

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Maintenance des ouvrages en terre sur lignes à grande vitesse

High speed railways earthworks maintenance

Talfumière V., Girier-Bichon C., Néel J.-B.
SNCF, Direction PSI, Saint-Denis, France

RÉSUMÉ : Le réseau ferré de lignes à grande vitesse (LGV) français comporte, aujourd'hui, 2030 km de plate-forme. Ces infrastructures linéaires conçues et construites avec des moyens modernes d'études, de chantier et de contrôle, ont été construites pour une durée de vie supérieure à 100 ans : malgré ces dispositions, pendant les premières années de vie, les ouvrages en terre sont le siège de désordres nécessitant la mise en œuvre de surveillance, de reconnaissances de sols et de travaux de confortement. Cet article s'intéresse aux principaux incidents rencontrés sur les 7 LGV en service, leurs origines, leur traitement en mettant en exergue la nécessité de bien prendre en compte les modifications d'état hydrique induites par le projet et de suivre les référentiels de constructions qui ont été établis sur la base des retours d'expérience de la maintenance des ouvrages mis en service. Cette démarche est d'autant plus importante que le contexte ferroviaire de ces ouvrages impose des interventions complexes et coûteuses après à la mise en service.

ABSTRACT: The French high speed railways (HSR) network is composed by 2030 km of platform. These linear infrastructures designed and build with modern means of studies, construction works and monitoring, were built for more than a 100-year-old life cycle: in spite of these measures, during the first years of life, disorders appear on this earthworks; they require the implementation of surveillance, recognitions of grounds and reinforcement works. This article deals with the main incidents met on 7 HSR, their origins, their treatment by highlighting the necessity of taking into account well the modifications of hydric state inferred by the project and of following the reference tables of constructions which were established on the basis of the experience feedback of the maintenance of the works put in service. This approach is all the more important as the railroad context of these works imposes complex and expensive interventions later on the starting.

MOTS-CLÉS : ouvrage en terre ; géotechnique ferroviaire ; maintenance ; ligne à grande vitesse.

KEYWORDS: Earthworks; railroad geotechnics; maintenance; high speed line.

1 INTRODUCTION: LES LIGNES A GRANDE VITESSE EN FRANCE

Depuis 1981, SNCF et RFF ont mis en service 7 Lignes à Grande Vitesse (LGV) :

- 1981-1983 : LGV Paris Sud Est entre Paris et Lyon
- 1989-1990 : LGV Atlantique entre Paris, Le Mans et Tours
- 1993-1996 : LGV Nord entre Paris et Lille, avec prolongement vers le tunnel sous la Manche et Bruxelles, à laquelle s'ajoutent 2 branches de l'Interconnexion en Ile de France
- 1992-1994 : LGV Rhône Alpes entre Lyon et Valence
- 2001 : LGV Méditerranée entre Valence, Marseille et Nîmes
- 2007 : LGV Est (1^{ère} phase) entre Paris et la Lorraine
- 2011 : LGV Rhin-Rhône (partielle) entre Dijon et Mulhouse.

A ces 7 lignes, il faut ajouter la portion de ligne en France entre Perpignan et Figueras dont l'exploitation et la maintenance sont déléguées à une entreprise privée.

Le génie civil et plus particulièrement les ouvrages en terre constituent une part financière importante dans la conception et la construction de l'infrastructure mais peuvent également avoir un impact significatif sur l'exploitation et la maintenance ultérieure de la ligne ferroviaire.

Ces éléments de l'infrastructure ont permis aux trains à grande vitesse de pouvoir circuler à des vitesses commerciales supérieures à 300 km/h en toute sécurité et ont participé à la grande aventure des records ferroviaires (515 km/h en 1990 et 574 km/h en 2007).

Les référentiels techniques ont été établis pour que l'infrastructure ait une durée de vie de plus de cent ans. Ils ont d'abord été conçus à partir de référentiels routiers puis se sont

différenciés sur la base de l'expérience acquise lors des travaux de constructions des premières lignes mais aussi grâce au retour d'expérience assuré lors de la maintenance des lignes après leur mise en service.



Photo 1: Traversée de la vallée de la Savoureuse sur la LGV Rhin-Rhône

2 INCIDENTOLOGIE SUR LGV

Les lignes à grande vitesse représentent actuellement 6.5% du linéaire de l'ensemble du réseau ferroviaire national, soit 2030 km environ, sur 31 000 km. Ce réseau a moins de 30 ans mais contrairement à la croyance générale, un ouvrage en terre neuf n'est pas exempt de désordres plus ou moins significatifs pouvant entraîner des incidents engageant la sécurité et la régularité des circulations.

On recense depuis 1981 plus de 400 incidents sur LGV sur un total de plus de 5000 incidents connus sur l'ensemble du

réseau (à noter que ce recensement est exhaustif depuis 1998), soit plus de 8% des incidents.



Photo 2: Exemple d'incident peu grave sur la LGV Est Européenne – glissement d'un talus de déblai avec soulèvement de la piste et du fossé

La géométrie des plates-formes et des ouvrages en terre (déblai – remblai – tranchée rocheuse) fait que le nombre d'incidents impactant la sécurité ou la régularité des trains est très faible (largeur des accotements, présence de fossés ou de cunettes circulable, piège à cailloux en domaine rocheux, pente des talus, présence de berme en domaine meuble). Ainsi, depuis 1981, une trentaine d'incidents de ce type ont été observés dont la moitié sur la problématique particulière des fontis de la LGV Nord Europe. La proportion d'incident grave (impactant la sécurité ou la régularité des trains) est de l'ordre de 7.5% alors qu'elle est de 30% sur l'ensemble du réseau.



Photo 3 : Exemple d'incident sur la LGV Atlantique ayant eu des répercussions sur les circulations ferroviaires – érosion de talus aux abords d'une descente d'eau

On ne compte finalement qu'un seul incident, ayant entraîné le déraillement d'un train : un fontis sous voie lié aux tranchées de la guerre de 14/18 dont l'évolution a provoqué cet accident au passage d'un rame à 300 km/h.

Excepté sur la LGV Nord Europe, où la majorité des incidents sont des fontis, plus des deux tiers des incidents sur LGV sont des glissements, principalement de déblai. Ils se produisent à la faveur de périodes particulièrement pluvieuses :

- les orages touchent des ouvrages ponctuels et occasionnent plutôt des coulées ou des entraînements de matériaux ;
- les longues périodes pluvieuses avec ou sans apport de neige peuvent générer un grand nombre d'incidents peu graves dans des déblais sensibles aux évolutions de teneur en eau.

Les périodes des hivers et printemps 1995, 2001 et 2011 sont particulièrement représentatives.

Cette sensibilité diminue avec la maturité de la ligne ; une analyse a été menée sur la LGV Atlantique : elle montre une

diminution de l'incidentologie pour ce type d'ouvrage dans le contexte géologique de ce secteur (voir graphique en Figure 1).

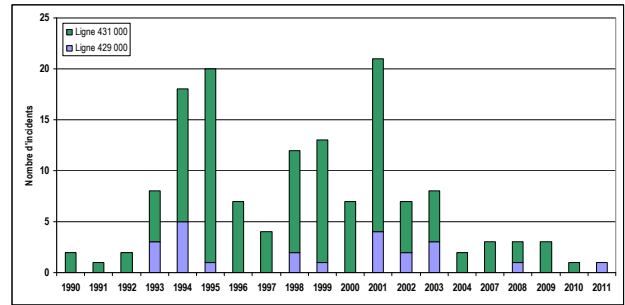


Figure 1 : Evolution du nombre d'incidents affectant la LGV Atlantique depuis sa construction

3 PRINCIPAUX TYPES DE DESORDRES SUR LGV

Les principaux désordres affectant les ouvrages en terre sur LGV ne sont pas foncièrement différents de ceux des autres lignes, plus anciennes. Dans la majorité des cas, c'est l'eau qui est l'origine directe ou indirecte de leur évolution.

Les matériaux sensibles, soit aux phénomènes d'érosion (sables et limons), soit aux phénomènes d'évolution de teneur en eau (marnes et argiles) sont susceptibles de générer des désordres nécessitant par la suite un traitement. Par expérience, ce sont les parties des lignes à grande vitesse traversant le Bassin Parisien qui ont été le plus touchées (LGV Atlantique, LGV Est et LGV Nord).

3.1 Les glissements

Ils affectent principalement les déblais mais peuvent aussi concerner quelques remblais dans des contextes particuliers. Ils se concentrent dans des matériaux de très mauvaise qualité, argiles vertes du Sannoisien, marnes supra-gypseuses, argiles à silex, argiles des Flandres, tuffeau de Touraine,...

3.1.1 Dans les déblais

Dans les ouvrages en déblai, la prise en compte des caractéristiques hydriques du site et de leur potentialité d'évolution par un apport extérieur est importante dans le cadre du projet. En effet, l'analyse des désordres affectant ces ouvrages nous montre que dans un contexte défavorable, toute augmentation de teneur en eau des matériaux est susceptible de provoquer une instabilité.

Cette augmentation peut être liée à :

- un défaut de captage d'une nappe perchée en crête de déblai, en particulier quand les travaux de terrassement sont réalisés pendant une période particulièrement sèche,
- l'absence de ceinturage du déblai pour captage des drains agricoles, ou le maintien des drains entre le ceinturage et le talus,
- la géométrie mal adaptée des masques drainants mis en œuvre pour la prise en charge des eaux internes (masques perchés par exemple),
- la nature des matériaux de masque non adaptée pour un drainage optimal du corps de déblai (masque comportant trop de fines)
- le mauvais pentage des crêtes de talus qui favorise l'infiltration et l'alimentation en eau d'une nappe temporaire,
- l'absence de terre végétale sur les masques (superficiels, drainants ou poids) qui favorise l'infiltration des eaux de ruissellement et des eaux météoriques à l'arrière du masque pour venir altérer ou alimenter en eau le matériau qu'ils sont censés protéger.

3.1.2 *Sur les remblais*

Les remblais sont parfois le siège de glissement, la plupart du temps superficiels. Leur épaisseur peut varier de quelques décimètres (glissement de la terre végétale) jusqu'à quelques mètres, pouvant tangenter le plan fictif P1 (3/2 par rapport à la crête de la banquette de ballast) à partir duquel des mesures vis-à-vis de la sécurité des circulations peuvent être envisagées (voir photo 4).



Photo 4 : Glissement de bord de remblai sur la LGV Est Européenne

L'origine de ces désordres peut être multiple :

- le mauvais compactage du bord du remblai ou absence de retrait du remblai excédentaire après le compactage, qui peut ensuite se gorger d'eau
- la mise en œuvre du matériau à des teneurs en eau trop fortes : le matériau s'essore progressivement vers l'extérieur créant des instabilités de bord,
- l'alimentation du corps de remblai par des écoulements superficiels circulant au niveau de la plate-forme ferroviaire perméable ou dans les caniveaux à câbles.

3.2 *Les coulées et les phénomènes d'érosion*

Ces phénomènes sont liés à un défaut de prise en charge des eaux de ruissellement par le système de drainage longitudinal ou transversal ; ces désordres peuvent s'expliquer par l'absence de revêtement des fossés (béton ou géosynthétiques), un défaut de continuité du drainage entre un fossé de crête par exemple et une descente d'eau, le mauvais positionnement d'une descente d'eau ou, plus simplement, l'absence de tout système de drainage en crête de déblai.

Une problématique spécifique a été découverte à l'occasion d'un incident avec entrainement de ballast lors d'un orage intense au droit d'un pont route, au niveau duquel le drainage latéral était enterré. Ce drainage, compte tenu de sa capacité, de la configuration du site et des conditions d'entretien n'a pas permis de faire passer le débit qui transitait dans le fossé en amont, si bien que c'est l'accotement de la voie qui a vu s'écouler le débit supplémentaire, entraînant une érosion de la banquette de ballast.

Plusieurs sites de configuration équivalente ont été le siège du même phénomène entraînant un diagnostic sur l'ensemble des lignes concernées par cette problématique.

Les coulées et phénomènes d'érosion sont aussi liés à l'évolution de l'environnement de l'ouvrage en terre (hors emprises ferroviaires). Il peut s'agir d'aménagements urbains, de changement de cultures, de création d'infrastructures linéaires parallèles ou perpendiculaires sans prise en compte de l'impact hydraulique du projet sur les infrastructures existantes.

3.3 *Les fontis*

Les fontis ont affecté essentiellement la LGV Nord, où, suite au déraillement de 1993, des investigations, des traitements par injection, l'étanchement des drainages et une surveillance spécifique ont été mis en place.

Mais l'ensemble des LGV sont potentiellement le siège d'incident de type fontis car toutes les lignes traversent des horizons géologiques pouvant contenir des cavités (calcaires, craie, gypses, sels). Depuis l'accident de 1993, une méthodologie d'études à toutes les phases du projet et lors des travaux a permis de traiter, si nécessaire, tout indice de cavité et de réduire ainsi de façon significative l'aléa cavité ; depuis cette période (construction de la LGV Rhône Alpes), aucun fontis d'origine naturelle n'a été découvert sur le réseau. Les seuls désordres significatifs sont liés à des ruptures ou des désordres au niveau de drainages longitudinaux ou transversaux enterrés.

3.4 *Les chutes de blocs*

Les référentiels de conception demandaient dès l'origine la prise en charge de l'aléa « chute de bloc », de sorte que son impact sur la sécurité des circulations ferroviaires devait être nul.

Ainsi, dès la mise en service de la LGV Paris Sud Est, des pièges à cailloux et des confortements ponctuels ont été mis en œuvre ; depuis 30 ans, un seul incident a pu engager la sécurité des circulations, sur l'ensemble du réseau national. Mais de nombreuses chutes dans les accotements ou dans les pièges ont nécessité la mise en place d'un entretien régulier des dispositifs de protection, l'aménagement d'accès spécifiques, et le confortement préventif de certaines parois très productives en éléments rocheux de taille très diverse (revêtement grillagé, béton projeté, mur voile, barrières grillagées).

3.5 *Les tassements et affaissements*

Ce phénomène est lié à la consolidation du sol support aux remblais dans les zones compressibles ou au tassement du corps de remblai lui-même. Il a été rarement à l'origine d'incidents, car cette problématique est prise en compte dès la conception dans le cadre du référentiel. Celui-ci demande un tassement total inférieur à 10 cm après la fin des terrassements (phase génie civil) avec une vitesse maximale inférieure à 1 cm par an. Par ailleurs, la vitesse des évolutions, même si elle est significative, reste faible.

Pour une dizaine de remblais sur l'ensemble des 7 lignes à grande vitesse construites depuis 1981, ces valeurs n'ont pas été respectées, entraînant une forte augmentation de la maintenance des voies (travaux de mise à niveau par bourrages mécaniques lourds) et générant des impacts collatéraux significatifs :

- augmentation de la surveillance et du suivi de ces ouvrages par topographie et inclinométrie,
- nécessité d'élargir les accotements, d'allonger les câbles de signalisation ou de rehausser les supports caténaires pour tenir compte du tassement à venir.

Dans certains cas plus critiques, la présence d'un ouvrage d'Art dans la zone (pont rail) ou d'une structure sur le remblai (tranchée couverte) a pu entraîner des travaux spécifiques.

Après diagnostic, quatre types de causes principales se sont dégagées de cette problématique :

- la poursuite de tassements due à une consolidation secondaire du sol support très importante (5 cas),
- la rupture du sol support au remblai liée à un chargement trop rapide ou mal maîtrisé (1 cas),
- le tassement du corps de remblai lié à un défaut de mise en œuvre (défaut de compactage ou remblai construit avec des teneurs en eau très importantes) (3 cas),
- le tassement du corps de remblai lié à une alimentation en eau externe du bassin versant (1 cas).

Dans 4 cas sur les 10, le tassement s'est accompagné d'un glissement qui a pu concerner ou non la stabilité de la plate-forme.

3.6 Les soulèvements ou gonflements

Ces phénomènes sont liés à la nature des matériaux de l'assise : certaines argiles, de par leur structure sont susceptibles de gonfler avec un apport d'eau extérieur. Cet aléa est pris en compte dès la conception des projets : l'objectif est de limiter l'apport d'eau au maximum dans ces secteurs en étanchant la plate-forme ferroviaire et les drainages ; une seule zone est connue sur la LGV Paris Sud Est et une dizaine d'ouvrages sont suivis sur la LGV Est. Les gonflements sont difficiles à traiter par l'entretien car le nivellement des voies par abaissement du plan de roulement est impossible sans des travaux considérables ; l'entretien ne peut se faire que par augmentation du niveau de la voie de part et d'autre de la zone de soulèvement.

3.7 Les très grands ouvrages en terre

Les très grands ouvrages en terre en terme de hauteur sont rares mais sont plus susceptibles d'être le siège de désordres de par leur géométrie ou leur géologie : 7 ouvrages dont la hauteur est supérieure à 20m ont posé des problèmes de maintenance importants, suite à la mise en service. Dans chacun des 7 cas, la problématique hydrogéologique des sites était essentielle ; une meilleure prise en compte, par une reconnaissance plus fine aurait permis de diminuer le risque d'apparition de désordres pendant ou après les travaux. Les phénomènes se sont déclarés très tôt dans la vie de l'ouvrage et ont généré pour la plupart une gêne pour les circulations.

Les deux principaux ouvrages se situent sur la LGV Méditerranée (déblai de Chabrilan et déblai des Ayasses) ; ils ont été le siège du glissement de deux collines, générant le soulèvement de la plate-forme ; le traitement a été et sera réalisé par terrassement avec amélioration du drainage interne et superficiel. Le premier ouvrage nommé a nécessité, lors d'une période de crise après un épisode pluvieux exceptionnel, la mise en place d'une surveillance particulière avec un suivi dont la fréquence a été très impactante pour les services de l'Infrastructure.



Photo 5 : Vue générale du déblai des Ayasses sur la LGV Méditerranée

4 PARTICULARITES DE LA MAINTENANCE SUR L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE

La maintenance de l'infrastructure ferroviaire est plus difficile que celle des ouvrages routiers car cette infrastructure est beaucoup plus sensible à tout mouvement ; ceci est d'autant plus vrai dans le domaine de la grande vitesse. En effet, faire circuler des trains à plus de 270 km/h nécessite de maintenir un nivellement des voies quasiment parfait (précisions de quelques millimètres). En cas de problème, la distance d'arrêt des circulations est beaucoup plus importante que dans le domaine routier. Il n'est en général pas possible de trouver des itinéraires de détournement, d'autant plus sur LGV où l'alternative est la ligne classique avec des retards de trains très conséquents à l'arrivée. Enfin, même si c'est moins vrai sur le réseau à grande vitesse, les accès aux zones d'incident sont difficiles et

nécessitent des coûts et des délais significatifs pour leur création. Pour toutes ces raisons, la surveillance doit permettre de détecter le plus tôt possible l'apparition d'indices de désordre.

L'exploitation de ce type de ligne entraîne également des contraintes qui ont un impact sur le coût des interventions :

- travaux de nuit en cas d'accès par la voie ou en cas de risque de déstabilisation de la plate-forme,
- terrassement par plots de longueur réduite,
- création d'accès de grande longueur.

Lors de la conception tout doit être fait pour réduire au maximum l'entretien courant (hors travaux de confortement) des ouvrages après leur mise en service.

Le retour d'expérience montre que deux points méritent d'être examinés plus particulièrement : l'entretien des drainages et la maîtrise de la végétation. Les drainages doivent rester efficaces pendant la durée de vie de l'ouvrage mais dès les premières années ont été constatés :

- des phénomènes de calcification dans les drainages enterrés,
- la dégradation des conditions d'écoulement dans les fossés en terre, liée, le plus souvent, à un manque de pente ou à la pousse dans les fossés d'une végétation herbacée ou arbustive excessive.

L'absence ou le déficit d'entretien de ces installations peut à terme entraîner des désordres avec impact sur la régularité voire ponctuellement sur la sécurité des circulations.

La maîtrise de la végétation est nécessaire au niveau des drainages mais aussi pour une bonne surveillance des ouvrages les plus instables.

5 CONCLUSIONS

La majorité des désordres affectant les ouvrages sur ligne à grande vitesse en phase exploitation est liée à un déficit de prise en compte de la problématique hydrogéologique, hydrologique voire hydraulique, mais aussi aux écarts constatés par rapport aux référentiels de conception ; ces écarts sont parfois présents dès la conception mais le plus souvent apparaissent lors la phase « réalisation ». L'établissement de demandes de dérogation apparaît évident, dès que le concepteur s'écarte du référentiel. En outre, le contrôle lors des travaux de génie civil et une vision maintenance tant en phase travaux que lors de la réception peut apporter un plus vis-à-vis de la vie future de l'ouvrage en phase exploitation.

Ces remarques n'empêchent pas, bien sûr, de proposer des innovations ou des technologies éprouvées en routier mais non mises en œuvre dans le ferroviaire, sous réserve d'en avoir pesé les conséquences en terme de durabilité, de maintenabilité et de sécurité vis-à-vis des circulations.

L'expérience de 7 lignes à grande vitesse mise en service depuis 1981, montre aussi que pour une maintenance optimisée des lignes, il est primordial d'établir en même temps que les travaux, des dossiers de récolement de bonne qualité, exhaustifs et représentatifs de ce qui a été réellement construit.

6 REFERENCES

- Girier-Bichon C. 2008. *Retour d'expérience des désordres affectant les ouvrages en terre sur ligne à grande vitesse*. Rapport de fin d'études CESFA-BTP -SNCF.
- Lambert L. et al. 2011. *40 ans d'expérience de ligne à grande vitesse-tracé, assise et hydraulique : pratique, interdits et développements*. Géorail2011, Paris.
- Deherring J.L. et al. 2010. *Etude d'un glissement hors normes en déblai ferroviaire*. JNGG2010, Grenoble.
- Talfumière V. 2011. *Maintenance des ouvrages en terre sur le réseau ferré national*. Revue française de géotechnique n°134/135, Paris.