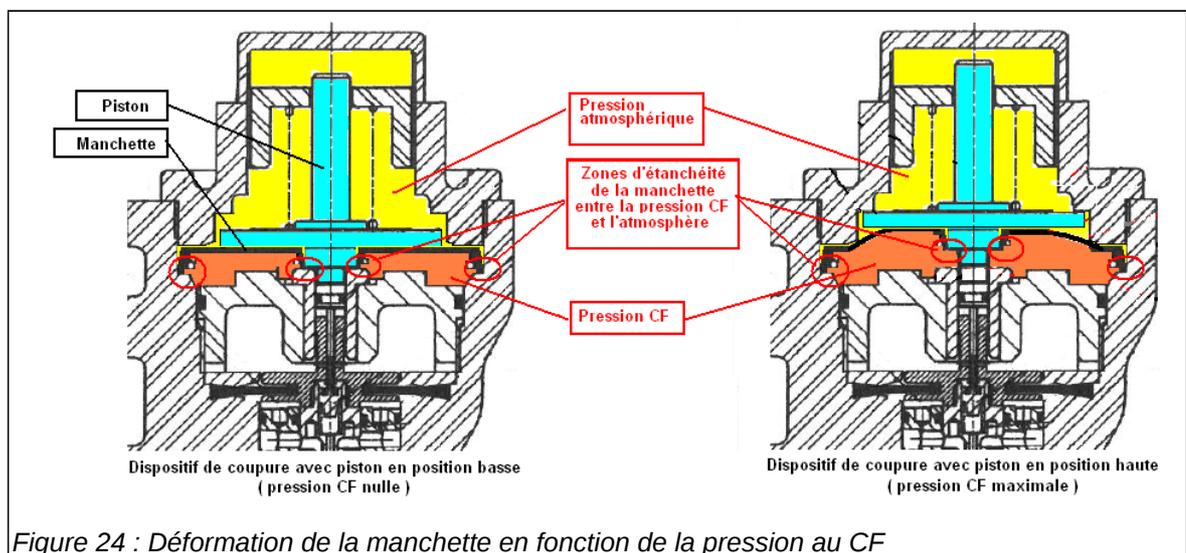
Après remplacement de la manchette du dispositif de coupure par une pièce neuve, des essais complémentaires ont mis en évidence un deuxième mode de défaillance conduisant également à un desserrage du frein en quelques minutes.

Ce mode de défaillance est représenté sur le schéma ci-après. Il s'agit d'une fuite au niveau du dispositif de premier temps impliquant également une perte d'étanchéité de la manchette concernée.



Dans tous les cas, il a été vérifié, tant à Rennes qu'à Amiens que les manchettes en cause n'étaient ni percées ni déchirées.

Il apparaît donc que la fuite est probablement causée par le décollement des lèvres d'étanchéité de la manchette lorsque celle-ci s'étire pour permettre le mouvement du piston sous l'effet de la différence de pression entre ses deux faces.



Le phénomène se manifeste sur des manchettes anciennes à basse température probablement en raison de la perte de souplesse de l'élastomère causée par les effets combinés du vieillissement et du froid.

3.6 - Les investigations sur la conduite

3.6.1 - La formation du train

Au-delà de Modane, les règles de composition des trains sont différentes de celles en vigueur sur le reste du réseau ferré national. Lors de leur stationnement sur le faisceau de Fourneaux, les trains à destination de l'Italie subissent donc, si nécessaire, des modifications portant sur la traction, la longueur, le tonnage et le régime de freinage.

Dans le cas des trains de Fret SNCF comme le train n° 47315, la coupe des wagons excédentaires et les manœuvres des engins moteurs sont réalisées par Fret SNCF. La mise en tête, la vérification de la composition et l'essai de frein sont effectués par l'équipe de conduite de Captrain-Italia.

Dans le cas d'un train arrivant en régime LL et devant repartir en régime PG, c'est au chef de train qu'il appartient de basculer les manettes de changement de régime des cinq premiers wagons.

Sur le bulletin de composition du train qu'il a rempli avant le départ, le CdT indique que tous les wagons sont freinés au régime P. Toutefois, dans ses déclarations, lorsqu'il détaille les actions effectuées lors de la préparation du train, il n'évoque pas la manipulation de ces manettes.

3.6.2 - La conduite du train

Comme indiqué plus haut, en gare de Modane, jusqu'au km 237,100, ce sont les règlements français qui s'appliquent et, au-delà, ce sont les règlements italiens. Il en va de même pour les équipements de sécurité, la signalisation et les installations de traction électrique.

Outre à être aptes aux deux tensions d'alimentation en courant continu 1500 et 3000 V, les engins moteurs des trains au départ de Modane en direction de l'Italie sont équipés à la fois des systèmes de sécurité français (RSO, KVB, VACMA¹³) et italiens (RSC, SCMT, Vigilante¹³).

Sur l'ensemble ferroviaire de Modane, les systèmes français et italiens sont actifs puis, lors de la commutation de tension 1500 – 3000 V, les systèmes français sont inhibés.

Cette spécificité implique une ergonomie de conduite particulière lors de la traversée de l'ensemble ferroviaire de Modane d'autant que, sur les engins concernés, des commandes peuvent avoir des fonctions différentes sur les systèmes de sécurité français et italiens. C'est le cas du bouton poussoir BP(AC)SF qui sert, sur le RFN, à acquitter la RSO au franchissement des signaux fermés et, sur le RFI, à armer le système Vigilante.

Les particularités ci-dessus peuvent être difficiles à maîtriser pour un conducteur débutant et expliquer certaines des anomalies constatées lors de l'examen des enregistrements ATESS et évoquées au paragraphe 3.2.

En revanche, au-delà de la section de séparation, l'ergonomie de l'engin et la signalisation sont conformes aux normes italiennes et la conduite du train ne présente aucune anomalie.

13 Respectivement systèmes de répétition des signaux, contrôle de vitesse et veille automatique.

3.6.3 - Les actions de l'équipe de conduite après la rupture d'attelage

Entre l'arrêt du train à la suite du déclenchement du SCMT et l'arrivée du chef de train en queue de la rame, il se passe environ 10 mn.

Ce temps est normal compte tenu :

- d'une part que le conducteur, avant de pouvoir présumer d'une rupture d'attelage, devait réarmer le SCMT et réalimenter le frein pneumatique ;
- d'autre part que la marche du chef de train était ralentie par l'obscurité et la neige.

Arrivé en queue du train, le CdT commence par fermer le robinet de queue du 13^e wagon puis lorsqu'il s'approche du wagon dételé, celui-ci commence doucement à partir en dérive.

Le CdT précise qu'il tente alors de l'arrêter avec la cale dont il s'est muni mais sans succès.

Le bureau d'enquêtes ferroviaires italien (DGIF^{*}), sollicité pour évaluer les actions de l'équipe de conduite, a conclu à la conformité de celles-ci avec la réglementation italienne.

Toutefois, il est permis de regretter que le chef de train ait jugé plus urgent de fermer le robinet de queue du 13^e wagon plutôt que de placer la cale anti-dérive sous les roues du 14^e ce qui aurait évité l'accident.

3.6.4 - Les habilitations et le suivi du personnel de conduite impliqué

Outre les règles d'habilitation et de suivi en vigueur chez Captrain-Italia pour le réseau italien, la convention en vigueur entre SNCF et Captrain-Italia prévoit que pour circuler sur le site de Modane les conducteurs de Captrain-Italia reçoivent une formation théorique et pratique assurée par la SNCF suivi d'un examen sanctionné par une habilitation spécifique. L'épreuve pratique de cet examen comporte un parcours entre Fourneaux et la frontière.

En outre, ces conducteurs doivent, au moins une fois par an, faire l'objet d'un accompagnement en ligne par un cadre Traction SNCF et d'un contrôle sur enregistrements portant sur un parcours sur le RFN.

Le conducteur âgé de 38 ans a été habilité à la conduite des trains par Captrain-Italia le 4 avril 2012. Son habilitation est limitée à la ligne Modane – Orbassano et aux engins de la série E436, appellation italienne des locomotives BB 36300.

Il a été habilité par la SNCF à exercer la fonction de conducteur sur le site de Modane, le 12 octobre 2012, après une formation théorique et pratique d'une durée de 4 jours.

Depuis son habilitation, il a été accompagné en ligne le 29 novembre 2012 et le 22 janvier 2013. Ces deux accompagnements ont eu lieu sur le réseau italien. Il a également fait l'objet d'un contrôle des enregistrements et des documents du train n° 49353 le 15 octobre 2012.

Le chef de train est âgé de 27 ans. Il a été habilité par l'EF Captrain-Italia aux fonctions d'agent de manœuvre, d'agent d'accompagnement et de reconnaiseur respectivement les 27 septembre, 11 octobre et 25 novembre 2011.

Il a fait l'objet d'un accompagnement sur le train n° 50990 le 17 février 2012 et d'un contrôle de la fonction de reconnaiseur le 13 juillet 2012.

* Terme figurant dans le glossaire

Au total, les agents impliqués possédaient les habilitations nécessaires pour l'exercice de leurs fonctions et étaient à jour par rapport aux règles de suivi prévues en interne par Captrain-Italia et par la convention SNCF – Captrain-Italia.

Toutefois on peut remarquer que le conducteur ne possédait que peu d'expérience de la conduite sur le RFN et qu'il n'avait pas été accompagné sur ce réseau depuis son habilitation.

3.7 - Le management de la sécurité dans la relation SNCF – Captrain-Italia

3.7.1 - Généralités

Comme indiqué au paragraphe 2.4, les modalités de la coopération entre les entreprises ferroviaires SNCF et Captrain-Italia sont définies dans la convention SFI – SNCF de juin 2009, SFI (SNCF Fret Italia) étant l'ancien nom de Captrain-Italia.

Les modalités en rapport avec la sécurité ferroviaire sont précisées autant que de besoin dans les annexes à cette convention, chacune dédiée à une prestation ou une fonction précise.

Ainsi, les questions relatives à la conduite des trains sont traitées dans l'annexe 4 qui comporte deux parties :

- l'annexe 4.1 : Accord entre la SNCF et SFI pour l'acceptation du personnel de conduite SNCF sur le réseau ferré italien ;
- l'annexe 4.2 : Accord entre la SNCF et SFI pour l'acceptation du personnel de conduite de SFI circulant sur le RFN sous le certificat de sécurité de la SNCF.

Les questions relatives à l'exercice de fonctions de sécurité, autres que la conduite des trains, par les agents de SFI sur le RFN ne sont pas traitées dans la convention. Or ces agents effectuent, sur les trains en partance vers l'Italie, les essais de frein et la vérification de la composition, opérations qui relèvent de la fonction de sécurité d'agent formation. Ensuite, les trains vers l'Italie étant équipés de deux agents en cabine, ils assurent la fonction d'agent d'accompagnement qui est également une fonction de sécurité au sens de l'arrêté du 30 juillet 2003.

Questionnée sur cette omission, la SNCF l'a justifiée par le fait que l'exercice de ces fonctions sur le site de Modane ne présente pas de particularité propre au RFN et donc que les habilitations italiennes n'avaient pas besoin d'être complétées par des formations et des habilitations spécifiques. Le BEA-TT prend acte de cet argument mais considère que la question devrait être évoquée dans la convention.

3.7.2 - La conduite des trains par les agents SFI sur le RFN

Les conducteurs de SFI pénètrent sur le RFN jusqu'à la gare de Modane incluse. C'est une pénétration de 13 km environ dont 10 en pleine ligne, en réglementation italienne, et 3 dans l'ensemble ferroviaire de Modane, en réglementation française.

L'annexe 4.2 définit donc les dispositions pratiques convenues entre la SNCF et SFI afin de garantir que les conducteurs possèdent en permanence :

- les aptitudes physiques et psychologiques requises par l'arrêté du 30 juillet 2003 ;
- les compétences professionnelles de base du métier de conducteur ;
- les compétences linguistiques ;

- les connaissances nécessaires à la conduite sur la section frontière sous réglementation italienne ;
- les connaissances nécessaires à la conduite dans l'ensemble ferroviaire de Modane sous réglementation française.

Elle définit également les dispositions relatives au management de la sécurité et notamment les audits à réaliser ou à commanditer par la SNCF, le processus de traitement des incidents survenus sur le RFN, le retour d'expérience et les modalités de la réunion annuelle de sécurité.

3.7.3 - Les réunions annuelles de sécurité

L'examen des ordres du jour et des comptes-rendus des réunions annuelles sécurité montre que les problèmes sont bien mis en évidence, traités et suivis.

Il permet également de mettre en évidence des sujets récurrents en lien avec l'accident du 24 janvier :

- les ruptures d'attelages suite à des freinages d'urgence ;
- les déclenchements intempestifs du SCMT ;
- les lacunes dans la formation continue et le suivi des conducteurs.

4 - Déroulement de l'accident et des secours

Le 24 janvier 2013 à 16h 51, le train n° 47315 Sibelin – Orbassano composé de 21 wagons grumiers chargés et freiné au régime LL est reçu sur la voie 23 du faisceau de Fourneaux. Pendant son stationnement il est mis en conformité avec les règles de composition en vigueur au-delà de Modane ; à cet effet, les sept derniers wagons du train sont coupés par l'agent de manœuvre de Fret SNCF.

Avant son départ vers l'Italie, à partir de 18h 30, le train subit une vérification de la composition et un essai de frein complet réalisé par l'équipe de conduite de l'entreprise ferroviaire Captrain-Italia qui assure la traction à partir de Modane.

Normalement, au cours de cette intervention, le chef de train bascule les manettes de changement de régime des cinq premiers wagons du train, le train devant être freiné au régime PG à partir de Modane.

La vérification et l'essai n'ayant pas révélé d'anomalie, le départ du train a lieu à 19h39. Il fait nuit et la température est de -8 °C.

Lors de l'évolution entre le faisceau de Fourneaux et le signal C257 situé à la sortie de la gare de Modane, la conduite du train présente de nombreuses incohérences. Sur cette distance de 1200 m environ, on observe notamment :

- l'actionnement injustifié et répété (20 fois) du bouton poussoir d'acquiescement alors que seuls deux signaux fermés nécessitant un tel acquiescement ont été franchis ;
- l'oubli de réarmement de la VACMA conduisant à un déclenchement de freinage d'urgence ;
- une vitesse irrégulière avec des alternances rapprochées de tractions et de freinages ;
- trois reprises de traction sans attendre le desserrage complet du frein ;
- un arrêt au C257 mal négocié obligeant à une remise en mouvement sur 40 m pour s'approcher du signal.

Une telle conduite est susceptible de provoquer des réactions longitudinales soumettant les attelages à des sollicitations excessives.

Après l'ouverture du C257 à 19h 54, le départ en ligne et la montée en vitesse se font normalement.

Après un parcours de moins de 2 km, et alors que le train circulait à 34 km/h, un freinage d'urgence est déclenché intempestivement par le contrôle de vitesse italien SCMT.

L'arrêt du train est obtenu à 20h00 à hauteur du km 238,140.

La vis du tendeur d'attelage situé entre le 13^e et le 14^e et dernier wagon, constituée d'un acier à faible résilience et fragilisée par le froid et peut-être par les sollicitations subies antérieurement, se rompt sous l'effet de la réaction de freinage. Le dernier wagon s'écarte de la rame provoquant le désaccouplement de la conduite générale (CG) de frein et donc une fuite d'air derrière le 13^e wagon.

Lors de la réalisation des actions prescrites après un tel déclenchement du SCMT, le conducteur ne peut rétablir la pression de régime dans la CG.

Il demande alors au chef de train (CdT) d'effectuer la visite du train et de rechercher une fuite d'air.

Vers 20h10, arrivant en queue du train, le CdT entend la fuite d'air puis constate la rupture d'attelage et le wagon de queue arrêté à deux mètres du reste de la rame.

Pour arrêter la fuite, il ferme le robinet de la CG derrière le 13^e wagon.

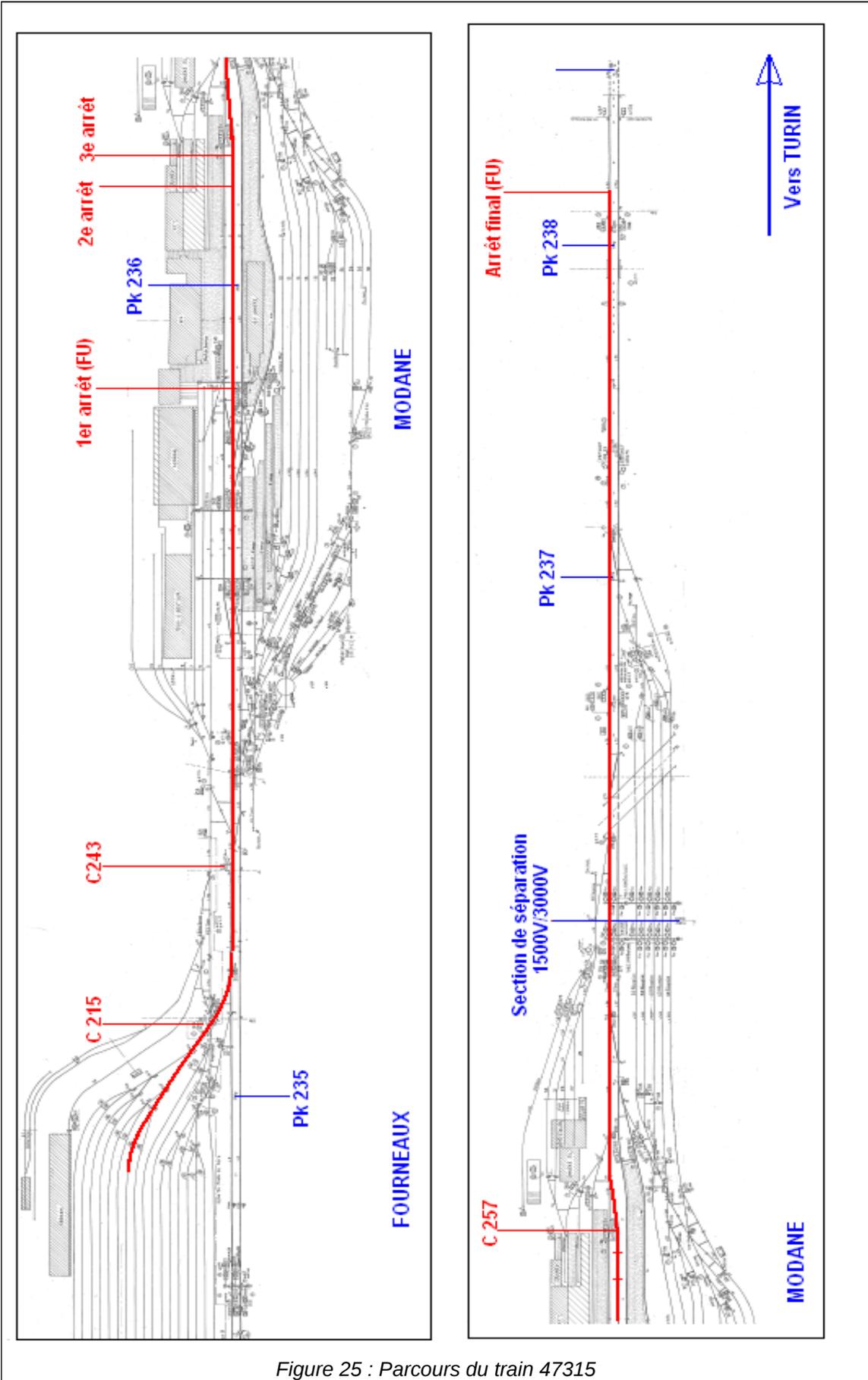


Figure 25 : Parcours du train 47315

Pendant les dix minutes écoulées entre le freinage et l'arrivée du CdT, le frein du 14^e wagon s'est progressivement desserré en raison d'un dysfonctionnement de son distributeur en rapport avec le froid ambiant. Alors que le CdT s'approche pour procéder à son immobilisation, le wagon commence à rouler en direction de Modane.

Le CdT ne peut l'arrêter.

Il avise immédiatement le conducteur puis essaie de joindre le dirigeant mouvement de Modane sans succès.

Le conducteur réussit à contacter le DM après 2 ou 3 minutes alors que le wagon est déjà arrivé à l'entrée de la gare de Modane.

Le wagon emprunte alors à rebours l'itinéraire V16 – V1bis qui avait été tracé pour l'évolution de la locomotive de queue du train n° 42338.

À 20h15, le wagon percute violemment cette locomotive lui occasionnant de graves avaries, blessant deux agents qui se trouvaient à bord et contusionnant un troisième.

L'agent circulation du poste de Modane prend immédiatement les mesures de protection du faisceau concerné. Il demande la coupure d'urgence du secteur puis il réalise la consignation caténaire des voies 14, 16 et 18.

Les sapeurs-pompiers du centre de Modane arrivent sur les lieux de la collision à 20h30. Les blessés sont évacués vers le centre hospitalier de Saint-Jean-de-Maurienne alors que l'agent contusionné est soigné sur place.

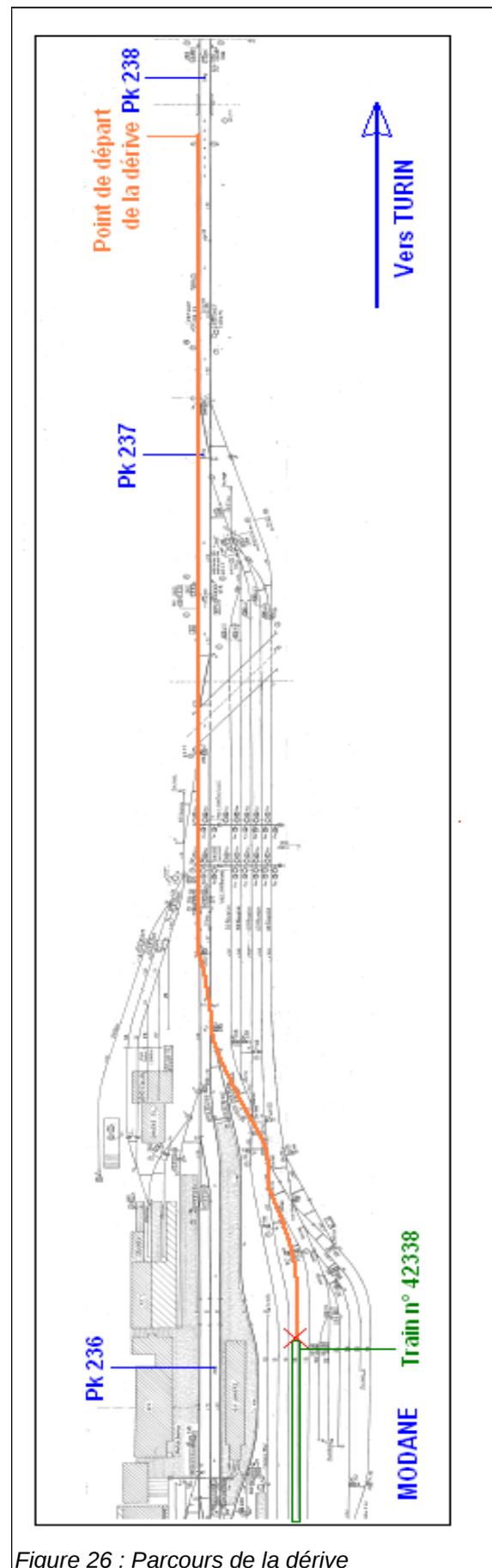
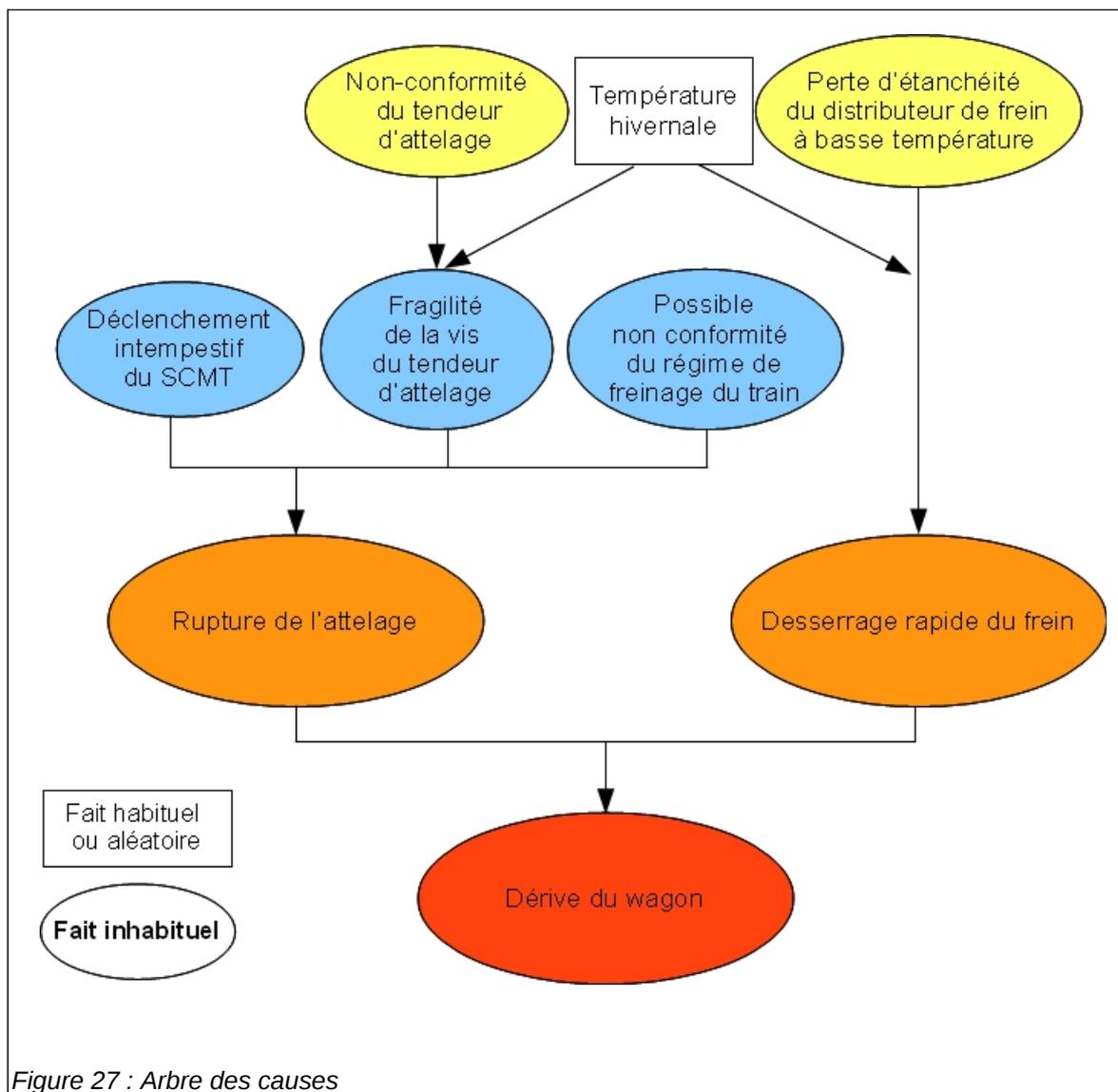


Figure 26 : Parcours de la dérive

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

5.1 - Les causes de l'accident



La dérive du dernier wagon du train de Fret SNCF n° 47315 et la collision qui s'en est suivie ont deux causes immédiates : la rupture de l'attelage et le desserrage rapide du frein de ce wagon.

L'analyse de l'arbre des causes conduit à rechercher principalement les orientations préventives dans les deux domaines suivants :

- la mise en conformité des tendeurs d'attelage avec les normes en vigueur ;
- l'étanchéité des distributeurs de type C3A aux basses températures.

Par ailleurs, des améliorations dans les domaines du respect des règles de composition des trains, de la qualité de la conduite et de la fiabilité des équipements de bord du système SCMT sont également recherchées.

5.2 - La mise en conformité des tendeurs d'attelage avec les normes récentes

Les normes nationales comme la NF F 10-407 de 1983 et la fiche UIC 826, dont la dernière édition date de 2004, exigent, pour les tendeurs d'attelage, l'utilisation d'aciers présentant un niveau de résilience minimal KV_2 de 15 joules.

La norme européenne EN 15566 de 2009 exige un niveau de résilience KV_2 de 25 joules au moins.

Ces exigences visent à éviter les ruptures fragiles comme cela a été le cas pour la vis du tendeur en cause dans la dérive de Modane.

La vis du tendeur rompu, dont la résilience n'est que de 6,7 joules à température ambiante et de 4 joules à -10 °C , ne respectait ni la norme française, ni la fiche UIC, ni a fortiori la norme européenne. Elle ne portait d'ailleurs pas les marquages attestant de la conformité à une norme.

Pour éliminer les pièces les plus anciennes ou d'origine douteuse, la SNCF au travers de la fiche de visite VC0 503, prescrit le remplacement systématique, lors des révisions ou en cas d'intervention, des tendeurs qui ne sont pas porteurs des marques « *U SNCF* » ou « *U St* » traduisant respectivement la conformité à la norme française ou européenne.

Cette règle s'appliquait lorsque le wagon n° 31 87 352 6526-2 porteur de l'attelage rompu était sous maintenance SNCF et s'applique toujours sous couvert de son ECM* actuelle.

Toutefois, ce document ne s'applique qu'en révision, c'est-à-dire à des intervalles pouvant atteindre 25 ans, et il est insuffisamment clair car il ne précise pas si l'absence de marque sur un ou plusieurs constituants du tendeur constitue, ou pas, un motif de dépose de l'ensemble.

Au total, le BEA-TT considère que cette règle n'est pas assez efficace. Il adresse donc la recommandation suivante à ERMEWA qui est l'ECM actuelle du wagon et à SNCF Direction du Matériel qui est l'ancienne ECM et qui assure l'ingénierie de maintenance de la série.

Recommandation R1 (ERMEWA, SNCF Direction du Matériel) :

Resserrer et préciser la règle de maintenance visant à rechercher et à éliminer, sur le parc de wagons dont vous êtes l'entité en charge de la maintenance, les tendeurs d'attelage ne portant pas les marques de conformité à la norme européenne ou à des normes nationales reconnues.

Le BEA-TT invite ERMEWA et la SNCF à transmettre et à faire partager cette recommandation aux autres ECM dans le cadre des instances nationales et internationales auxquelles ils participent.

Il invite l'EPSF à transmettre également cette recommandation à toutes les ECM établies en France et à alerter l'ensemble des ANS sur l'intérêt de faire de même dans leur État membre.

* Terme figurant dans le glossaire

5.3 - L'étanchéité des distributeurs de type C3A aux basses températures

Les différents essais et expertises effectués dans le cadre de la présente enquête ont permis d'établir que, très probablement :

- la fuite au dispositif de coupure était bien la cause du desserrage rapide du frein ;
- le froid et l'âge de la manchette de ce dispositif jouent un rôle déterminant en diminuant son élasticité et donc son aptitude à assurer l'étanchéité du circuit du cylindre de frein ;
- la manchette du dispositif de « *premier temps* » est susceptible de provoquer la même anomalie que celle du dispositif « *de coupure* ».

Les distributeurs de la famille C3 équipent, dans l'ensemble de l'Europe, plusieurs centaines de milliers de wagons et autres matériels roulants qui sont susceptibles de rencontrer couramment des températures hivernales très rigoureuses et donc de reproduire l'anomalie à l'origine de la dérive de Modane. La situation actuelle ne peut donc pas être laissée en l'état.

Toutefois, la probabilité pour que cette anomalie ne débouche sur un événement critique est faible. Les mesures préventives doivent donc être cohérentes avec le nombre élevé de véhicules concernés et la faible criticité du mode de défaillance.

L'ancienneté de 11 ans de la manchette incriminée est très inférieure à la périodicité de révision des distributeurs prescrite par les principaux schémas en vigueur en Europe. Cette périodicité est de 18 ans selon le schéma de maintenance SNCF et de 20 ans selon celui du VPI.

Le BEA-TT considère que le problème ne peut pas être réglé raisonnablement par la réduction des périodicités et qu'une solution technique est plutôt à rechercher.

Il adresse les recommandations suivantes à Faiveley-Transport, le fabricant des distributeurs concernés, à ERMEWA, l'ECM actuelle du wagon et à SNCF Direction du Matériel qui est l'ancienne ECM et qui assure l'ingénierie de maintenance de la série.

Recommandation R2 (Faiveley-Transport, SNCF Direction du Matériel) :

Rechercher, pour les distributeurs de type C3A et C3W, une modification des spécifications des manchettes des dispositifs « *de coupure* » et « *de premier temps* », ou de leur montage, permettant de garantir l'étanchéité du circuit du cylindre de frein jusqu'à -25 °C avec une durée de vie cohérente avec les schémas de maintenance.

Recommandations R3 (ERMEWA, SNCF Direction du Matériel) :

Dès que la modification faisant l'objet de la recommandation R2 sera mise au point, la faire appliquer lors des révisions des distributeurs concernés des wagons dont vous êtes l'entité en charge de la maintenance.

Le BEA-TT invite ERMEWA et la SNCF à transmettre et à faire partager cette recommandation aux autres ECM dans le cadre des instances nationales et internationales auxquelles ils participent.

Il invite l'EPSF à transmettre également cette recommandation à toutes les ECM établies en France et à alerter l'ensemble des ANS sur l'intérêt de faire de même dans leur État membre.

5.4 - Les autres orientations préventives

5.4.1 - Le respect des règles de composition des trains

Le train n° 47315 était freiné au régime LL sur son parcours de Sibelin à Modane et devait être freiné au régime PG au-delà de Modane.

L'utilisation du régime LL est rare et récente sur le réseau ferré national. À l'époque de l'accident, il n'était pratiqué que sur deux trains arrivant à Modane et ce depuis décembre 2012.

Le BEA-TT n'a pas de preuve sur la position réelle des manettes de changement de régime au départ de Modane. Toutefois, les calculs effectués par le Centre d'Ingénierie du Matériel de la SNCF ont clairement établi qu'une non-conformité du régime de freinage d'un train peut avoir des conséquences graves, sur le niveau des efforts longitudinaux de traction, notamment en queue de train.

Le BEA-TT invite la SNCF et Captrain-Italia à fiabiliser le processus de préparation des trains sur le site de Modane et à effectuer des contrôles de la bonne exécution de ce processus sur les trains faisant l'objet d'un changement de régime de freinage.

5.4.2 - La qualité de la conduite des trains par les agents de Captrain-Italia sur le site de Modane

L'analyse de la conduite du train sur la partie de son parcours équipée de la signalisation française montre que le conducteur ne maîtrisait pas correctement l'utilisation des équipements de sécurité français et l'ergonomie particulière des engins interopérables.

S'il n'est pas démontré que la conduite irrégulière qui en résulte ait pu fragiliser l'attelage entre les deux derniers wagons, et contribuer à sa rupture ultérieure, il n'en demeure pas moins qu'un tel manque de maîtrise interroge sur la qualité de sa formation et sur le suivi, par sa hiérarchie, de ses prestations sur le RFN.

Le BEA-TT invite la SNCF et Captrain-Italia à améliorer la formation des conducteurs CTI circulant sur le site de Modane et notamment à vérifier leur maîtrise des équipements de sécurité français et de l'ergonomie particulière des engins interopérables. En outre, le BEA-TT invite la SNCF à raccourcir le délai maximal d'un an entre l'habilitation de l'agent et son premier accompagnement en ligne par un cadre traction SNCF.

5.4.3 - La fiabilité des équipements de bord du système SCMT sur les locomotives de la série E436

En soi, un déclenchement intempestif d'un système de sécurité provoquant l'arrêt du train n'est pas un événement contraire à la sécurité. Il peut toutefois intervenir dans la chaîne causale d'un événement critique ou d'un accident.

Il est donc important que l'intégration des équipements de sécurité sur chaque série d'engins soit conçue et mise au point de façon à limiter au maximum de tels déclenchements.

Le BEA-TT invite la SNCF qui a conçu et réalisé l'intégration du système de contrôle de vitesse SCMT sur les locomotives de la série E436 à faire tous ses efforts pour en fiabiliser le fonctionnement.

6 - Conclusions et recommandations

6.1 - Les causes de l'accident

La dérive du dernier wagon du train de Fret SNCF n° 47315 et la collision qui s'en est suivie ont deux causes immédiates : la rupture de l'attelage et le desserrage rapide du frein ce wagon.

La rupture de l'attelage a été provoquée :

- par les réactions longitudinales engendrées par un déclenchement intempestif du freinage d'urgence qui a été commandé par le système de contrôle de vitesse SCMT du train concerné ;
- par la fragilité de la vis du tendeur d'attelage de l'avant-dernier wagon, qui n'était pas conforme aux normes en vigueur ;
- par une possible non-conformité du régime de freinage du train.

Le desserrage rapide du frein du wagon qui a dérivé est ensuite la conséquence d'un défaut d'étanchéité de son distributeur dû très probablement à la perte de souplesse à basse température, en lien avec le vieillissement de l'élastomère les constituant, des manchettes des dispositifs « *de coupure* » et « *de premier temps* » de cet organe.

6.2 - Les recommandations

À la lumière de ces éléments, le BEA-TT formule les trois recommandations suivantes :

Recommandation R1 (ERMEWA, SNCF Direction du Matériel) :

Resserrer et préciser la règle de maintenance visant à rechercher et à éliminer, sur le parc de wagons dont vous êtes l'entité en charge de la maintenance, les tendeurs d'attelage ne portant pas les marques de conformité à la norme européenne ou à des normes nationales reconnues.

Recommandation R2 (Faiveley-Transport, SNCF Direction du Matériel) :

Rechercher, pour les distributeurs de type C3A et C3W, une modification des spécifications des manchettes des dispositifs « *de coupure* » et « *de premier temps* », ou de leur montage, permettant de garantir l'étanchéité du circuit du cylindre de frein jusqu'à -25 °C avec une durée de vie cohérente avec les schémas de maintenance.

Recommandations R3 (ERMEWA, SNCF Direction du Matériel) :

Dès que la modification faisant l'objet de la recommandation R2 sera mise au point, la faire appliquer lors des révisions des distributeurs concernés des wagons dont vous êtes l'entité en charge de la maintenance.

Par ailleurs, le BEA-TT invite les entreprises ferroviaires SNCF et Captrain-Italia, chacune pour ce qui la concerne, à fiabiliser le processus de préparation des trains sur le site de Modane, à améliorer la formation des conducteurs de Captrain-Italia qui y circulent et à accroître la fiabilité du fonctionnement sur les locomotives de la série E436 du système de contrôle SCMT qui y a été intégré.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Analyse de la conduite du train n° 47315 au-delà de la gare de Modane par l'Autorité Nationale de Sécurité Ferroviaire italienne

Annexe 3 : Résultats des essais de frein effectués le 8 février 2013 à Modane sur les 13^e et 14^e wagons du train n° 47315

Annexe 4 : Rapport de l'expertise du distributeur du frein du wagon parti en dérive, effectuée le 30 avril 2013 par la SNCF au Technicentre de Rennes

Annexe 5 : Rapport des essais du distributeur du frein du wagon parti en dérive, effectués en avril 2014 par la société Faiveley-Transport

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

*Bureau d'enquêtes sur les accidents
de transport terrestre*

La Défense, le 29 janvier 2013

Le Directeur

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,

Vu le code des transports et notamment le titre II du livre VI de la 1^{re} partie relatif à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport ;

Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 modifié relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de l'accident ferroviaire impliquant un train de marchandises et une locomotive survenu le 24 janvier 2013 à Modane en Savoie ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application du titre II du livre VI de la 1^{re} partie du code des transports sur la rupture d'attelage, la dérive et la collision avec une locomotive du wagon de queue d'un train de marchandises survenus le 24 janvier 2013 à Modane en Savoie (73).

Le Directeur du BEA-TT

Claude AZAM

Annexe 3 : Résultats des essais de frein effectués le 8 février 2013 à Modane sur les 13^e et 14^e wagons du train n° 47315

Essai à réaliser sur les wagons 13 et 14 raccordés à T° ambiante

→ Réaliser 3 fois de suite un serrage à fond avec vidange de la CG (conditions identiques à une rupture d'attelage)

1 ^{er} test	Valeur	hh-mm	Commentaire
Température extérieure en C°	-10 °C		Froid sec, sans vent.
Pression des manomètres du locotracteur en bar avant dépression	5,1 bars	09h45	
État de la conduite générale		09h49	Dépression réalisée par mise à l'atmosphère en ouvrant le robinet CG entre le 13 ^e wagon et le locotracteur.
Constataions			A l'atmosphère côté 13 ^e wagon
		09H54	Le desserrage complet du 14 ^e wagon est constaté après 5 minutes, fuite audible. Le 13 ^e reste serré.
		09h54	Le desserrage est complet, quelques semelles appuient sur les roues mais sont desserrées.
2^e test	Valeur	hh-mm	Commentaire
Température extérieure en C°	-10 °C		Froid sec, sans vent
Pression des manomètres du locotracteur en bar avant dépression	5,1 bars	10h10	
État de la conduite générale		10h16	Dépression réalisée par mise à l'atmosphère en ouvrant le robinet CG entre le 13 ^e wagon et le locotracteur.
Constataions			A l'atmosphère côté 13 ^e wagon
		10h24	Présence d'une fuite audible au niveau du distributeur, le desserrage a lieu après 8 minutes
		10h24	La fuite est de moins en moins importante, puis cesse et c'est à ce moment là que ce produit le desserrage.
3^e Test	Valeur	hh-mm	Commentaire
Température extérieure en C°	-10 °C		Froid sec, sans vent
Pression des manomètres du locotracteur en bar avant dépression	5,1 bars	10h30	
État de la conduite générale		10h34	Dépression réalisée par mise à l'atmosphère en ouvrant le robinet CG entre le 13 ^e wagon et le locotracteur.
Constataions			A l'atmosphère côté 13 ^e wagon
		10h24	Présence d'une fuite audible au niveau du distributeur, le desserrage a lieu après 8 min
		10h24	40 s. La fuite est identique à l'essai précédent. La course CF est de 185 mm, se réduit d'environ 10 mm par minute puis a 110 mm, le retour est rapide

**Annexe 4 : Rapport de l'expertise du distributeur du frein du wagon
parti en dérive, effectuée le 30 avril 2013 par la SNCF au
Technicentre de Rennes**

Pôle Ingénierie
ICC2/Organes de commande
Jean-Charles FRALIN
☎ : 36 92.88
e-mail : jean-charles.fralin@sncf.fr

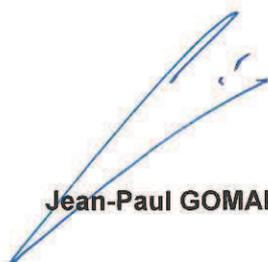
M. ARQUILLIERE Audrey
SNCF \ Direction Juridique Groupe
Pôle Juridique Sud-Est

Suivi par : Jean-Charles FRALIN
REF : RES/ICC2FP/JCF/n°13/337
RENNES, le 14/06/2013.

OBJET : Expertise frein suite à l'évènement critique n°2696

Veillez trouver, ci-joint et pour diffusion, le compte-rendu de l'expertise du distributeur C3A GP n°123175 réalisée le 30 avril 2013 au Technicentre de RENNES.

Le directeur du Technicentre de Rennes



Jean-Paul GOMARIS





Compte rendu d'expertise

Référence	RES_ICCFP_13_246		
Origine de la demande	Evènement critique de Modane n°2696		
Date du compte rendu	30/05/2013	Rédacteur	Dominique LEMEE
Date d'expertise	30/04/2013	Lieu d'expertise	TECHNICENTRE DE RENNES

RESPONSABLES EXPERTISE

Expert JUDICIAIRE	M. DUBERNARD
Agent REX	Patrick MARTINEZ
Agent RT/RM	Dominique LEMEE

PARTICIPANTS	ETABLISSEMENT D'ORIGINE
M. DUBERNARD	EXPERT JUDICIAIRE
M. COZZI	ENQUETEUR – BEA TT
Claude LALLEMENT	SNCF - TECHNICENTRE LORRAINE
Jacques MOZET	SNCF – FRET
Audrey AQUILLIERE	SNCF – DELEGATION JURIDIQUE
Didier DENGLOS	SNCF – DIRECTION DU MATERIEL
Benoit JOURDAIN	ERMEWA
Olivier PIANA	ERMEWA
Etienne BOYER	AVOCAT D'ERMEWA
Corinne CELERIER	SNCF – DIRECTION LA SECURITE
Richard CHAVAGNAT	SNCF – CENTRE D'INGENIERIE DU MATERIEL
Giuseppe CAVALLIERI	EMGO – CAPTRAIN ITALIA
VINCENZO TALAPICO	EMGO – CAPTRAIN ITALIA
GUIDO ROSSO	TRENITALIA
JEAN PAUL LEGAULT	SNCF - TECHNICENTRE SNCF DE RENNES
Jean Charles FRALIN	SNCF - TECHNICENTRE SNCF DE RENNES
Patrick MARTINEZ	SNCF - TECHNICENTRE SNCF DE RENNES
Dominique LEMEE	SNCF - TECHNICENTRE SNCF DE RENNES

ORGANE

Désignation	Distributeur C3A GP
Nombre	1
Symbole	7 703 5410
Numéro	123175

ORIGINE DE L'ORGANE

Série	WAGON
N° de rame ou de véhicule	31 87 352 6 369-7
Etablissement de dépose	TECHNICENTRE LYON – UO SIBELIN
Parcours ou durée de service	11 ans
Potentiel estimé (ou confirmé)	18 ans

DIFFUSION DU COMPTE RENDU

Fonction	Nom	Etablissement d'origine
DET TI Rennes	Jean-Paul GOMARIS	TECHNICENTRE DE RENNES
DUO PIM Rennes	Nathalie PEIGNET	TECHNICENTRE DE RENNES
Correspondant matériel	Audrey ARQUILLIERE	POLE JURIDIQUE - LYON

ANNEXES JOINTES AU COMPTE RENDU

Annexe 1	Protocole d'essais
Annexe 2	PV des essais au banc informatisé par t° environ -2 2°C
Annexe 3	PV de l'essai de mesure de la pression CF en serrage d'urgence au banc informatisé

INTRODUCTION

L'expertise du distributeur effectuée le 30/04/2013 s'est déroulée sous la direction de l'expert judiciaire M.DUBERNARD.

Elle fait suite à l'événement critique n°2696 du 24/01/2013 pour une dérive d'un wagon et choc avec une locomotive en attente d'évolution :

« Peu après le départ du train 47315 du faisceau de Modane en direction de l'Italie (tronçon assuré par filiale Cap Train Italie), l'avant-dernier véhicule subit une rupture d'attelage (vis du tendeur). Le dernier wagon, le plat Roos 31 87 352 6369-7 chargé de bois, repart en dérive à contre-sens. Empruntant l'itinéraire en sens inverse, il vient percuter sur le fx de Modane une locomotive TRENITALIA en attente d'évolution après avoir assuré la pousse d'un autre convoi. Deux des agents de conduite TRENITALIA présents sur cet engin sont légèrement blessés durant la collision. »

Le protocole d'essai proposé par le PIM de Rennes et le CIM a servi de base à l'expertise du 30/04/2013 (Voir en annexe 1), mais seul le distributeur de frein a été expertisé. L'expertise s'est déroulée comme suit :

Au préalable à l'expertise, fait le 18/04/2013 :

1 - Contrôle à t° ambiante des étanchéités CG du bloc complet (Distributeur/RC/Bloc intermédiaire, Relais, Joints d'interfaces montés) – Point 1 du protocole

Le jour de l'expertise, le 30/04/2013 :

2 - Essai fonctionnel complet du distributeur au banc automatique en salle à t° ambiante d'environ 18 °C (Distributeur à -22°C ayant passé 48h au congélateur) – Point 2 du protocole. Lors de cet essai, le distributeur est remonté progressivement en t°.

3 - Essai fonctionnel partiel du distributeur au banc automatique (distributeur à t° ambiante d'environ 18°C) – Non prévu au protocole.

4 - Démontage et expertise de tous les constituants du dispositif de coupure du distributeur – Point 3 du protocole fait partiellement.

Les points 4 à 6 du protocole n'ont pas été traités le 30/04/2013. Le relais adaptable n'a été que partiellement expertisé (essai d'étanchéité du bloc complet) et le cylindre de frein n'a pas été expertisé.

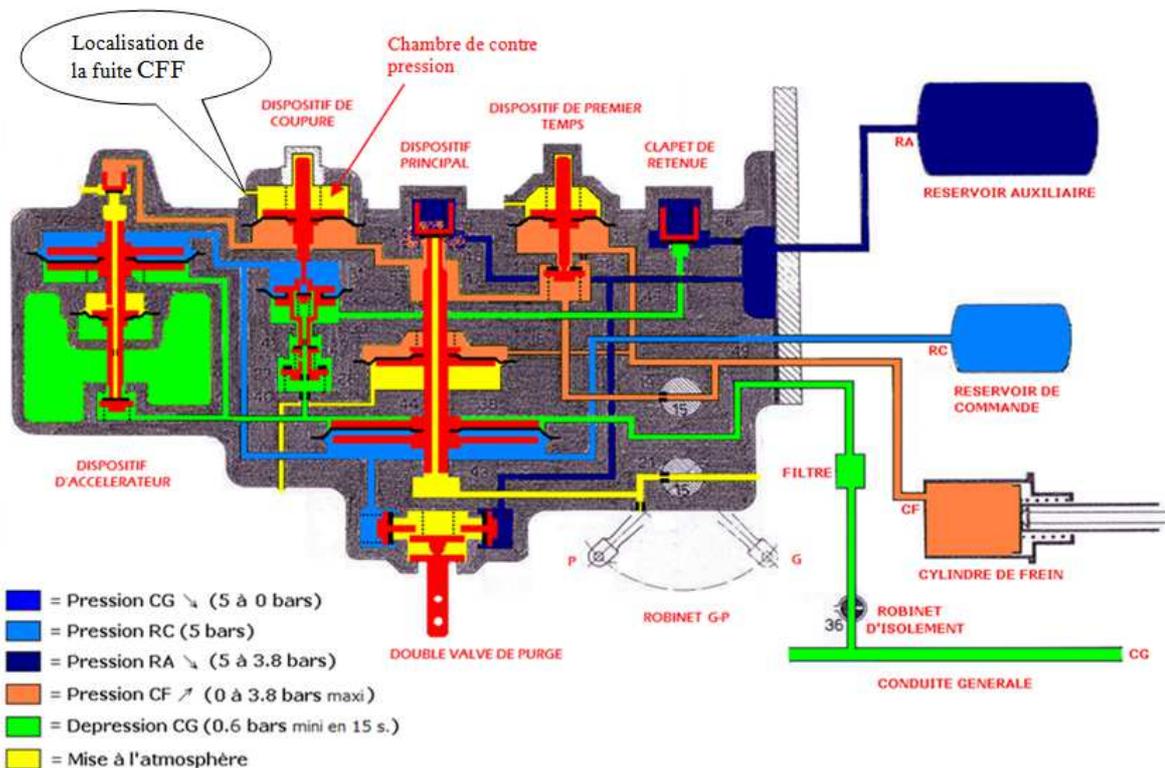
CONSTATATIONS LORS DES ESSAIS D'ETANCHEITE ET DE FONCTIONNEMENT

Référentiel expertise	R F4 503 - R F4 503 Annexe A - R F4 507
Date de dernière révision	Révisé par SAB-WABCO en Février 2002

RESULTAT DES ESSAIS

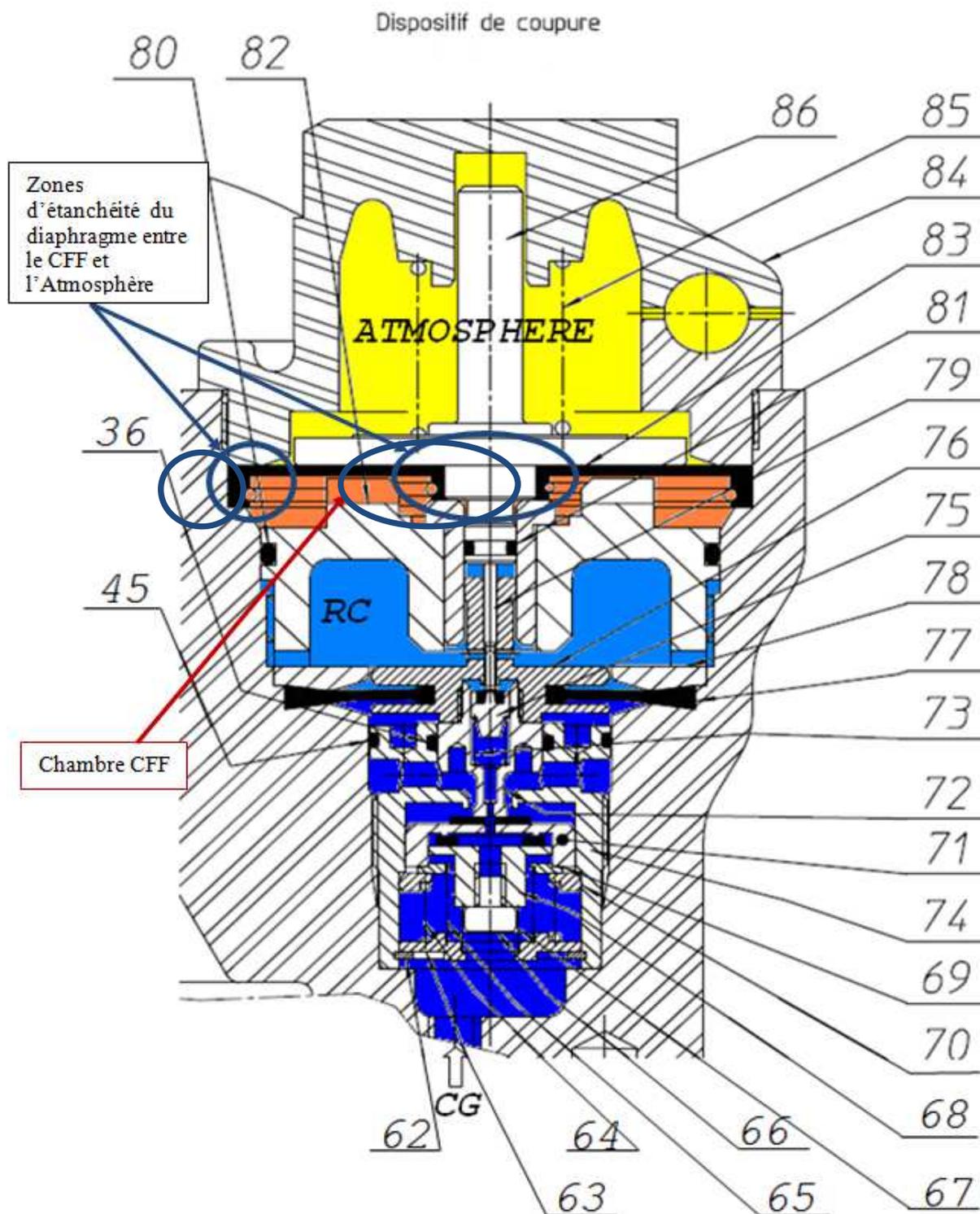
Résultat d'étanchéité	<p><u>Essai du bloc complet (Distributeur/RC/Bloc intermédiaire, Relais, Joints d'interface) à t° ambiante</u></p> <p>Etanchéité CG à 5 bar = 0,03 bar en 5 min Etanchéité CG à 4,5 bar = 0,004 bar en 2 min 30 Etanchéité CG à 3,5 bar = 0,012 bar en 2 min 30 Essais d'étanchéité CONFORMES</p> <p><u>Essai du distributeur au banc automatisé</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Distributeur à -22°C : Fuite brève (environ 10s), importante et audible, à l'orifice de la chambre de contre pression du dispositif de coupure lors de l'essai de mesure de la pression maximale CF en charge. 2) Distributeur à température ambiante (environ + 18°C) : Nouvel essai de mesure de la pression maximale au CF en semi automatique, effectué à la suite du programme en automatique réalisé précédemment. Essai conforme (encadré Annexe 3).
Résultat fonctionnement	<ol style="list-style-type: none"> 1) A température de -22°C : Pression CF hors tolérances (encadré Annexe 2), expliquée par la brève fuite du CF. 2) A température ambiante (environ + 18°C) : Pression CF conforme (encadré Annexe 3)
Autres constatations	Au regard des résultats ci-dessus, l'expertise s'est focalisée sur le dispositif de coupure et tout particulièrement au niveau du diaphragme rep 83 .

SERRAGE



CONSTATATIONS LORS DE L'EXPERTISE DU DISPOSITIF DE COUPURE

RESULTAT DE L'EXPERTISE



Constituant	Conformité et commentaire
Clapet d'insensibilité rep.68	Marqué, souple
Clapet CG/siège d'insensibilité rep.71	Bon état
Siège CG du bouchon rep.74	Bon état

Constituant	Conformité et commentaire
Clapet RC rep.75	Marqué, souple
Siège RC du piston inférieur rep.76	Bon état
Diaphragme RC rep.77	Bon état
Joint torique RC rep.81	Marqué, souple
Guide de la vis de serrage du diaphragme rep.82	Bon état
Piston rep.86	Bon état
Diaphragme CFF rep.83	<p>Marqué. Cependant, la dureté est plus importante que sur un diaphragme neuf mais est comparable à celle d'un diaphragme issu d'un distributeur à réviser du même âge (symbole 7 703 5642 de février 2002)</p> 
Joints toriques statiques rep.36, rep.45, rep.80	Déformés, souples
<p><u>Pollution</u></p>  <p>Bouchon rep.74</p>  <p>Clapet rep.68</p>	<p>Présence de gouttelettes d'eau à l'intérieur du bouchon rep.74 et sur les élastomères de clapet rep.68.</p>
<u>Graissage</u>	Présence de graisse, mais pas de façon uniforme

CONCLUSION GENERALE

Organe conforme	<input type="checkbox"/> OUI	<input checked="" type="checkbox"/> NON
Commentaire	<p>La fuite brève (environ 10 s) à la chambre de compression du CFF a pour origine un défaut d'étanchéité du diaphragme rep 83. Cette anomalie n'a pu être mise en évidence lors du démontage du distributeur. L'examen visuel des constituants du dispositif de coupure, dont le diaphragme, n'a révélé aucune anomalie.</p> <p>Faute d'élément, l'expert judiciaire a demandé la réalisation d'un complément d'expertise en laboratoire du diaphragme CFF rep.83 dont une des fonctions consiste à assurer l'étanchéité entre les chambres CFF et atmosphère.</p> <p>Ces analyses seront réalisées afin de vérifier ses caractéristiques de type « grand froid », c'est-à-dire pouvant résister à des températures basses (jusqu'à -40°C), sans modification de ses caractéristiques dimensionnelles et de dureté.</p> <p>Il a également en sa possession un diaphragme rep.83 neuf (pour comparaison) ainsi que le piston rep.86 et le joint torique dynamique rep.81 afin d'effectuer des expertises complémentaires.</p>	
Conclusion finale	<p>La fuite brève (environ 10 s) n'a pas entraîné le desserrage complet du frein (vidange du CFF lors de l'expertise), tel que constaté à Modane.</p> <p>Cette expertise ne permet pas d'affirmer que le distributeur est à l'origine de l'EC mais ne l'exclut pas, d'où les expertises complémentaires demandées par l'expert judiciaire.</p>	

VALIDATION DU COMPTE RENDU

Validation par le responsable de l'ICC	Nathalie PEIGNET
Date de la validation	14/06/2013

ANNEXE 1
Protocole d'essais

Enchaînement proposé de l'expertise	Organes	Conditions de réalisations	Référentiel	Essais et expertise
1	Bloc complet (Distributeur/RC/Bloc intermédiaire, Relais, Joints d'interfaces)	Aucun démontage Essai à t° ambiante Ensemble dans la même position que sur le wagon	Suivant V F0 506	Etanchéité à 5 bar : Taux de fuite MAX 0,1 bar en 5' Etanchéité après serrage d'urgence, CG à 0 bar Etanchéité après 1ère dépression, CG à 4,5 bar : Taux de fuite MAX 0,2 bar en 2'30
2	Distributeur	Démontage du distributeur du bloc complet Essai réalisé sur le distributeur placé 48h au congélateur (T° à - 15°C)	Suivant R F4 507	Essai fonctionnel complet du distributeur au banc automatique. Essai séquençable en semi automatique ou en commande manuelle.
1 bis	Bloc complet (Distributeur/RC/Bloc intermédiaire, Relais, Joints d'interfaces)	Remontage du distributeur et son interface sur le bloc complet Essai à t° ambiante Ensemble dans la même position que sur le wagon	Suivant V F0 506	Essais d'étanchéités identiques à ceux repris au point 1 après remontage du distributeur sur le bloc complet
3	Distributeur		Suivant R F4 507	Démontage et expertise de tous les constituants du distributeur
4	Cylindre de frein	Essai à t° ambiante Ensemble dans la même position que sur le wagon	Suivant RF 603	Etanchéité à basse pression =0,5 bar : Taux de fuite MAX 0,1bar en 10' Etanchéité à 3,8 bar
5	Cylindre de frein			Démontage et expertise de tous les constituants du CF
6	Relais	Essai réalisé sur le relais placé 48h au congélateur (T° à - 15°C)	Suivant R F2 103	Essai fonctionnel au banc manuel
7	Relais			Démontage et expertise de tous les constituants du relais

ANNEXE 2
PV des essais au banc informatisé par t° environ -2 2°C

* E.I.M. BRETAGNE *			
Distributeur C3A			
Désignation : C3A GP 2.75 50 à 250	Symbole : 77035410	N° de Série :	125175
Vérifications ou valeurs à obtenir :		N° de monteur	Expertise
Temps de remplissage RC	255.0 +/-25.0 s	:	242.2 s
Temps de remplissage RA	250.0 +/-30.0 s	:	237.3 s
* Pression maximale au CF en charge	3.8 +/-0.080 bar	:	3.674 bar
Essai du limiteur		:	Correct
Temps de remplissage CF en G en charge	24.0 +/-4.5 s	:	28.3 s
Valeur du premier temps	0.55 +/- 0.25 bar	:	0.744 bar
Temps de vidange CF en G en charge	52.5 +/-6.0 s	:	52.7 s
Paliers de serrage		:	Correct
Pression CF pour CG à 3.4 bar	3.8 +/-0.1 bar	:	3.817 bar
Paliers de desserrage		:	Correct
Réarmement	<=4.840 bar	:	4.840 bar
Insensibilité(dp CG=0.4 bar/60 s)		:	Correct
Sensibilité			
Début de Serrage	< à 6 s	:	2.3 s
Temps de remplissage CF en P en charge	4.0 +/-1.0 s	:	3.9 s
Temps de vidange CF en P en charge	17.5 +/-2.0 s	:	18.5 s
Protection contre les surcharges	<=0.100 bar	:	0.024 bar en 15.0 s
Purge en serrage à fond		:	Correct
Purge en serrage urgence			
Temps de purge en serrage urgence =	<= à 65s	:	47.4 s
Réarmement de la valve de purge		:	Correct

Date : 30/04/2013

Essais Effectués sur le Banc N° 8

ANNEXE 3

PV de l'essai de mesure de la pression CF en serrage d'urgence au banc informatisé

*** E.I.M. BRETAGNE ***



Distributeur C3A

Désignation : C3A GP 2.75 50 à 250

Symbole : 77035410

N° de Série : 125175

Vérifications ou valeurs à obtenir :

N° de monteur

expertise

Mise en conditions terminée

Pression maximale au CF en charge	3.8 +/-0.080 bar	: 3.814 bar
Essai du limiteur		: Correct

Date : 30/04/2013

Essais Effectués sur le Banc N° 8

Annexe 5 : Rapport des essais du distributeur du frein du wagon parti en dérive, effectués en avril 2014 par la société Faiveley-Transport

Test Report Rapport d'Essai

projet

Expertise distributeur C3A N°125 175 pour BEA-TT

A00	15/05/14	CREATION	.	G.L	J.D	G.B
<i>Issue</i> Edition	<i>Date</i> Date	<i>Description</i> Description	<i>ECO</i> FDD	<i>Compiled</i> Rédigé	<i>Checked</i> Véifié	<i>Approved</i> Approuvé

FTA DEV F025 IND K

This document is copyright and property of FAIVELEY TRANSPORT AMIENS. It cannot be used for the construction of the object. It must not be copied (in whole or in part) without prior written comment of the company. Any copies of this document made by any method must also include a copy of this legend.

Sommaire / Summary

SOMMAIRE / SUMMARY	3
1 OBJET DES ESSAIS / SUBJECT :	4
2 DOCUMENTS ET NORMES DE REFERENCE / DOCUMENT USED :	4
3 DEROULEMENT DES ESSAIS / LIST OF TESTS :	4
3.1 ESSAI / TEST :	4
3.1.1 CONFIGURATION DU PRODUIT OU SYSTEME A TESTER / CONFIGURATION OF PRODUCTS OR SYSTEMS ON TEST :	4
3.1.2 GESTION DES APPAREILS TESTES POST ESSAIS / MANAGEMENT OF PRODUCTS AFTER TEST :	5
3.1.3 CONDITIONS PARTICULIERES / PARTICULARS CONFIGURATIONS :	5
3.1.4 DESCRIPTION DE L'ESSAI / TEST DESCRIPTION :	5
3.1.5 LIEU DES ESSAIS / TEST LOCATION :	6
3.1.6 INSTRUMENTS DE MESURE / MEASURING INSTRUMENT :	7
3.1.7 ESSAIS COMPLEMENTAIRES / ADDITIONAL TESTS	7
3.1.8 RESULTATS D'ESSAIS/ TESTS RESULTS :	8
4 CONCLUSIONS :	14
ANNEXES / APPENDICES	15

1 OBJET DES ESSAIS / SUBJECT :

Un évènement critique consécutif à la dérive d'un wagon est survenu à Modane le 24/01/2013. Suite à cet évènement, une expertise a été réalisée sur le distributeur C3A dans un technicentre SNCF puis le BEA-TT a commandé à Faiveley Transport Amiens des essais complémentaires afin de déterminer la cause de la dérive survenue sur le wagon.

2 DOCUMENTS ET NORMES DE REFERENCE / DOCUMENT USED :

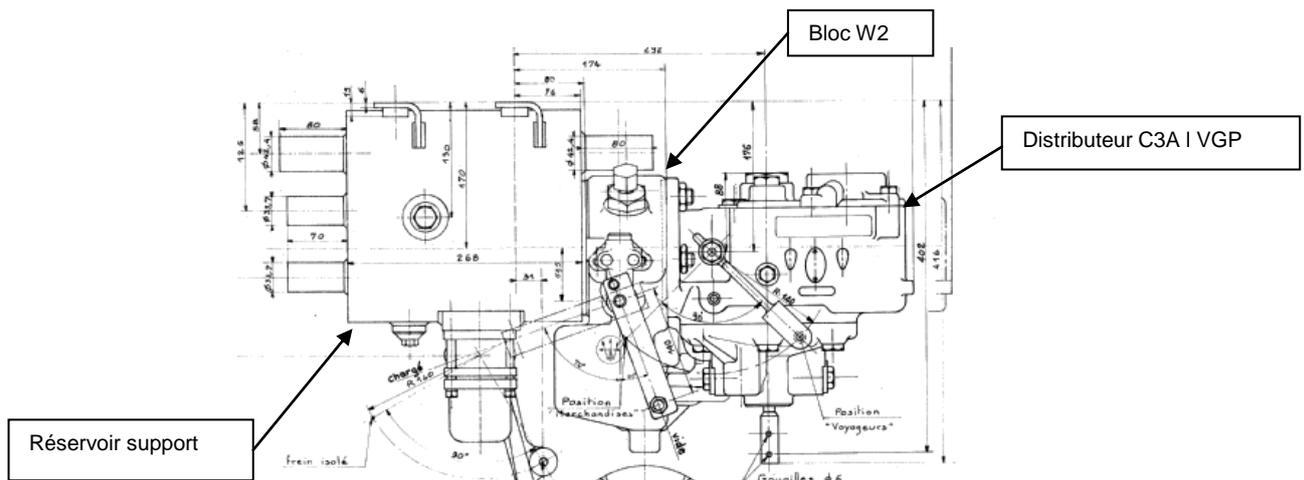
Plan C3A 757896xx08 rev A00
SR 3232 rev W08.
FTD 361 rev A.
Plan bloc W2 190167xx08 rev G10
Plan relais P1K 781121xx08 rev X17

3 DEROULEMENT DES ESSAIS / LIST OF TESTS :

3.1 ESSAI / TEST :

3.1.1 CONFIGURATION DU PRODUIT OU SYSTEME A TESTER / CONFIGURATION OF PRODUCTS OR SYSTEMS ON TEST :

Le système à tester est un groupe de freinage composé d'un réservoir support , d'un bloc intermédiaire type W2 équipé d'un relais 1/1 type P1K et d'un distributeur type C3A I VGP.



- Réservoir support type 191 259 xx 08 sans N° de série
- Bloc W2 code 1901670508 N° de serie K01
- Relais P1K code 7811210308 N° de série G01-155
- Distributeur C3A I VGP code 7278960108 N° de série 125175 révisé en 02/2002.

FTA DEV F025 IND K

This document is copyright and property of FAIVELEY TRANSPORT AMIENS. It cannot be used for the construction of the object. It must not be copied (in whole or in part) without prior written comment of the company. Any copies of this document made by any method must also include a copy of this legend.

Le groupe de freinage est arrivé démonté, le distributeur, le bloc W2, et le réservoir support sont désolidarisés, les joints de brides ont été fournis.

Le distributeur C3A est incomplet : la manchette de la valve de coupure a été prélevée lors des essais au technicentre SNCF afin de réaliser une identification matière (essai destructif). Pour accroître les chances de reproduire les « conditions Modane », Faiveley a équipé le distributeur C3A avec une manchette datant de 1996 et provenant d'un distributeur en attente de révision.

Afin de vérifier son état le distributeur C3A a préalablement été testé seul sur un banc d'essais de production.

Le groupe de freinage est ensuite remonté avec les joints de brides fournis, les appareils seront serrés aux couples selon les préconisations Faiveley Transport Amiens.

Les essais sont réalisés en enceinte climatique.

3.1.2 GESTION DES APPAREILS TESTES POST ESSAIS / MANAGEMENT OF PRODUCTS AFTER TEST :

Après essais les appareils seront à retourner à : l'adresse de retour sera à nous préciser.

3.1.3 CONDITIONS PARTICULIERES / PARTICULARS CONFIGURATIONS :

Les essais seront réalisés à température ambiante, à -10°C et -25°C puis retour à la température ambiante.

3.1.4 DESCRIPTION DE L'ESSAI / TEST DESCRIPTION :

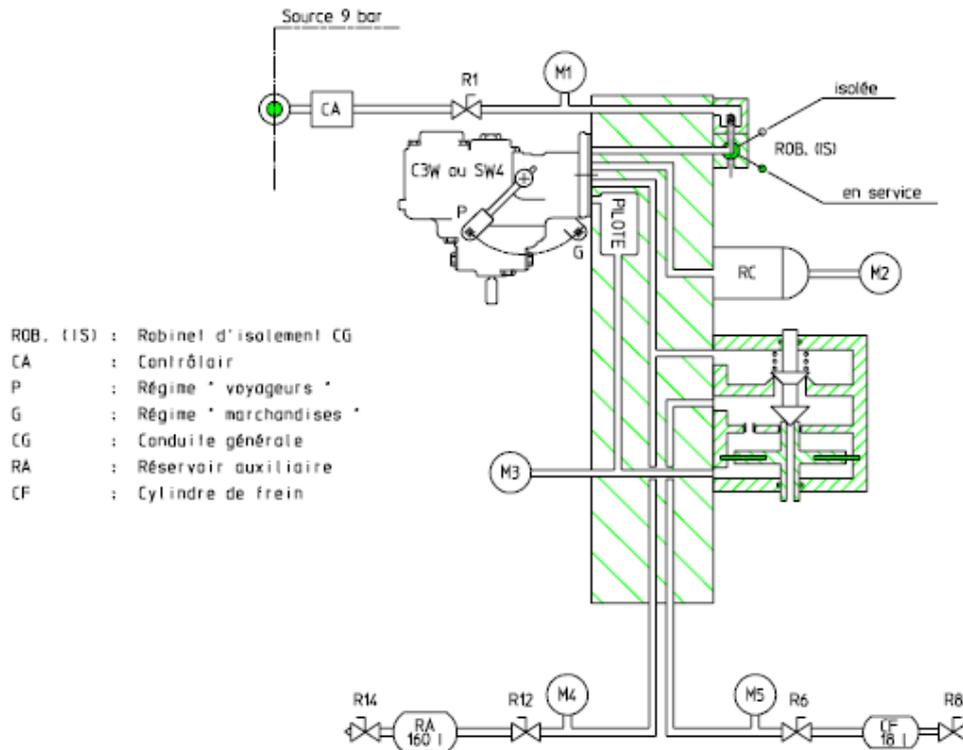
Les essais seront réalisés en s'appuyant sur la Spécification de Réception N° 3379. Un banc d'essais sera réalisé selon le schéma ci-dessous.

Durant les essais les pressions suivantes seront enregistrées :

- Conduite générale (M1)
- Réservoir Auxiliaire (M4)
- Réservoir de Commande (M2)
- Cylindre de Frein Fictif (M3)
- Cylindre de Frein (M5)

Nota : Le cylindre de frein sera simulé à l'aide d'un réservoir.

Afin de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble groupe de freinage, un essai complet selon la Spécification de Réception N° 3379 sera réalisé à température ambiante.



Les essais à réaliser sont définis aux chapitres 3, 4 et 5 le Spécification de Réception N° 3379 c'est à dire :

- Etanchéité frein desserré
- Etanchéité au serrage à fond
- Etanchéité au serrage d'urgence

Chaque essai devra être réalisé avec le distributeur en position Voyageur puis en position Marchandise.

Les essais seront réalisés à température ambiante, à -10°C et -25°C puis retour à la température ambiante

Un temps de stabilisation de 4 à 6 heures sera respecté entre chaque séquence de mesures afin d'assurer la température à cœur, surtout pour les températures descendantes.

3.1.5 LIEU DES ESSAIS / TEST LOCATION :

Les essais seront réalisés au labo d'essais Faiveley Transport par G.Le Gall technicien d'essai.

FTA DEV F025 IND K

This document is copyright and property of FAIVELEY TRANSPORT AMIENS. It cannot be used for the construction of the object. It must not be copied (in whole or in part) without prior written comment of the company. Any copies of this document made by any method must also include a copy of this legend.

3.1.6 INSTRUMENTS DE MESURE / MEASURING INSTRUMENT :

L'enregistreur utilisé est DAS 1400 Sefram N°26

5 capteurs sont utilisés N°766, 748, 772, 762 et 752

3.1.7 ESSAIS COMPLEMENTAIRES / ADDITIONAL TESTS

Après réalisation du programme convenu, avec reproduction probable du comportement constaté sur wagons, il a été décidé de réaliser des essais complémentaires à titre d'investigation, afin de confirmer autant que possible l'identification de l'anomalie de fonctionnement :

- Distributeur C3A n° 125175 avec manchette valve coupure neuve (2013) : essai à -25°C après 4 jours en serrage
- Distributeur C3A n°161640 révisé en 1996 (prélèvement au hasard au SAV, véritable C3A, non identique à celui de Modane, mais même technologie de manchettes)
- Distributeur C3W 622323 récent (date = 2012), quasi état neuf - les manchettes et les dispositifs de coupure et de 1er temps sont les mêmes que celles du C3A Modane

3.1.8 RESULTATS D'ESSAIS/ TESTS RESULTS :

ESSAI CLIMATIQUE C3AI N°125 175						
Volume RA 150L; CF14"; CFF2,5L; Relais P1K						
N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
125 175	1996 Non d'origine	1	+20°C	Remplissage RA/RC	TRC=257s TRA=253s	
125 175	1996 Non d'origine	2	+20°C	Serrage P	Ts=5,12s Td=18,4s PCF=3,762b	
125 175	1996 Non d'origine	3	+20°C	Serrage G	Ts=25,4s Td=52,5s PCF=3,770b	
125 175	1996 Non d'origine	4	+20°C	Etanchéité RA frein desserré	CG=6mb/5min; RC=7mb/5min; RA=6mb/5min	
125 175	1996 Non d'origine	5	+20°C	Etanchéité RA DP CG=1,7b	CG=1mb/5min; RC=1mb/5min; RA=24mb/5min	
125 175	1996 Non d'origine	6	+20°C	Etanchéité RA en urgence	RC=1mb/2min; RA=20mb/2min	

Test Report

Doc: FT0012869-000-F15TRP .
Rev: A00
Date: 15/05/14
Page: 9/39

N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
125 175	1996 Non d'origine	7	+20°C	10 Urgences	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	8	-10°C	5 Urgences	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	9	-10°C	5 DP CG=1b	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	10	-10°C	2 Urgences à 5,4b	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	11	-10°C	Etanchéité RA frein desserré	CG=7mb/5min; RC=5mb/5min; RA=9mb/5min	
125 175	1996 Non d'origine	12	-10°C	Etanchéité RA en urgence	RC=2mb/4min; RA=7mb/4min	
125 175	1996 Non d'origine	13	-10°C	Etanchéité RA DP CG=1,7b	CG=27mb/4min; RC=1mb/4min; RA=10b/4min	
125 175	1996 Non d'origine	14	-10°C	Serrage P	Ts=5,3s Td=19,7s PCF=3,84b	
125 175	1996 Non d'origine	15	-10°C	Serrage G	Ts=27,6s Td=55,8s PCF=3,894b	
125 175	1996 Non d'origine	16	-10°C	Urgence puis stabilisé pendant 15h	PRC=2,34b PRA/PCF=1,42b	
125 175	1996 Non d'origine	17	-25°C (durant une nuit en serrage)	Urgence en P	PCF obtenue après 6min = 0,42b	Fuite à la membrane supérieure de la coupure constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvres extérieure

Test Report

Doc: FT0012869-000-F15TRP .
Rev: A00
Date: 15/05/14
Page: 10/39

N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
125 175	1996 Non d'origine	18	-25°C	Urgence en P	PCF obtenue après 6min = 0,42b	Fuite à la membrane supérieure de la coupure constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvres extérieure
125 175	1996 Non d'origine	19	-25°C	DP CG=1b	Fuite CFF	Fuite à la membrane supérieure de la coupure constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvres extérieure
125 175	1996 Non d'origine	20	-15°C	Urgence en P	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	21	-15°C	Urgence en P	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	22	-15°C	DP CG=1b	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	23	-15°C	DP CG=1b	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	24	-15°C	DP CG=1,6b	Pas de desserrage	
125 175	1996 Non d'origine	25	-15°C	Serrage P	Ts=5,6s Td=19,8s PCF=3,843b	
125 175	1996 Non d'origine	26	-15°C	Serrage G	Ts=28,2s Td=56,4s PCF=3,898b	
125 175	1996 Non d'origine	27	-15°C	Etanchéité RA frein desserré	CG=11mb/5min; RC=11mb/5min; RA=5mb/5min	
125 175	1996 Non d'origine	28	-15°C	Etanchéité RA en urgence	RC=10mb/5min; RA=9mb/5min	
125 175	1996 Non d'origine	29	-15°C	Etanchéité RA DP CG=1,7b	RC=6mb/5min; RA=23mb/5min	

Test Report

Doc: FT0012869-000-F15TRP .
Rev: A00
Date: 15/05/14
Page: 11/39

N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
125 175	2013	30	+20°C	Serrage P	Ts=5,1s Td=18,8s PCF=3,786b	
125 175	2013	31	+20°C	Serrage G	Ts=25,6s Td=53s PCF=3,790b	
125 175	2013	32	+20°C	Etanchéité RA frein desserré	CG=11mb/5min; RC=10mb/5min; RA=10mb/5min	
125 175	2013	33	+20°C	Etanchéité RA en urgence	RC=2mb/5min; RA=16mb/5min	
125 175	2013	34	+20°C	Etanchéité RA DP CG=1,7b	RC=0mb/5min; RA=12mb/5min	
125 175	2013	35	-25°C (durant 4 nuits en serrage)	2 Urgence en P	Pas de desserrage	Fuite à la membrane du 1° temps constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvre extérieure et devient étanche après 60s Aucune fuite constatée à la membrane de la coupure
125 175	2013	36	-25°C	DP CG 1,7b	Pas de desserrage	Fuite à la membrane du 1° temps constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvre extérieure et devient étanche après 45s Aucune fuite constatée à la membrane de la coupure
125 175	2013	37	-25°C	DP CG 1b	Pas de desserrage	Fuite à la membrane du 1° temps constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvre extérieure et devient étanche après 45s Aucune fuite constatée à la membrane de la coupure

Test Report

Doc: FT0012869-000-F15TRP .
 Rev: A00
 Date: 15/05/14
 Page: 12/39

N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
161 640	Origine 1996	X001	+20°C	Urgence en P	Pas de desserrage	Distributeur sans limitation de pression; coupure C3A; ajout d'un CF 355mm pour obtention de la pression CF à 3,8b
161 640	Origine 1996	X002	-25°C (durant une nuit en serrage)	Urgence en P	Fuite RA	Fuite à la membrane du 1° temps constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvre extérieure et devient étanche après 10 min, PCF= 0,4b obtenue après 10 min Aucune fuite constatée à la membrane de la coupure
161 640	Origine 1996	X003	-25°C	Idem X002	Fuite RA	Fuite à la membrane du 1° temps constatée par le trou de mise à l'atmosphère de la lèvre extérieure et devient étanche après 5 min, PCF= 1,28b obtenue après 5 min Aucune fuite constatée à la membrane de la coupure

Test Report

Doc: FT0012869-000-F15TRP .
 Rev: A00
 Date: 15/05/14
 Page: 13/39

N° Distributeur	Membrane coupure	N° Courbe	Température	Essais	Résultats	Remarques
622 323	Origine 2012					Distributeur C3W 190 397 02 pour 2 CF 10" fabrication 2012 Etat neuf
622 323	Origine 2012	W001	-25°C (durant une nuit en serrage)	Urgence en P	Pas de desserrage	
622 323	Origine 2012	W002	-25°C	DP CG=1b	Pas de desserrage	
622 323	Origine 2012	W003	-25°C	DP CG=1,6b	Pas de desserrage	
622 323	Origine 2012	W004	-25°C	Etanchéité RA frein desserré	CG=0mb/5min; RC=0mb/5min; RA=14mb/5min	
622 323	Origine 2012	W005	-25°C	Etanchéité RA en urgence	RC=0mb/5min; RA=5mb/5min	
622 323	Origine 2012	W006	-25°C	Etanchéité RA DP CG=1,7b	RC=0mb/5min; RA=5mb/5min	

Toutes les étanchéités sont réalisées réservoir RA et cylindre de frein non isolé.

FTA DEV F025 IND K

4 CONCLUSIONS :

Distributeur C3A n° de série 125175 (Modane) avec manchette coupure de 1996

- Fuite constatée à -25°C à la mise à l'atmosphère de la membrane de la coupure, avec vidange du CF en 6 minutes environ (lors d'un freinage d'urgence).
- Tous fonctionnels conformes pour les essais à -15°C et à l'ambiante.

Essais complémentaires

Distributeur C3A n° de série 125175 (Modane) avec manchette coupure neuve de 2013

- Fuite constatée à -25°C à la mise à l'atmosphère de la membrane de 1^{er} temps, durant 45 à 60 secondes selon les essais, sans desserrage CF. Pas de fuite à la membrane de coupure.
- Fonctionnel conforme pour les essais à l'ambiante.

Distributeur C3A n°161640 révisé en 1996 (non identique à celui de Modane, mais même technologie de manchettes)

- Fuite constatée à -25°C à la mise à l'atmosphère de la membrane de 1^{er} temps, avec vidange du CF en 10 minutes environ (lors d'un freinage d'urgence). Pas de fuite à la membrane de coupure.
- Tous fonctionnels conformes pour les essais à l'ambiante.

Distributeur C3W 622323 récent (date = 2012), quasi état neuf - les manchettes et les dispositifs de coupure et de 1er temps sont les mêmes que celles du C3A Modane

- Tous fonctionnels conformes pour les essais à -25°C et à l'ambiante.

Conclusion générale :

Des fuites sont constatées à -25°C à la mise à l'atmosphère des membranes 1^o temps et de la coupure sur des distributeurs C3A équipés de membrane de 1996, provoquant une vidange partielle ou complète de la pression CF.

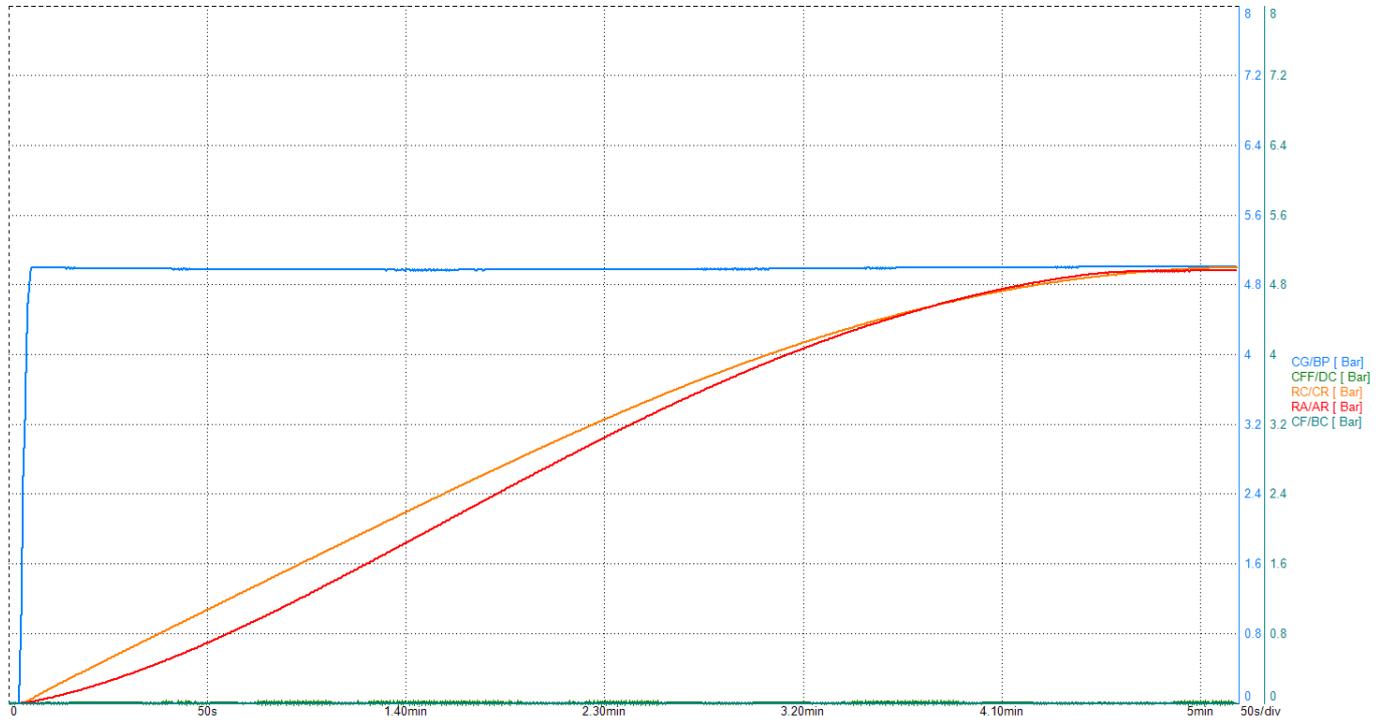
Les mêmes distributeurs, dans les mêmes configurations, ne présentent pas de fuites à -15°C et à l'ambiante.

Aucune fuite n'est constatée sur un distributeur C3W de 2012.

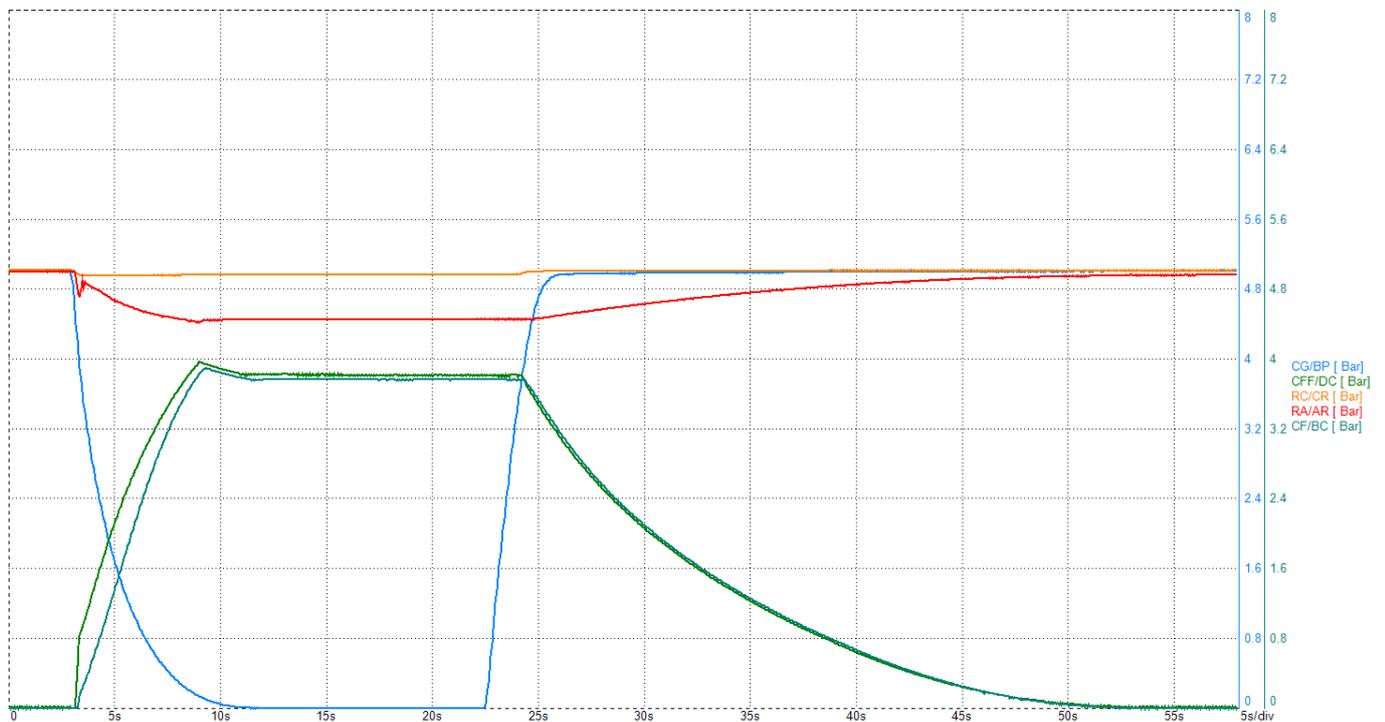
ANNEXES / APPENDICES

Courbe 1 et 2

C3A 0001.rec (6190 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :29/04/2014 10:35:33



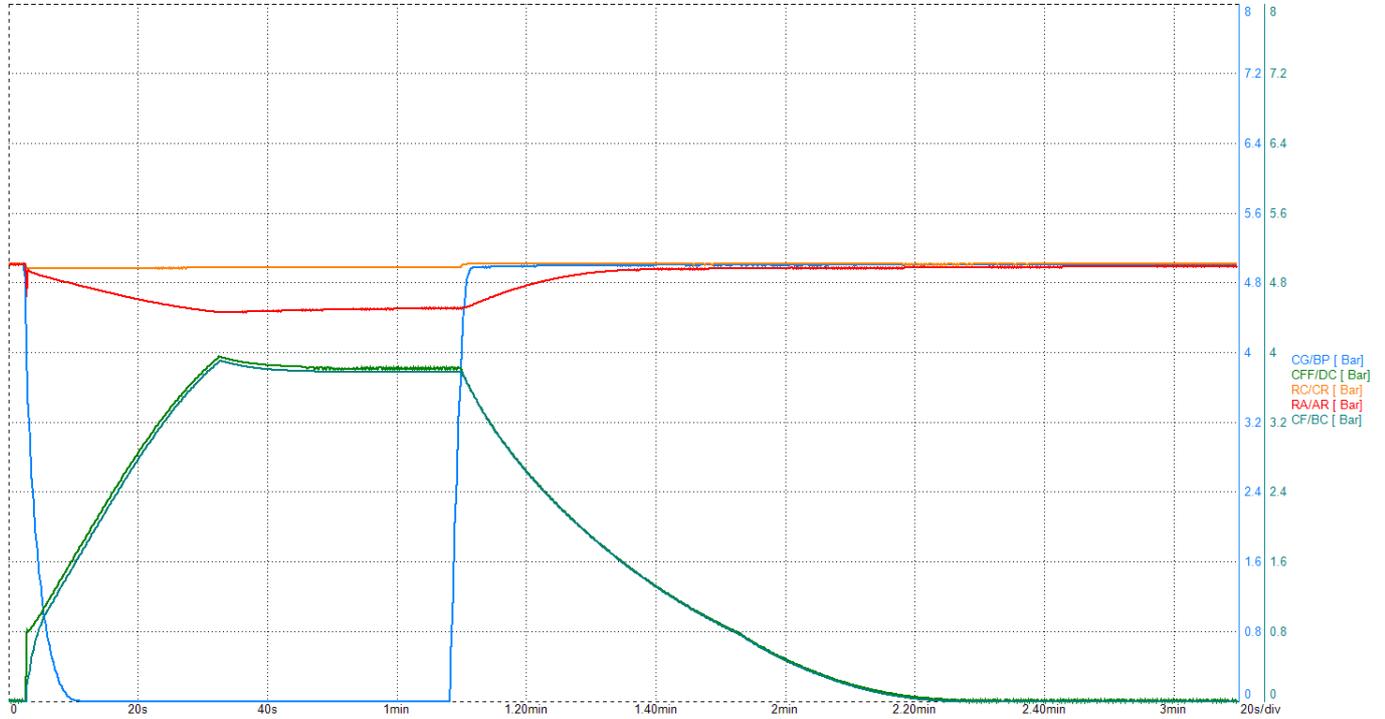
C3A 0002.rec (11607 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :29/04/2014 10:42:23



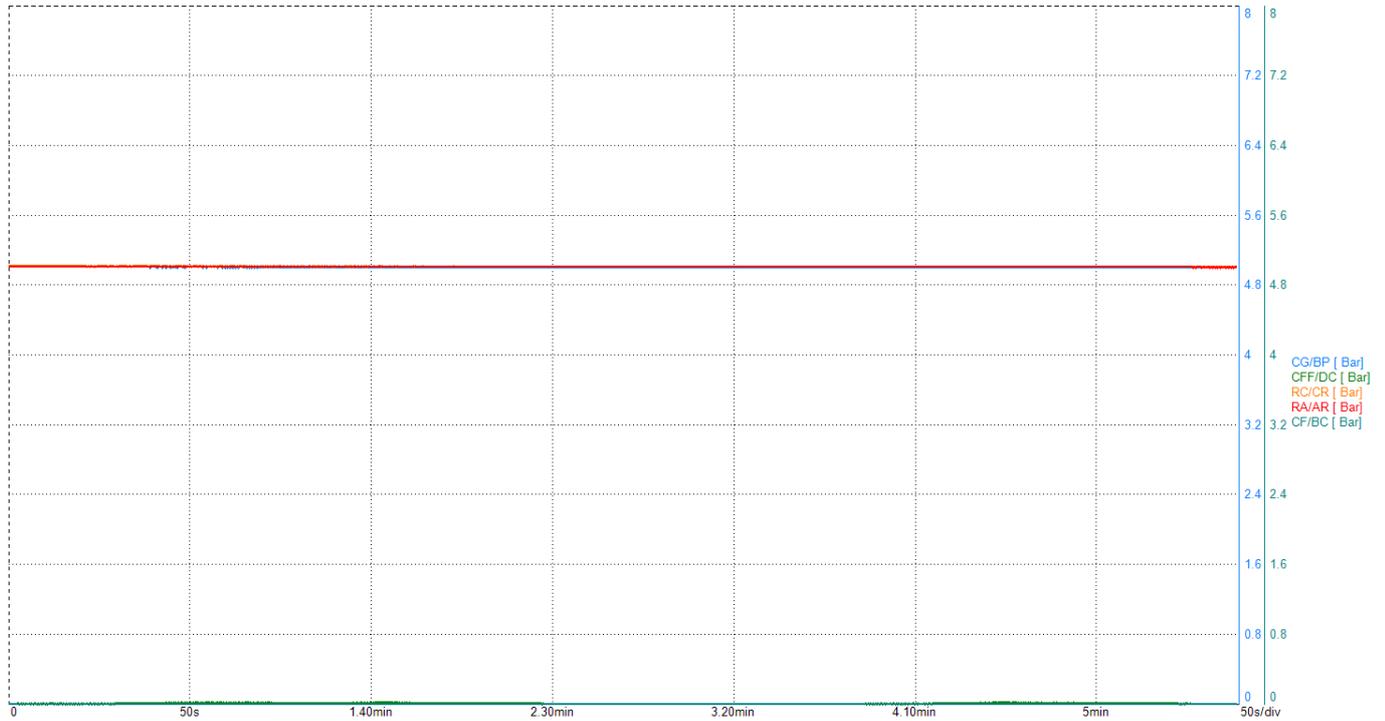
FTA DEV F025 IND K

Courbe 3 et 4

C3A 0003.rec (38003 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :29/04/2014 10:47:24



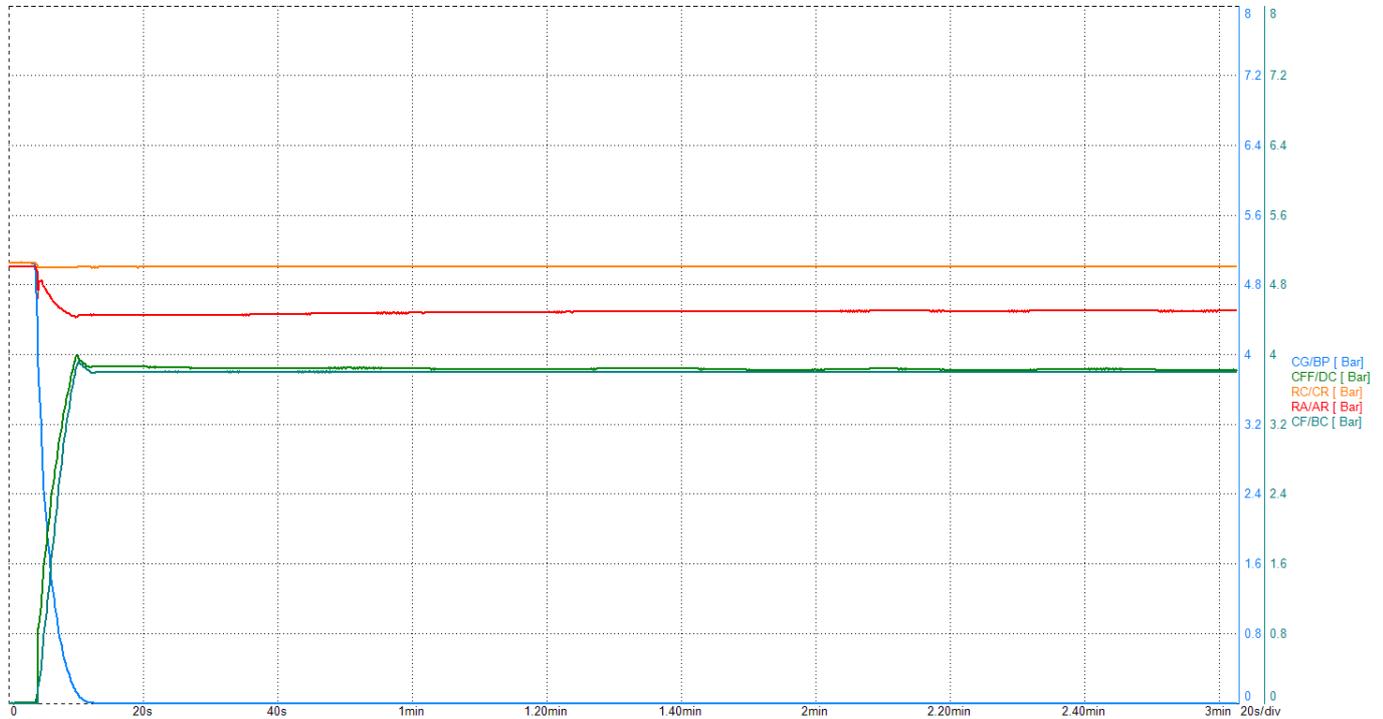
C3A 0004.rec (3392 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 10:52:59



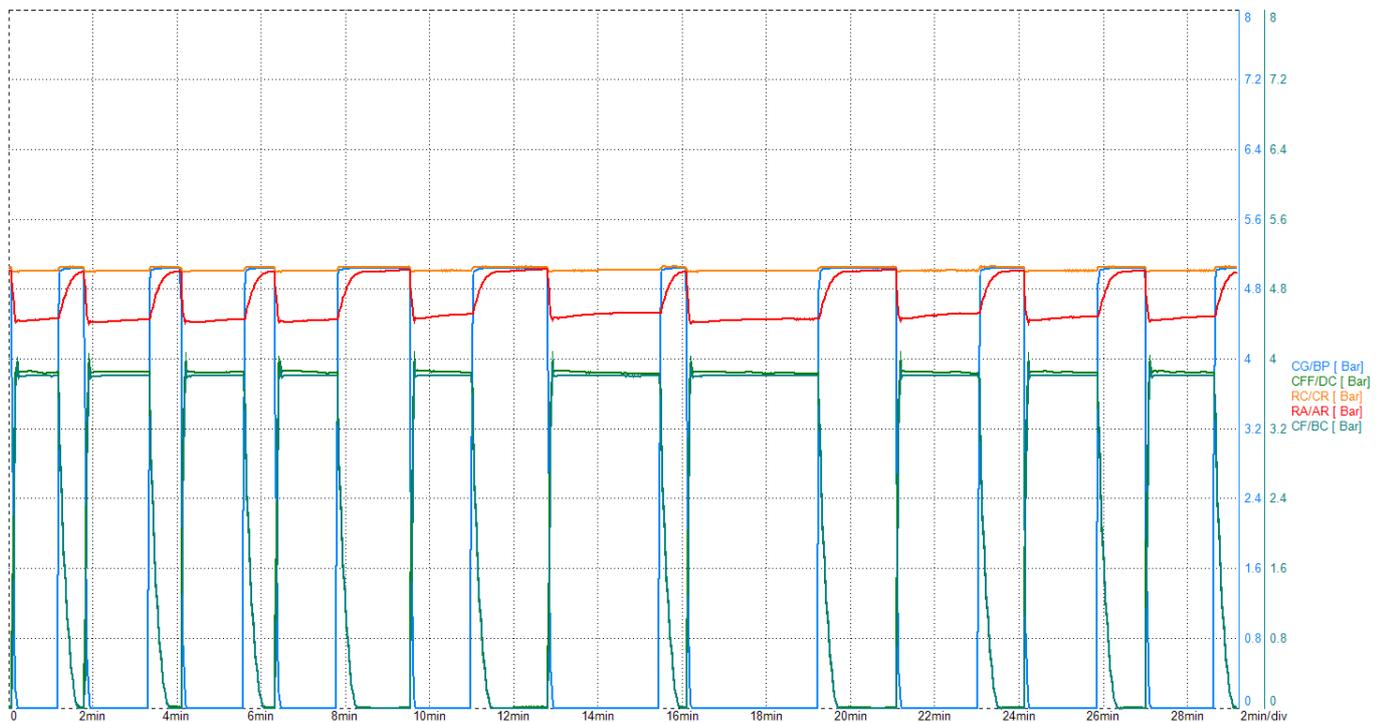
FTA DEV F025 IND K

Courbe 5 et 6

C3A 0006.rec (1829 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 11:09:27



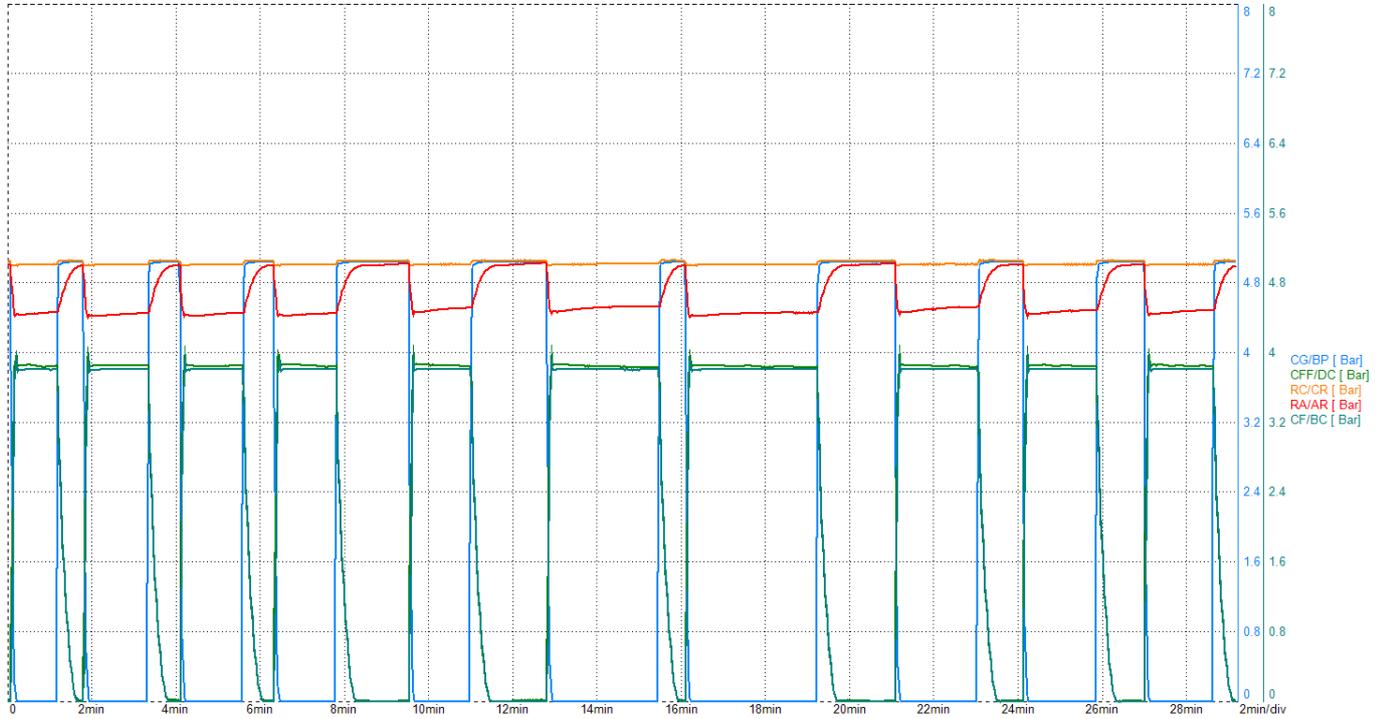
C3A 0007.rec (17529 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 11:13:34



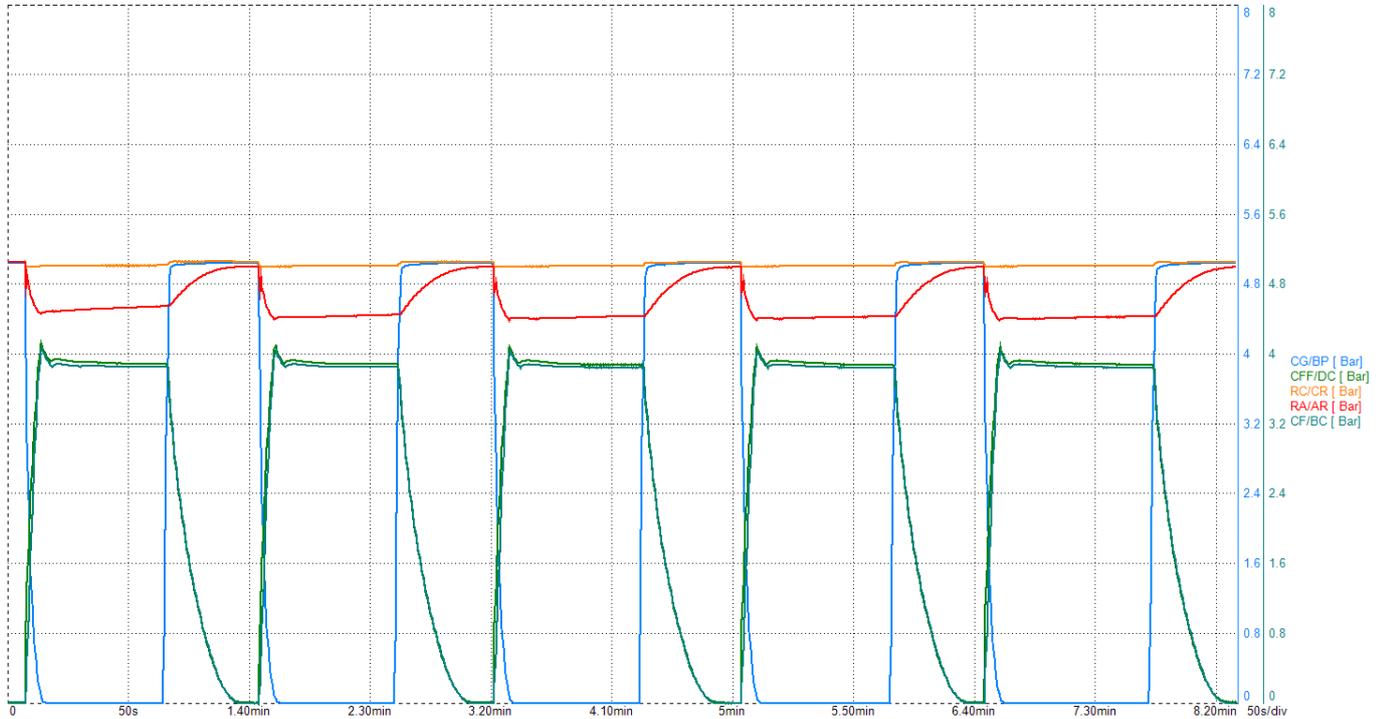
FTA DEV F025 IND K

Courbe 7 et 8

C3A 0007.rec (17529 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 11:13:34



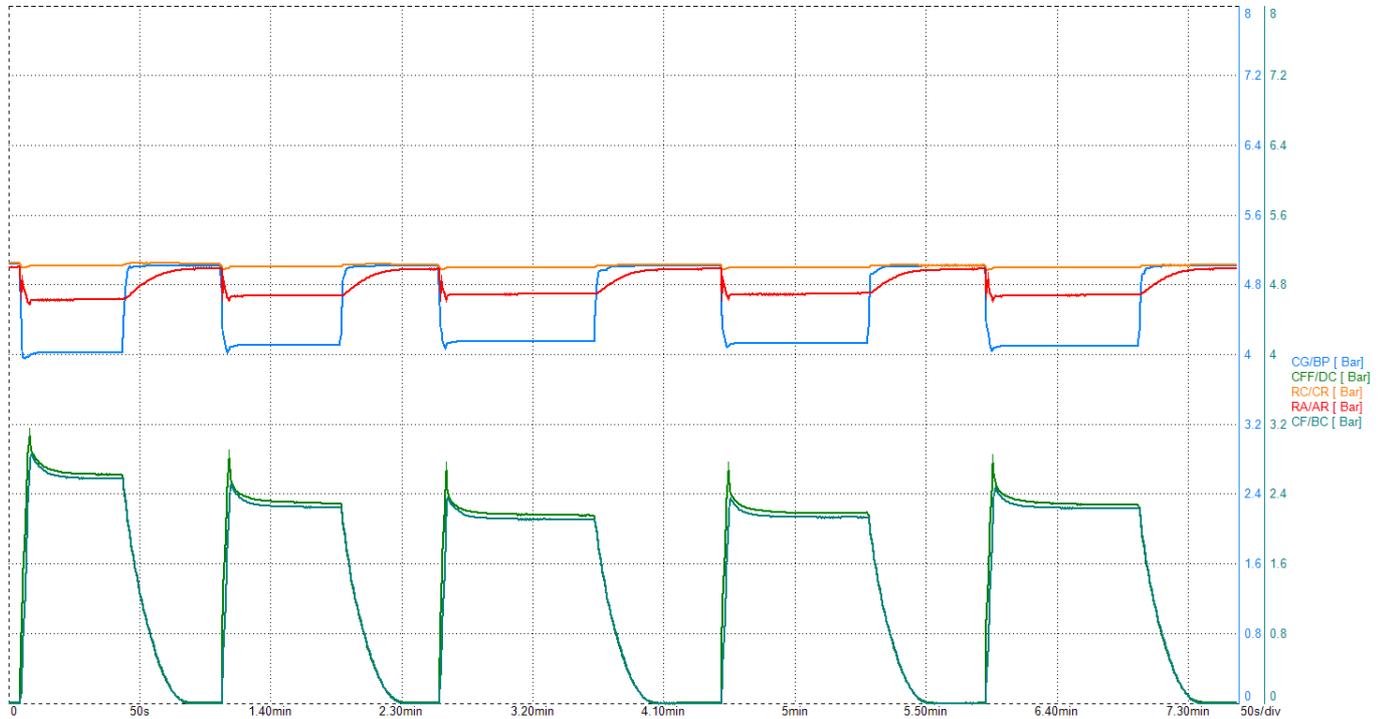
C3A 0008.rec (5089 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:10:44



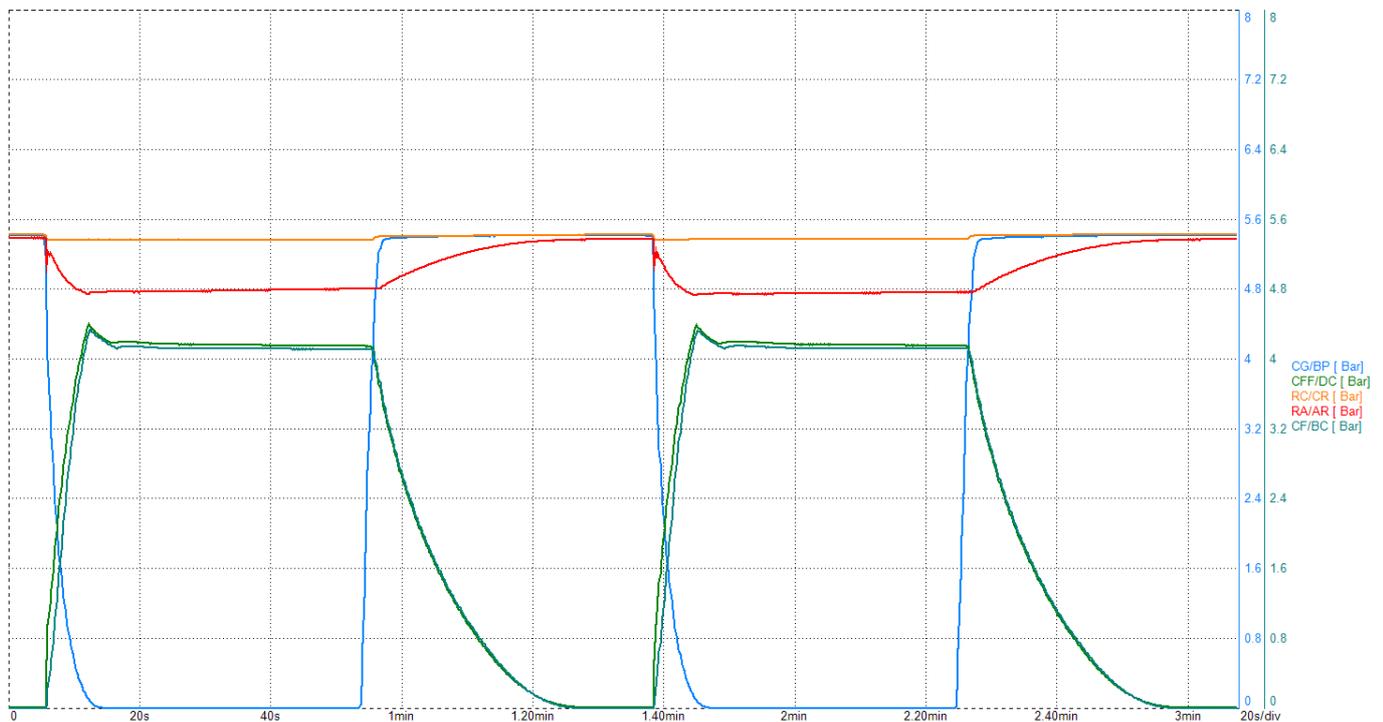
FTA DEV F025 IND K

Courbe 9 et 10

C3A 0009.rec (4692 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:19:32



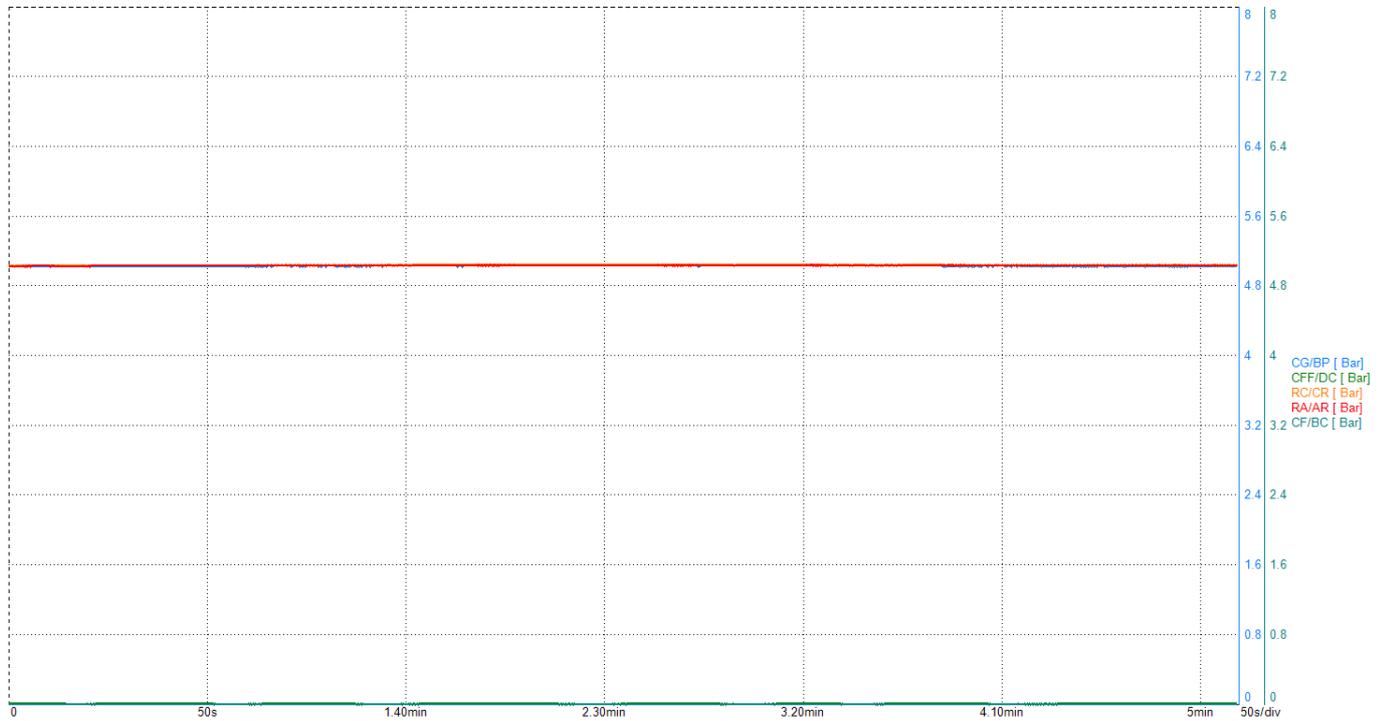
C3A 0010.rec (1877 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:28:42



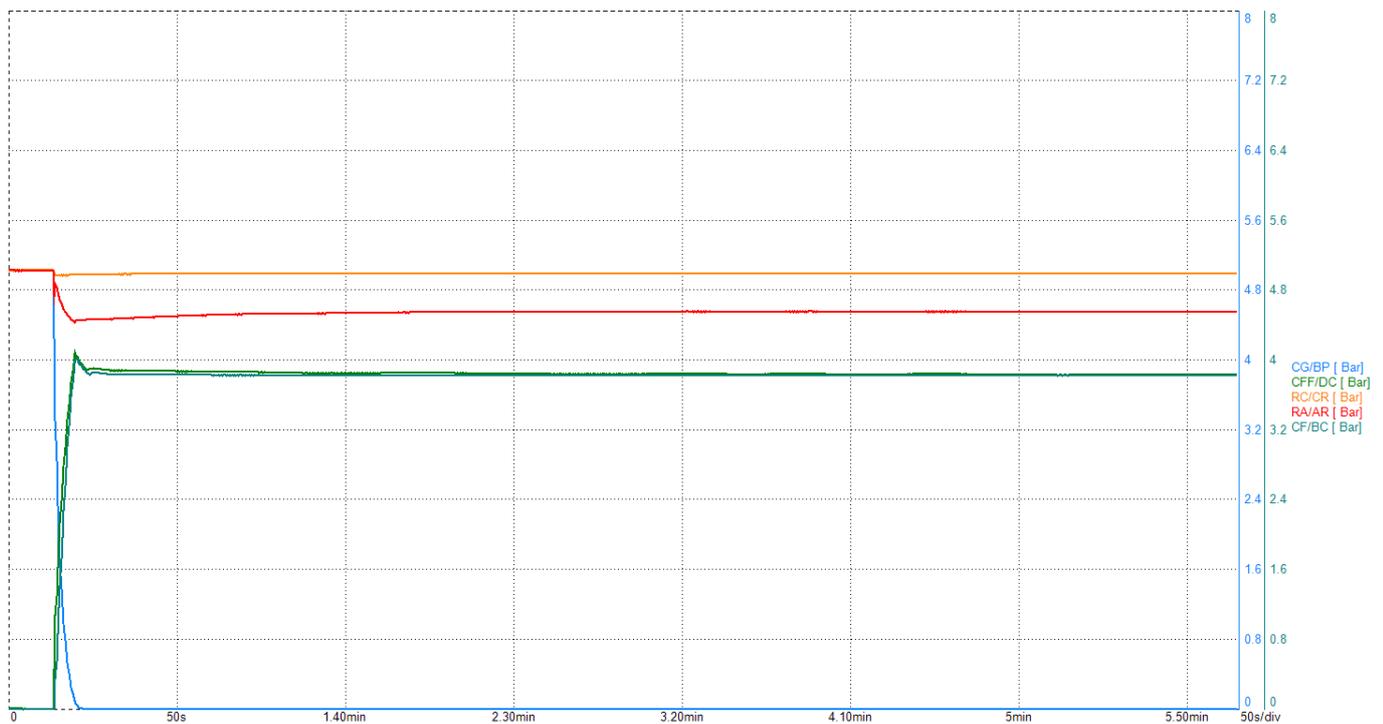
FTA DEV F025 IND K

Courbe 11 et 12

C3A 0011.rec (3095 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:33:22



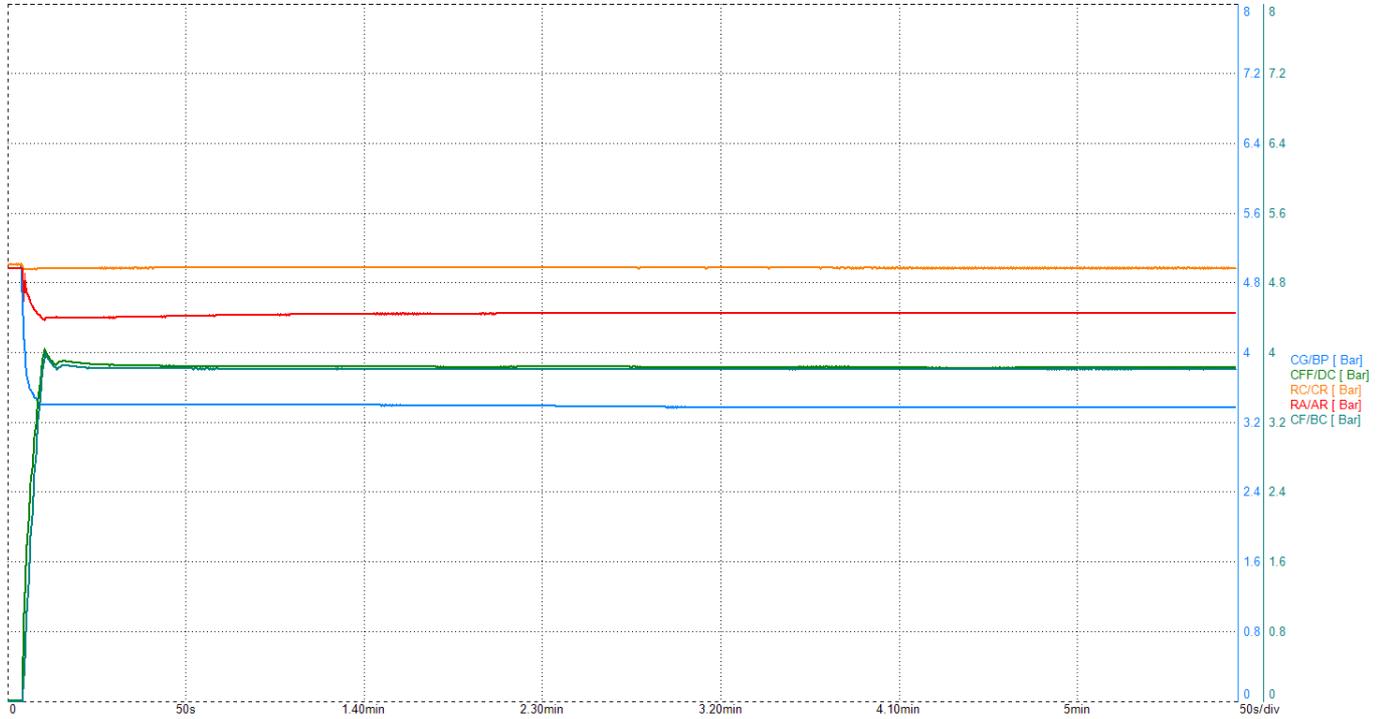
C3A 0012.rec (3651 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:39:31



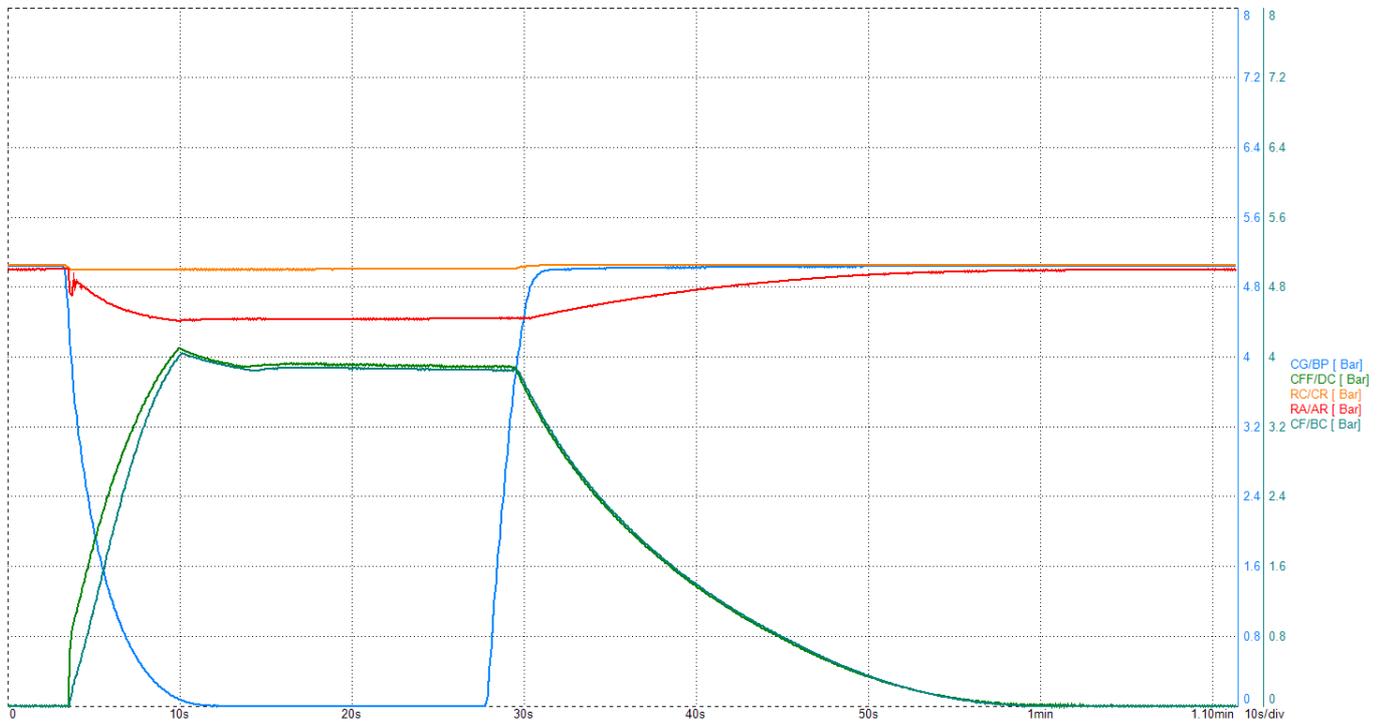
FTA DEV F025 IND K

Courbe 13 et 14

C3A 0013.rec (3449 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :29/04/2014 16:47:05



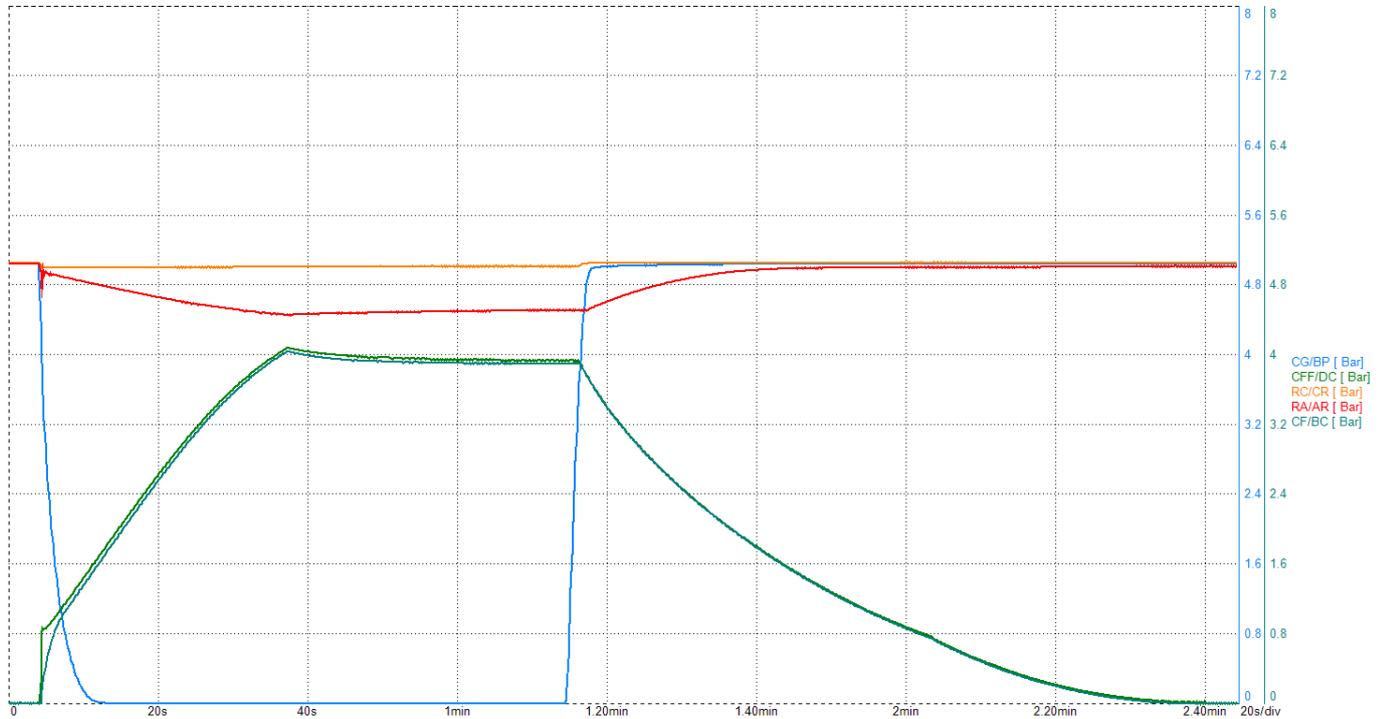
C3A 0014.rec (14290 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :29/04/2014 16:56:42



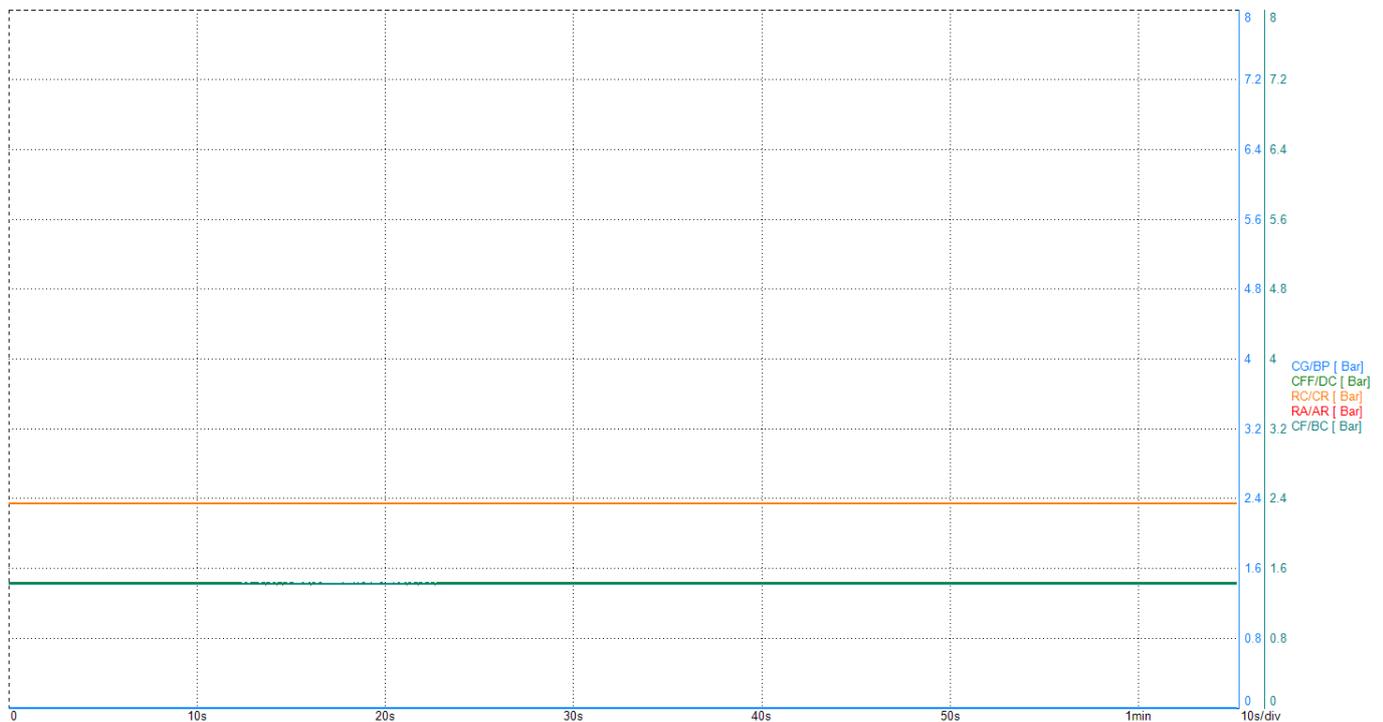
FTA DEV F025 IND K

Courbe 15 et 16

C3A 0015.rec (32881 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :29/04/2014 16:59:48



C3A 0016.rec (653 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :30/04/2014 08:16:30



FTA DEV F025 IND K

Courbe 17 et 18

C3A 0017.rec (7835 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 08:23:01



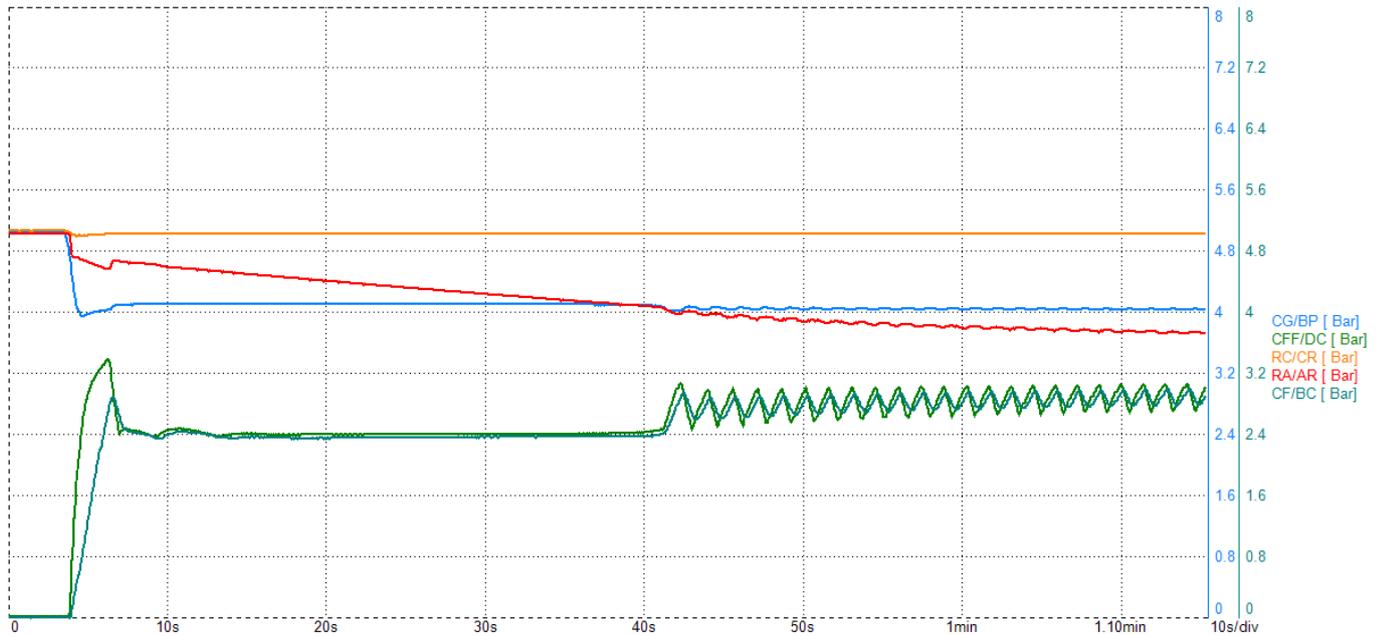
C3A 0018.rec (7839 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 08:34:36



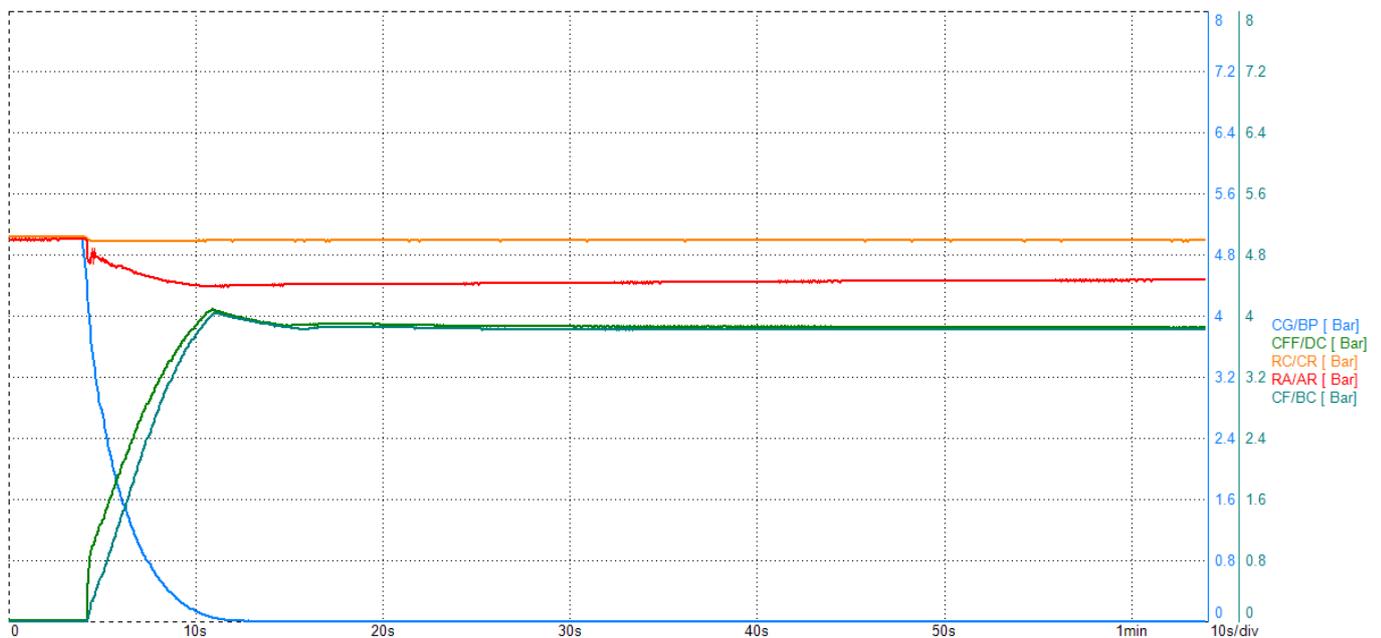
FTA DEV F025 IND K

Courbe 19 et 20

C3A 0019.rec (1509 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 08:44:20



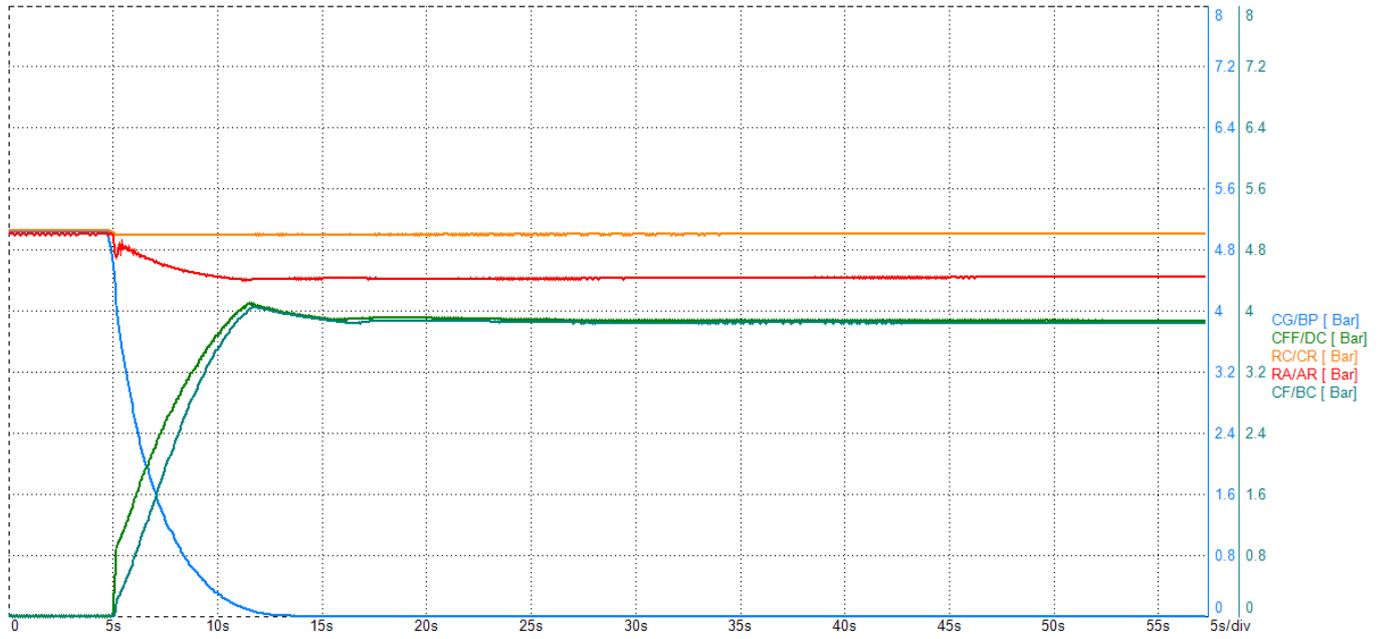
C3A 0020.rec (1281 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 10:27:13



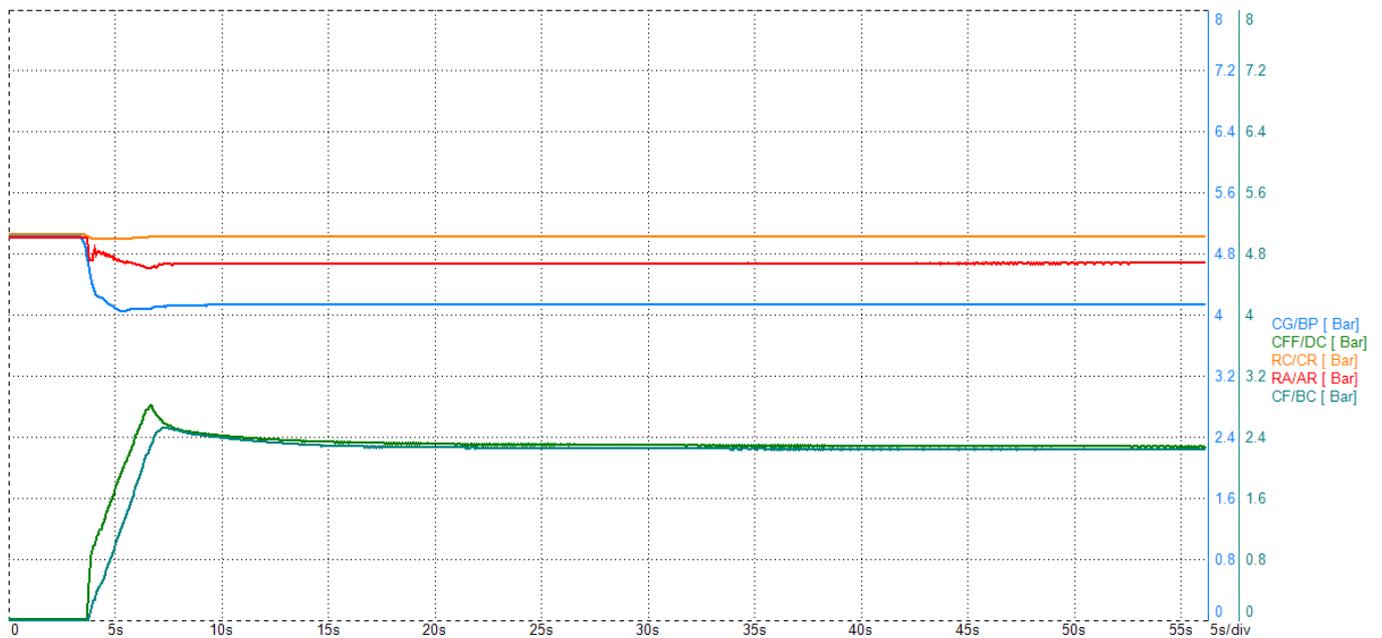
FTA DEV F025 IND K

Courbe 21 et 22

C3A 0021.rec (1147 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 10:29:07



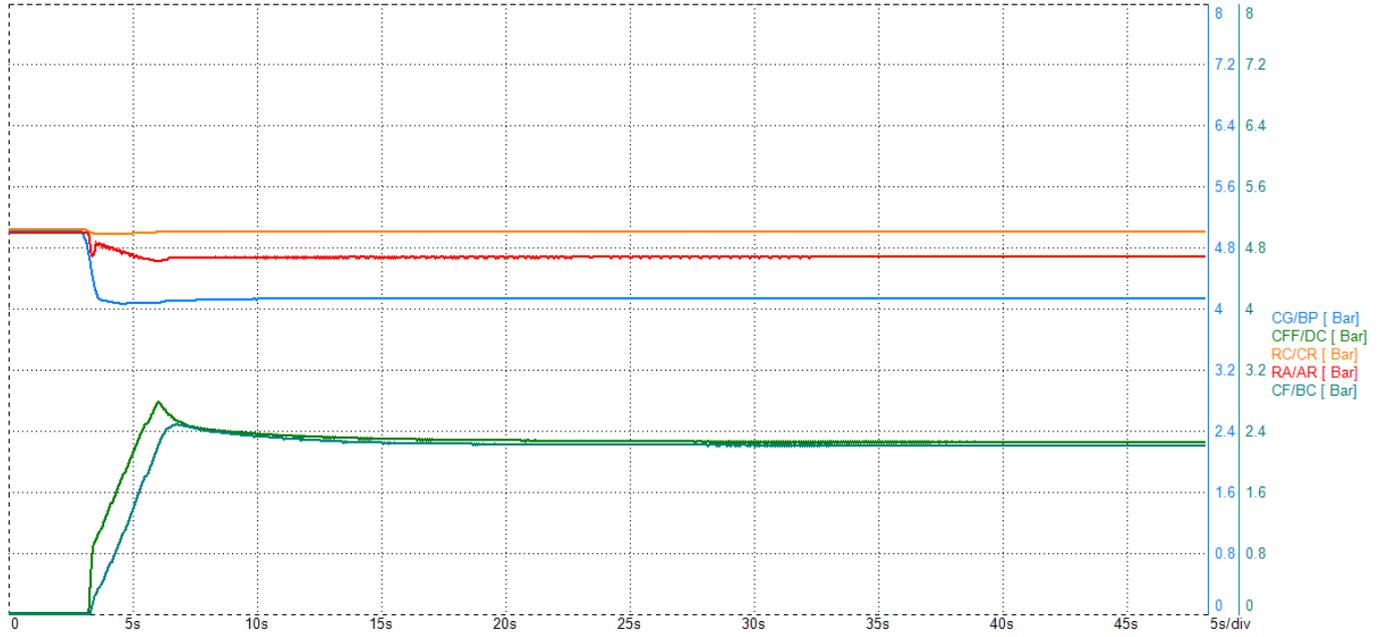
C3A 0022.rec (1125 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 10:31:08



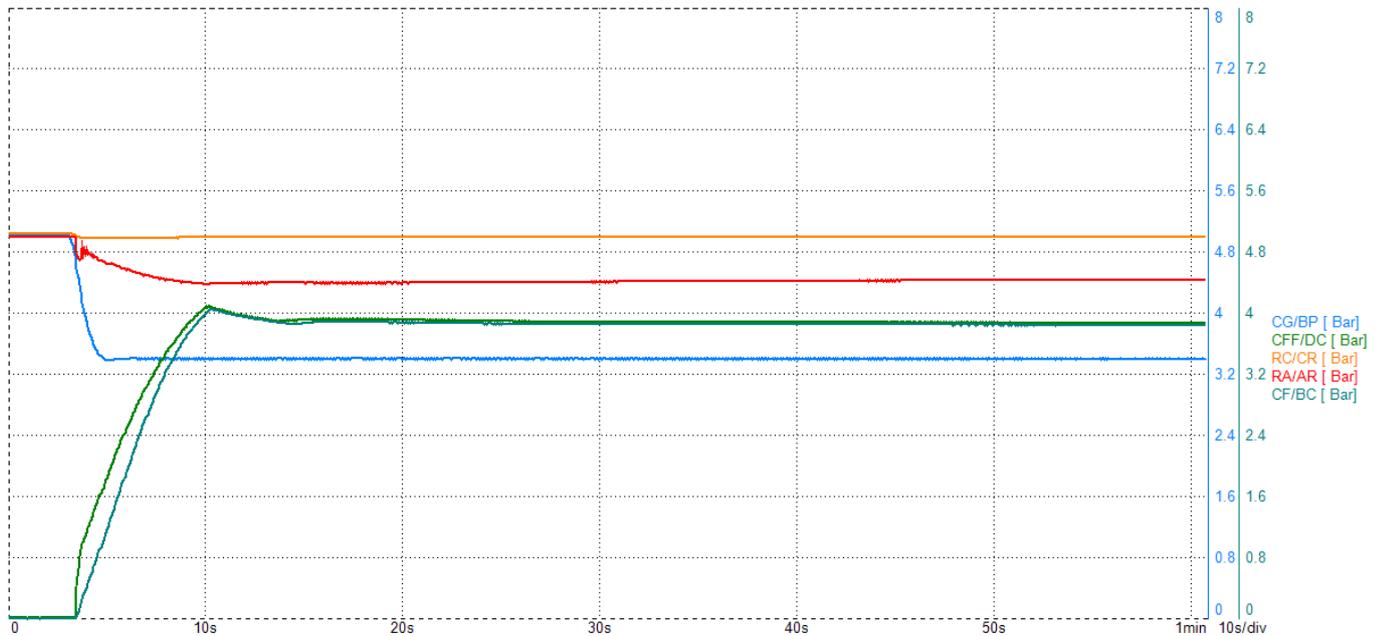
FTA DEV F025 IND K

Courbe 23 et 24

C3A 0023.rec (965 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 10:32:48



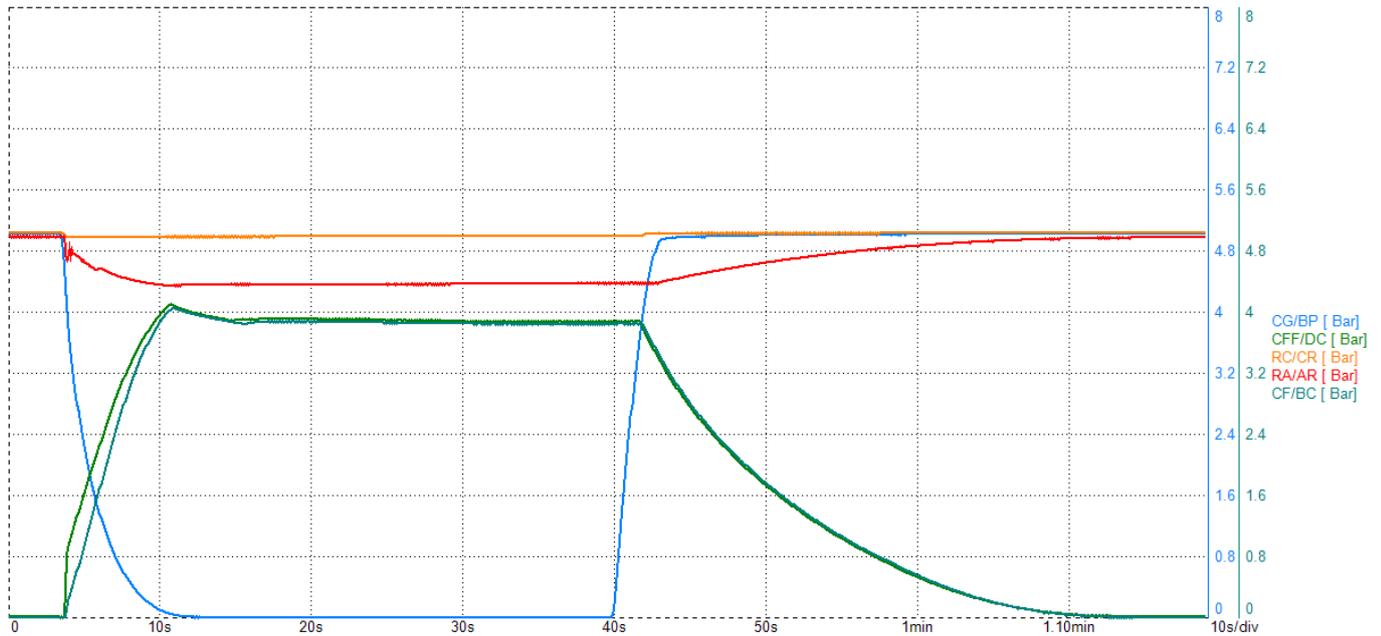
C3A 0024.rec (1217 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 10:34:24



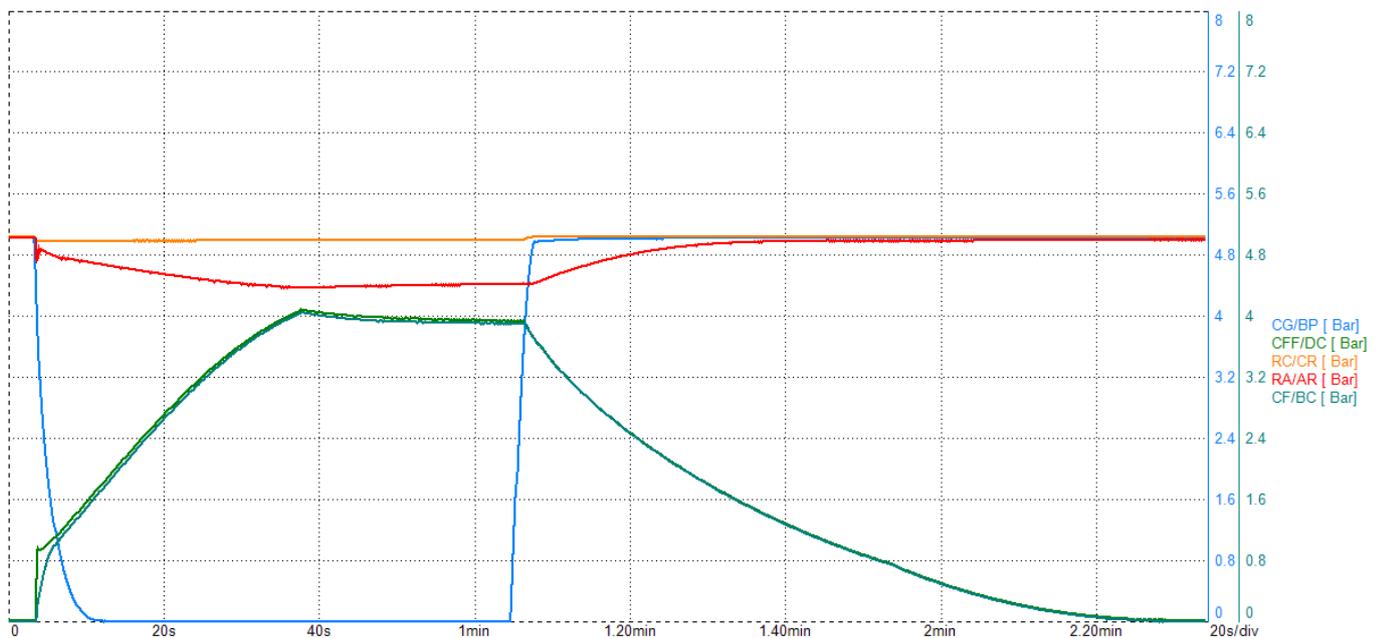
FTA DEV F025 IND K

Courbe 25 et 26

C3A 0025.rec (15820 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :30/04/2014 10:36:14



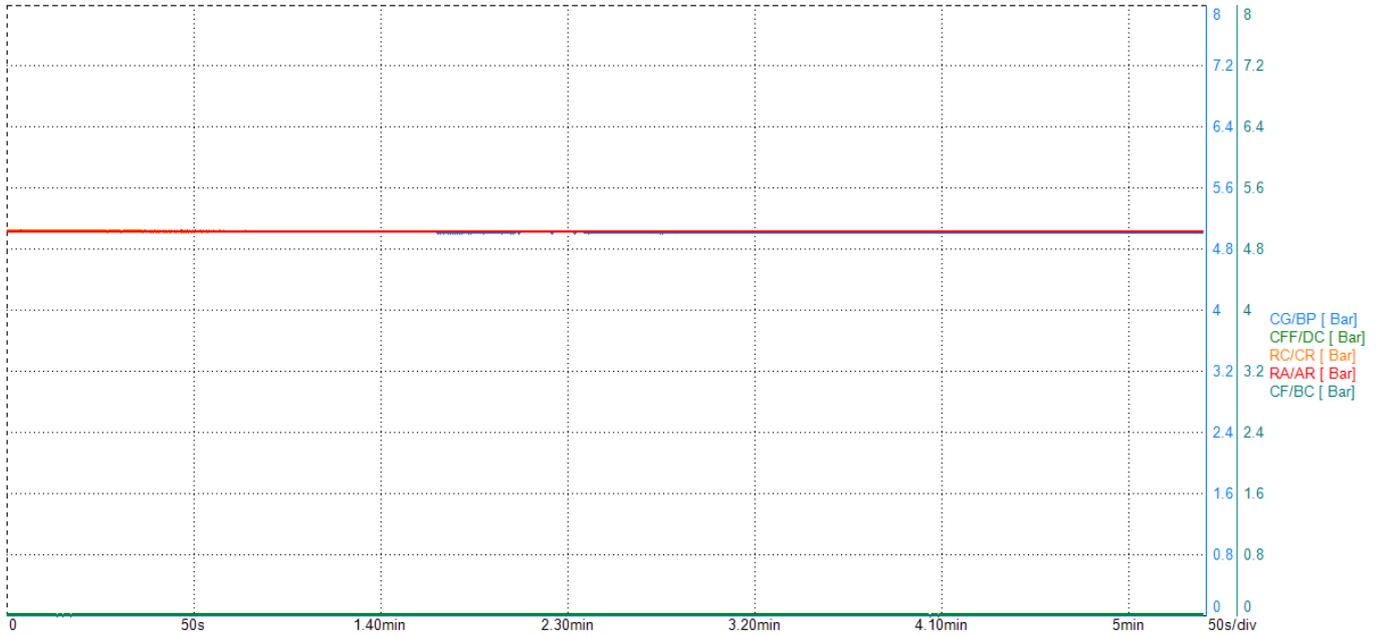
C3A 0026.rec (30864 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :30/04/2014 10:39:59



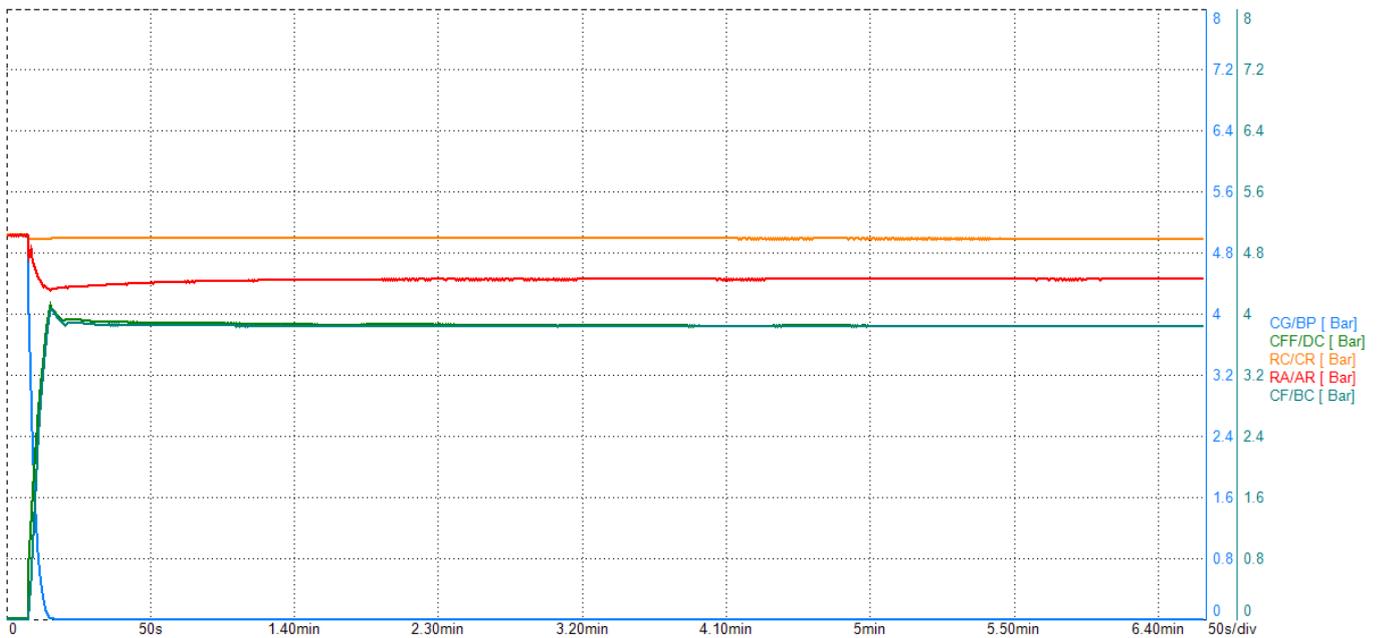
FTA DEV F025 IND K

Courbe 27 et 28

C3A 0027.rec (3205 Echant/voies) Période acquisition : 100ms Date : 30/04/2014 10:44:56



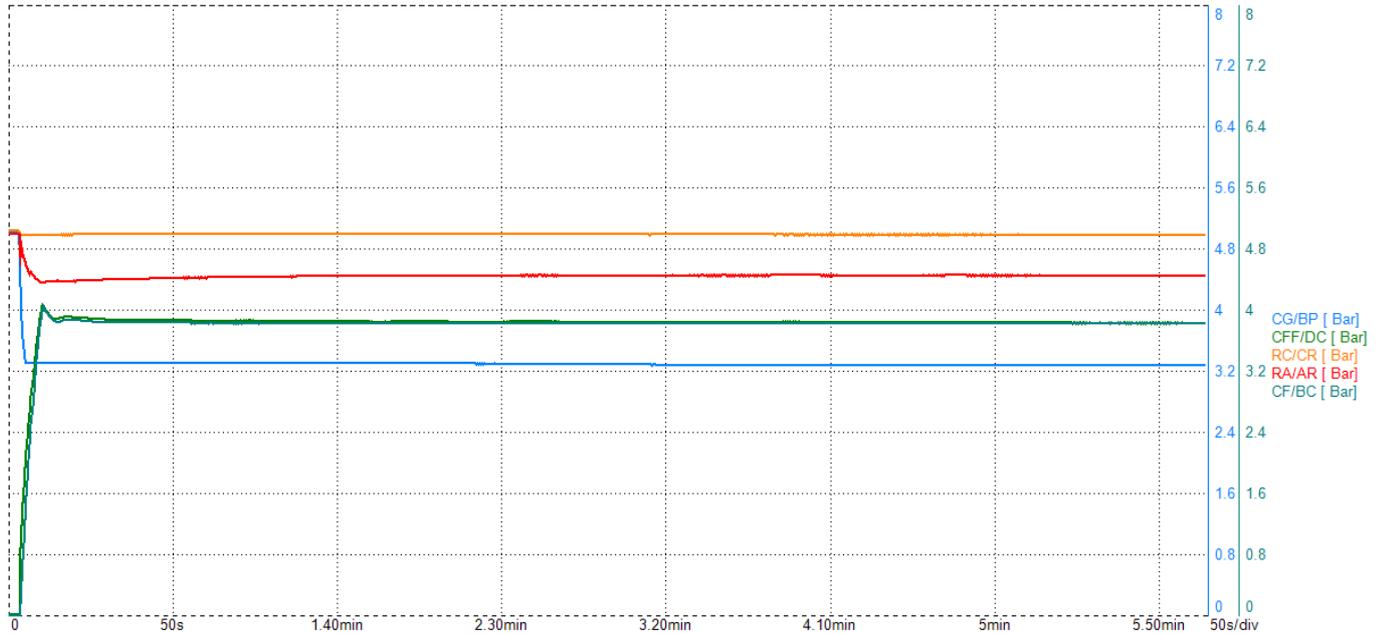
C3A 0028.rec (4164 Echant/voies) Période acquisition : 100ms Date : 30/04/2014 10:51:10



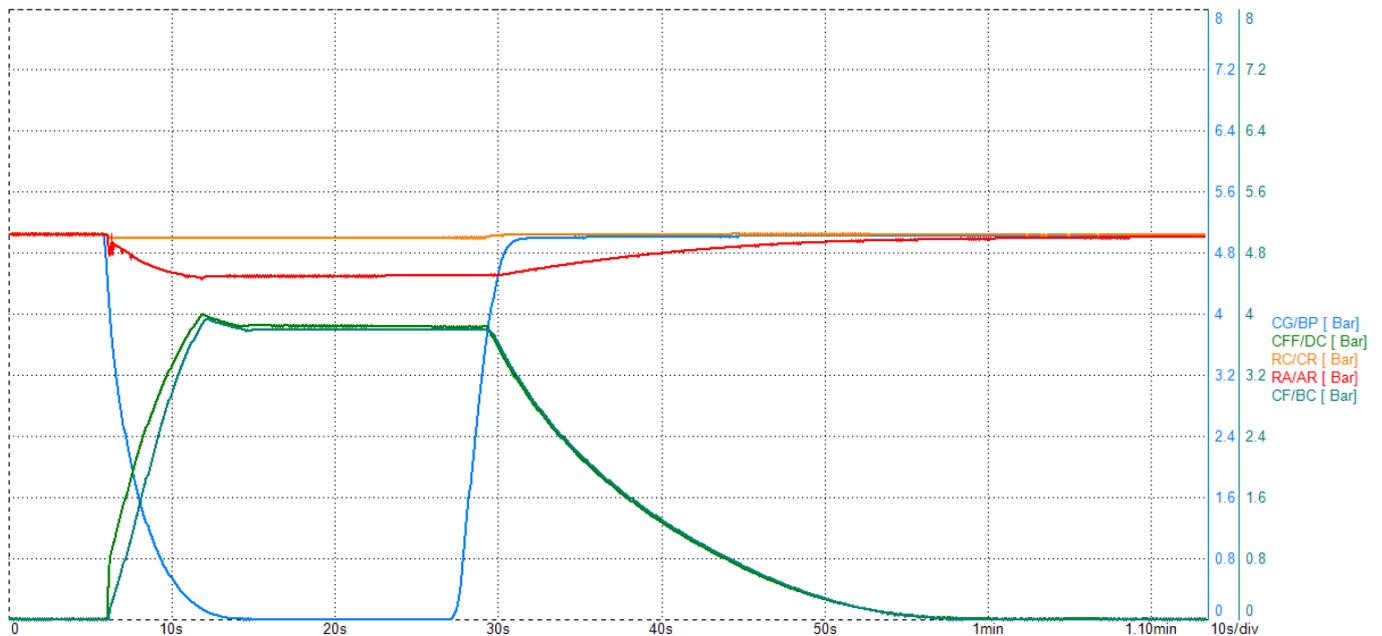
FTA DEV F025 IND K

Courbe 29 et 30

C3A 0029.rec (3647 Echant/voies) Période acquisition : 100ms Date : 30/04/2014 10:59:47



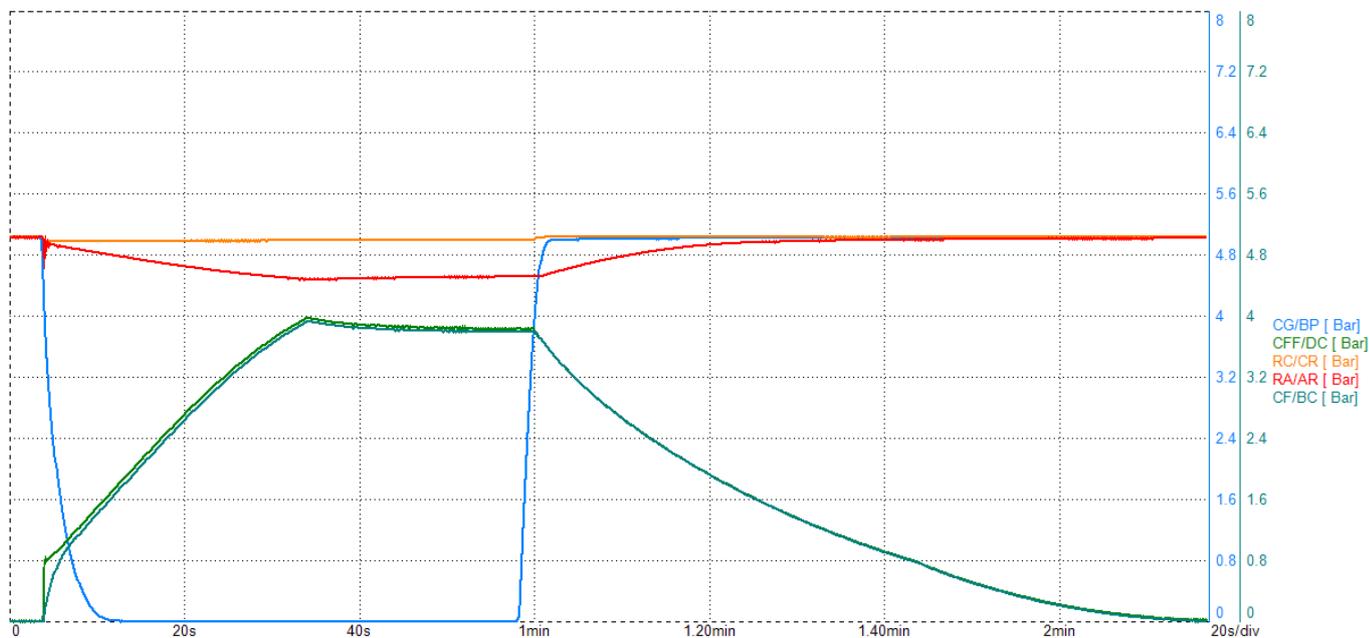
C3A 0030.rec (14686 Echant/voies) Période acquisition : 5ms Date : 30/04/2014 13:48:47



FTA DEV F025 IND K

Courbe 31 et 32

C3A 0031.rec (27400 Echant/voies) Période acquisition :5ms Date :30/04/2014 13:52:13



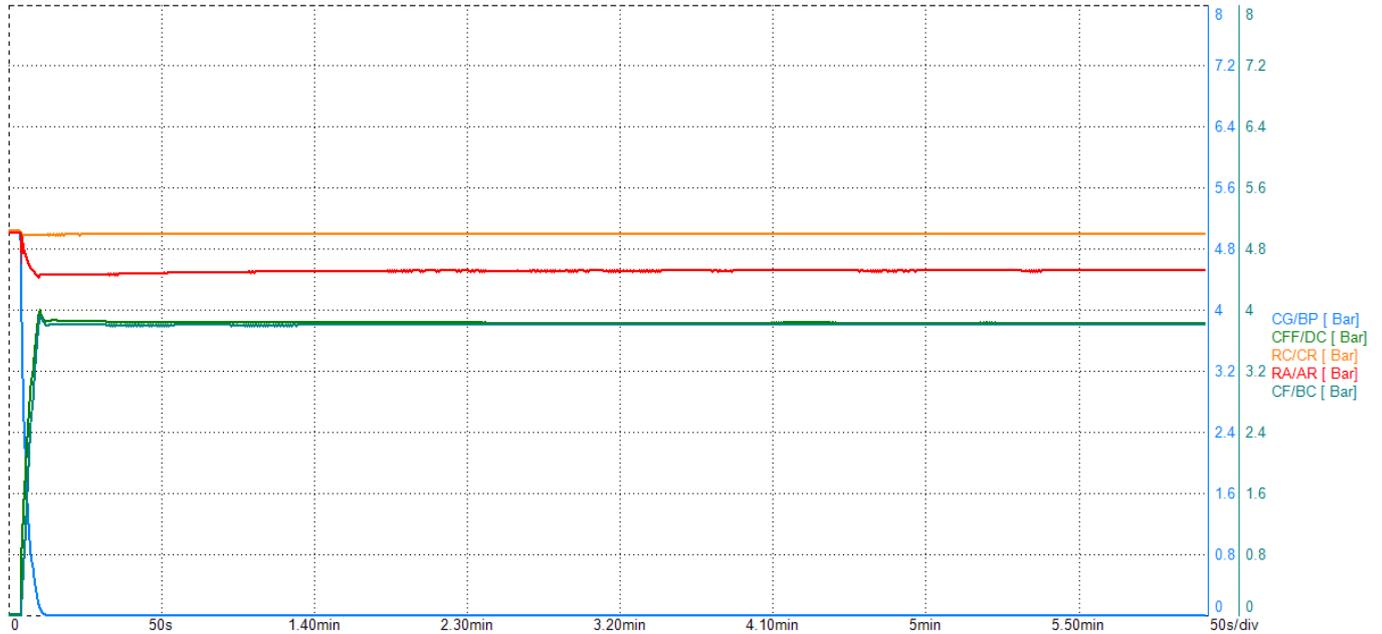
C3A 0032.rec (3230 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :30/04/2014 13:56:06



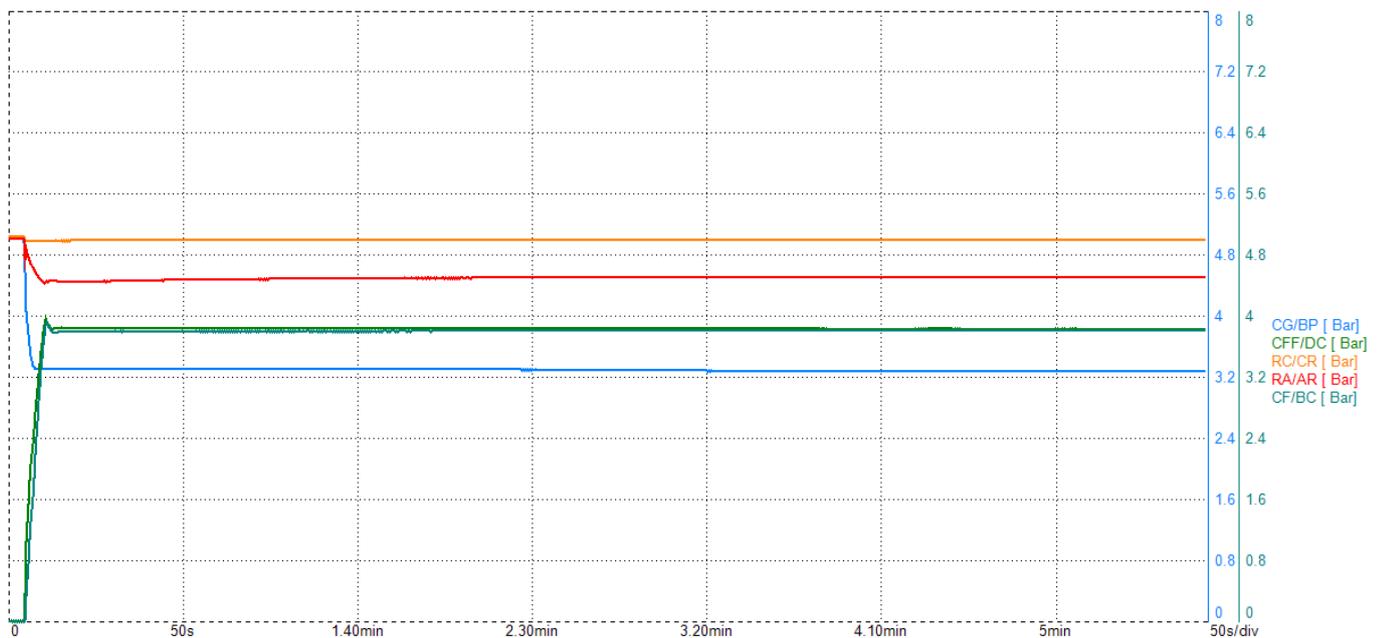
FTA DEV F025 IND K

Courbe 33 et 34

C3A 0033.rec (3921 Echant/voies) Période acquisition : 100ms Date : 30/04/2014 14:03:48



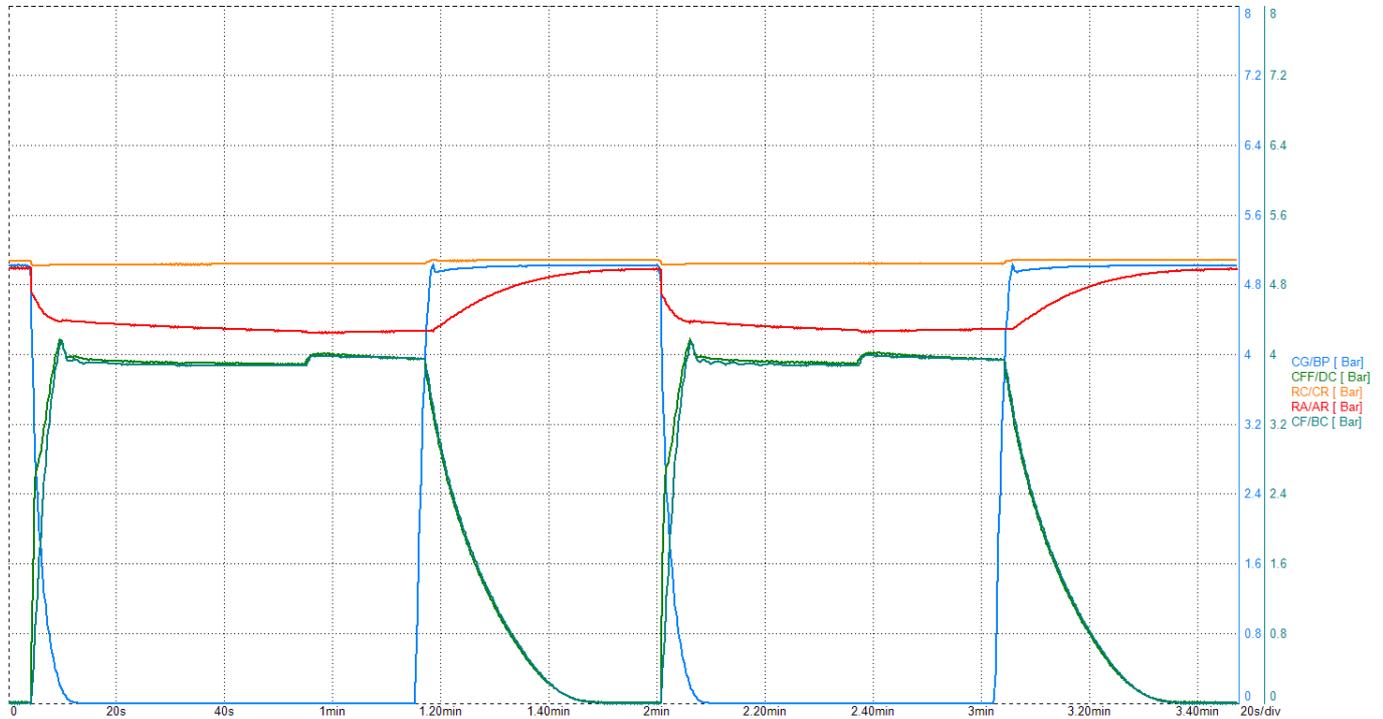
C3A 0034.rec (3434 Echant/voies) Période acquisition : 100ms Date : 30/04/2014 14:11:31



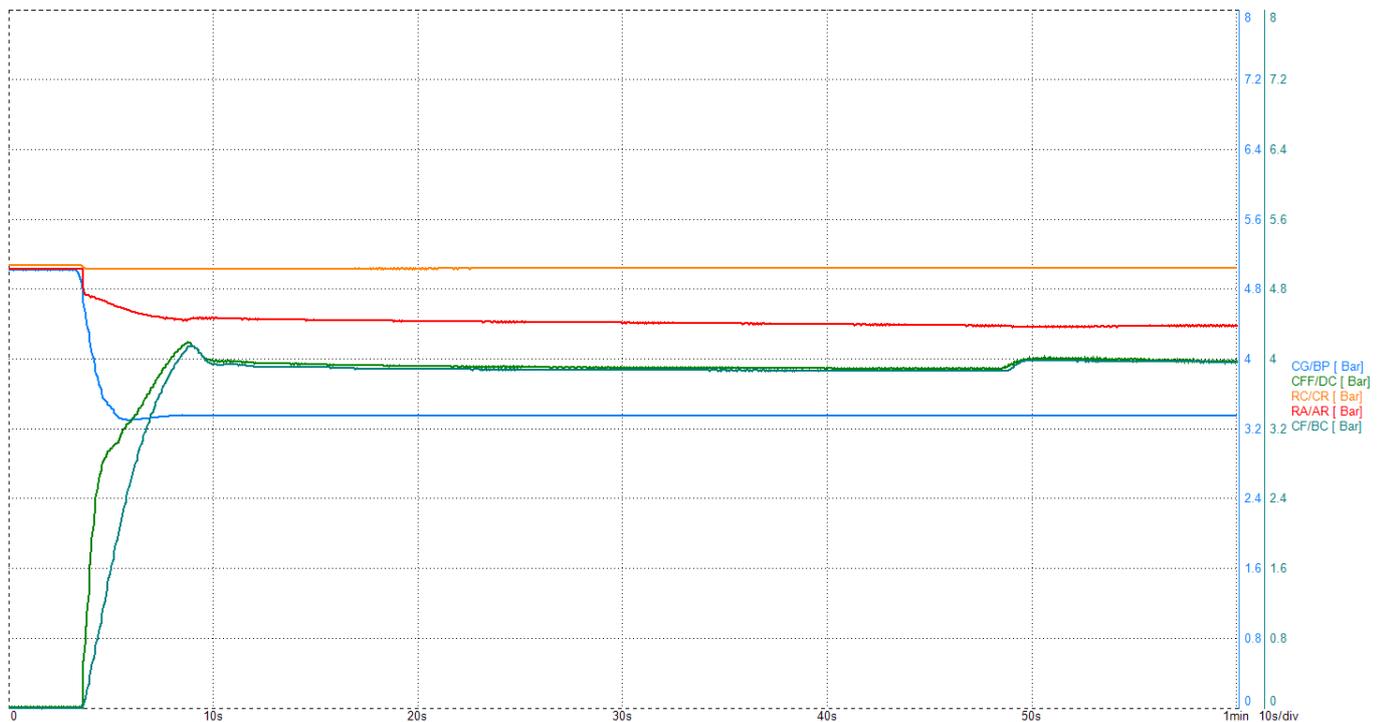
FTA DEV F025 IND K

Courbe 35 et 36

C3A 0035.rec (4551 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :05/05/2014 08:43:39



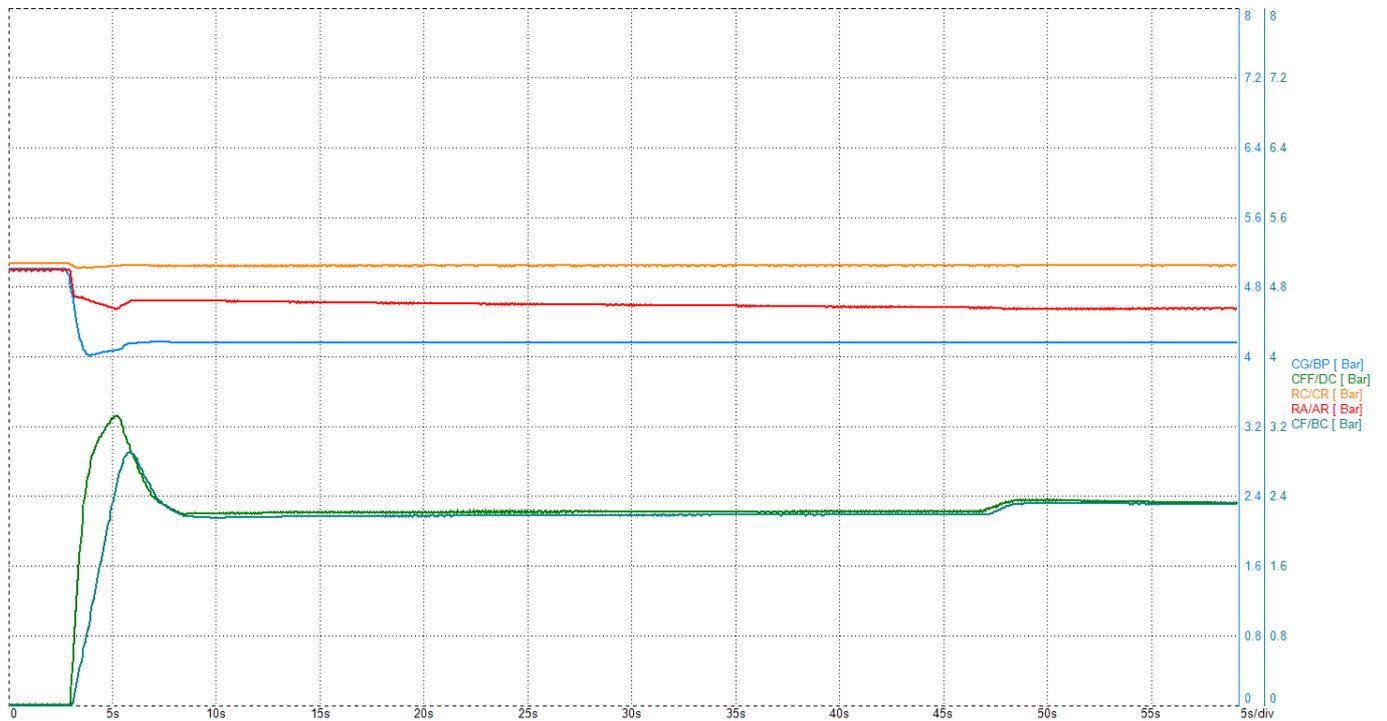
C3A 0036.rec (1202 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :05/05/2014 08:50:32



FTA DEV F025 IND K

Courbe 37

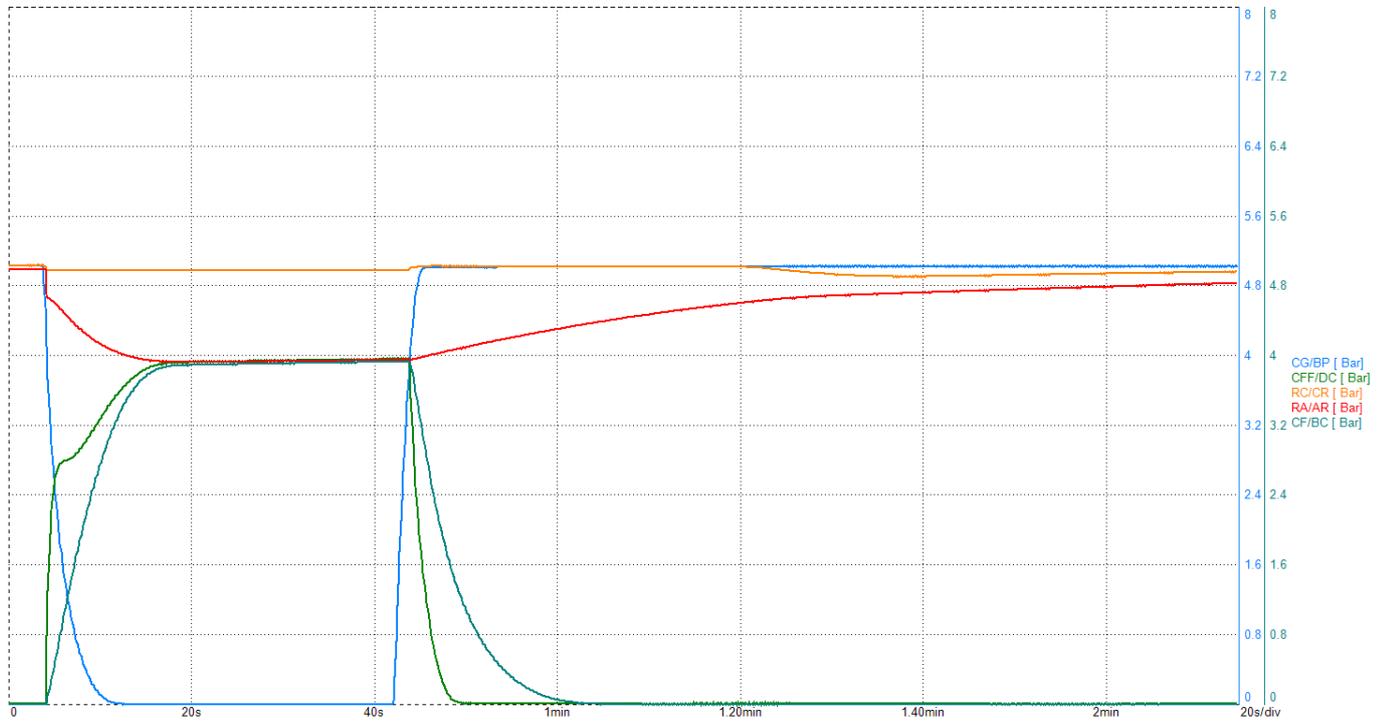
C3A 0037.rec (1184 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :05/05/2014 08:53:07



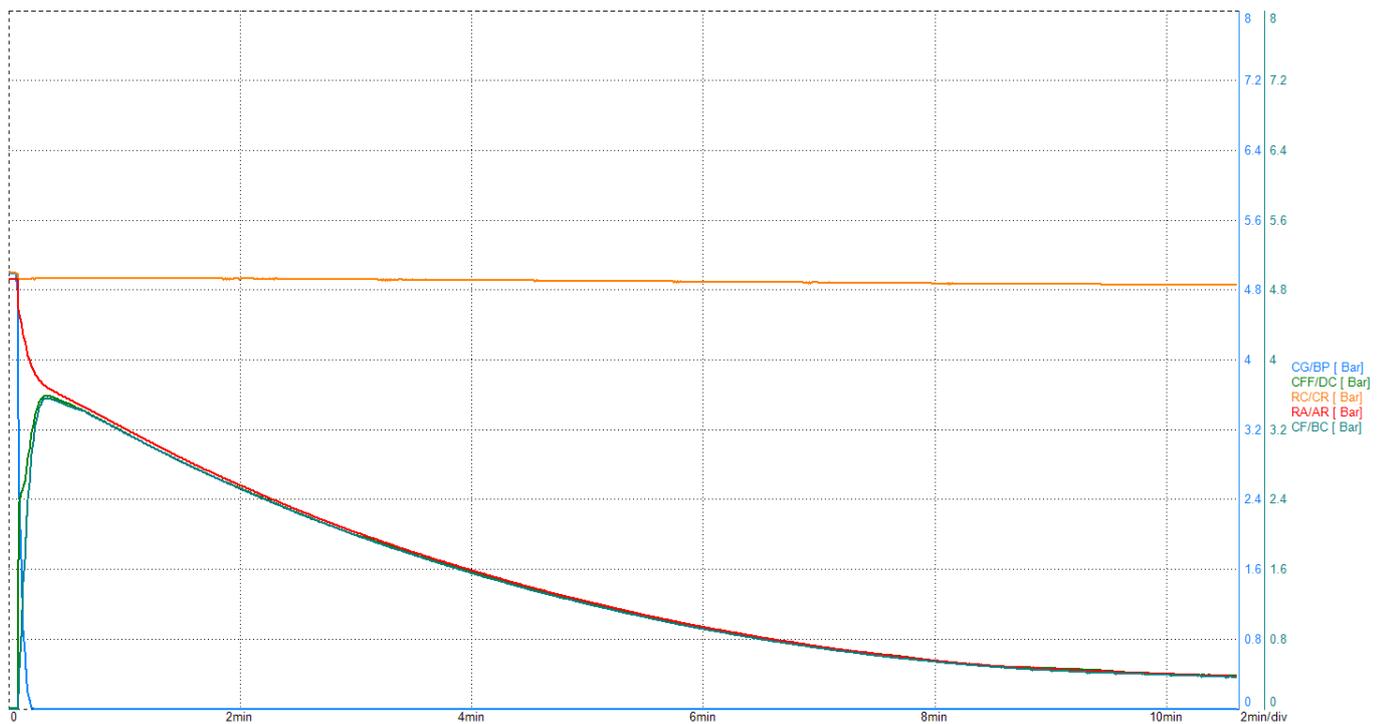
FTA DEV F025 IND K

Courbe X001et X002

C3A X0001.rec (2689 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :30/04/2014 13:36:53



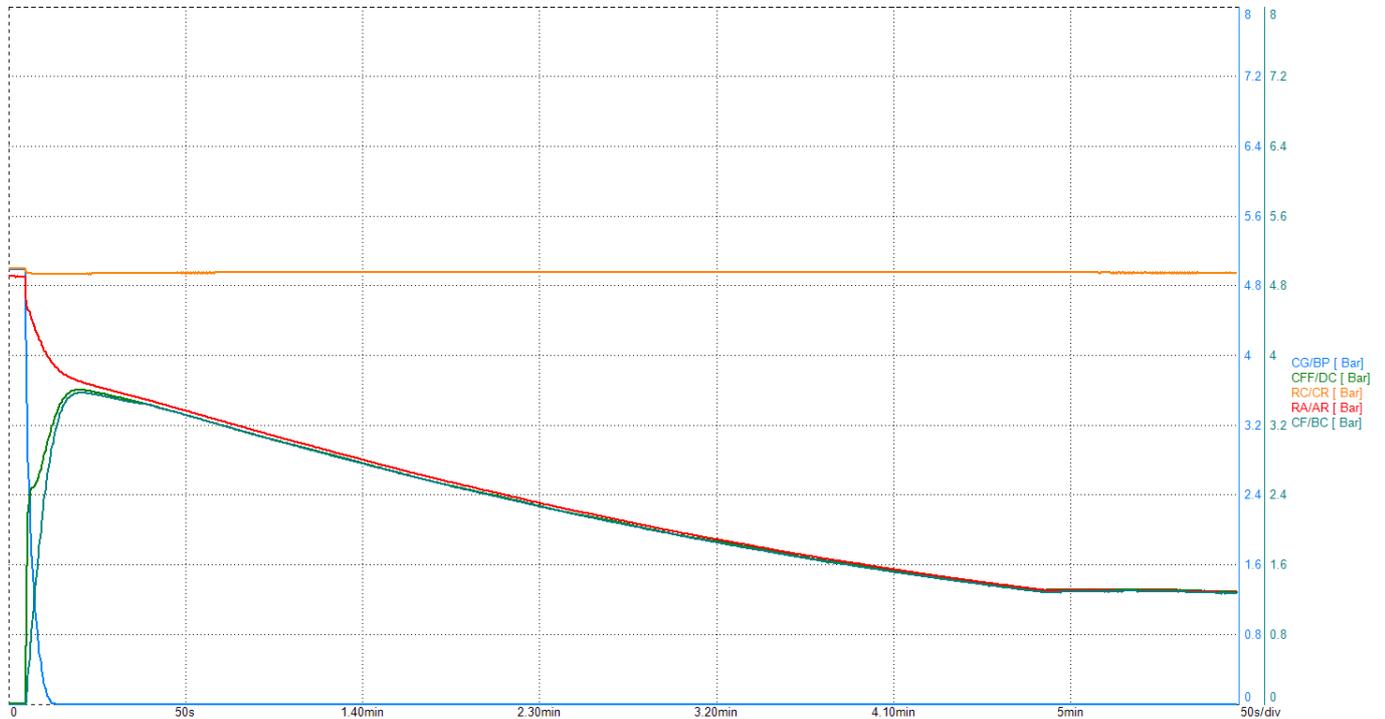
C3A X0002.rec (6374 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :05/05/2014 09:48:44



FTA DEV F025 IND K

Courbe X003

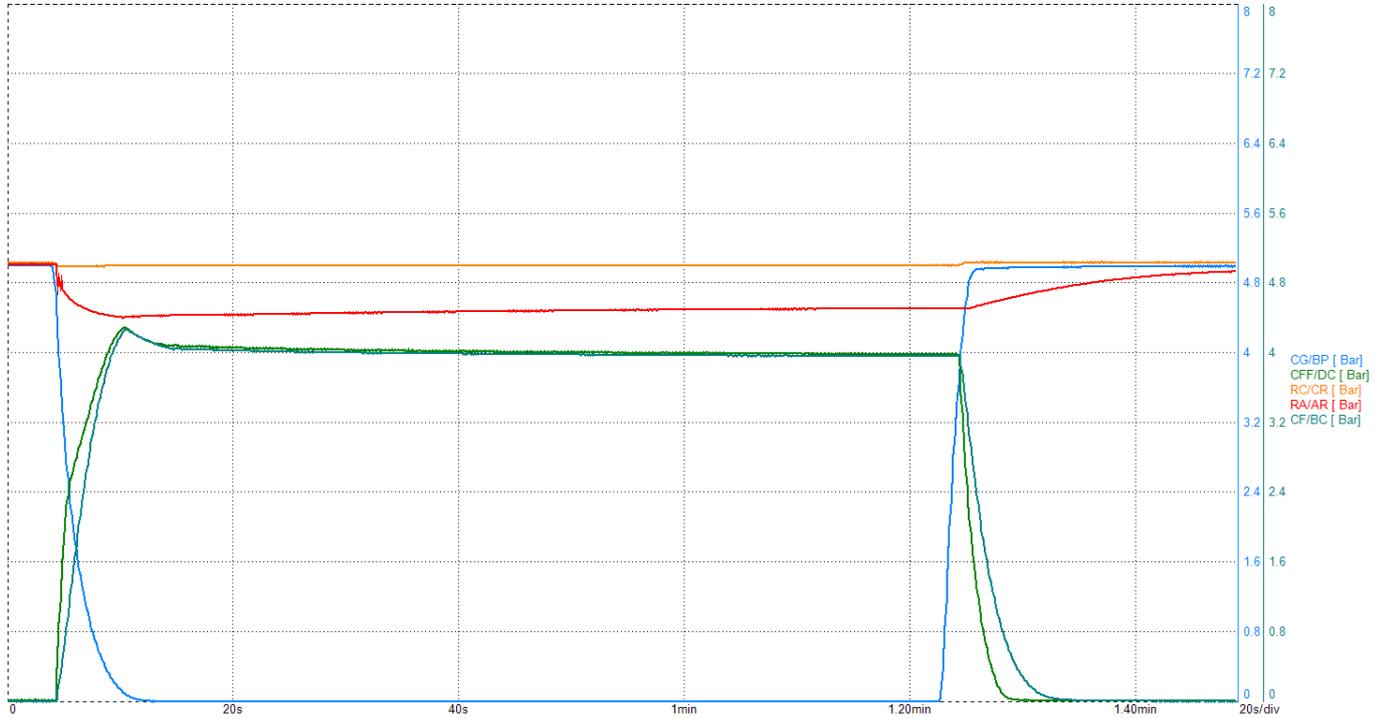
C3A X0003.rec (3474 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :05/05/2014 12:40:55



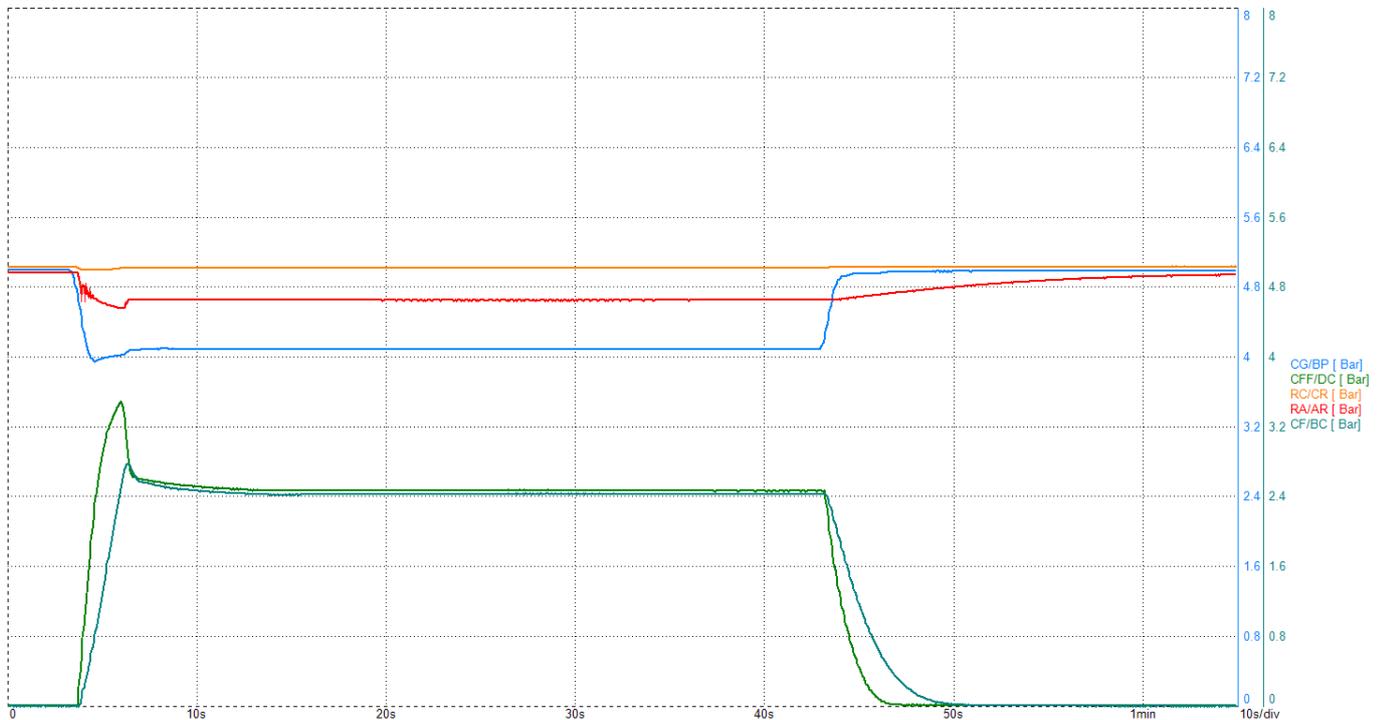
FTA DEV F025 IND K

Courbe W001et W002

C3A W0001.rec (2181 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :06/05/2014 08:15:30



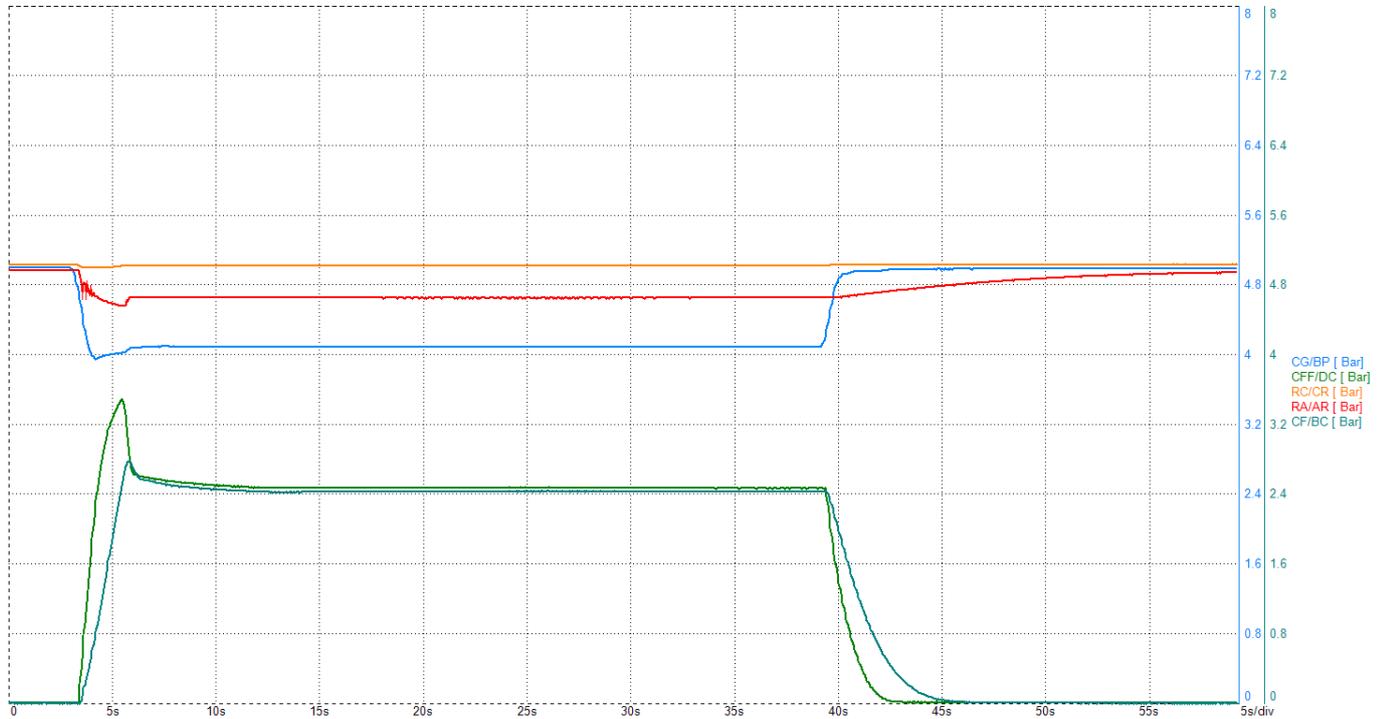
C3A W0002.rec (1300 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :06/05/2014 08:17:50



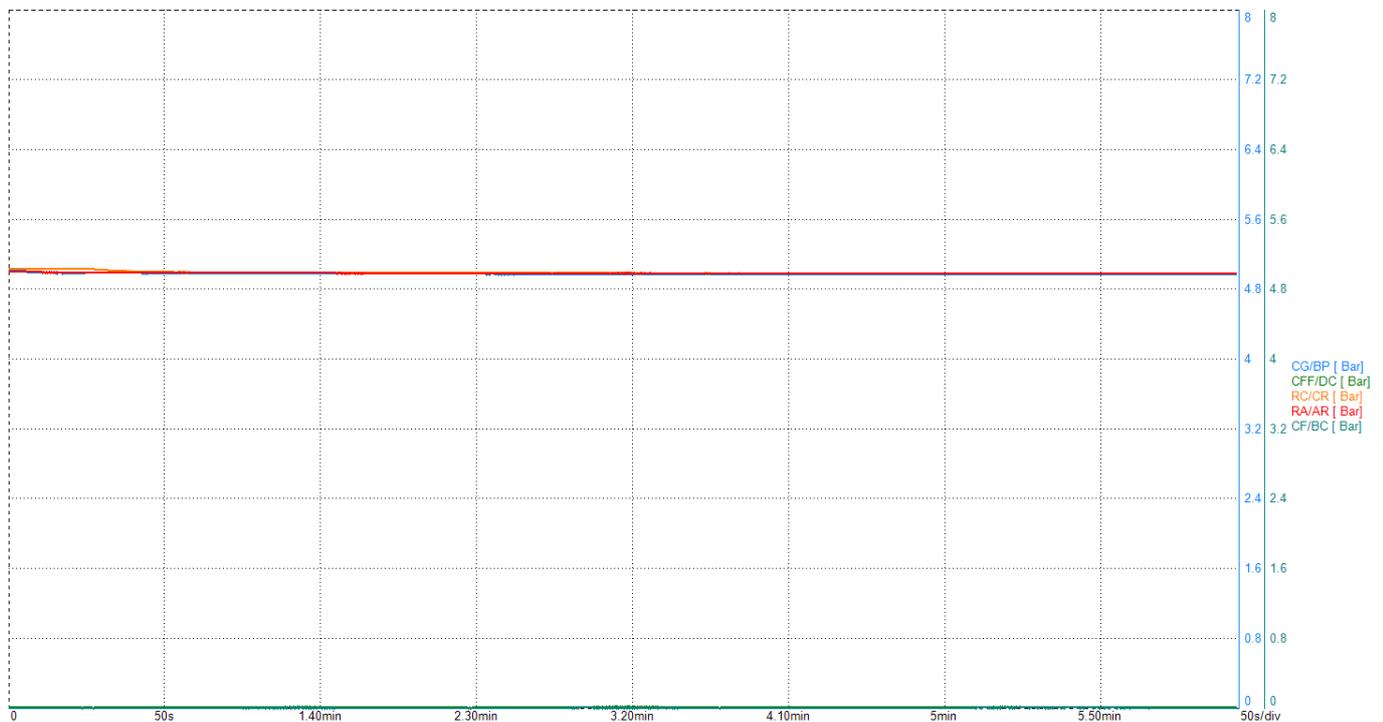
FTA DEV F025 IND K

Courbe W003 et W004

C3A W0002.rec (1300 Echant/voies) Période acquisition :50ms Date :06/05/2014 08:17:50



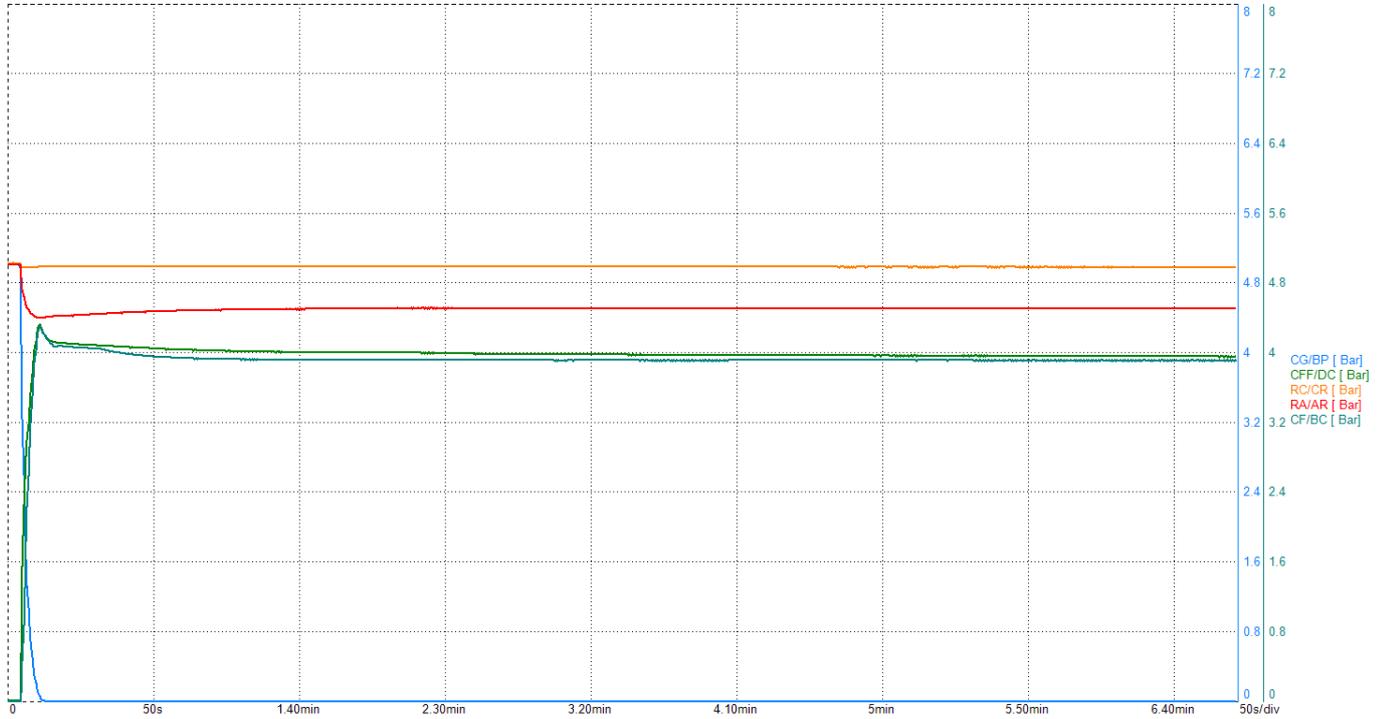
C3A W0004.rec (3943 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :06/05/2014 08:21:42



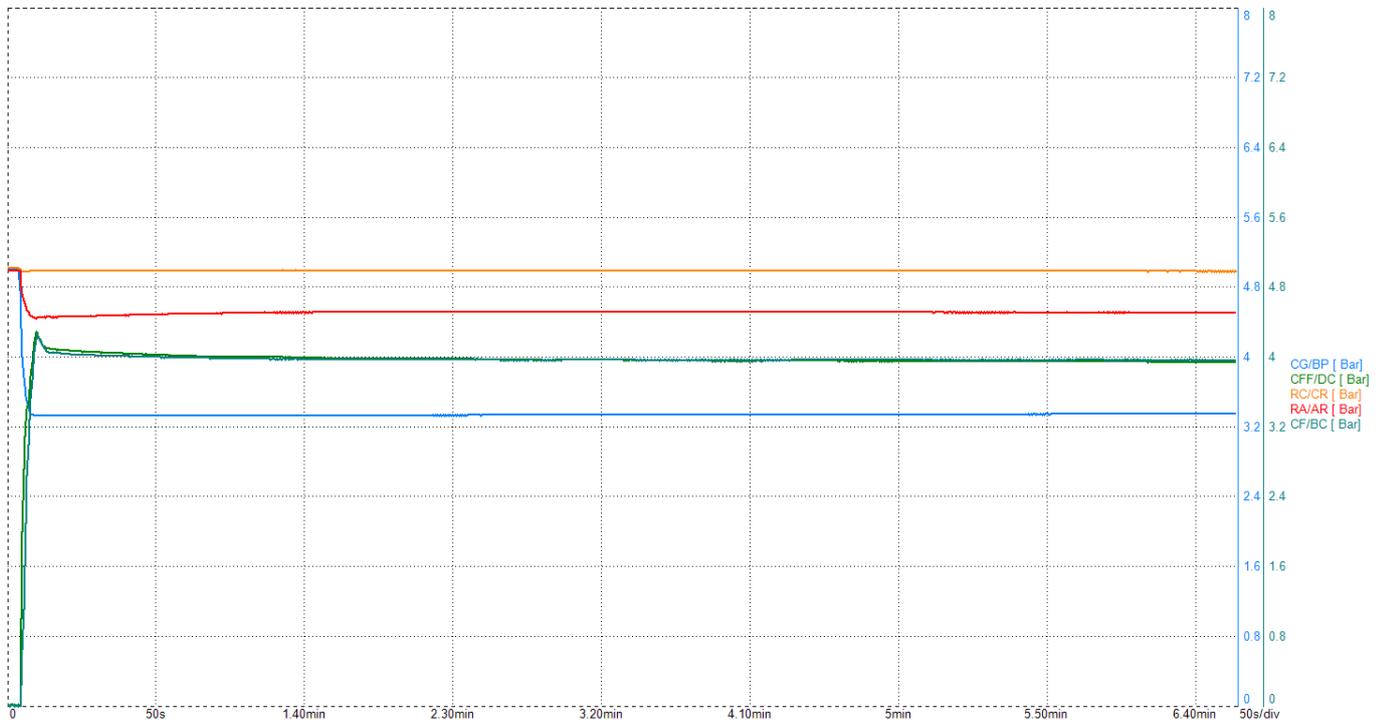
FTA DEV F025 IND K

Courbe W005et W006

C3A W0005.rec (4219 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :06/05/2014 08:29:24



C3A W0006.rec (4142 Echant/voies) Période acquisition :100ms Date :06/05/2014 08:39:13



FTA DEV F025 IND K

BEA-TT – Bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre

Tour Voltaire – 92055 LA DEFENSE CEDEX
Tél. : +33(0)1 40 81 21 83 – Fax : + 33(0)1 40 81 21 50

cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

