



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Rapport final

du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

sur le renversement d'une pelle
rail-route depuis le viaduc de la
Baye de Clarens

du 25 mars 2024

à Montreux (VD)

N° reg. 2024032502

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport a été exclusivement établi dans le but de prévenir les accidents et les incidents graves survenant lors de l'exploitation de chemins de fer, d'installations de transport à câble et de bateaux. L'enquête de sécurité et le présent rapport n'ont expressément pas pour but d'établir une culpabilité ou une responsabilité¹. Si ce rapport est utilisé à d'autres fins que la prévention des accidents, il convient d'en tenir compte.

Pour des raisons de protection de la personnalité de toutes les personnes physiques et de leurs fonctions, la forme masculine est utilisée dans ce rapport, indépendamment de leur sexe.

¹ Article 15 de la loi fédérale sur les chemins de fer du 20 décembre 1957 (LCdF), état le 1^{er} juillet 2024 (RS 742.101)

Table des matières

Glossaire	5
1 Résumé	6
1.1 Aperçu.....	6
1.2 Cause.....	6
1.3 Recommandations de sécurité.....	6
1.4 Lieu de l'événement.....	7
1.5 Enquête.....	8
1.6 Situation avant l'événement.....	8
1.7 Déroulement de l'événement.....	9
1.8 Dommages.....	10
1.8.1 Personne.....	10
1.8.2 Infrastructure.....	10
1.8.3 Véhicule.....	10
1.8.4 Environnement.....	10
1.9 Personnes impliquées et concernées.....	10
1.9.1 Personnel ferroviaire.....	10
1.10 Entreprises impliquées et concernées.....	11
1.10.1 Gestionnaire de l'infrastructure.....	11
1.10.2 Propriétaire du véhicule.....	11
1.10.3 Entreprise de construction.....	11
1.11 Infrastructure.....	11
1.11.1 Installations ferroviaires.....	11
1.12 Véhicules.....	12
1.12.1 Pelle rail-route.....	12
1.12.2 Dumper.....	18
1.13 Evaluation de l'enregistrement des données.....	19
1.13.1 Tachygraphe.....	19
1.14 Examens particuliers.....	19
1.14.1 Météo, visibilité, état des rails.....	19
1.14.2 Diagramme de charge.....	19
1.14.3 Examens médicaux.....	20
1.14.4 Expertise externe.....	20
1.14.5 Informations complémentaires.....	20
1.15 Règlementation et description des fonctions.....	21
1.15.1 Supplément au manuel d'utilisateur de base pour WE 150 Rail Road.....	21
1.16 Explications du machiniste.....	21
2 Analyse	22

2.1	Aspects techniques.....	22
2.1.1	Fonctionnement des vérins.....	22
2.1.2	Fixation des vérins.....	22
2.1.3	Diagramme de charge – rotation de la tourelle de la pelle.....	24
2.2	Aspects organisationnels.....	25
2.3	Aspects opérationnels ou procéduraux.....	25
2.4	Aspects humains.....	26
3	Conclusions.....	27
3.1	Faits établis.....	27
3.1.1	Aspects techniques.....	27
3.1.2	Aspects organisationnels.....	27
3.1.3	Aspects opérationnels ou procéduraux.....	27
3.1.4	Aspects humains.....	27
3.2	Cause.....	28
4	Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'accident.....	29
4.1	Recommandation de sécurité.....	29
4.2	Mesures prises depuis l'accident.....	29

Glossaire

DE-OCF	Dispositions d'exécution du 15 décembre 1983 de l'ordonnance sur les chemins de fer du 15 décembre 1983, Etat le 1 ^{er} novembre 2020 (RS 742.141.11)
MOB	Compagnie du Chemin de fer Montreux-Oberland-Bernois
MVR	Transports Montreux-Vevey-Riviera
OCF	Ordonnance du 23 novembre 1983 sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (Ordonnance sur les chemins de fer) du 23 novembre 1983, Etat le 1 ^{er} novembre 2020 (RS 742.141.1)
PCT	Chemin de fer. Prescriptions suisses de circulation des trains PCT du 4 novembre 2019 (R 300.1-.15), Etat le 1 ^{er} juillet 2020 (RS 742.173.001)

1 Résumé

Le 25 mars 2024, vers 18 heures, lors des travaux de réfection du viaduc enjambant la Baye de Clarens, une pelle mécanique rail-route, qui circulait en mode « rail », a basculé en contrebas de la ligne ferroviaire avant de s'immobiliser au fond de la rivière. Le machiniste a été éjecté et gravement blessé.

1.1 Aperçu

Moyen transport Chemin de fer

Entreprises impliquées

Gestionnaire de l'infrastructure MVR, Montreux

Tiers Grisoni-Zaugg SA, Vuadens FR

Véhicules impliqués Pelle New Holland WE 150 RR, Grisoni-Zaugg SA

1.2 Cause

La cause du basculement de la pelle lors du mouvement de rotation n'a pas pu être déterminée avec certitude. Par contre, lors du basculement, la charge à l'extrémité du bras approchait la limite d'utilisation admissible (charge en fonction du déploiement des bras) et le déploiement effectif des bras reste incertain.

Les facteurs suivants ont contribué à l'accident :

Facteurs contributifs:

- Le déboîtement du vérin stabilisateur gauche ressenti comme une secousse par le machiniste aurait pu engendrer un effet dynamique sur la pelle.
- Le passage au-dessus du vide avec une charge importante n'a pas permis au machiniste d'avoir la réaction habituelle, à savoir de poser la charge au sol.

Facteurs systémiques:

- Le manuel d'utilisateur de la pelle ne mentionne rien concernant une quelconque restriction de charge à prendre en compte en fonction du dévers de la voie.

1.3 Recommandations de sécurité

Aucune recommandation de sécurité ni aucun avis de sécurité n'ont été émis.

1.5 Enquête

Le 25 mars 2024 à 18h30, l'annonce concernant l'accident à Chamby (Montreux VD) a été transmise au bureau d'enquête du Service suisse d'enquête de sécurité (SESE).

L'enquête se base sur les éléments et les documents suivants :

- Les constatations faites sur le lieu de l'accident ;
- Photos ;
- Expertise des vérins stabilisateurs ;
- Analyse ;
- Descriptif technique de la pelle rail-route ;
- Documents d'homologation ;
- Inspection comparative d'une autre pelle rail-route similaire ;
- Relevé géométrique des voies ;
- Auditions des personnes impliquées.

1.6 Situation avant l'événement

Le Viaduc de la Baye de Clarens est situé sur la ligne Vevey-Blonay-Chamby entre les communes de Blonay et Chamby (Montreux). Il relie les réseaux MVR et MOB. L'ouvrage est un pont historique datant de 1902 constitué d'une série de 5 voûtes et qui franchit la Baye dans une courbe d'un rayon de 60 m à environ 25 m au-dessus de la rivière. Suite à un glissement de terrain du côté Blonay, le pont a été endommagé.

Pour rétablir l'intégrité de l'ouvrage, des travaux de rénovation ont été entrepris (illustration 3). Afin de permettre la réalisation d'une étape importante du projet de rénovation de cet ouvrage, une opération de grande envergure était planifiée entre le 26 février et le 14 avril 2024. Ces travaux nécessitaient l'interruption complète du tronçon durant 7 semaines. Pour l'exécution des travaux, divers véhicules rail-route étaient engagés sur le secteur de voie entre Chamby et le viaduc. La pelle rail-route New Holland WE 150 RR (illustration 8) était engagée sur ce chantier depuis le 15 mars 2023.

Afin de permettre les travaux de coulage du béton, une centrale était installée environ 400 mètres en amont du pont du côté de Chamby. Le béton était acheminé, par pompage, sur le pont par l'intermédiaire de tuyaux provisoires posés sur la gauche (côté parapet) de la voie (illustration 3). Le jour de l'accident, le travail se déroulait en deux équipes. L'équipe de l'après-midi avait pris son service à 14 heures.

Le 25 mars 2024, en fin d'après-midi, le machiniste devait déplacer un compresseur avec sa machine. Pour ce faire, il a décroché le godet du balancier et y a suspendu le compresseur d'un poids d'environ 800 kg à l'aide de chaînes pour le déposer du côté amont (Chamby). Pour ce faire, il a effectué une rotation de 180° avec sa tourelle pour passer par-dessus la barrière.

Ensuite, le machiniste a raccroché le godet au bras de la pelle. La pelle se trouvait à une distance d'environ 5 mètres de la fin des rails (illustration 3). A cause du mur de soutènement situé sur la droite de la voie, les rotations du bras ne pouvaient se faire que vers la gauche, soit au-dessus du vide.

1.7 Déroulement de l'événement

Un peu avant 18 heures, une fois les travaux de bétonnage terminés, les conduites devaient être vidées et rincées. Le solde de béton qui s'écoulait des conduites devait être récupéré à l'aide de la pelle rail-route. Une fois le béton récupéré la pelle devait faire une rotation de 180° pour se retourner en direction de Chamby afin de déverser le contenu du godet dans la benne du dumper positionné directement derrière la pelle. A cause de la barrière située sur la gauche, le bras de la pelle devait être levé pour pouvoir passer au-dessus de cette dernière.

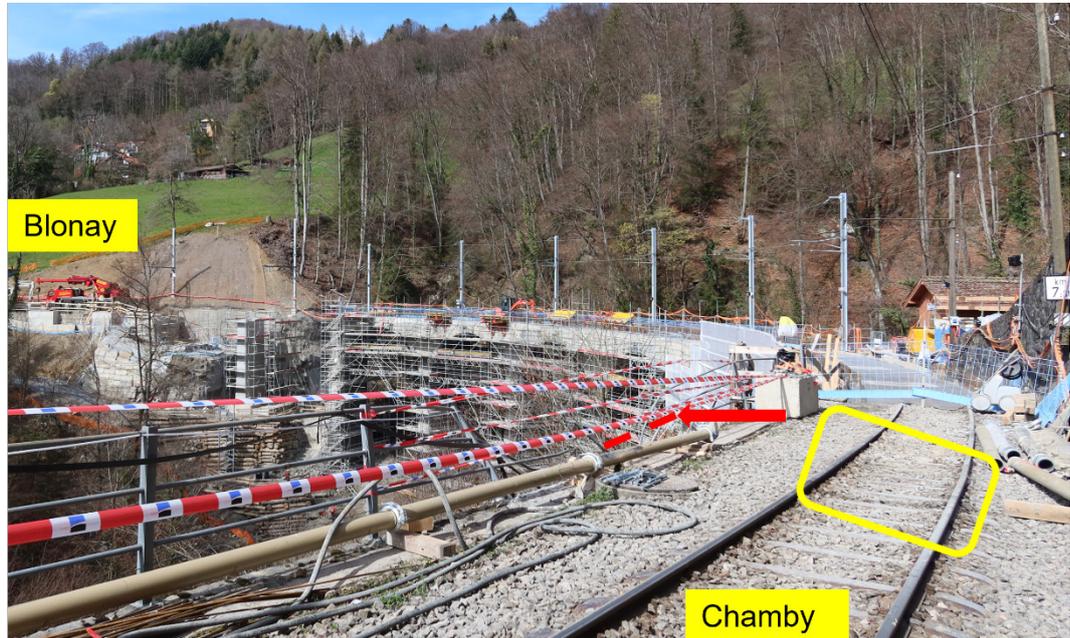


Illustration 3 : Rectangle jaune : emplacement de la pelle rail-route avant son basculement. A gauche, au pied du parapet, les tuyaux pour le coulage du béton. La flèche rouge indique le sens de basculement. Les rubans de signalisation ont été mis en place après l'accident.

Une première rotation vers l'arrière a été effectuée pour vider le contenu du premier godet dans la benne du dumper (illustration 19).

Lors de la deuxième rotation, alors que le godet de la pelle était environ perpendiculaire à la voie (soit le bras au-dessus du vide), la pelle a basculé en contrebas du mur de soutènement. Après avoir fait plusieurs tonneaux, la pelle s'est immobilisée dans le lit de la rivière (illustration 4). Le machiniste a été éjecté de sa cabine et projeté dans le lit de la rivière. Il a été gravement blessé.



Illustration 4 : Emplacement final de la pelle dans le lit de la rivière.

1.8 Dommages

1.8.1 Personne

Le machiniste de la pelle rail-route a été gravement blessé.

1.8.2 Infrastructure

Légers dégâts à la barrière en bordure aval de la voie.

1.8.3 Véhicule

La pelle rail-route a subi un dommage total.

1.8.4 Environnement

Un léger écoulement d'huile hydraulique biodégradable s'est produit dans la rivière.

1.9 Personnes impliquées et concernées

1.9.1 Personnel ferroviaire

1.9.1.1 Machiniste pelle rail-route

Personne	Année 1982, Employé chez Grisoni-Zaugg SA, St-Légier (VD)
Autorisation	Formation OCVM 10
Expérience dans la fonction	Depuis 2020, chez Grisoni-Zaugg
Début du travail le jour de l'événement	Le machiniste avait pris son service à 14 heures.

Temps de service jusqu'à l'événement Environ 4h
Types de blessures Blessures multiples graves.

1.10 Entreprises impliquées et concernées

1.10.1 Gestionnaire de l'infrastructure

Transports Montreux-Vevey-Riviera (MVR), Montreux

1.10.2 Propriétaire du véhicule

Grisoni-Zaugg SA, St-Légier

1.10.3 Entreprise de construction

Grisoni-Zaugg SA, St-Légier

1.11 Infrastructure

1.11.1 Installations ferroviaires

1.11.1.1 Description

La voie se trouve à flanc d'un coteau raide. Au lieu de l'accident il y a des murs de soutènement. De Chamby jusqu'au pont, la pente de la voie est d'environ 50‰.

1.11.1.2 Constatations

Dans la zone où l'accident s'est produit, aucune instabilité du corps de voie n'a été constatée. Le pelle se trouvait avant le pont (illustration 3) soit à l'entrée de la courbe.

Le dévers de la voie en direction du parapet mesuré après l'accident, sur une longueur 57 m dans la zone où la pelle était engagée, se situe entre 6 et 11 mm .
Sous les essieux de la pelle, le dévers de la voie était de 6 mm par mètre.



Illustration 5 : Chute de la pelle rail-route. **Illustration 6** : Pelle dans la rivière.

1.11.1.3 Dispositif de sécurité

Un dispositif de sécurité avait été établi par le gestionnaire de l'infrastructure. Ce dispositif couvre le chantier de la réfection du viaduc de la Baye de Clarens du km 5.990 jusqu'au km 8.330. La voie était interdite et la ligne de contact déclenchée et mise à terre depuis le lundi 26 février 2024 jusqu'au 14 avril 2024. Des mouvements de manœuvre avec des véhicules rail-route sont prévus par le dispositif de sécurité. Le Chef de la sécurité était présent sur le chantier lors de l'accident.

Le dispositif de sécurité ainsi que sa mise en œuvre ne sont pas mis en cause dans cet accident.

1.12 Véhicules

1.12.1 Pelle rail-route

1.12.1.1 Généralité pour la mise sur rails de véhicules rail-route

L'enraillement ou mise en voie s'effectue à un passage à niveau ou une surface plane au niveau de la voie. La pelle se positionne au-dessus des rails en s'assurant que l'un des essieux ferroviaires soit à l'aplomb des rails. Avant le début de la procédure, le conducteur s'assurera qu'il n'existe pas de risque de dérive en sécurisant le véhicule. Puis, le premier essieu ferroviaire sera abaissé hydrauliquement à l'aide des vérins d'appui, jusqu'à atteindre la position prescrite pour avoir une surface de contact suffisante avec les pneumatiques. Ce faisant, le poids de la machine qui s'appuyait auparavant sur l'essieu routier est maintenant repris par l'essieu ferroviaire abaissé. Puis vient le tour du second essieu ferroviaire, après que le conducteur se soit assuré de son alignement. À la fin de la procédure, les essieux ferroviaires supportent tout le poids de la machine, et les essieux routiers ne touchent plus les rails (illustration 7).

La mise hors voie se déroule dans l'ordre inverse, sur une surface plane.

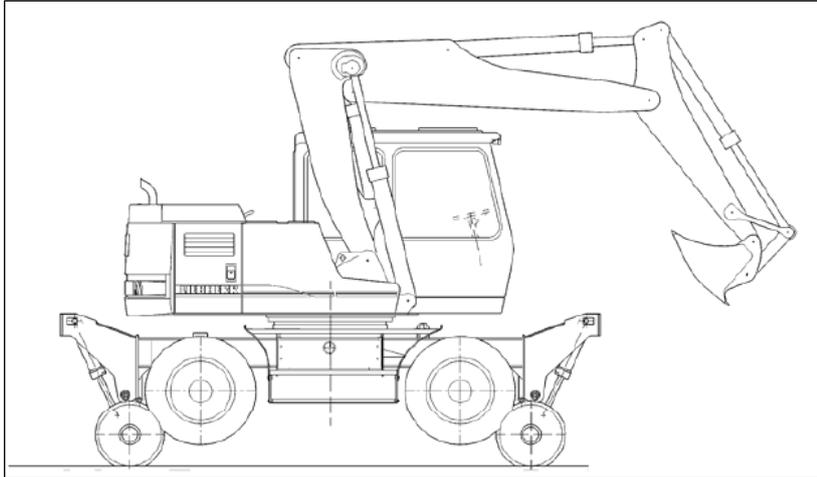


Illustration 7 : Dessin type d'une pelle rail-route comparable (Source : EN 15746-1).

1.12.1.2 Description de la pelle New Holland WE 150 RR

La pelle rail-route a été livrée en octobre 2013.

Avec son équipement rail-route la pelle pèse 22 t. L'empattement des essieux ferroviaires à voie métrique, est d'environ 4.4 m.



Illustration 8 : Photo de la pelle rail-route lors de son inspection en janvier 2024. Le godet et le « rotator » pèsent ensemble 1120 kg (cadre rouge).

Sur cette pelle, l'essieu routier arrière est fixe. L'essieu routier avant est un essieu pendulaire (oscillant). De chaque côté du châssis, un vérin hydraulique stabilisateur est installé. Ils appuient sur l'essieu pendulaire (illustration 9) ce qui permet de bloquer le débattement vertical de cet essieu.

Lors de l'accident, l'essieu avant était du côté Chamby. Les définitions gauche-droite font référence à cette position.

En mode route l'essieu avant est libre. Il peut ainsi s'adapter aux irrégularités du terrain, et les pistons des vérins stabilisateurs suivent les mouvements entre l'essieu avant et le châssis de la pelle.

En mode rail, un interrupteur ou la pédale de frein permettent d'activer le blocage de l'essieu avant pour stabiliser la pelle. Une fois le frein activé, la pédale reste en position freinée. Un nouvel appui désactive le frein.

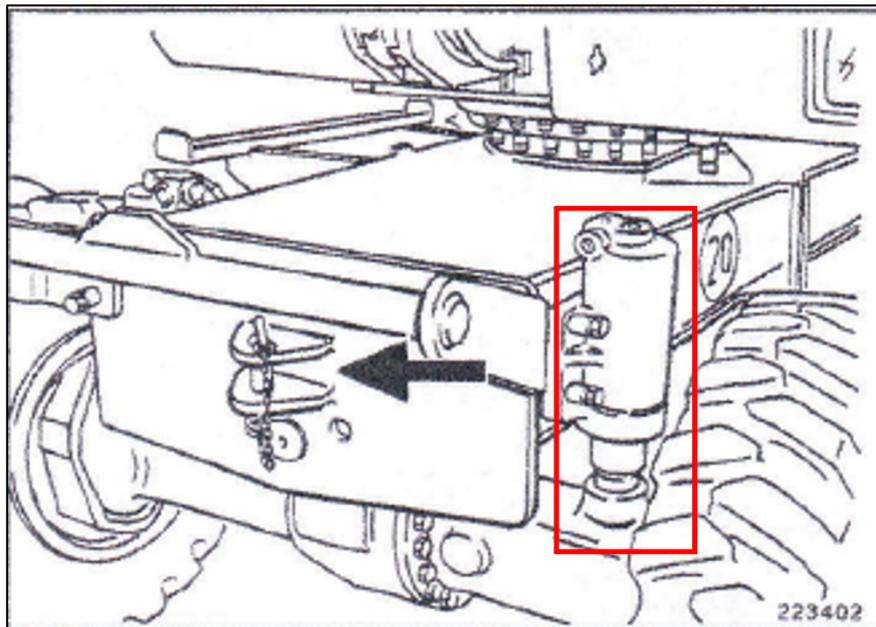


Illustration 9 : Châssis et vérin stabilisateur sur l'essieu avant (rectangle rouge).
(Source : manuel utilisateur, adjonction SESE)

Chaque vérin est fixé au châssis par l'intermédiaire de 4 vis M18x90 passant au travers d'une douille d'entretoise (illustrations 9 et 16). Une plaque en acier d'une épaisseur de 20 mm avec quatre filetages M18 est soudée sur le côté du châssis de la pelle (illustration 11).

1.12.1.3 Homologation OFT

L'autorisation d'exploiter OFT de la pelle a été émise le 31.08.2018. Cette pelle peut être engagée, après changement des essieux ferroviaires, tant sur les réseaux à voie métrique qu'à voie normale.

1.12.1.4 Contrôle technique ferroviaire

Le dernier contrôle technique C4, selon DE-OCF article 13, a été réalisé par une entreprise externe le 24 janvier 2024. Le protocole établi à cette occasion mentionne que le véhicule remplissait les exigences et qu'il est en bon état.

1.12.1.5 Constatations

1.12.1.5.1 Relevé de la position bras articulé

Le SESE a procédé, dans le lit de la rivière, au relevé du déploiement des vérins du bras articulé (illustration 4).

1.12.1.5.2 Vérin stabilisateur du côté gauche

Le vérin stabilisateur a été arraché. Il a été retrouvé, avec le piston sorti, près de la rivière (illustration 10) soit à environ 20 m de la pelle rail-route. Le tuyau hydraulique s'est cassé au niveau de sa pièce de raccordement avec le corps du vérin.



Illustration 10 : Vérin stabilisateur gauche retrouvé près de la rivière.

La surface d'appui sur la plaque de fixation présentait des traces d'oxydation (illustration 11).



Illustration 11 : Vue de la plaque de fixation du vérin stabilisateur gauche manquant.

Les deux filetages du haut (illustrations 12 et 13) présentent des bavures fraîches consécutives à un arrachement de matériel.

Sur tout le pourtour supérieur, les soudures de la plaque sont fissurées et oxydées (illustrations 12 et 13).



Illustration 12 : Détail de l'image 10 : fixation en haut à gauche. Les soudures de la plaque sont fissurées (flèche rouge).



Illustration 13 : Détail de l'image 10 : Détail fixation en haut à droite. Les soudures de la plaque sont fissurées (flèche rouge).

Les deux filetages du bas ne sont plus présents. Ils ont été arrachés. Aucune bavure de matériel consécutive à un arrachage n'est visible sur la plaque.



Illustration 14 : Détail de l'illustration 11: Fixation des deux vis du bas.



Illustration 15 : Détail fixation en bas à gauche.

Seules deux vis de fixation et une douille ont été retrouvées (illustration 16). Les deux extrémités des filets présentent des traces d'arrachement de matière de la plaque soudée.



Illustration 16 : Vis retrouvées, dont une avec une douille, M18 x 90, qualité 10.9.

1.12.1.5.3 Vérin stabilisateur du côté droit

Le vérin stabilisateur était en place, fixé par ses quatre vis. Le piston était rentré. Le couple de serrage des vis a été contrôlé. Il correspond aux consignes de serrage prescrites (350 Nm).

Le vérin a été démonté par le SESE pour inspection comparative. Les parties où le corps du vérin appuie sur la plaque de fixation sont exemptes de traces d'oxydation. La partie centrale est graissée (illustration 17). Les quatre filetages dans la plaque en acier sont en bon état.



Illustration 17 : Vérin stabilisateur gauche démonté.

1.12.1.6 Bloc d'électrovalves Y62

L'électrovalve Y62 permettant d'activer le déblocage des vérins stabilisateurs a été démontée pour inspection de son fonctionnement.

1.12.1.7 Déformation du châssis vers l'essieu avant

Le châssis de la pelle est fortement déformé et écrasé au droit de l'essieu avant sur le côté de gauche.



Illustration 18 : Déformation du châssis du côté gauche, en particulier sous la sangle orange.

1.12.2 Dumper

1.12.2.1 Description

Le dumper était immobilisé derrière la pelle rail-route du côté Chamby.

Il n'est pas impliqué dans le basculement de la pelle rail-route. Le reste de béton qui s'écoulait du tuyau et qui avait été récupéré dans le godet devait y être déversé. La hauteur de levage nécessaire pour pouvoir y déverser le contenu du godet de la pelle rail-route est d'environ 2 mètres (Illustration 19).

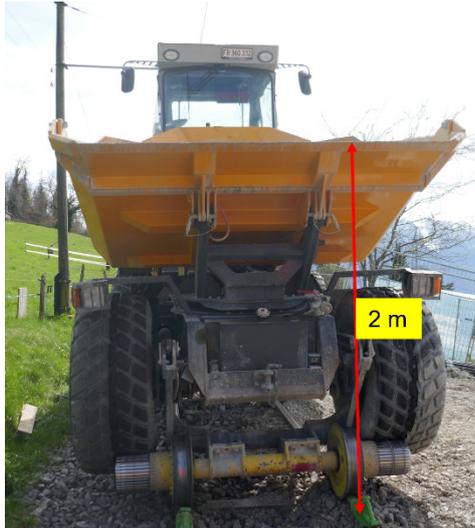


Illustration 19 : Dumper avec hauteur de la benne.

1.13 Evaluation de l'enregistrement des données

1.13.1 Tachygraphe

1.13.1.1 Données de circulation de la pelle rail-route

Aucun système d'enregistrement n'est installé sur ce véhicule.

1.14 Examens particuliers

1.14.1 Météo, visibilité, état des rails

Jour, bonne visibilité, rails secs. Ces éléments n'ont eu aucune influence sur la survenue de l'accident.

1.14.2 Diagramme de charge

1.14.2.1 Tableau des charges

Le tableau des charges admissibles pour la voie métrique est disponible sous annexe 1, illustration 25.

Les charges admissibles mentionnées sont définies à l'extrémité du bras, sans aucun agrégat fixé.

Dans les conditions locales lors de l'accident (4,5 m d'extension du bras, et 3 mètres de hauteur avec rotation latérale) d'engagement de la pelle, le tableau de charge définit une charge maximale de 1800 kg.

1.14.2.2 Influence du dévers de la voie - restriction de charge

Le manuel d'utilisateur de la pelle ne mentionne rien concernant une quelconque restriction de charge à prendre en compte en fonction du dévers de la voie. Aucun dispositif de surveillance et limitation de la charge maximale n'existe sur ce type de pelle.

1.14.3 Examens médicaux

Les résultats des analyses toxicologiques n'ont pas relevé la présence d'alcool ou de stupéfiants.

1.14.4 Expertise externe

Les 2 vérins stabilisateurs de type PZL 85-160-F2 RH-C ont été soumis à une expertise externe.

Les conditions de tests étaient les suivantes :

Le vérin stabilisateur de gauche était sorti de 135 mm soit dans l'état dans lequel il a été retrouvé dans la rivière.

- Une fois soumis à une force externe de 8 t, ce qui correspond à une pression de 140 bars, le piston ne s'est pas rétracté.
- En appliquant une pression de 4.2 bar au raccord hydraulique, la soupape interne au vérin se déverrouille et avec une faible force le piston se rétracte. Le vérin est donc fonctionnel.

Le vérin stabilisateur de droite était complètement rétracté. Pour vérifier son fonctionnement, une pression supérieure à 5 bars a été appliquée provoquant la sortie du piston.

- Une fois soumis à une force externe de 8 t, ce qui correspond à une pression de 140 bars, le piston ne s'est pas rétracté.
- En appliquant une pression de 4.2 bar au raccord hydraulique, la soupape interne au cylindre se déverrouille et avec une faible force le piston se rétracte. Le vérin est donc fonctionnel.

Le fonctionnement des deux vérins était correct.

Test de l'électrovalve.

- L'électrovalve (EV) Y62 de pilotage des vérins stabilisateurs fait partie d'un bloc de 4 EV. En position de repos, en appliquant 20 bar, l'EV reste étanche. Avec une tension de 12 V et 24 V on l'entend travailler.
- En mettant 25 bars à l'entrée et en appliquant une tension de 24 V, la pression d'entrée est transmise à la sortie. En enlevant la tension, la pression de sortie tombe très rapidement à 0.

L'EV était fonctionnelle.

En cas d'absence de tension, les vérins stabilisateurs se bloquent dans la position dans laquelle ils se trouvaient. Inversement, il est nécessaire d'alimenter l'EV pour laisser la liberté de mouvement de l'essieu pendulaire.

1.14.5 Informations complémentaires

Selon la liste d'homologation des machines de marque New Holland rail-route type WE 150 RR, 170 RR, il y aurait 16 unités en service en Suisse.

Le système de vérins stabilisateurs est un équipement standard sur de nombreuses machines de marques et de fonctions différentes.

1.15 Règlements et description des fonctions

1.15.1 Supplément au manuel d'utilisateur de base pour WE 150 Rail Road

Le mode d'utilisation détermine la nécessité du blocage de l'essieu pendulaire.

L'essieu pendulaire doit être bloqué lors de:

- *conduite sur voies nivelées*
- *conduite avec une charge sur le crochet*
- *conduite avec la cabine supérieure pivotée,
ou partiellement pivotée, p.ex. quand on tire
des parties de voies ferrées*

L'essieu pendulaire doit être libéré lors de:

- *conduite sur des voies non nivelées*
- *conduite sur des voies provisoires sur sites en construction*

Actionner l'essieu pendulaire par le frein de service:

Lors de changement fréquent entre travail et conduite sur la voie, le blocage de l'essieu pendulaire est automatiquement actionné par le frein de service.

1.16 Explications du machiniste

Le machiniste a mentionné au SESE que, durant son service journalier, aucun dysfonctionnement n'a été constaté sur sa pelle. Par contre, il a ressenti, juste avant que la pelle ne bascule, comme un effet d'affaissement de la voie sous sa machine. Lors du basculement, il a essayé de ramener le bras en direction de sa machine, puis il s'est agrippé au volant et a poussé ses pieds fortement sur les pédales avant d'être éjecté de la cabine.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

2.1.1 Fonctionnement des vérins

- L'expertise tant des vérins stabilisateurs que de l'électrovalve montre que leur fonctionnement était correct.
- Les vérins stabilisateurs de l'essieu pendulaire peuvent être bloqués soit par la touche de commande proche du volant, soit par l'actionnement du frein. Une rupture de la conduite hydraulique de commande fige les vérins dans l'état où ils se trouvaient. Une absence de tension sur l'électrovalve bloque aussi ces vérins.
- Au vu de la différence de dévers d'environ 5 mm de la voie entre les 2 essieux à l'emplacement de la pelle avant son basculement, les pistons devaient présenter une différence de longueur de déploiement entre la gauche et la droite d'environ 5 mm.
- Vu que le vérin stabilisateur de gauche était sorti de 120 mm et celui de droite d'une dizaine de mm, on doit admettre qu'à un moment donné, mais pas identifié, les vérins ont pu se mouvoir. Seule une action sur la pédale de freins pendant la chute aurait pu libérer le mouvement des vérins. Si le verrouillage avait été activé par l'intermédiaire de la touche de verrouillage, l'extension d'un des vérins n'aurait pas pu se produire.
- Etant donné que la pelle se trouvait dans un secteur en pente de 50 ‰, elle était freinée.

L'hypothèse la plus probable est que la pédale de frein a été désengagée de sa position freinée pendant la chute et lorsque l'essieu avant a tapé sur le sol, les vérins ont pu changer de position car le système compense librement les mouvements entre l'essieu et le châssis.

2.1.2 Fixation des vérins

Le vérin stabilisateur de gauche n'était juste avant l'accident fixé que par les 2 vis supérieures. Les 2 vis du bas manquaient au regard de l'absence de bavure d'arrachage et des traces de rouille. Le corps du vérin ne devait plus plaquer uniformément sur la plaque de fixation (illustration 21).

Lorsque le bas du corps du vérin s'écarte de la plaque de fixation, l'effort vertical n'est plus repris par l'épaulement, mais est entièrement assuré par les deux vis supérieures, ce qui a conduit à l'arrachement des filets.

La fixation des vis M18 de qualité 10.9 sur une plaque de base de seulement 20 mm d'épaisseur n'est pas conforme à l'état de la technique. La règle veut que la profondeur d'engagement dans le filetage soit de 1.5 fois le diamètre nominal de la vis, soit 27 mm dans ce cas.

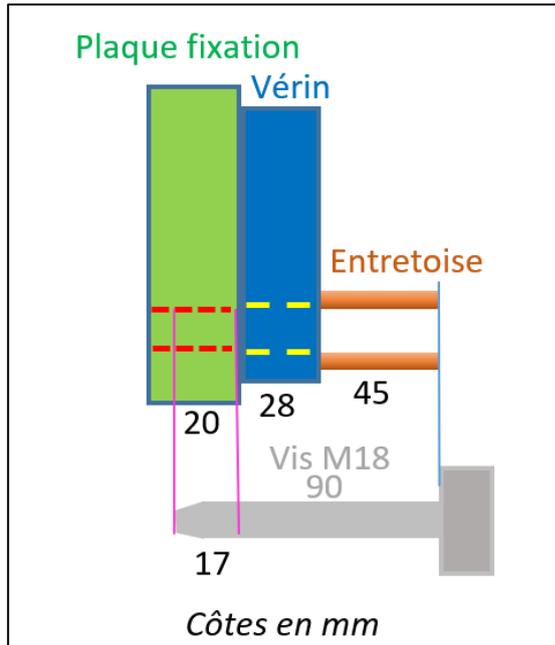


Illustration 20 : Représentation schématique de l'empilage tenu par les vis.

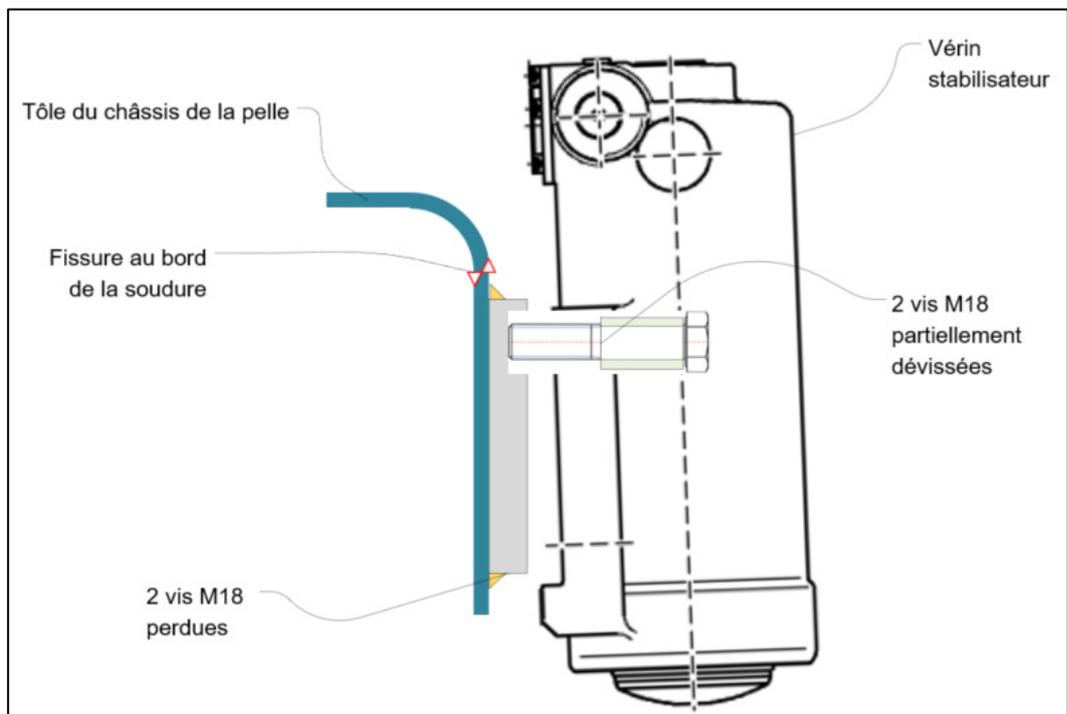


Illustration 21 : Représentation de la position du vérin stabilisateur gauche et de sa fixation.

Sur la base des restes de filets arrachés encore sur la vis, ce sont seulement 11 mm de filetage sur les 17 mm (illustrations 16 et 20) qui étaient en mesure de reprendre une fonction car les premiers 6 mm des vis sont coniques et ne participaient pas à la reprise d'effort. De plus la longueur de la vis sous contrainte était courte (73 mm au lieu de 90 mm requis selon DIN 78). Il est fort probable que la

trop faible longueur de fixation (combinaison plaque de base et vis) soit à l'origine du desserrage et de la perte des vis inférieures.

2.1.3 Diagramme de charge – rotation de la tourelle de la pelle

2.1.3.1 Position du bras

Le diagramme de charge en voie métrique, avec un bras en position latérale à 4.5 m de distance du point de rotation et une hauteur du point de levage de 3 m, autorise une charge de 1800 kg.

La norme ISO 10567 (engins de terrassement, capacité de levage) prescrit une marge de sécurité de 25 % sur le couple de basculement pour la définition du diagramme de charge. Celui-ci figure à l'annexe 1 (illustration 25) et prend en compte cette marge.

Le déploiement du bras (LPR, illustration 22) se mesure depuis l'axe de la tourelle jusqu'à extrémité du balancier (et non pas au godet) ce qui déplace le point de référence dans le dos machiniste et pas au niveau de son point de vision. Cette machine n'étant équipée d'aucun système d'avertissement de limite de charge, le respect du diagramme de charge incombe au machiniste.

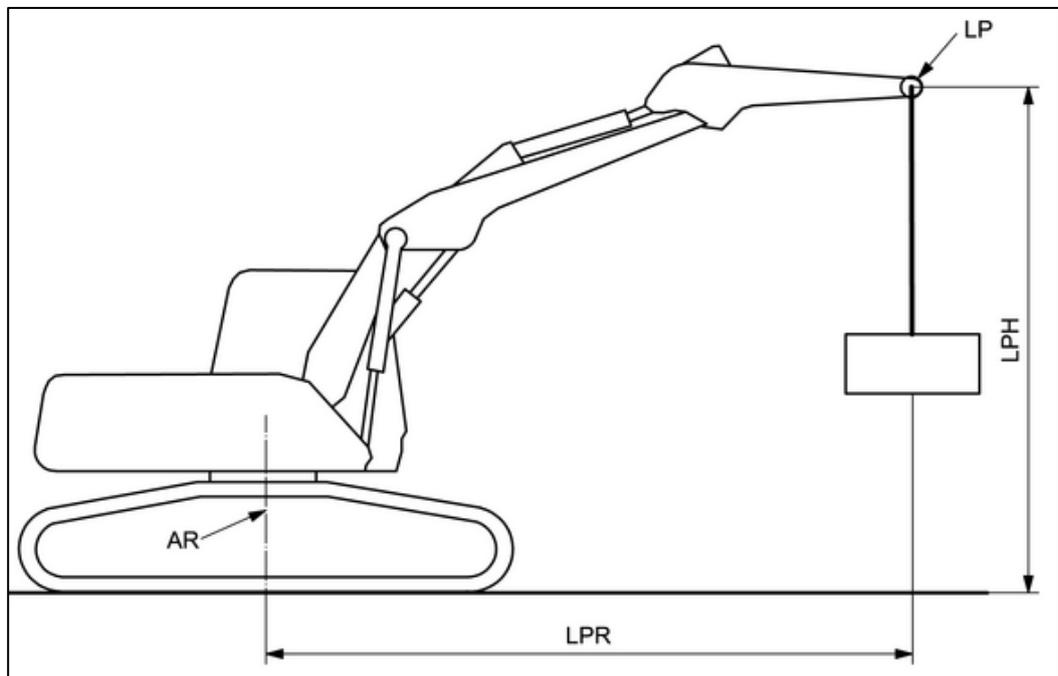


Illustration 22 : Définition de la longueur déployement du bras LPR depuis l'axe de la machine AR (Source: Norme ISO 10567).

La position du bras telle que constatée sur la pelle après l'accident ne correspond pas aux nécessités de mouvements du travail en cours. Pour effectuer la rotation et passer par-dessus la barrière (Illustration 23), il était nécessaire d'élever le bras [cumul du déploiement des 3 bras] et de le déployer à environ 2 m de hauteur. La reconstitution sur une pelle de même type, (Annexe 2, illustration 26), du mouvement effectué par le machiniste, démontre que l'extrémité du bras, juste avant le basculement, aurait dû de situer à environ 4.5 m de l'axe de rotation.

Lors du basculement, le machiniste a donc cherché à replier le bras.

2.1.3.2 Charges à l'extrémité du bras

- Le bras de la pelle (illustration 8) était équipé d'un système « rotator » de pivotement / basculement et d'un godet d'une masse de 630 kg ;
- Le godet de 1'500 mm de large, d'une contenance de 610 l avait une masse de 490 kg ;
- Selon les estimations du machiniste, le godet était à moitié plein (jusqu'au trou latéral sur le godet) de béton assez liquide. On peut estimer la masse dans le godet à environ 600 kg.

La charge en bout de bras totale était d'environ 1'720 kg.

- Lors du transfert du compresseur (800 kg), le godet avait été retiré (490 kg)

La charge en bout de bras était alors de 1'430 kg.

Sur cette base, au vu de la charge estimée (1'720 kg) au bout du bras, et des conditions de déploiement des bras de la pelle lors de la rotation, en regard avec la limite du diagramme de charge (1'800 kg) prescrite dans ces conditions, correspond à 95 % la limite de charge de lors de la rotation.

2.1.3.3 Eléments supplémentaires favorisant un basculement

Les facteurs suivants péjorent le maintien en stabilité :

- le dévers de la voie compris entre 6 et 11 mm ainsi que la pente de 50 ‰ ont une influence sur le couple de basculement ;
- La vitesse de rotation induisant une force centrifuge sur la pelle ;
- Le centre de gravité de la pelle relativement haut par rapport à la faible largeur de l'écartement de la voie métrique.

Les éléments suivants jouent en faveur du maintien de la stabilité :

- Le terrain et la voie étaient stables ;
- Aucun défaut majeur (outre la fixation du vérin stabilisateur gauche) dans la structure de la pelle n'a été constaté ;
- La norme ISO 10567 (illustration 22) définit une marge de sécurité de 25 % sur le couple de basculement.

Si par hypothèse, le déploiement du bras par rapport à l'axe de rotation de la pelle aurait été de 5 m et non pas de 4.5 m comme mentionné sous chapitre 2.1.3.2, dans ce cas de figure, la limite de charge admissible en bout de bras aurait été dépassée.

2.2 Aspects organisationnels

Le dispositif de sécurité ainsi que les mesures de sécurité définies et actives pour la protection du chantier n'ont eu aucune influence sur la survenue de l'accident.

2.3 Aspects opérationnels ou procéduraux

Le manuel de la pelle prescrit le verrouillage de l'essieu pendulaire après avoir enraillé au moyen de l'interrupteur prévu à cet effet. L'absence de verrouillage permet à la pelle, suivant les conditions locales de dévers de la voie, de s'incliner lorsque la charge latérale est importante et d'augmenter le porte à faux donc d'initier le basculement de la pelle lors des travaux.

2.4 Aspects humains

Le machiniste est une personne expérimentée, qui assure aussi des formations. Les machinistes sont très conscients du phénomène de basculement, non pas en connaissant par cœur le tableau de charge et les charges soulevées mais bien plus par leur ressenti et les réactions à avoir: poser le godet au sol. Dans le cas précis, il fallait passer au-dessus de la barrière et pour ce faire, il fallait éloigner le godet. Malheureusement, il n'y avait pas de terrain, mais le vide sous le godet pour le poser. La rotation par le côté opposé (illustration 23) n'était, au vu de la configuration du terrain, pas possible.

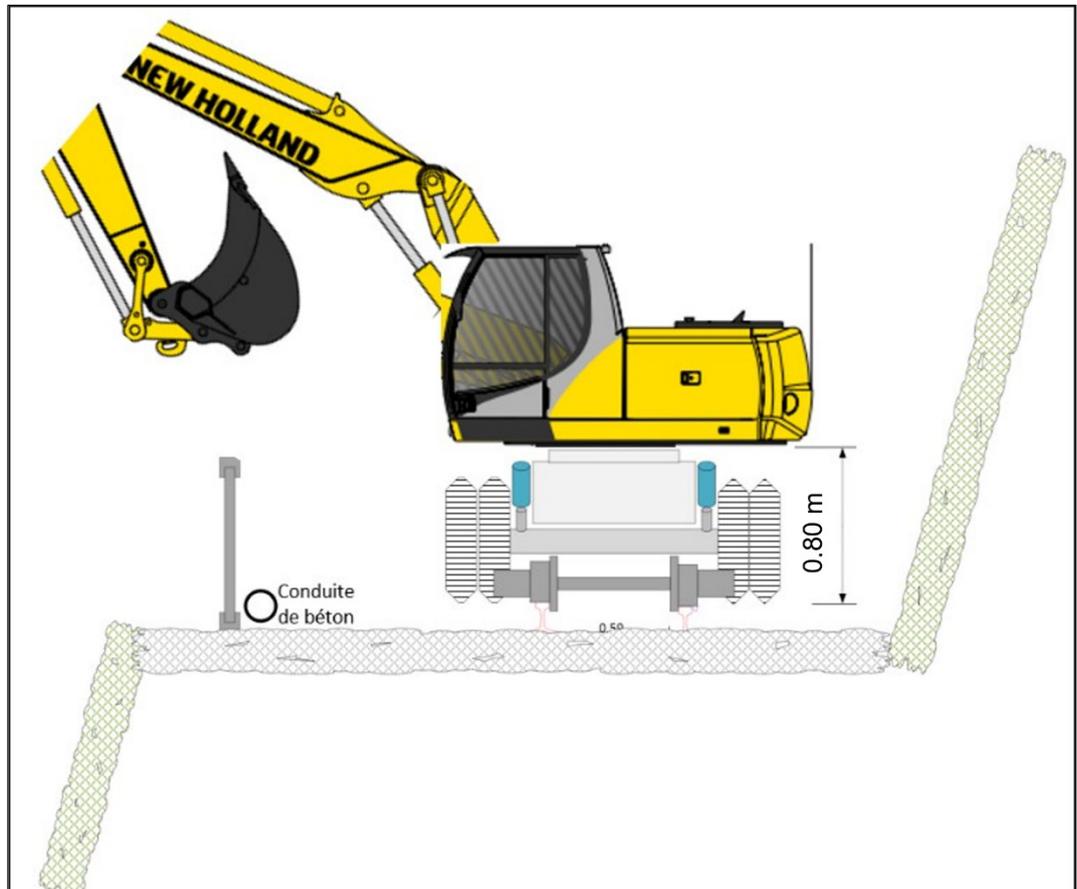


Illustration 23 : Situation approximative au moment de l'accident vue depuis Chamby (Illustration schématique, non à l'échelle).

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- Le système hydraulique des vérins stabilisateurs de l'essieu pendulaire de la pelle était fonctionnel au moment de l'accident.
- Le blocage de l'essieu pendulaire était activé par l'intermédiaire de la pédale de frein.
- Sur le vérin stabilisateur de gauche, les 2 vis inférieures manquaient et les 2 vis supérieures étaient partiellement desserrées. Le vérin a été arraché. Le dimensionnement des points de fixation au châssis n'est pas conforme à l'état de la technique.
- La charge placée en extrémité du bras de la pelle approchait la limite d'utilisation admissible lors de la rotation.
- La vitesse de rotation induit une force centrifuge sur la pelle.
Le terrain et la voie étaient stables. Le dévers de la voie a une incidence sur la stabilité de la pelle.

3.1.2 Aspects organisationnels

L'organisation ferroviaire de la sécurité du chantier était correcte et n'a pas eu d'incidence sur la survenance de l'accident.

3.1.3 Aspects opérationnels ou procéduraux

Suivant les conditions locales de dévers de la voie, l'absence de blocage de l'essieu pendulaire, via l'interrupteur prévu à cet effet, augmente le porte à faux lors d'une rotation et favorise le basculement de la pelle.

3.1.4 Aspects humains

Le machiniste était expérimenté et disposait des autorisations nécessaires à l'exécution de ses tâches.

3.2 Cause

La cause du basculement de la pelle lors du mouvement de rotation n'a pas pu être déterminée avec certitude. Par contre, lors du basculement, la charge à l'extrémité du bras approchait la limite d'utilisation admissible (charge en fonction du déploiement des bras) et le déploiement effectif des bras reste incertain.

Les facteurs suivants ont contribué à l'accident :

Facteurs contributifs:

- Le déboîtement du vérin stabilisateur gauche ressenti comme une secousse par le machiniste aurait pu engendrer un effet dynamique sur la pelle.
- Le passage au-dessus du vide avec une charge importante n'a pas permis au machiniste d'avoir la réaction habituelle, à savoir de poser la charge au sol.

Facteurs systémiques:

- Le manuel d'utilisateur de la pelle ne mentionne rien concernant une quelconque restriction de charge à prendre en compte en fonction du dévers de la voie.

4 Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'accident

4.1 Recommandation de sécurité

Aucune

Les nouvelles pelles sont équipées d'usine d'un dispositif d'avertisseur de surcharge.

4.2 Mesures prises depuis l'accident

Les mesures prises et dont le SESE a connaissance sont décrites ci-après sans autre commentaire.

L'OFT a informé les propriétaires de pelles des types New Holland WE 150 RR, WE 170 RR des risques concernant la fixation des vérins stabilisateurs de l'essieu pendulaire.

Ce rapport final a été approuvé par le chef du bureau d'enquête du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

Berne, 13 mai 2025

Service suisse d'enquête de sécurité

Annexe 1

Manuel d'utilisation de la pelle rail-route WE 150 RR

Blocage de l'essieu pendulaire

Bloquer / débloquer les essieux pendulaires en mode voie

Lors de la conduite sur voie, l'essieu pendulaire peut être bloqué par le bouton-poussoir (33).
 Pour cela, poussez le bouton avec le symbole.
 Pour supprimer le blocage, poussez le bouton (33) à nouveau jusqu'à ce que le témoin LED s'éteint.

Le mode d'utilisation détermine la nécessité du blocage de l'essieu pendulaire.

L'essieu pendulaire doit être bloqué lors de:

- conduite sur voies nivelées
- conduite avec une charge sur le crochet
- conduite avec la cabine supérieure pivotée, ou partiellement pivotée, p.ex. quand on tire des parties de voies ferrées

L'essieu pendulaire doit être libéré lors de:

- conduite sur des voies non nivelées
- conduite sur des voies provisoires sur sites en construction

Les pneus s'adaptent mieux aux voies inégales, ceci donne une meilleure traction ainsi qu'un meilleur comportement de freinage.

Actionner l'essieu pendulaire par le frein de service:

Lors de changement fréquent entre travail et conduite sur la voie, le blocage de l'essieu pendulaire est automatiquement actionné par le frein de service. Avec le frein de stationnement tiré, l'essieu pendulaire est également bloqué automatiquement.

Illustration 24 : Extrait du manuel d'utilisation.

Diagramme de levage sur réseau à voie étroite

Pelleteuse mobile: WE150RR sur voie		voie: 1050 mm		nq468	15.09.2011
Bras inférieur	2.01 m	Cylindre de levage:	105/ 75° 1023 mm	75 % sur charge de bascule (t) selon ISO 10567	
Bras supérieur/Offset	3.00 m	Cylindre de coude	150/ 90° 762 mm	toutes les valeurs en tonnes	
Manche	2.00 m	Cylindre de manche:	105/ 75° 1176 mm	* = limité hydrauliquement (87 %)	
Pelle (CECE)	0.00 m3	Cylindre de pelle	100/ 70° 876 mm	Poids total	20.7 tonnes

Non soutenu, sur voie																		
Hauteur	Zone de travail														max.			
	3.0 m		4.5 m		6.0 m		7.5 m		9.0 m		10.5 m		12.0 m		Front	Side	Radius	
	Front	Side	Front	Side	Front	Side	Front	Side	Front	Side	Front	Side	Front	Side				
9.0 m																		
7.5 m																3.3	2.3	3.8
6.0 m				4.4	*	1.9										2.5	1.2	5.6
4.5 m	5.5	*	3.2	5.0	*	1.9	4.0	*	1.1							2.3	0.8	6.5
3.0 m	8.3	*	3.0	6.1	*	1.8	4.7	*	1.1							2.3	0.7	7.0
1.5 m	9.7	*	3.0	7.1	*	1.8	5.1	*	1.0							2.4	0.6	7.1
0.0 m	11.7	*	2.7	7.4	*	1.6	5.2	0.8								2.7	0.6	6.9
-1.5 m	12.3	*	2.4	7.6	*	1.3	4.7	0.8								3.3	0.7	6.2
-3.0 m	10.9	*	2.3	5.4	*	1.2										5.1	1.2	4.6
-4.5 m																		
-6.0 m																		
-7.5 m																		

Illustration 25 : Diagramme de levage (Source : Manuel d'utilisation pelle WE 150 RR).

Annexe 2

Pelle similaire



Illustration 26 : Lors du basculement de la pelle, la tourelle et le bras devaient se trouver approximativement dans la position représentée lors de la reconstitution avec une pelle similaire.