



# **Mesures de réception: influence de l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale**

**Abnahmemessungen: Einfluss der eingebauten bituminösen Schichtdicke auf die Längsebenheit**

**Acceptance measurements: influence of the thickness of the built-in asphalt layer on the longitudinal evenness**

**Infralab SA**  
**Robert Braber, Responsable du département Auscultation**  
**Anthony Gautier, Ingénieur Auscultation**

**Projet de recherche VSS 2016/325 sur demande de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS).**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



# **Mesures de réception : influence de l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale**

**Abnahmemessungen: Einfluss der eingebauten  
bituminösen Schichtdicke auf die Längsebenheit**

**Acceptance measurements: influence of the thickness of  
the built-in asphalt layer on the longitudinal evenness**

**Infralab SA**  
**Robert Braber, Responsable du département Auscultation**  
**Anthony Gautier, Ingénieur Auscultation**

**Projet de recherche VSS 2016/325 sur demande de l'Association suisse  
des professionnels de la route et des transports (VSS).**

# Impressum

## Instance de recherche et équipe de projet

### Direction du projet

Robert Braber

### Membres

Anthony Gautier

## Commission d'experts responsable

Commission d'experts CNR 3.5 : Méthodes et technique de mesure, caractéristiques des chaussées

## Commission de suivi

### Président

Erik Buehlmann, G+P

### Membres

Laurent Linder, OFROU

Lucien Pignat, Canton du Valais

Margarita Rodriguez

Wolf von Loeben, Viatic Basel

Yvan Ramel, ERTEC

Christoph Brander, Canton Thurgovie

Marc Delaby, NibuxS

## Auteur de la demande

Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

## Source

Le présent document est téléchargeable gratuitement sur <http://www.mobilityplatform.ch>.

# Table des matières

|                                                                         |               |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Impressum .....</b>                                                  | <b>4</b>      |
| <b>Zusammenfassung .....</b>                                            | <b>7</b>      |
| <b>Résumé .....</b>                                                     | <b>9</b>      |
| <b>Summary .....</b>                                                    | <b>11</b>     |
| <br><b>1 Objectifs du rapport de recherche .....</b>                    | <br><b>13</b> |
| 1.1 Contexte .....                                                      | 13            |
| 1.2 Description du problème .....                                       | 13            |
| 1.3 Résultats attendus .....                                            | 13            |
| <br><b>2 Description de l'exploitation .....</b>                        | <br><b>15</b> |
| 2.1 Introduction .....                                                  | 15            |
| 2.2 Profil longitudinal .....                                           | 15            |
| 2.3 Valeurs d'état .....                                                | 16            |
| 2.3.1 W et $s_w$ .....                                                  | 16            |
| 2.3.2 International Roughness Index (IRI) .....                         | 17            |
| 2.3.3 Note pas bandes d'ondes (NBO) .....                               | 18            |
| 2.3.4 Profil longitudinal pondéré (Bewertes Längsprofil - BLP) .....    | 19            |
| 2.3.5 Bandes de longueurs d'onde couvertes par les valeurs d'état ..... | 20            |
| 2.3.6 Intervalles de mesures .....                                      | 20            |
| 2.4 Dénomination des couches .....                                      | 21            |
| 2.5 Valeurs de réception sur couche de roulement .....                  | 22            |
| 2.5.1 Ancienne norme SN 640521c .....                                   | 22            |
| 2.5.2 Nouvelle norme VSS 40 525 .....                                   | 23            |
| 2.5.3 Proposition du mandat de recherche VSS 2016/322 .....             | 24            |
| 2.5.4 Réglementation française .....                                    | 24            |
| 2.6 Valeurs cibles pour les couches sous-jacentes .....                 | 25            |
| 2.6.1 Notion de gain potentiel .....                                    | 25            |
| 2.6.2 Recommandations françaises pour les valeurs NBO .....             | 26            |
| 2.6.3 Recommandations suisses .....                                     | 28            |
| 2.7 Synthèse .....                                                      | 30            |
| 2.7.1 Valeurs W et $s_w$ .....                                          | 30            |
| 2.7.2 Valeurs NBO .....                                                 | 32            |
| 2.7.3 Autres valeurs d'état .....                                       | 35            |
| <br><b>3 Description du matériel .....</b>                              | <br><b>37</b> |
| 3.1 Introduction .....                                                  | 37            |
| 3.2 Véhicule de mesure utilisé jusqu'à fin 2018 .....                   | 37            |
| 3.3 Véhicule de mesure utilisé à partir de 2019 .....                   | 38            |
| 3.4 Assurance qualité .....                                             | 39            |
| 3.4.1 Introduction .....                                                | 39            |
| 3.4.2 Accréditation SAS .....                                           | 39            |
| 3.4.3 Calibration & maintenance systématique .....                      | 40            |
| 3.4.4 Répétabilité et reproductibilité .....                            | 40            |
| 3.5 Reproductibilité entre ancien et nouveau véhicule de mesure .....   | 41            |
| 3.6 Synthèse .....                                                      | 42            |
| <br><b>4 Plan de campagne .....</b>                                     | <br><b>43</b> |
| 4.1 Procédure de sélection des tronçons .....                           | 43            |
| 4.1.1 Répartition géographique .....                                    | 43            |
| 4.1.2 Répartition par type de route .....                               | 44            |
| 4.1.3 Répartition par nombre de couches mesurées .....                  | 45            |
| 4.2 Description des tronçons .....                                      | 45            |

|          |                                                                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3      | Caractéristiques des couches posées .....                                                           | 47         |
| 4.4      | Gestion des contraintes de chantiers .....                                                          | 51         |
| 4.4.1    | Aléas de chantiers .....                                                                            | 51         |
| 4.4.2    | Evènements particuliers.....                                                                        | 53         |
| <b>5</b> | <b>Résultats .....</b>                                                                              | <b>55</b>  |
| 5.1      | Résultats de planéité longitudinale par tronçon.....                                                | 55         |
| 5.1.1    | Graphiques itinéraires.....                                                                         | 55         |
| 5.1.2    | Analyse des valeurs moyennes par tronçons .....                                                     | 56         |
| 5.1.3    | Analyse des valeurs isolées .....                                                                   | 59         |
| 5.2      | Influence de l'épaisseur de la couche posée.....                                                    | 60         |
| 5.2.1    | Longueurs de pose par épaisseur .....                                                               | 60         |
| 5.2.2    | Résultats .....                                                                                     | 62         |
| 5.3      | Influence du numéro de couche posée.....                                                            | 67         |
| 5.3.1    | Longueurs de pose par numéro de couche posée .....                                                  | 67         |
| 5.3.2    | Résultats .....                                                                                     | 68         |
| 5.4      | Evolution de la planéité longitudinale en fonction de l'état sur les couches<br>sous-jacentes ..... | 74         |
| 5.4.1    | Evolution en fonction de l'état sur couche n-1 .....                                                | 74         |
| 5.4.2    | Evolution en fonction de l'état sur couche n-2 .....                                                | 89         |
| 5.4.3    | Evolution en fonction de l'état sur couche n-3 .....                                                | 96         |
| 5.4.4    | Synthèse .....                                                                                      | 99         |
| 5.5      | Influence des conditions de pose .....                                                              | 102        |
| 5.5.1    | Pose des couches sous-jacentes .....                                                                | 102        |
| 5.5.2    | Pose de la couche de roulement .....                                                                | 105        |
| <b>6</b> | <b>Conclusions .....</b>                                                                            | <b>109</b> |
| 6.1      | Résultats principaux.....                                                                           | 109        |
| 6.2      | Valeurs cibles sur la couche n-1 .....                                                              | 110        |
| 6.3      | Propositions pour la suite de la recherche.....                                                     | 110        |
|          | <b>Annexes .....</b>                                                                                | <b>111</b> |
|          | <b>Glossaire.....</b>                                                                               | <b>193</b> |
|          | <b>Bibliographie .....</b>                                                                          | <b>195</b> |
|          | <b>Clôture du projet .....</b>                                                                      | <b>197</b> |

## Zusammenfassung

Abnahmemessungen dienen der Überprüfung der Längsebenheit der Belagsoberfläche bei der Bauabnahme. Dazu werden die an einer Strecke gemessenen Zustandswerte im Bereich der Längsebenheit gegenüber den in der VSS 40 525 oder in einem Bauwerksvertrag definierten Abnahmewerte bewertet.

Bei Nichteinhaltung der Abnahmewerte kann der Bauherr der Baufirma eine Vertragsstrafe auferlegen oder sogar die Erneuerung der eingebauten Schichten verlangen. Um das Risiko der Nichteinhaltung der Abnahmewerte zu senken, zielt dieser Forschungsauftrag darauf ab, Grenzwerte für die Längsebenheit der darunter liegenden Schichten zu definieren, die es ermöglichen Probleme, die auf der Deckschicht auftreten können, vorherzusehen.

Mit Hilfe der Längsebenheitskriterien für die darunter liegenden Schichten kann der Bauunternehmer im Vorfeld auf mögliche Probleme aufmerksam gemacht werden und könnte Lösungen anbieten (Anpassung der Einbaumethoden, Mikrofräsen der darunter liegenden Schichten, usw.), um die Einhaltung der Grenzwerte für die Deckschicht zu gewährleisten.

Um das Forschungsziel zu erreichen, wurden Baustellen identifiziert, für welche Längsebenheitsmessungen an jeder eingebauten Schicht durchgeführt wurden. Bei jeder Messung wurden die Zustandswerte der Schweizer Norm (sw, NBO, IRI, DBW und SBW) berechnet, wodurch es möglich ist, die Längsebenheitsgewinne für jede der eingebauten Schichten, basierend auf dem Zustand vor und nach dem Einbauen, zu bestimmen.

Die Forschung war zunächst auf die Untersuchung der Ebenheitsgewinne in Abhängigkeit der Dicke der eingebauten bituminösen Materialien ausgerichtet. Es konnte jedoch keine zuverlässige Korrelation der Ebenheitsverbesserung mit der Schichtdicke festgestellt werden. Es stellte sich heraus, dass die Art der eingebauten Schicht (Schicht n, n-1 oder n-2) einen größeren Einfluss hatte als die Dicke des bituminösen Materials selbst.

Die für die Schicht n, die Deckschicht, beobachteten Gewinne sind aufgrund der Homogenität der erzielten Ergebnisse und der großen Menge an verfügbaren Daten robust. Eine Analyse dieser Gewinne mit der Perzentil-Methode erlaubt es uns, das Risiko der Nichterfüllung der Anforderungen auf der Deckschicht n, in Abhängigkeit von den auf der Schicht n-1 erzielten Werten, zu kennen. Ausgehend von einem Risiko von 10% werden Zielwerte für die Schicht n-1 vorgeschlagen, die in der Norm VSS 40 525, zusätzlich zu den bestehenden Abnahmewerten, eingeführt werden könnten. Sie sind bereits jetzt ein wichtiges Hilfsmittel für Bauunternehmer und Bauherren, um die Risiken der Nichteinhaltung der Anforderungen an die Längsebenheit der Deckschicht zu begrenzen.

Die Variabilität der Gewinne, die mit dem Einbau der Schichten n-1 und n-2 verbunden sind, und die geringe Menge an Daten, die für diese Schichten zur Verfügung stehen, erlauben es uns nicht, verlässliche Zielwerte für die anderen darunter liegenden Schichten (n-2 und n-3) festzulegen. Die Arbeitsbedingungen (Art der Führung der Fertiger, Einbauprobleme auf bestimmten Abschnitten) erklären wahrscheinlich die Unterschiede im Längsebenheitsgewinn, die zwischen den verschiedenen untersuchten Abschnitten beobachtet wurden. Die Festlegung von Zielwerten auf den Schichten n-2 und n-3 sollte daher von der Art der Führung der Fertiger abhängen. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten Daten für mindestens 5 Baustellen pro Schichtnummer und pro Führungsart der Fertiger (Draht, Balken, 3D, Laser...) gesammelt werden.

Schließlich wurden für die Schicht n des RC177 Daten von Einbauten mit Materialeschicker gesammelt, die jedoch keine höheren Gewinne im Vergleich zu anderen Einbauten ohne Materialbeschicker ergaben. Um zu einheitlicheren Schlussfolgerungen über den Beitrag des Materialbeschickers zur Verbesserung der Längsebenheit zu gelangen, sollten zusätzliche Daten über den Einbau mit Beschicker an mindestens 5 Standorten erhoben werden.



## Résumé

Les mesures de réception permettent de vérifier la planéité longitudinale de la surface d'un revêtement à la réception des travaux. Pour ce faire les valeurs d'état dans le domaine de planéité longitudinale mesurées sur un tronçon sont évaluées par rapport aux valeurs de réception définies dans la norme VSS 40 525 ou dans un contrat de construction.

En cas de non-respect des valeurs de réception, le Maître d'ouvrage pourrait infliger une pénalité à l'entreprise de construction ou même exiger le renouvellement des couches mises en œuvre. Pour éviter ce stade ultime, ce mandat de recherche vise à définir des valeurs limites de planéité longitudinale sur les couches sous-jacentes permettant d'anticiper les problèmes pouvant survenir sur la couche de roulement.

En disposant de critères de planéité longitudinale sur les couches sous-jacentes, l'entreprise serait alors alertée en amont sur d'éventuels problèmes et pourraient apporter des solutions (adaptation de méthodes de pose, réalisation de micro-rabotage des couches sous-jacentes, etc) pour s'assurer du respect des valeurs de réception sur la couche de roulement.

Pour atteindre cet objectif, des chantiers ont été identifiés pour lesquels des mesures de planéité longitudinale ont été effectuées sur chacune des couches posées. Pour chaque mesure sont calculées les valeurs d'état présente dans la normalisation suisse ( $s_w$ , NBO, IRI, DBW et SBW), ce qui permet, en connaissant l'état avant et après pose, de déterminer les gains de planéité longitudinale pour chacune des couches posées.

Les recherches se sont d'abord orientées sur l'étude des gains de planéité en fonction de l'épaisseur de matériaux bitumineux posée, soit l'objectif initial de ce mandat. Cependant, aucune corrélation fiable d'amélioration de planéité en fonction de l'épaisseur n'a pu être établie. En effet, il s'est avéré que le type de couche posée (couche n, n-1 ou n-2) avait une influence plus importante que l'épaisseur de matériaux bitumineux en elle-même.

Les gains observés pour la pose de la couche n, soit la couche de roulement, sont robustes en raison de l'homogénéité des résultats obtenus et de l'importante quantité de donnée à disposition. Une analyse de ces gains par la méthode des percentiles permet de connaître le risque de non-respect des exigences sur la couche de roulement n en fonction des valeurs obtenues sur la couche n-1. Sur la base d'un risque de 10%, des valeurs cibles sur la couche n-1 sont proposées et pourraient être introduites dans la norme VSS 40 525 en complément des valeurs de réception existantes. Elles constituent d'ores et déjà un outil important pour les entreprises et maîtres d'ouvrage pour limiter les risques de non-respect des exigences de planéité longitudinale sur la couche de roulement.

La variabilité des gains liés aux poses des couches n-1 et n-2 et la faible quantité de données disponibles pour ces couches ne permettent pas d'établir avec fiabilité des valeurs cibles sur les autres couches sous-jacentes (n-2 et n-3). Les conditions de travaux (méthode de guidage de finisseur, problèmes de pose rencontrés sur certains tronçons) expliquent probablement les écarts de gain de planéité longitudinale constatés entre les différents tronçons étudiés. L'établissement de valeurs cibles sur les couches n-2 et n-3 devrait donc dépendre du mode de guidage. Pour atteindre cet objectif, les données de gains devraient être récoltées pour au moins 5 chantiers par numéro de couche et par type de guidage (guidage au fil, à la poutre, 3D, laser...).

Enfin, des données de pose avec alimentateurs ont été récoltées pour la couche n de la RC177 mais n'ont pas permis de mettre en valeur des gains plus élevés par rapport aux autres poses sans alimentateur. Afin d'aboutir à des conclusions plus consistantes sur l'apport de l'alimentateur pour l'amélioration de la planéité longitudinale, des données supplémentaires de pose avec alimentateur serait à recueillir sur un minimum de 5 chantiers.



## Summary

Acceptance measurements are used to verify the longitudinal evenness of a pavement surface at the time of acceptance. For this purpose, the condition values in the longitudinal evenness range measured on a section are evaluated against the acceptance values defined in VSS 40 525 or in a construction contract.

In the event of non-compliance with the acceptance values, the contracting authority may impose a penalty on the construction company or even require the renewal of the layers built-in. In order to avoid this ultimate stage, this research mandate aims at defining limit values of longitudinal evenness on the underlying layers allowing to anticipate the problems that can occur on the wearing course.

By having longitudinal evenness criteria on the underlying layers, the company would then be alerted prior of possible problems and could provide solutions (adaptation of paving methods, realization of micro-planning of the underlying layers, etc.) to ensure compliance with the acceptance values on the wearing course.

In order to achieve this objective, work sites were identified for which longitudinal evenness measurements were carried out on each of the built-in layers. For each measurement, the condition values of the Swiss standard (sw, NBO, IRI, DBW and SBW) are calculated, which allows to determine the longitudinal evenness gains for each of the built-in layers by knowing the condition before and after the built-in.

The research first focused on the study of evenness gains as a function of the thickness of bituminous materials laid, which was the initial objective of this mandate. However, no reliable correlation of evenness improvement with thickness could be established. Indeed, it turned out that the type of layer laid (layer n, n-1 or n-2) had a more important influence than the thickness of the bituminous layer itself.

The gains observed for layer n, the wearing course, are robust due to the homogeneity of the results obtained and the large amount of data available. An analysis of these gains by the method of centiles makes it possible to know the risk of non-compliance with the requirements on the wearing course n according to the values obtained on the course n-1. Based on a 10% risk, target values on the n-1 layer are proposed and could be introduced in the VSS 40 525 standard in addition to the existing acceptance values. They are already an important tool for contractors and contracting authorities to limit the risks of non-compliance with longitudinal evenness requirements on the wearing course.

The variability of the gains related to the layers n-1 and n-2 and the small amount of data available for these layers do not allow to reliably establish target values for the other underlying layers (n-2 and n-3). The work conditions (paver guidance method, paving problems encountered on certain sections) probably explain the differences in longitudinal evenness gains observed between the various sections studied. The establishment of target values on layers n-2 and n-3 should therefore depend on the guidance mode. To achieve this objective, data should be collected for at least 5 worksites per layer number and per type of guidance (wire, beam, 3D, laser...).

Finally, data from paving with feeders was collected for layer n of the RC177 but did not show higher gains compared to other paving without feeders. To reach more consistent conclusions regarding the contribution of the feeder to the improvement of longitudinal evenness, additional data from paving with feeders should be collected on a minimum of 5 sites.



# 1 Objectifs du rapport de recherche

## 1.1 Contexte

Les mesures de réception permettent de vérifier la planéité longitudinale de la surface d'un revêtement à la réception des travaux. Pour ce faire les valeurs d'état dans le domaine de planéité longitudinale mesurées sur un tronçon sont évaluées par rapport aux valeurs de réception définies dans la norme ou dans un contrat de construction.

La norme VSS 40517 définit la méthode de calcul des valeurs d'état  $W$ ,  $s_w$ , IRI, NBO et BLP. La norme VSS 40 525 définit les valeurs de réception à respecter pour trois valeurs d'état :  $W$ ,  $s_w$  et NBO. Aucune valeur de réception n'est définie dans les normes suisses pour les valeurs d'état IRI et BLP.

Les valeurs de réception  $W$ ,  $s_w$  et NBO dépendent du type de route, exprimé par la vitesse maximale signalisée ( $V_{max}$ ), et du nombre de couches renouvelées. Elles se réfèrent à des valeurs d'état relevées sur une couche de roulement.

## 1.2 Description du problème

En cas de non-respect des valeurs de réception, le Maître d'ouvrage pourrait infliger une pénalité à l'entreprise de construction ou même exiger le renouvellement des couches mises en œuvre. Dans les deux situations, l'entreprise est confrontée à des frais importants. De plus, en cas d'un renouvellement de la couche, les conséquences environnementales sont importantes. On peut donc légitimement se demander pourquoi on attend la fin de la construction pour évaluer la planéité longitudinale et pourquoi aucune valeur d'état limite pour les couches bitumineuses sous-jacentes n'est fixée.

L'objectif de cette recherche est de déterminer les valeurs d'état limites pour les couches inférieures afin d'anticiper les risques de non-respect des valeurs de réception sur la couche de roulement.

## 1.3 Résultats attendus

A travers des mesures de planéité longitudinale avant et après la pose de chaque couche bitumineuse, des valeurs d'état sont calculées sur les couches sous-jacentes et sur la couche de roulement.

En comparant les valeurs d'état sur différentes couches et à différentes profondeurs, le risque de non-respect de valeurs de réception sur couche de roulement sera déterminé.

Le but initial est d'établir des corrélations entre gains de planéité longitudinale et épaisseur de couche bitumineuse, comme annoncé dans le titre de ce mandat de recherche. Cependant, les analyses effectuées ont rapidement démontré l'absence de telles corrélations, ce qui a conduit à réorienter l'objectif de ce mandat de recherche en étudiant principalement l'influence du type et du nombre de couches posées plutôt que les épaisseurs de couches mises en œuvre.



## 2 Description de l'exploitation

### 2.1 Introduction

La planéité longitudinale peut être quantifiée et qualifiée au moyen d'une mesure [6] :

- Directe d'une valeur en relation avec la planéité longitudinale : Le goniographe, qui ne mesure pas un profil longitudinal mais directement la valeur W, rentre dans cette catégorie. Cet appareil, décrit dans l'ancienne norme SN 640 520a [1] est, surtout au niveau européen et international, remplacé par des mesures profilométriques
- Profilométrie : La plupart des appareils de mesures modernes mesure un ou plusieurs profils longitudinaux, souvent à des vitesses allant jusqu'à 100 km/h. Il existe 3 méthodes de mesure profilométriques dans le domaine de la planéité longitudinale. Ces méthodes utilisent soit :
  - Plusieurs lasers fixés sur une poutre rigide – HRM (High Speed Road Monitor)
  - Un pendule inertiel. Cette méthode de mesure est utilisée par l'appareil de mesure APL (Analyseur de Profil en Long)
  - Une combinaison d'un accéléromètre et d'un laser – SDP (South Dakota Profilometer)

Les 3 méthodes de mesures profilométriques sont décrites en détails dans le rapport de recherche 1385 – 2004/703 [6].

L'appareil de mesure utilisé dans le cadre de ce projet utilise la méthode de mesure SDP, soit la méthode de mesure actuellement la plus répandue au monde.

### 2.2 Profil longitudinal

Le profil longitudinal mesuré par l'appareil de mesure ne peut pas directement être comparé à un profil longitudinal relevé par un géomètre. Ce dernier est composé de sinusoïdes avec d'une part une longueur d'onde infinie et d'autre part une longueur d'onde dépendant de la distance entre les mesures sur le profil relevé par le géomètre.

Le profil relevé par un appareil de mesure est traité numériquement afin de contenir des sinusoïdes d'une bande de longueurs d'onde prédéfinie. Pour les véhicules de mesure ARAN, le profil longitudinal est composé de longueurs d'onde comprises entre 0.3 et 90 m [6].

D'après la norme VSS 40 510 [2], figure 1, la planéité longitudinale (uni) est influencée par des longueurs entre 0.5 et 50 m.

Les valeurs d'état décrites dans le chapitre 2.3 sont calculées au moyen d'algorithmes utilisant le profil longitudinal mesuré et sensé caractériser le confort de roulement du profil. Ces valeurs d'état sont également décrites dans la norme VSS 40 517 [3], dans les rapports de recherche 2004/703 [12] et 2016/322 [13], et dans le Little book of profiling [14].

## 2.3 Valeurs d'état

### 2.3.1 W et $s_w$

- Valeur W : La valeur W représente un changement de pente. La valeur W est définie dans le vrai profil comme étant l'angle formé par deux cordes adjacentes de 1 m de longueur. Elle est utilisée pour l'appréciation d'irrégularités géométriques locales et pour la détermination de la valeur  $s_w$ .

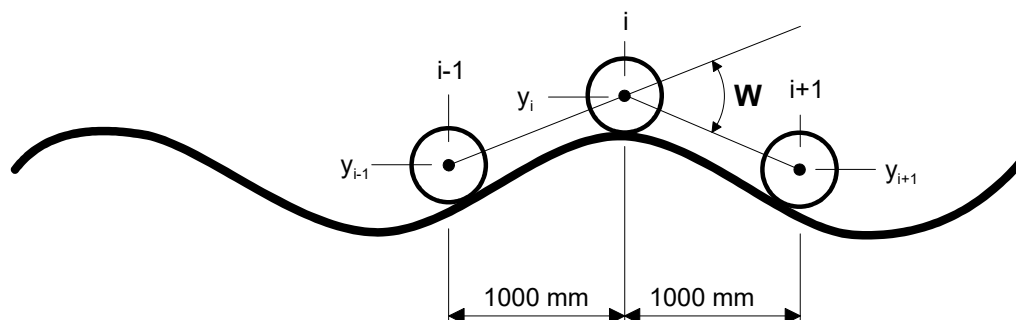


Fig. 1 – Principe du calcul de la valeur W

- Valeur  $s_w$  : La valeur  $s_w$  représente l'écart type des valeurs W pour un tronçon de 50 ou 100m de long selon la norme VSS 40 517. Au contraire de la valeur W, elle sert à l'appréciation globale de tronçons plus importants. Des irrégularités dues à des problèmes constructifs, telles que les zones de transition de ponts, feront l'objet d'une appréciation distincte.

La valeur  $s_w$  est utilisée pour calculer l'indice d'état  $I_2$  qui caractérise la planéité longitudinale selon la norme VSS40925 [8].

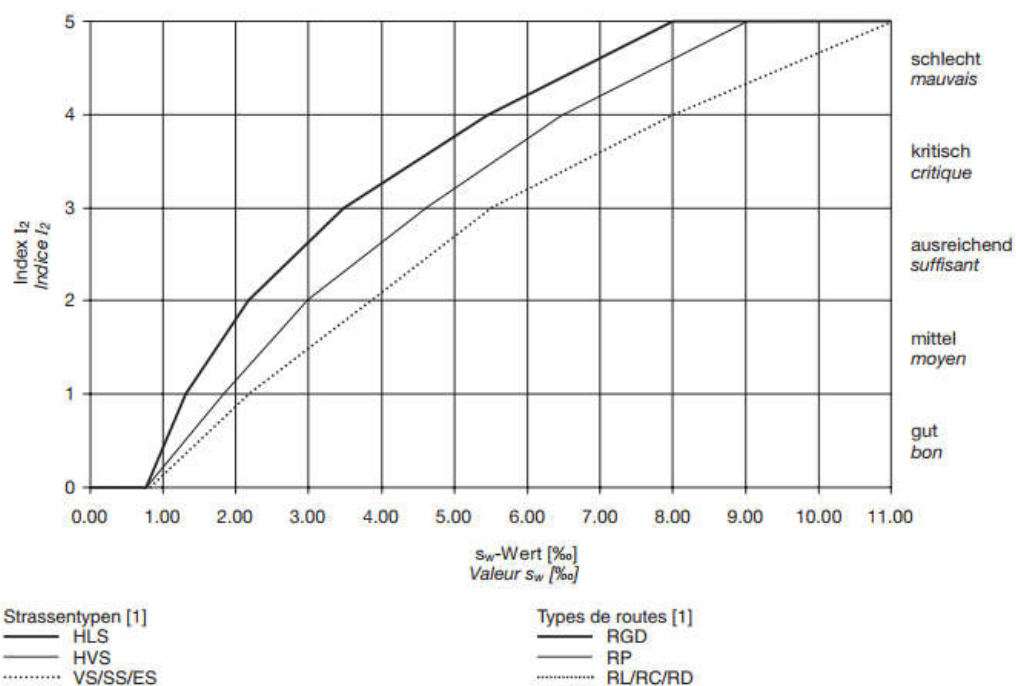


Fig. 2 – Transformation de la valeur d'état  $s_w$  en indice  $I_2$

**Tab. 1** Légende d'appréciation de l'indice  $I_2$  selon VSS 40925 [8]

| Indice d'état $I_2$ [-] | Appréciation selon VSS 40 925 |
|-------------------------|-------------------------------|
| 0 à 1                   | Bon                           |
| 1 à 2                   | Moyen                         |
| 2 à 3                   | Suffisant                     |
| 3 à 4                   | Critique                      |
| 4 à 5                   | Mauvais                       |

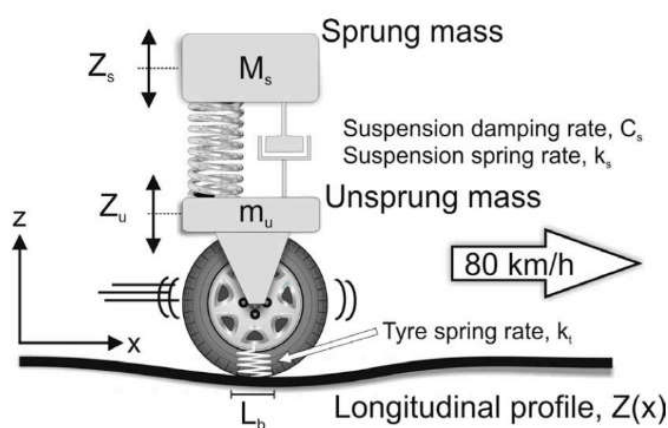
### 2.3.2 International Roughness Index (IRI)

Cette méthode a été mise au point aux USA dans les années 70. L'essentiel des travaux de recherche effectués pour définir l'IRI sont décrits dans le rapport du « Technical Paper 46 » de la Banque mondiale [15]. L'indice IRI repose sur la simulation du mouvement vertical subi par la suspension d'un système mécanique parcourant un profil longitudinal mesuré (quarter-car model). L'indice d'uni international (IRI) s'obtient en additionnant les valeurs absolues du mouvement vertical de la suspension, puis en divisant la somme obtenue par la distance parcourue sur le profil longitudinal. Il s'exprime généralement en m/km.

L'IRI peut être calculé pour différents pas d'exploitation. Le pas d'exploitation retenu doit être mentionné dans le résultat (p. ex.  $IRI_{20}$  pour un pas d'exploitation de 20 mètres). Cet indice est notamment largement utilisé pour les comparaisons internationales, pour lesquelles il est recommandé d'utiliser un pas d'exploitation de 100 m ( $IRI_{100}$ ). Grâce à des procédures strictement définies, l'IRI est un indice d'une grande reproductibilité. Il caractérise des défauts de planéité longitudinale ayant des longueurs d'onde comprises entre 1 et 30 mètres.

Il n'existe pas d'échelle d'évaluation internationalement reconnue pour l'IRI, notamment en ce qui concerne les valeurs de réception.

Selon les pays, les valeurs utilisées dépendent du type de route, du type de travaux (nouvelles constructions ou travaux d'entretien) ou encore de la vitesse de projet.



**Fig. 3** – Schéma des éléments du filtre « Quarter-car » utilisé pour calculer l'IRI (mandat 2004/703)

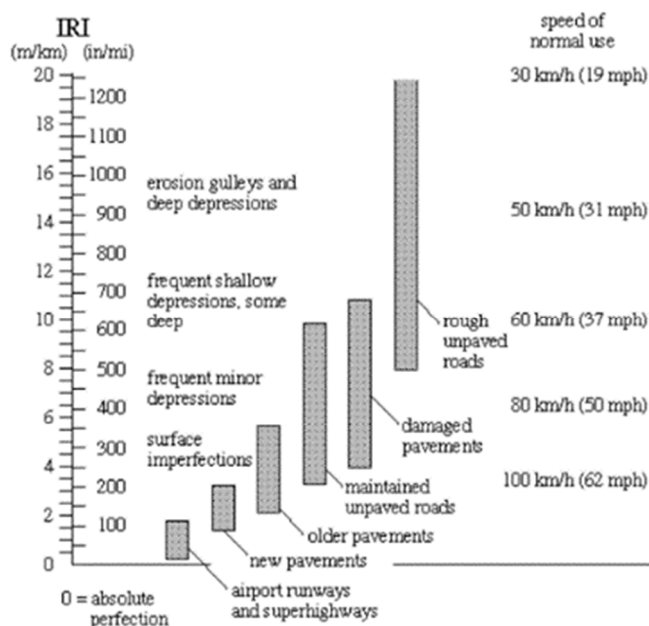


Fig. 4 – Exemple d'échelle d'évaluation de l'IRI

### 2.3.3 Note pas bandes d'ondes (NBO)

La notation par bandes d'ondes a essentiellement été développée dans les années 1990 en France, où elle est donc utilisée depuis une trentaine d'années.

Cette méthode est décrite dans la Méthode d'essai des lpc n°46 Version 2.0 [16], dans la norme française NF P98-218-3 [4]. Depuis 2017, elle figure dans la norme suisse VSS 40 517 [3] et elle également décrite dans la norme européenne (EN 13036-5 [5]).

Cette méthode présente l'avantage de distinguer si les éventuels défauts de planéité longitudinale concernent les petites ondes (PO, entre 0.707 m et 2.828 m), les moyennes ondes (MO, entre 2.828 m et 11.312 m) ou les grandes ondes (GO, entre 11.312 m et 45.248 m). Dans cette analyse, le profil longitudinal mesuré est décomposé en trois profils longitudinaux correspondant aux trois bandes de longueurs d'ondes (PO, MO, GO). Chacun de ces profils est ensuite caractérisé par une énergie (EPO, EMO, EGO) correspondant à l'intégrale du carré de son amplitude pour le pas d'exploitation considéré.

Les pas d'exploitation recommandés sont de 20 m pour les petites ondes (PO), de 100 m pour les moyennes ondes (MO) et de 200 m pour les grandes ondes (GO). Les énergies obtenues sont transformées en notes par bandes d'ondes (NBO) allant de 0 (très mauvais) à 10 (excellent), qui donnent une appréciation chiffrée de la qualité de la planéité longitudinale. Ces notes sont utilisées pour fixer des spécifications sous forme de notes minimales à respecter en fonction du type de travaux entrepris (nouvelles constructions, travaux d'entretien, profondeur et épaisseur des couches, etc.) et de la vitesse.

Les énergies sont transformées en note NBO selon les formules suivantes :

- $NPO = -2.2373 \cdot \ln(EPO_{20}) + 9.975$
- $NMO = -2.2317 \cdot \ln(EMO_{100}) + 17.947$
- $NGO = -2.2326 \cdot \ln(EGO_{200}) + 25.700$

| <b>Logarithmische Umwandlungsstufen der Energiewerte in dimensionslose NBO-Noten</b><br><b>Paliers logarithmiques de conversion des énergies en notes NBO sans dimension</b> |                                                                                                                                                       |                                                      |                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| NBO-Noten<br>Notes NBO                                                                                                                                                       | Bereiche der Energiewerte (mit rechtem Eckwert und ohne linkem Eckwert)<br>Domaines des valeurs d'énergie (borne droite incluse, borne gauche exclue) |                                                      |                                                   |
|                                                                                                                                                                              | [cm <sup>3</sup> ]                                                                                                                                    |                                                      |                                                   |
|                                                                                                                                                                              | Kurzwellen<br>Petites ondes<br>EPO <sub>20</sub>                                                                                                      | Mittelwellen<br>Moyennes ondes<br>EMO <sub>100</sub> | Langwellen<br>Grandes ondes<br>EGO <sub>200</sub> |
| 10                                                                                                                                                                           | 0,0...1,1                                                                                                                                             | 0...39                                               | 0...1 267                                         |
| 9                                                                                                                                                                            | 1,1...1,7                                                                                                                                             | 39...62                                              | 1 267...1 983                                     |
| 8                                                                                                                                                                            | 1,7...2,7                                                                                                                                             | 62...97                                              | 1 983...3 103                                     |
| 7                                                                                                                                                                            | 2,7...4,2                                                                                                                                             | 97...151                                             | 3 103...4 857                                     |
| 6                                                                                                                                                                            | 4,2...6,6                                                                                                                                             | 151...236                                            | 4 857...7 601                                     |
| 5                                                                                                                                                                            | 6,6...10,3                                                                                                                                            | 236...370                                            | 7 601...11 896                                    |
| 4                                                                                                                                                                            | 10,3...16,1                                                                                                                                           | 370...579                                            | 11 896...18 618                                   |
| 3                                                                                                                                                                            | 16,1...25,3                                                                                                                                           | 579...906                                            | 18 618...29 139                                   |
| 2                                                                                                                                                                            | 25,3...39,5                                                                                                                                           | 906...1419                                           | 29 139...45 604                                   |
| 1                                                                                                                                                                            | 39,5...61,9                                                                                                                                           | 1 419...2 200                                        | 45 604...71 372                                   |
| 0                                                                                                                                                                            | ≥ 61,9                                                                                                                                                | ≥ 2 200                                              | ≥ 71 372                                          |

**Fig. 5 – Correspondances entre les énergies EBO et les notes NBO [3]**

Notes sur les calculs des valeurs NBO dans ce rapport :

- La norme suisse prévoit un arrondi sans décimale dans la norme VSS 40517 [3] et le guide français préconise un arrondi à la demi-décimale (CEREMA / IDDRIM [19]). En dérogation à ces préconisations, les notes NBO calculées dans ce rapport ne sont pas arrondies afin de calculer avec plus de finesse les gains de notes avant et après pose de couche.
- Les notes NBO dans la norme suisse [3] et le guide français [13] vont de 0 à 10. Pour mieux observer les gains, les notes NBO dans ce rapport ne connaissent pas de limite supérieure.

### 2.3.4 Profil longitudinal pondéré (Bewertes Längsprofil - BLP)

La méthode du profil longitudinal pondéré (BLP) est beaucoup plus récente puisqu'elle a été décrite pour la première fois dans un article publié en 2005 dans la revue allemande « Strasse und Autobahn » [17] et ensuite dans un rapport du Bast (Heft S73 [18]). Le profil longitudinal pondéré consiste à définir un nouveau profil en pondérant les amplitudes du profil relevé de telle sorte que toutes les fréquences acquièrent un poids équivalent dans son analyse. Le BLP est caractérisé par l'écart-type de ses amplitudes (SBW) et par son amplitude maximale (DBW) pour un intervalle d'exploitation donné. Comme pour l'IRI, le profil longitudinal pondéré peut être défini pour différents intervalles d'exploitation. L'intervalle d'exploitation retenu doit être mentionné dans les résultats. Les défauts de planéité longitudinale périodiques ou isolés sont respectivement mis en évidence par un écart-type (SBW) important ou par une amplitude (DBW) importante.

Tout comme la méthode NBO, la méthode BLP figure dans la norme suisse VSS 40 517 [3] et elle est également décrite dans la norme européenne (EN 13036-5 [5]).

### 2.3.5 Bandes de longueurs d'onde couvertes par les valeurs d'état

Dans le domaine de la planéité longitudinale, chaque valeur d'état exploite ou couvre une bande de longueurs d'onde spécifique (voir figure ci-dessous, issue de la norme VSS 40 525, fig. 2 [6]).

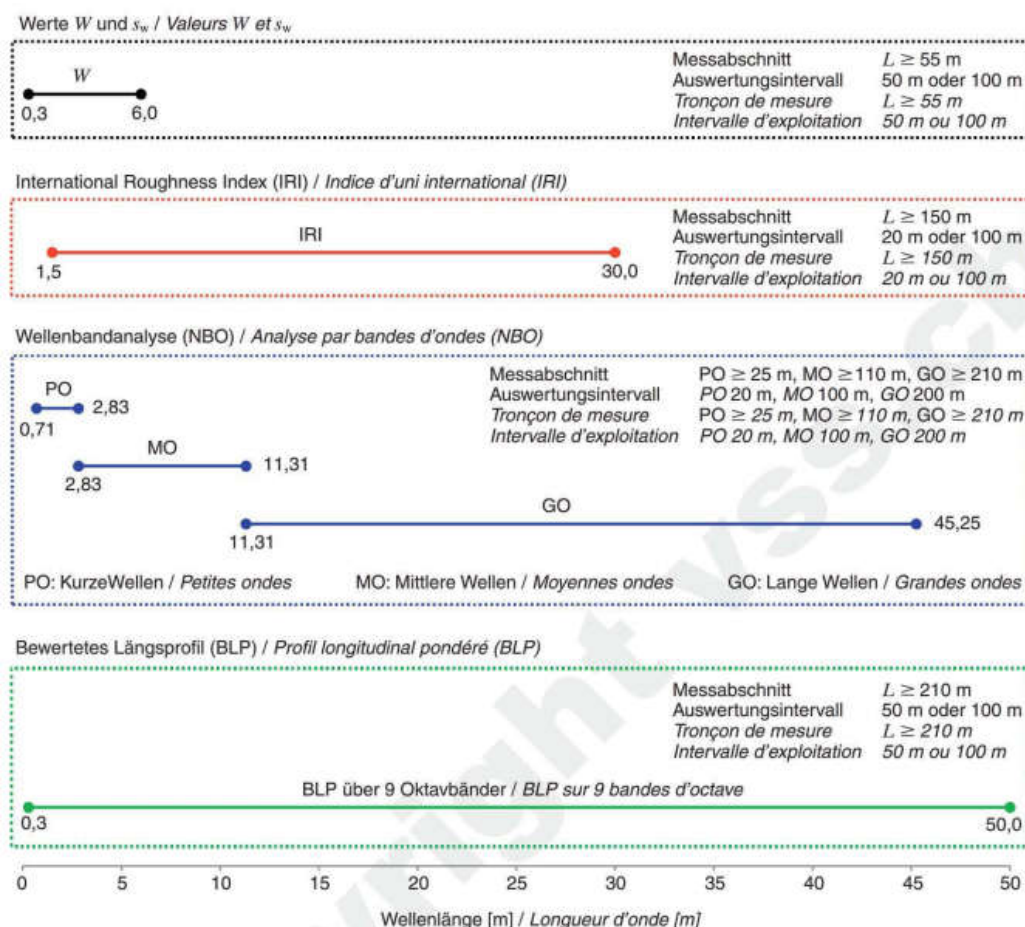


Fig. 6 – Bande de longueurs d'ondes exploitée pour les différentes valeurs d'état

### 2.3.6 Intervalles de mesures

Les intervalles d'exploitation utilisés pour l'étude sont ceux figurant dans le tableau 2, soit ceux préconisés dans la norme VSS 40 517.

Tab. 2 Intervalles d'exploitation des valeurs d'état

| Valeur d'état | Unité                   | Intervalles de mesure selon norme VSS 40 517 | Intervalle de mesure retenu pour les analyses | Abréviation                                            |
|---------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| [-]           | [-]                     | [m]                                          | [m]                                           | [-]                                                    |
| $s_w$         | [%]                     | 50, 100                                      | 50                                            | $s_{w50}$ OU $s_{w100}$                                |
| IRI           | [m/km]                  | 20, 100                                      | 20                                            | $IRI_{20}$ ou $IRI_{100}$                              |
| EPO, NPO      | [cm <sup>3</sup> ], [-] | 20                                           | 20                                            | EPO, NPO                                               |
| EMO, NMO      | [cm <sup>3</sup> ], [-] | 100                                          | 100                                           | EMO, NMO                                               |
| EGO, NGO      | [cm <sup>3</sup> ], [-] | 200                                          | 200                                           | EGO, NGO                                               |
| DBW, SBW      | [mm]                    | 50                                           | 50                                            | $DBW_{50}$ ou $DBW_{100}$<br>$SBW_{50}$ ou $SBW_{100}$ |

Les analyses de ce mandat de recherche ont révélé des résultats proches pour différents intervalles de mesures d'une même valeur d'état, soit :

- Pour les intervalles de 50 et 100m pour les valeurs  $s_w$ ,
- Pour les intervalles de 20 et 100m pour les valeurs IRI,
- Pour les intervalles de 50 et 100m pour les valeurs DBW et SBW.

Par conséquent et par souci de clarté du rapport, seul un intervalle de mesure par valeur d'état a été conservé dans nos analyses. Pour chaque valeur d'état, l'intervalle de mesure le plus faible a toujours été retenu afin de disposer d'échantillons de données plus importants.

## 2.4 Dénomination des couches

La dénomination des couches de structures de chaussée est définie dans la norme VSS 40 302b. Selon cette norme, les enrobés bitumineux peuvent donc être mis en œuvre :

- En **couche de roulement**, soit la couche qui est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules
- En **couche de liaison**. Cette couche, ayant pour but d'assurer le lien entre la couche de base et la couche de roulement, est la plupart du temps mis en œuvre, mais certaines structures proposées n'intègrent parfois pas de couche de liaison. La couche de liaison avec la couche de roulement constitue les **couches de surface**.
- En **couche de base**. Cette couche est destinée à répartir les efforts dus aux charges de trafic. L'emploi d'enrobé bitumineux en couche de base est très courant. Des exceptions existent avec l'emploi en couche de base d'une GNT (uniquement pour structure à très faible trafic) ou d'une stabilisation. Pour les chaussées à fort trafic, il arrive également que la couche de base soit composée de plusieurs couches bitumineuses.
- En **couche de fondation**. En général, la couche de fondation est composée de grave non traitée, mais l'emploi d'un enrobé bitumineux peut être conseillé pour améliorer la portance de cette couche de fondation.

Le choix des structures de chaussées varie selon les conditions de chaque chantier (notamment portance du sol, classe de trafic, contraintes de mises en œuvre, ressources en matériaux, environnement...) et les matériaux bitumineux ne sont pas systématiquement retenus pour l'ensemble des couches. Pour la présentation des résultats de ce rapport de recherche, les couches sont identifiées de la manière suivante :

- Dénomination « n » pour la couche de roulement
- Dénominations « n-1 », « n-2 », « n-3 », ... pour les couches sous-jacentes.

Le tableau 3 présente des exemples de dénomination pour les chantiers de la RC177 et de la N5 :

| <b>Tab. 3 Exemple de dénomination des couches pour les chantiers RC177 et N5</b> |                |                          |                |                          |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Numéro de couche                                                                 | RC 177         |                          | N5             |                          |
|                                                                                  | Type de couche | Type d'enrobé bitumineux | Type de couche | Type d'enrobé bitumineux |
| n                                                                                | Roulement      | AC MR 8                  | Roulement      | AC MR 11 ou PA 11        |
| n-1                                                                              | Liaison        | AC B 11 S                | Base           | AC T 22S                 |
| n-2                                                                              | Base           | AC EME 22 S              | Base           | AC T 22S                 |
| n-3                                                                              | Fondation      | AC F 22                  | Fondation      | AC F 32                  |
| n-4                                                                              | -              | -                        | Fondation      | AC F 32                  |

## 2.5 Valeurs de réception sur couche de roulement

L'ancienne norme sur les valeurs de réception SN 640 521c [7] définissait les valeurs de réception pour les valeurs  $W$  et  $s_w$ . Datant de 2003, elle a été remplacée en 2018 pour la nouvelle norme VSS 40 525. Cette nouvelle norme définit les valeurs de réception pour les valeurs  $W$ ,  $s_w$  et NBO. Aucune valeur de réception n'est définie pour les valeurs d'état IRI et BLP. Les valeurs de réception pour IRI et BLP dans ce rapport sont issues du rapport de recherche 2016/322 [13].

### 2.5.1 Ancienne norme SN 640521c

Dans le domaine de la planéité longitudinale, la SN 640 521c [7] fixait les valeurs de réception pour les valeurs d'état  $W$  et  $s_w$ .

| Strassentypen, Flugpisten<br><i>Types de route, pistes d'aérodrome</i>                                                                                                            | Kriterien<br><i>Critères</i>     | Abnahmewerte<br><i>Valeurs de réception</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| Hochleistungsstrassen (HLS) / <i>Routes à grand débit (RGD)</i><br>Flugpisten / <i>Pistes d'aérodrome</i>                                                                         | $W$ [‰]<br>$s_w$ [‰]<br>$T$ [mm] | 10<br>1,4<br>4                              |
| Hauptverkehrsstrassen (HVS) / <i>Routes principales (RP)</i>                                                                                                                      | $W$ [‰]<br>$s_w$ [‰]<br>$T$ [mm] | 14<br>1,8<br>5                              |
| Verbindungsstrassen (VS) / <i>Routes de liaison (RL)</i><br>Sammelstrassen (SS) / <i>Routes collectrices (RC)</i><br>Erschliessungsstrassen (ES) / <i>Routes de desserte (RD)</i> | $W$ [‰]<br>$s_w$ [‰]<br>$T$ [mm] | 14<br>2,2<br>6                              |

$W$ : Maximaler Winkelwert als Einzelwert [‰]  
 $s_w$ : Standardabweichung der  $W$ -Werte über eine Messlänge von 250 m [‰]  
 $T$ : Muldentiefe unter 4-m-Latte [mm]

$W$ : Valeur d'angle maximale en tant que valeur isolée [‰]  
 $s_w$ : Ecart-type des valeurs  $W$  pour un tronçon de 250 m de long [‰]  
 $T$ : Profondeur des flaches sous la latte de 4 m [mm]

**Remarque** : la valeur  $T$ , profondeur d'ornièrè, est une valeur d'état dans le domaine de la planéité transversale.

**Fig. 7** – Valeurs de réception de l'ancienne norme SN 640521c

D'après la norme, les valeurs de réception sont applicables aux couches de surface posées en épaisseur constante et ne peuvent à priori pas être appliquées aux revêtements de pont et de tunnel.

La norme était liée à la norme SN 640 520a [1] qui décrivait les valeurs d'état  $W$  et  $s_w$  mais également les appareils de mesure Goniograph et Winkelmessgerät, soit des appareils dont la méthode de mesure est non-profilométrique (voir chapitre 2.1). Aucune mention d'appareil profilométrique et/ou à grand rendement ne figurait dans cette norme.

Les valeurs d'état  $W$  et  $s_w$  couvrent une bande de longueurs d'onde restreinte (0.3 à 6m, voir chapitre 2.3.5).

## 2.5.2 Nouvelle norme VSS 40 525

La norme en vigueur VSS 40 525 [6] fixe les valeurs de réception pour les valeurs d'état  $W$ ,  $s_w$  et NBO.

| Längsebenheit: Abnahmewerte für die Auswertung in Winkelwerte $\theta$ und für die Wellenbandanalyse (NBO-Noten)                         |                |                                |                         |                                                         |                        |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Planéité longitudinale: valeurs de réception pour l'exploitation en valeurs d'angle $W$ et pour l'analyse par bandes d'ondes (notes NBO) |                |                                |                         |                                                         |                        |                       |
| Abnahmewerte<br>Valeurs de réception                                                                                                     | $V_{\max}$     | Winkelwerte<br>Valeurs d'angle |                         | Wellenbandanalyse NBO<br>Analyse par bandes d'ondes NBO |                        |                       |
| Anzahl der erneuerten Schichten<br>Nombre de couches renouvelées                                                                         |                | $s_w$<br>0,3...6 m             | $W_{\max}$<br>0,3...6 m | NBO_PO<br>0,7...2,8 m                                   | NBO_MO<br>2,8...11,3 m | NBO_GO<br>11,3...45 m |
| Neubau oder Gesamterneuerung des Oberbaus<br>Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée                              | > 80 km/h      | ( $\leq 1,4$ )                 | ( $\leq 10$ )           | $\geq 7$                                                | $\geq 7$               | $\geq 8^{1)}$         |
|                                                                                                                                          | 60...80 km/h   | ( $\leq 1,8$ )                 | ( $\leq 14$ )           | $\geq 7$                                                | $\geq 7$               | $\geq 7^{1)}$         |
|                                                                                                                                          | $\leq 50$ km/h | ( $\leq 2,2$ )                 | ( $\leq 14$ )           | $\geq 6$                                                | $\geq 6$               | —                     |
| Deckschichterneuerung<br>Renouvellement couche de roulement                                                                              | > 80 km/h      | $\leq 1,4$                     | $\leq 10$               | $\geq 6^{2)}$                                           | $\geq 7^{3)}$          | —                     |
|                                                                                                                                          | 60...80 km/h   | $\leq 1,8$                     | $\leq 14$               | $\geq 5^{2)}$                                           | $\geq 6^{3)}$          | —                     |
|                                                                                                                                          | $\leq 50$ km/h | $\leq 2,2$                     | $\leq 14$               | $\geq 5^{2)}$                                           | —                      | —                     |
| Erneuerung von 2 bis 3 Asphaltsschichten<br>Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux                                         | > 80 km/h      | ( $\leq 1,4$ )                 | ( $\leq 10$ )           | $\geq 6^{4)}$                                           | $\geq 7^{4)}$          | —                     |
|                                                                                                                                          | 60...80 km/h   | ( $\leq 1,8$ )                 | ( $\leq 14$ )           | $\geq 6^{4)}$                                           | $\geq 6^{4)}$          | —                     |
|                                                                                                                                          | $\leq 50$ km/h | $\leq 2,2$                     | $\leq 14$               | $\geq 6^{4)}$                                           | $\geq 6^{4)}$          | —                     |

( $\leq \dots$ ) Gültig nur für die kurzen Wellen (PO)  
<sup>1)</sup> Für Einbaulänge  $\geq 1000$  m  
<sup>2)</sup> Maximale Verbesserung der Note mit dem Einbau: + 2  
<sup>3)</sup> Wenn Note vor Massnahme mindestens gleich hoch ist  
<sup>4)</sup> Maximale Verbesserung der Note mit dem Einbau: + 3

( $\leq \dots$ ) Valable seulement pour les petites ondes (PO)  
<sup>1)</sup> Pour longueur de pose  $\geq 1000$  m  
<sup>2)</sup> Amélioration maximale de la note après pose: + 2  
<sup>3)</sup> Si note avant travaux au moins égale  
<sup>4)</sup> Amélioration maximale de la note après pose: + 3

**Fig. 8 – Valeurs de réception de la norme VSS 40 525**

Les valeurs de réception  $s_w$  et  $W$  sont identiques à celles de l'ancienne norme (SN 640 521c). Toutefois, la norme spécifie que les valeurs entre parenthèses sont seulement valables pour les petites ondes (PO).

Dans la pratique, la norme crée quelques incompréhensions qui nécessiterait d'être clarifiées dans une future version de la norme :

- Les valeurs de réception pour les notes NPO changent en fonction du nombre de couches renouvelées ce qui n'est pas le cas pour les valeurs de réception  $W$  et  $s_w$ . Cela s'explique difficilement sachant que ces valeurs d'état couvrent des gammes de longueur d'onde assez proches.
- Les valeurs de réception  $W$  et  $s_w$  entre parenthèses prêtent à confusion : devraient-elles être autant respectées que les valeurs de réception NBO ?

La mention « valable seulement pour les petites ondes » prête également à confusion : de manière générale les valeurs  $W$  et  $s_w$  sont valables pour les petites ondes. Il est donc étonnant que les exigences pour ces valeurs soient parfois entre parenthèses, parfois sans parenthèses.

- Les remarques 2) et 3) sous le tableau ne sont pas claires : en parlant « d'amélioration maximale de la note après pose : +2 », veut-on dire que, si l'exigence de valeur NBO est de 5, l'entreprise se doit de respecter cette exigence si la valeur NBO mesurée sur la couche n-1 est supérieure à 3 ? Dans ce cas, ne devrait-on pas parler d'amélioration minimale ?
- Dans le cadre de mesures de réception, le pas de mesure des valeurs  $s_w$  n'est pas défini. En l'absence d'information, il est supposé que la norme VSS 40 517, chapitre 10.1 fait foi, avec un pas de mesure de 50m recommandé pour les sur RP, RL, RC, RD et 100m pour les RGD. Pour le calcul des notes NBO, cette question ne se pose pas puisque le pas de mesure est imposé par la méthode d'exploitation (voir VSS 40 517, chapitre 10.3).
- La norme ne définit pas clairement si l'ensemble des valeurs de réception doit être respecté.

### 2.5.3 Proposition du mandat de recherche VSS 2016/322

Le mandat de recherche suisse VSS2016/322, dont le rapport a été publié en mai 2020, a établi des propositions de valeurs de réception pour chaque valeur d'état, en analysant les données sur de planéité longitudinale sur plusieurs réseaux routiers suisses (réseaux autoroutiers, cantonaux et communaux). 2 propositions de valeur de réception ont été faites :

- La proposition a, basée sur les valeurs de réception existante de  $s_w$  (la valeur de percentile correspondant aux valeurs de réception  $s_w$  ayant été utilisées pour déterminer les valeurs de réception pour les autres valeurs d'état).
- La proposition b, basées sur les classes de route ISO selon la norme 8608 :2016 [8].

**Tab. 4** Valeurs de réception proposées selon VSS 2016/322

| Proposition   | Type de route selon SN 640 521 c                                        | Vitesse maximale<br>D'utilisation du tronçon<br>selon<br>VSS 40525 | Valeur d'état |     |        |     |     |     |      |      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------|-----|--------|-----|-----|-----|------|------|
|               |                                                                         |                                                                    | Sw            | W   | IRI    | NPO | NMO | NGO | SBW  | DBW  |
|               |                                                                         |                                                                    | [%]           | [%] | [m/km] | [-] | [-] | [-] | [mm] | [mm] |
| Proposition a | Routes à grand débit RGD                                                | > 80km/h                                                           | 1.4           | 5.1 | 1.4    | 8.9 | 8.9 | 8   | 3.7  | 22.1 |
|               | Routes principales RP                                                   | 60... 80 km/h                                                      | 1.8           | 7.2 | 1.8    | 7.9 | 7.7 | 6.6 | 4.9  | 29.2 |
|               | Routes de liaison RL<br>Routes collectrices RC<br>Routes de desserte RD | ≤ 50km/h                                                           | 2.2           | 9.2 | 2.4    | 7.1 | 6.6 | 4.6 | 6.9  | 41.5 |
| Proposition b | Routes à grand débit RGD                                                | > 80km/h                                                           | 1.6           | 6.4 | 1.6    | 8.2 | 8.2 | 7.3 | 4.2  | 25.2 |
|               | Routes principales RP                                                   | 60... 80 km/h                                                      | 1.9           | 7.7 | 1.9    | 7.6 | 7.4 | 6.4 | 5.1  | 30.6 |
|               | Routes de liaison RL<br>Routes collectrices RC<br>Routes de desserte RD | ≤ 50km/h                                                           | 2.3           | 9.7 | 2.5    | 6.9 | 6.4 | 4.4 | 7.2  | 43.2 |

### 2.5.4 Réglementation française

En France, les valeurs de réception de planéité longitudinale en termes de valeurs NBO sont issues de la circulaire n°2000-36 du 22 mai 20 [20] et sont reprises dans le guide du CEREMA/IDDRIM [19].

La définition des valeurs de réception dépend de nombreux critères. Les principaux critères sont les suivants :

- Le type de travaux effectués (travaux de construction, de réhabilitation et d'entretien)
- La longueur du tronçon (entre 200 et 1000m / supérieur à 1000m)
- L'épaisseur de la couche de roulement (inférieur ou supérieur à 3cm)
- La vitesse d'utilisation (90km/h, 110/km/h, 130km/h)
- Le nombre de couche bitumineuses mises en œuvre.

Etant donné la multiplicité des cas, l'ensemble de ces valeurs de réception n'est pas reporté dans le présent rapport de recherche. Des exemples de valeurs de réception pour les travaux de construction, avec valeurs recommandées sur les couches sous-jacentes, figurent dans le chapitre 2.6.2.

## 2.6 Valeurs cibles pour les couches sous-jacentes

### 2.6.1 Notion de gain potentiel

En plus des exigences sur couches de roulement, des valeurs cibles de planéité sur les couches sous-jacentes ont été recensées dans la littérature et sont présentées dans la suite de ce chapitre.

De ces valeurs cibles sur chacune des couches peuvent être déduit des gains potentiels absolus et relatifs pour une couche donnée.

A titre d'exemple, les gains pour la couche n sont calculés au moyen des formules suivantes. Les formules pour les valeurs NBO sont distinctes de celles pour les autres valeurs d'état. En effet, un gain de planéité se traduit par une baisse des valeurs d'état sauf pour les valeurs NBO, où une note plus élevée révèle une meilleure planéité.

- Formules pour l'ensemble des valeurs d'état, à exception des valeur NBO :

Gain absolu pour la couche n = Valeur cible sur couche (n-1) - Valeur cible sur couche (n)

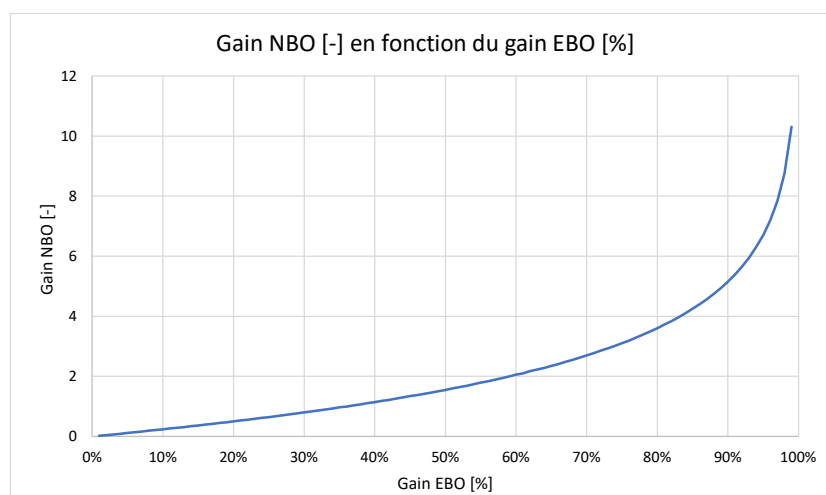
$$\text{Gain relatif \% pour la couche n} = \frac{\text{Valeur cible sur couche (n-1)} - \text{Valeur cible sur couche (n)}}{\text{Valeur cible sur couche (n-1)}}$$

- Formules pour les valeurs NBO :

Gain absolu pour la couche n = Valeur cible sur couche (n) - Valeur cible sur couche (n-1)

Les gains relatifs sont uniquement calculés pour les valeurs représentant des grandeurs physiques et donc pas pour les valeurs NBO, qui sont des indices calculés à partir des énergies NBO. En effet, par exemple un même gain de note NBO aura un poids relatif beaucoup moins important si la valeur NBO avant pose est élevée que si celle-ci est faible et cela fausserait alors les conclusions que l'on pourrait tirer de ces résultats.

D'ailleurs, la valeur NBO intègre déjà la notion de gain relatif à travers les valeurs EBO : en effet, un gain NBO est associé à un gain relatif EBO. Par exemple et quel que soit la longueur d'onde (PO, MO, GO), un gain NBO d'1 point correspond toujours à un gain relatif EBO de 36%. La figure 9 représente le gain NBO en fonction du gain relatif EBO.



**Fig. 9** – Gain absolu NBO en fonction du gain relatif EBO

Les gains absolus et relatifs sont calculés de la même manière pour les analyses du chapitre 0, hormis le fait que l'on utilise alors les valeurs mesurées au lieu des valeurs cibles.

## 2.6.2 Recommandations françaises pour les valeurs NBO

En France, les valeurs de réception de planéité longitudinale en termes de valeurs NBO sont issues de la circulaire n°2000-36 du 22 mai 2000 [20].

Le guide du CEREMA [19] recommande des valeurs sur les sous-couches pour atteindre les valeurs de réception sur la couche de roulement, figurant dans les deux tableaux ci-après, pour des épaisseurs de couche de roulement inférieur ou égale à 3 cm et supérieur à 3 cm.

| V<br>(km/h) | LONG.<br>D'ONDES | NOTE MINIMALE D'UNI POUR<br>LA COUCHE * |                                                            |     |     | SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT (N)                   |                                                          |
|-------------|------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|             |                  | N-4                                     | N-3                                                        | N-2 | N-1 | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 90          | P0               | sans objet                              | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                        | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | M0               | sans objet                              | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100 % des notes ≥ 6                                              | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | G0               | ≥ 3                                     | ≥ 4                                                        | ≥ 5 | ≥ 5 | Sans objet                                                       | 100 % des notes ≥ 5<br>80 % des notes ≥ 6                |
|             |                  |                                         |                                                            |     |     | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 110         | P0               | sans objet                              | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100% des notes ≥ 6<br>90% des notes ≥ 7                          | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | M0               | sans objet                              | sans objet                                                 | ≥ 4 | ≥ 6 | 100% des notes ≥ 7                                               | 100 % des notes ≥ 7<br>90 % des notes ≥ 8                |
|             | G0               | ≥ 5                                     | ≥ 6                                                        | ≥ 7 | ≥ 7 | Sans objet                                                       | 100 % des notes ≥ 7<br>80 % des notes ≥ 8                |
|             |                  |                                         |                                                            |     |     | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 130         | P0               | sans objet                              | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100% des notes ≥ 6<br>90% des notes ≥ 7                          | 100% notes ≥ 6<br>90% notes ≥ 7                          |
|             | M0               | sans objet                              | ≥ 3<br>S'il s'agit de la<br>couche de forme,<br>sans objet | ≥ 4 | ≥ 6 | 100% des notes ≥ 7                                               | 100% notes ≥ 7<br>90% notes ≥ 8                          |
|             | G0               | ≥ 6                                     | ≥ 7                                                        | ≥ 8 | ≥ 8 | Sans objet                                                       | 100% notes ≥ 8<br>80% notes ≥ 9                          |

**Fig. 10** – Recommandation de notes NBO pour les couches inférieures – travaux de construction avec couche de roulement d'épaisseur > 3 cm [19]

| V<br>(km/h) | LONG.<br>D'ONDES | NOTE MINIMALE D'UNI POUR<br>LA COUCHE* |                                                            |     |     | SPÉCIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT (N)                   |                                                          |
|-------------|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|             |                  | N-4                                    | N-3                                                        | N-2 | N-1 | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 90          | PO               | sans objet                             | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                        | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | MO               | sans objet                             | ≥ 3<br>S'il s'agit de la<br>couche de forme,<br>sans objet | ≥ 4 | ≥ 6 | 100 % des notes ≥ 6                                              | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | GO               | ≥ 3                                    | ≥ 4                                                        | ≥ 5 | ≥ 5 | Sans objet                                                       | 100 % des notes ≥ 5<br>80 % des notes ≥ 6                |
|             |                  |                                        |                                                            |     |     | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 110         | PO               | sans objet                             | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100% des notes ≥ 6<br>90% des notes ≥ 7                          | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | MO               | sans objet                             | ≥ 4<br>S'il s'agit de la<br>couche de forme,<br>sans objet | ≥ 5 | ≥ 7 | 100% des notes ≥ 7                                               | 100 % des notes ≥ 7<br>90 % des notes ≥ 8                |
|             | GO               | ≥ 5                                    | ≥ 6                                                        | ≥ 7 | ≥ 7 | Sans objet                                                       | 100 % des notes ≥ 7<br>80 % des notes ≥ 8                |
|             |                  |                                        |                                                            |     |     | Chantier inférieur<br>à 1000 mètres et<br>supérieur à 200 mètres | Lots de 1000 mètres ou incluant<br>extrémité de chantier |
| 130         | PO               | sans objet                             | sans objet                                                 | ≥ 3 | ≥ 5 | 100% des notes ≥ 6<br>90% des notes ≥ 7                          | 100 % des notes ≥ 6<br>90 % des notes ≥ 7                |
|             | MO               | sans objet                             | ≥ 4<br>S'il s'agit de la<br>couche de forme,<br>sans objet | ≥ 5 | ≥ 7 | 100% des notes ≥ 7                                               | 100 % des notes ≥ 7<br>90 % des notes ≥ 8                |
|             | GO               | ≥ 6                                    | ≥ 7                                                        | ≥ 8 | ≥ 8 | Sans objet                                                       | 100 % des notes ≥ 8<br>80 % des notes ≥ 9                |

**Fig. 11** – Recommandation de notes NBO pour les couches inférieures – travaux de construction avec couche de roulement d'épaisseur ≤ 3 cm [19]

Les gains potentiels absolus NBO peuvent être calculés en soustrayant les valeurs recommandées sur les couches n-1 à n-4 aux valeurs imposées sur la couche de roulement n.

On observe que les exigences changent en fonction de la vitesse d'utilisation du tronçon, mais que les gains potentiels ne varient pas en fonction de cette vitesse. Ces gains potentiels en fonction du nombre de couche posées sont déduits dans le tableau 5, en considérant les exigences sur la couche n appliquées sur 100% des notes NBO.

**Tab. 5** Gains potentiels absolus déduits des recommandations du CEREMA

| Valeur d'état | Gain absolu en fonction du nombre de couchées posées |   |   |   |                             |   |   |   |
|---------------|------------------------------------------------------|---|---|---|-----------------------------|---|---|---|
|               | Couche de roulement n > 3cm                          |   |   |   | Couche de roulement n ≤ 3cm |   |   |   |
|               | Nombre de couche posées                              |   |   |   |                             |   |   |   |
|               | 4                                                    | 3 | 2 | 1 | 4                           | 3 | 2 | 1 |
| NPO [-]       | 3                                                    | 3 | 3 | 1 | 3                           | 3 | 3 | 1 |
| NMO [-]       | 3                                                    | 3 | 3 | 1 | 2                           | 2 | 2 | 0 |
| NGO [-]       | 2                                                    | 1 | 0 | 0 | 2                           | 1 | 0 | 0 |

Les gains potentiels absolus en fonction de l'épaisseur de la couche de roulement varient seulement pour les moyennes ondes, pour lesquelles il est admis un gain plus important dès que l'épaisseur de la couche de roulement est supérieure à 3 cm (1 point de plus de gain pour une épaisseur de la couche  $n > 3\text{cm}$ ).

Des gains NPO et NMO sont attendus seulement sur les 2 dernières couches posées, ce qui explique que les gains pour ces valeurs sont les mêmes pour 2, 3 ou 4 couches posées.

A l'inverse, les gains NGO surviennent avant les 2 dernières couches posées, ce qui implique que les exigences en matière de valeurs NGO doivent déjà être obtenus sur la surface de la couche  $n-2$ .

### 2.6.3 Recommandations suisses

#### Canton du Jura – Valeurs $W$ , $s_w$ et NBO

Dans le cahier des charges pour travaux de revêtements en béton bitumineux du canton du Jura [21], des valeurs indicatives  $W$ ,  $s_w$  et NBO sur couche de liaison (couche  $n-1$ ) et couche de base ( $n-2$ ) sont fournies pour atteindre :

- Les exigences de la norme SN 640521c pour les valeurs  $W$  et  $s_w$ . Depuis la rédaction de ce cahier des charges, cette norme a été remplacée par la norme VSS 40 525 (voir chapitre 2.5.2) mais les exigences pour les valeurs  $W$  et  $s_w$  restent inchangées.
- Les exigences « LCPC » pour les notes NBO. Ces exigences (8 pour les petites ondes, 9 pour les moyennes ondes) ne correspondent cependant pas à celles de la circulaire française actuelle [20] (6 pour les petites ondes, 6 à 7 pour les moyennes ondes selon vitesse d'utilisation). Elles ne correspondent pas non plus à celles de la norme VSS 40 525 [6] (selon vitesses d'utilisation et types de travaux : 5 à 7 pour les petites ondes, 6 à 7 pour les moyennes ondes).

## EXIGENCES DE PLANEITE

Selon norme SN 640'521c

| SURFACE DE ROULEMENT                         |                                       |                |                |                        |                |                |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|
| Type de route                                | Routes principales (H18 - RC18 - RC6) |                |                | Routes cantonales      |                |                |
|                                              | (RP selon SN 640'521c)                |                |                | (RL selon SN 640'521c) |                |                |
|                                              | Valeurs de réception                  |                |                | Valeurs de réception   |                |                |
| W [‰]                                        | ≤ 14                                  |                |                | ≤ 14                   |                |                |
| sW [‰]                                       | ≤ 1.8                                 |                |                | ≤ 2.2                  |                |                |
| T [mm]                                       | ≤ 5                                   |                |                | ≤ 6                    |                |                |
| FORME DE LA COUCHE DE LIAISON <sup>(1)</sup> |                                       |                |                |                        |                |                |
| Type de route                                | Routes principales (H18, RC18,RC6)    |                |                | Routes cantonales      |                |                |
|                                              | Conforme                              | Seuil d'alerte | Seuil de refus | Conforme               | Seuil d'alerte | Seuil de refus |
| W [‰]                                        | ≤ 18                                  | 19             | 22             | ≤ 18                   | 19             | 22             |
| sW [‰]                                       | ≤ 2.6                                 | 2.7            | 2.8            | ≤ 2.6                  | 2.7            | 2.8            |
| T [mm]                                       | ≤ 9                                   | 10             | 11             | ≤ 9                    | 10             | 11             |
| FORME DE LA COUCHE DE BASE <sup>(1)</sup>    |                                       |                |                |                        |                |                |
| Type de route                                | Routes principales (H18, RC18,RC6)    |                |                | Routes cantonales      |                |                |
|                                              | (1) Conforme                          | Seuil d'alerte | Seuil de refus | (1) Conforme           | Seuil d'alerte | Seuil de refus |
| W [‰]                                        | ≤ 18                                  | 19             | 22             | ≤ 18                   | 19             | 22             |
| sW [‰]                                       | ≤ 2.8                                 | 2.9            | 3.3            | ≤ 2.8                  | 2.9            | 3.3            |
| T [mm]                                       | ≤ 9                                   | 10             | 11             | ≤ 9                    | 10             | 11             |

### Légende :

- W : Valeur isolée de l'angle formé par deux cordes adjacentes de 1 m de longueur. Evaluation des défauts localisés.
- sW : Ecart-type des valeurs W pour un tronçon de 250 m de longueur ou 1000 valeurs. Appréciation globale d'un tronçon
- T : Profondeur des flèches sous la latte de 4 m

(1) En italique : valeurs indicatives.

**Fig. 12 – Recommandations de valeurs NBO pour les couches inférieures [21]**

**Tab. 6 Gains potentiels absolus déduits des recommandations du canton du Jura**

| Valeur d'état                     | Gain absolu pour<br>Seuil de conformité |     | Gain absolu pour<br>Seuil d'alerte |     | Gain absolu pour<br>Seuil de refus |     |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
|                                   | Nombre de couche posées                 |     |                                    |     |                                    |     |
|                                   | 2                                       | 1   | 2                                  | 1   | 2                                  | 1   |
| W [‰] pour routes RP et RL        | 4                                       | 4   | 5                                  | 5   | 8                                  | 8   |
| s <sub>w</sub> [‰] pour routes RP | 1.0                                     | 0.8 | 1.1                                | 0.9 | 1.5                                | 1.0 |
| s <sub>w</sub> [‰] pour routes RL | 0.6                                     | 0.4 | 0.7                                | 0.5 | 1.1                                | 0.6 |
| NPO [-]                           | 1                                       | 1   | 2                                  | 2   | 3                                  | 3   |
| NMO [-]                           | 1                                       | 0   | 2                                  | 1   | 3                                  | 2   |

Contrairement aux valeurs W et NBO, les gains potentiels absolus pour la valeur s<sub>w</sub> varient selon le type de route : le gain potentiel est moins important pour les routes RL que pour les routes RP.

Les recommandations donnent donc plusieurs seuils : on peut considérer que les gains potentiels pour le seuil de conformité sont des gains « minimaux » tandis que ceux pour le seuil de refus sont des gains « maximaux ».

## VSS 40525

Les gains potentiels peuvent être aussi déduits des remarques de la norme VSS 40 525 [6] déjà décrites en 0 et rappelées ici :

- Amélioration maximale de la valeur NPO de +2 pour la pose de la couche n
- Amélioration nulle de la valeur NMO pour la pose de la couche n
- Amélioration maximale des valeurs NPO et NMO de +3 après pose de 2 ou 3 couches de matériaux bitumineux.

Ces remarques peuvent être synthétisées dans le tableau 7 :

**Tab. 7 Gains potentiels absolus déduits des remarques de la norme VSS 40 525 [6]**

| Valeur d'état | Gain potentiel absolu pour 2 à 3 couches posées | Gain potentiel absolu pour 1 couche posée |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| NPO [-]       | 3                                               | 2                                         |
| NMO [-]       | 3                                               | 0                                         |

## 2.7 Synthèse

### 2.7.1 Valeurs W et $s_w$

#### Comparaison des valeurs de réception

Les valeurs de réception pour les valeurs W et  $s_w$  sont uniquement dans la normalisation suisse. Jusqu'en 2018, les valeurs de réception figuraient dans la norme SN 640 521c. A partir de 2018, ces valeurs figurent dans la norme VSS 40 525 mais elles sont inchangées. A noter toutefois que le critère « type de route » dans la norme SN 640 521c a été remplacé dans la norme VSS 40 525 par le critère de vitesse maximale d'utilisation du tronçon.

Dans le tableau 8, ces valeurs sont comparées aux propositions du mandat de recherche VSS 2016/322 :

**Tab. 8 Récapitulatif des valeurs de réception pour les valeurs d'état W et  $s_w$**

| Type de route selon SN 640 521c                                         | Vitesse maximale d'utilisation du tronçon selon VSS 40 525 | Valeur d'état | Valeurs de réception [‰] |                        |               |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|---------------|
|                                                                         |                                                            |               | VSS 40 525               | Recherche VSS 2016/322 |               |
|                                                                         |                                                            |               |                          | Proposition a          | Proposition b |
| Routes à grand débit RGD                                                | > 80km/h                                                   | W             | 10                       | 5.1                    | 6.4           |
|                                                                         |                                                            | $s_w$         | 1.4                      | 1.4                    | 1.6           |
| Routes principales RP                                                   | 60... 80 km/h                                              | W             | 14                       | 9.2                    | 7.7           |
|                                                                         |                                                            | $s_w$         | 1.8                      | 1.8                    | 1.9           |
| Routes de liaison RL<br>Routes collectrices RC<br>Routes de desserte RD | ≤ 50km/h                                                   | W             | 14                       | 7.7                    | 9.7           |
|                                                                         |                                                            | $s_w$         | 2.2                      | 2.2                    | 2.3           |

A la lecture de ce tableau, le mandat de recherche VSS 2016/322 propose :

- Des valeurs de réception  $s_w$  proches de la VSS 40 525.
- Des valeurs de réception W inférieures à celle de la VSS 40 525.

### Comparaison des gains

Seul le canton du Jura propose des exigences en fonction de la couche posée et ainsi permet de définir des gains potentiels pour les valeurs  $s_w$  et  $W$  qui sont rappelés dans le tableau 9 :

**Tab. 9** Gains potentiels absolus déduits des recommandations du canton du Jura pour les valeurs  $W$  et  $s_w$

| Valeur d'état  | Type de route selon SN 640 521c | Gain potentiel absolu [‰] pour |     |                |     |                |     |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
|                |                                 | Seuil de conformité            |     | Seuil d'alerte |     | Seuil de refus |     |
|                |                                 | Nombre de couche posées        |     |                |     |                |     |
|                |                                 | 2                              | 1   | 2              | 1   | 2              | 1   |
| W              | Routes principale RP            | 4                              | 4   | 5              | 5   | 8              | 8   |
|                | Routes de liaison RL            |                                |     |                |     |                |     |
| S <sub>w</sub> | Routes principale RP            | 1.0                            | 0.8 | 1.1            | 0.9 | 1.5            | 1.0 |
|                | Routes de liaison RL            | 0.6                            | 0.4 | 0.7            | 0.5 | 1.1            | 0.6 |

Les gains peuvent également être présentés sous forme de gains relatifs (gain absolu divisé par les valeurs avant pose du ou des couches posées) :

**Tab. 10** Gains potentiels relatifs déduits des recommandations du canton du Jura pour les valeurs  $W$  et  $s_w$

| Valeur d'état  | Type de route selon SN 640 521c | Gain potentiel relatif [%] pour |     |                |     |                |     |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
|                |                                 | Seuil de conformité             |     | Seuil d'alerte |     | Seuil de refus |     |
|                |                                 |                                 |     |                |     |                |     |
|                |                                 | Nombre de couche posées         |     |                |     |                |     |
|                |                                 | 2                               | 1   | 2              | 1   | 2              | 1   |
| W              | Routes principale RP            | 22%                             | 22% | 26%            | 26% | 36%            | 36% |
|                | Routes de liaison RL            |                                 |     |                |     |                |     |
| S <sub>w</sub> | Routes principale RP            | 36%                             | 31% | 38%            | 33% | 45%            | 36% |
|                | Routes de liaison RL            | 21%                             | 15% | 24%            | 19% | 33%            | 21% |

## 2.7.2 Valeurs NBO

### Comparaison des valeurs de réception

Il est complexe de comparer les valeurs de réception NBO (NPO, NMO et NGO) de la VSS 40 525, du canton du Jura et du CEREMA, dans les mesures où chacune dépend de critères différents. Toutefois, une tentative de comparaison est proposée ci-dessous en tenant compte des valeurs de réception uniquement pour les constructions neuves ou renouvellement complet de la chaussée.

**Tab. 11** Comparaison des valeurs de réception pour les valeurs NBO

| Valeur de réception pour construction neuve ou renouvellement complet de la chaussée [-] |                                    |              |              |                |             |                  |                |                            |                  |                |                            |                  |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|------------------|----------------|----------------------------|------------------|----------------|----------------------------|------------------|----------------|
|                                                                                          | CEREMA Longueur de tronçon > 1000m |              |              | Canton du Jura | VSS 40525   |                  |                | VSS 2016/322 Proposition a |                  |                | VSS 2016/322 Proposition b |                  |                |
| Valeur d'état                                                                            | Vmax 90km/h                        | Vmax 110km/h | Vmax 130km/h | Routes RP      | Vmax 50km/h | Vmax 60 à 80km/h | Vmax > 80 km/h | Vmax 50km/h                | Vmax 60 à 80km/h | Vmax > 80 km/h | Vmax 50km/h                | Vmax 60 à 80km/h | Vmax > 80 km/h |
| NPO                                                                                      | 6                                  | 6            | 6            | 8              | 6           | 7                | 7              | 7.1                        | 7.9              | 8.9            | 6.9                        | 7.6              | 8.2            |
| NMO                                                                                      | 6                                  | 7            | 7            | 9              | 6           | 7                | 7              | 6.6                        | 7.7              | 8.9            | 6.4                        | 7.4              | 8.2            |
| NGO                                                                                      | 5                                  | 7            | 8            | -              | -           | 7                | 8              | 4.6                        | 6.6              | 8              | 4.4                        | 6.4              | 7.3            |

Même si les critères diffèrent quelque peu entre le CEREMA, le canton du Jura et la VSS 40 525, le code couleur du Tab x permet de distinguer :

- **Les routes « urbaines »** : Routes RL pour le canton du Jura et routes limitées à 50km/h pour la VSS 40 525. A noter que les routes urbaines ne sont pas soumises à des valeurs de réception dans la réglementation française.
- **Les routes « inter-urbaines » (hors autoroutes)** : Routes RL pour le canton du Jura et routes limitées à 80km/h pour la VSS 40 525 et à 90km/h pour le CEREMA.
- **Les autoroutes** : Routes à vitesse supérieure à 80km/h pour la VSS 40 525 et routes limitées à 110 ou 130km/h pour le CEREMA.

De manière générale, on constate que le canton du Jura propose les valeurs de réception les plus sévères (valeur NPO de 8 et valeur NMO de 9).

Les valeurs de la VSS 40 525 et du CEREMA sont assez semblables, même si dans certains cas le CEREMA propose des valeurs de réception d'un voire 2 points inférieurs aux valeurs de réception de la VSS 40 525.

Les valeurs proposées par le mandat de recherche sont en général situées entre les valeurs du CEREMA / VSS 40 525 et celles du canton du Jura.

### Comparaison des gains

La comparaison des gains potentiels absolus de valeurs NBO déduits des recommandations du Cerema, du canton de Jura et de la norme VSS 40525 figurent dans le tableau Tab x.

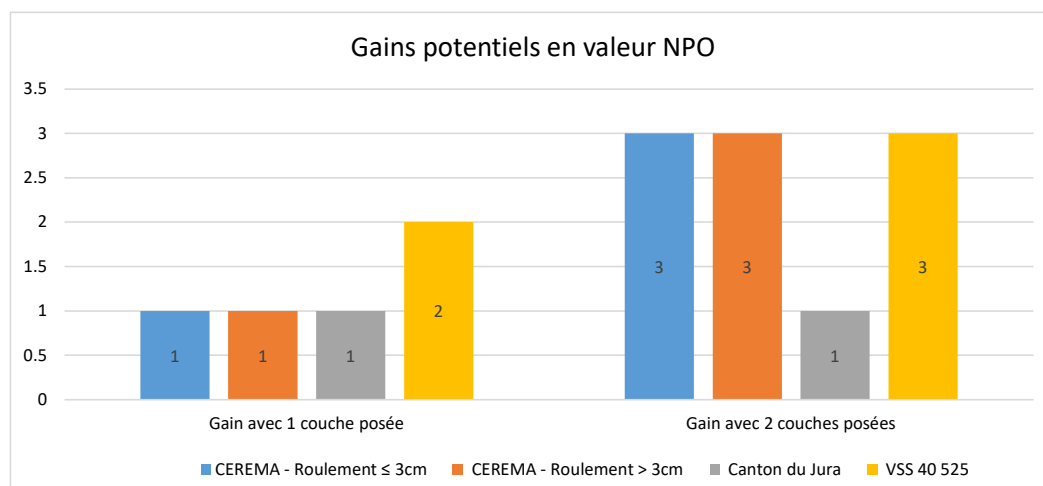
Les gains retenus sont :

- « **CEREMA – Roulement  $\leq 3$  cm** » : gains potentiels pour travaux de construction avec couche de roulement d'épaisseur  $\leq 3$  cm
- « **CEREMA - Roulement  $> 3$  cm** » : gains potentiels pour travaux de construction avec couche de roulement d'épaisseur  $> 3$  cm
- « **Canton du Jura** » : gains potentiels pour seuils de conformité
- « **VSS 40 525** » : Améliorations maximales des valeurs après pose d'1, 2, ou 3 couches bitumineuses.

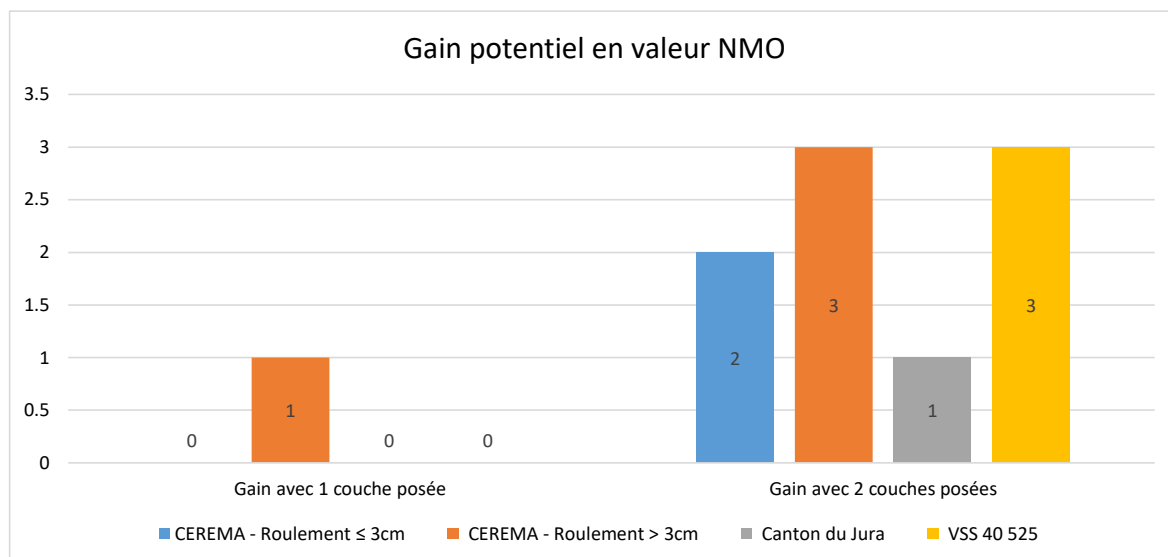
**Tab. 12** Gains potentiels absolus NBO – Comparaison entre recommandations LCPC et recommandations du canton du Jura

| Valeur d'état | Gains potentiels absolus en fonction du nombre de couchées posées<br>Comparaison des gains potentiel selon<br>CEREMA - Roulement $\leq 3$ cm / CEREMA – Roulement $> 3$ cm / Canton du Jura / VSS 40 525 |               |               |               |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|               | Nombre de couche posées                                                                                                                                                                                  |               |               |               |
|               | 4                                                                                                                                                                                                        | 3             | 2             | 1             |
| NPO [-]       | - / - / - / -                                                                                                                                                                                            | - / - / - / 3 | 3 / 3 / 1 / 3 | 1 / 1 / 1 / 2 |
| NMO [-]       | - / - / - / -                                                                                                                                                                                            | - / - / - / 3 | 2 / 3 / 1 / 3 | 0 / 1 / 0 / 0 |
| NGO [-]       | 2 / 2 / - / -                                                                                                                                                                                            | 1 / 1 / - / - | 0 / 0 / - / - | 0 / 0 / - / - |

Les graphiques suivants permettent de comparer les gains pour chacun des référentiels pour les valeurs NBO en petites ondes et en moyennes ondes :



**Fig. 13** – Comparaison des gains potentiels absolus en valeurs NPO



**Fig. 14 – Comparaison des gains potentiels absolus en valeurs NMO**

Cette comparaison permet de faire les constatations suivantes :

- Le CEREMA fait une distinction des gains potentiels absolus en fonction de l'épaisseur de couche de roulement (inférieur ou supérieur à 3 cm) alors le canton du Jura et la VSS 40 525 n'en font pas.
- Valeurs NPO :
  - Pour une couche posée, le gain proposé par la VSS (+2 points) est le plus élevé. Le Canton du Jura et le CEREMA proposent un gain de 1 point.
  - Avec 2 couches posées, le canton du Jura propose un potentiel de gain de 1 point et est donc plus sécuritaire que le CEREMA et la VSS 40 525 qui indiquent des gains potentiels bien plus élevés (+2 points)
  - On observe que l'épaisseur de la couche de roulement (inférieur ou supérieur à 3 cm) n'a pas d'influence sur les gains proposés par le CEREMA pour les valeurs NBO en petites ondes.
- Valeurs NMO :
  - Pour une couche posée, le CEREMA est le seul à proposer un gain (+1 point si l'épaisseur de la couche de roulement est supérieure ou égale à 3cm)
  - Le gain des valeurs NBO pour les moyennes ondes est proposé par tous les référentiels en cas de 2 couches posées. Il varie entre +1 point pour le canton du Jura et +3 points pour la VSS 40525 et le CEREMA avec une épaisseur de la couche de roulement est supérieure ou égale à 3cm)
- Valeurs NGO :
  - Seuls le CEREMA propose des gains pour les valeurs NBO en grandes ondes et dans le cas où 3 ou 4 couches sont posées (+1 point pour 3 couches posées et + 4 points pour 4 couches posées). Implicitement, on admet que les valeurs de réception sont déjà obtenues sur la surface de couche n-2 et que la pose des deux dernières couches ne permet d'améliorer les valeurs NGO.

### 2.7.3 Autres valeurs d'état

Pour les autres valeurs d'état que sont l'IRI, le DBW et le SBW, aucune valeur de réception ne figure dans la normalisation suisse pour ces valeurs d'état – Des propositions de valeurs de réception figurent dans le mandat de recherche VSS 2016-322 [-] selon différentes méthodologies et sont rappelées dans le tableau 13 :

**Tab. 13** Valeurs de réception proposées par le mandat de recherche VSS 2016-322

| Proposition   | Type de route selon SN 640 521c                                         | Vitesse maximale d'utilisation du tronçon selon VSS 40 525 | Valeur d'état |             |             |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|-------------|-------------|
|               |                                                                         |                                                            | IRI<br>[m/km] | SBW<br>[mm] | DBW<br>[mm] |
| Proposition a | Routes à grand débit RGD                                                | > 80km/h                                                   | 1.4           | 3.7         | 22.1        |
|               | Routes principales RP                                                   | 60... 80 km/h                                              | 1.8           | 4.9         | 29.2        |
|               | Routes de liaison RL<br>Routes collectrices RC<br>Routes de desserte RD | ≤ 50km/h                                                   | 2.4           | 6.9         | 41.5        |
|               | Routes à grand débit RGD                                                | > 80km/h                                                   | 1.6           | 4.2         | 25.2        |
| Proposition b | Routes principales RP                                                   | 60... 80 km/h                                              | 1.9           | 5.1         | 30.6        |
|               | Routes de liaison RL<br>Routes collectrices RC<br>Routes de desserte RD | ≤ 50km/h                                                   | 2.5           | 7.2         | 43.2        |
|               |                                                                         |                                                            |               |             |             |

Dans le futur, il est donc possible que des valeurs de réception issues de ce mandat de recherche soient intégrées dans la normalisation suisse.

Aucune étude sur les gains potentiels par couche posée n'a été trouvée dans la littérature pour ces valeurs d'état.



## 3 Description du matériel

### 3.1 Introduction

Pour les mesures de la planéité longitudinale, un véhicule de mesure multifonctionnel de type ARAN (Automatic Road Analyzer) a été utilisé. En janvier 2019, l'ancien véhicule ARAN utilisé pendant la période de 2011 – 2018 est remplacé par un nouveau véhicule ARAN. Le chapitre 3.2 est un descriptif de l'appareil de mesure utilisé jusqu'à fin 2018. Le nouveau véhicule de mesure est décrit au chapitre 3.3. L'assurance qualité est traitée au chapitre 3.4. De très nombreuses mesures comparatives ont été effectuées pour assurer la reproductibilité entre les deux véhicules et systèmes de mesure (voir chapitre 3.5). Une synthèse se trouve au chapitre 3.6.

### 3.2 Véhicule de mesure utilisé jusqu'à fin 2018

Ce véhicule multifonctionnel permet de relever simultanément la planéité longitudinale et transversale, la macrotexture, la géométrie de la route (devers, pente, rayon courbures), des images numériques en avant, en arrière et perpendiculairement à la route et les coordonnées GPS. Les mesures peuvent s'effectuer à une vitesse allant de 0 à 110 km/h.



**Fig. 15** – Emplacement des capteurs de mesures de planéité longitudinale

Pour caractériser la planéité longitudinale, le véhicule relève un profil longitudinal en 2D au moyen d'un laser et d'un accéléromètre dans chaque trace de roue (voir flèches noires sur image ci-dessus). Ce principe de mesure est appelé SDP pour South Dakota Profilometer : le principe de mesures a été conçu dans cet état américain. Le principe de mesure est décrit en détail dans le "Transportation Research Record" N° 1000 "South Dakota Profilometer" [23] et le rapport de recherche 2004/703 [12].

### 3.3 Véhicule de mesure utilisé à partir de 2019

Le véhicule utilisé dans le cadre de ce mandat depuis janvier 2019 mesure et enregistre simultanément :

- Un profil en 3D de la chaussée. Ce profil permet de déterminer :
  - La planéité longitudinale
  - La planéité transversale
  - Les déformations localisées
  - La macrotexture

Ce profil permet également de détecter de nombreuses dégradations (70 – 80% des dégradations selon VSS 40 925) telles que les fissures, perte de matériaux, nids de poules etc.

- La géométrie de la route (dévers, pente, rayon de courbure)
- Les images 3D de la chaussée
- Les images en avant, en arrière et panoramiques à 360°

Tous les relevés et mesures sont géoréférencés et peuvent être effectués à une vitesse allant de 0 à 100 km/h donc sans entrave au trafic.

Pour la mesure de la planéité longitudinale, le véhicule ARAN est équipé d'un système de mesure composé de lasers, camera et accéléromètres, appelé LCMS (Laser Crack Measurement System), développé par l'entreprise canadienne Pavemetrics. Le système de mesure est basé sur le même principe de mesure (SDP, voir chapitre 2.1) que le système utilisé jusqu'à fin 2018.



**Fig. 16 – ARAN équipé de capteurs LCMS**

### Profil 3D

Les profils 3D de la chaussée sont relevés avec un maillage de 1x1mm<sup>2</sup> et ceci à des vitesses allant jusqu'à 100 km/h. En d'autres termes, les profils longitudinaux sont relevés tous les 1mm latéralement (largeur du profil 3D de 4m, soit 4000 profils) et avec un intervalle de 1mm.

L'équidistance entre les points constituant le profil transversal est de 1mm et l'intervalle entre les profils transversaux est de 1 mm.

Les profils 3D permettent donc de déterminer la planéité longitudinale et transversale à tout point de la voie de circulation.

Les valeurs d'état  $W$ ,  $s_w$ , IRI, NBO et BLP (voir chapitre 0) sont calculées au moyen des profils longitudinaux.

## **3.4 Assurance qualité**

### **3.4.1 Introduction**

D'après la norme ISO 9000 : 2015 [10], « l'assurance qualité représente l'ensemble des actions préventives et systématiques nécessaire pour répondre exactement aux besoins et attentes du client et améliorer la performance ».

Les actions préventives et systématiques relatives à un véhicule de mesure comme l'ARAN sont :

- Service de calibration et de maintenance des composants
- Mesures de répétabilité
- Mesures de reproductibilité

Toutes ces actions sont menées dans le cadre d'un système de qualité en place chez Infralab depuis 1994.

### **3.4.2 Accréditation SAS**

Infralab est propriétaire du véhicule de mesure ARAN et dispose des logiciels spécifiques pour l'exploitation des données de l'ARAN.

L'appartenance du véhicule de mesure ARAN au système de qualité d'Infralab a été officialisée le 30 avril 2013. A cette date, l'ARAN avec tous ses sous-systèmes a fait l'objet d'un audit de surveillance par le SAS. Depuis, ces essais ont fait l'objet d'audit de surveillance et de réaccréditation avec une fréquence conforme au document 709f [24] du SAS.

Les relevés suivants sont accrédités selon ISO/CEI 17025:2017. Ils sont inscrits dans le registre STS 090 et peuvent être consultés depuis notre site internet ou celui de la SAS ([www.sas.admin.ch](http://www.sas.admin.ch)) :

- Relevé des dégradations de surface selon VSS 40 925
- Relevé de la planéité longitudinale selon VSS 40 517
- Relevé de la planéité transversale selon VSS 40 518
- Relevé de la profondeur moyenne de texture (PMT) selon SN EN ISO 13473-1
- Relevé de la profondeur moyenne de profil (PMP) selon SN EN 13036-1

### 3.4.3 Calibration & maintenance systématique

Un service systématique de calibration et de maintenance est effectué, en principe au début de l'année, par un technicien qualifié du fournisseur du véhicule, Fugro Roadware du Canada.

Lors de service tous les composants du système sont nettoyés et vérifiés et tous les composants de mesure sont calibrés. La calibration du LCMS-2 est l'étape la plus importante.

Des mesures de répétabilité sont effectuées, en principe au dernier jour du service, sur un tronçon test se trouvant devant nos locaux. Les résultats de ces mesures deviendront la référence pour toutes les mesures de répétabilité de l'année.

La calibration de l'odomètre est effectuée tous les 5'000 km par un technicien de l'entreprise sur un tronçon d'une longueur de 1 km relevé par un géomètre.

### 3.4.4 Répétabilité et reproductibilité

La norme ISO 3534-1 donne les définitions de répétabilité et reproductibilité.

Les essais de répétabilité sont effectués en utilisant la même méthode sur des individus d'essai identiques dans le même laboratoire, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps.

Les essais de reproductibilité sont effectués en utilisant la même méthode sur des individus d'essais identiques dans différents laboratoires, avec différents opérateurs et utilisant des équipements différents.

#### Répétabilité

En principe, les mesures de répétabilité sont effectuées au moins deux fois et au maximum tous les 3 jours sur un tronçon test. Les résultats sont comparés entre eux et par rapport à la référence définie à la fin du service annuel de calibration et de maintenance (voir chapitre 3.4.3).

Les mesures de répétabilité sont également effectuées dans le cadre de mesures de réception. L'objectif de faire les mesures de réception deux fois de suite est d'une part pour s'assurer de la bonne répétabilité de l'appareil de mesure et d'autre part pour avoir une confirmation en cas de non-respect d'une valeur de réception.

#### Reproductibilité

La reproductibilité de l'appareil de mesure est vérifiée via des mesures comparatives effectuées aux Pays-Bas, organisées par la plateforme de connaissance CROW qui organisent de nombreuses mesures / essais comparatives au niveau national et européennes. Une dizaine d'appareils de mesure participent à ces mesures comparatives, organisées en été de chaque année.

La reproductibilité dans le domaine de la planéité longitudinale est également évaluée via des mesures comparatives avec un Analyseur de Profil en long (APL), un appareil répandu en France.

Le véhicule de mesure ARAN a également participé aux premières mesures comparatives dans le domaine de la planéité longitudinale, organisées par l'association ALA en mars 2020.

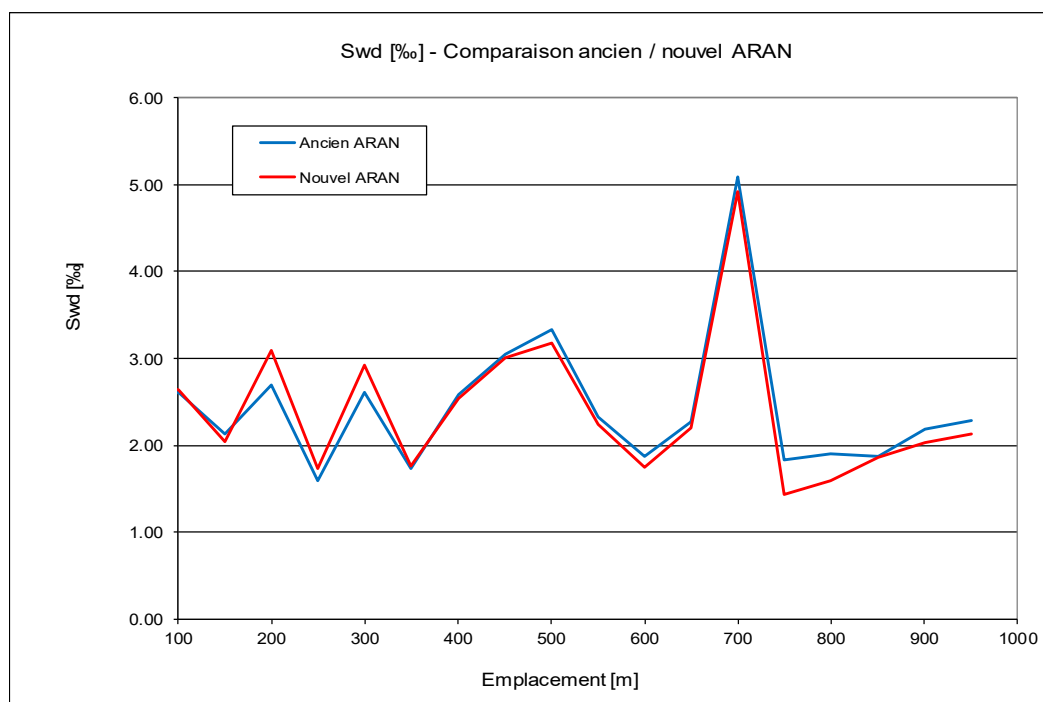
### 3.5 Reproductibilité entre ancien et nouveau véhicule de mesure

Fin 2018, l'ancien véhicule de mesure ARAN a été remplacé pour un nouveau véhicule de mesures ARAN. De très nombreuses mesures comparatives ont été effectuées pour assurer la reproductibilité entre les deux véhicules de mesure. Les mesures ont été effectuées le 12 décembre 2018 avec l'ancien ARAN et le 21 février 2019 avec le nouvel ARAN sur 1 km de route cantonale entre Servion et Mézières.

Les graphiques ci-après représentent la moyenne des valeurs  $s_w$  mesurées avec l'ancien et le nouvel ARAN.



**Fig. 17** – Valeur  $s_w$  dans la trace de roue gauche



**Fig. 18** – Valeur  $s_w$  dans la trace de roue droite

**Tab. 14** Tableau de synthèse et analyse de la reproductibilité

| Valeur d'état                                | $s_{wg}$ moyen | $s_{wd}$ moyen |
|----------------------------------------------|----------------|----------------|
| Unité                                        | [‰]            | [‰]            |
| Ancien ARAN                                  | 1.74           | 2.45           |
| Nouvel ARAN                                  | 1.67           | 2.42           |
| Ecart absolu – Ancien ARAN /<br>Nouvel ARAN  | 0.07           | 0.03           |
| Ecart relatif – Ancien ARAN / Nouvel<br>ARAN | 4.2%           | 1.2%           |
| Ecart absolu - Exigences de<br>répétabilité  | 0.1            | 0.1            |
| Ecart relatif - Exigences de<br>répétabilité | 5%             | 5%             |
| Respect des exigences ?                      | OK             | OK             |

Aucun critère de reproductibilité n'est fixé dans la normalisation suisse pour les mesures de planéité longitudinale. Le critère retenu est celui utilisé dans le cadre de l'accréditation de l'ancien ARAN.

Les exigences de reproductibilité pour les valeurs  $s_w$  entre ancien et nouvel ARAN sont respectées.

**Cela signifie que le nouvel ARAN permet de restituer des valeurs  $s_w$  comparables à celles fournies par l'ancien ARAN.**

## 3.6 Synthèse

Toutes les mesures de planéité longitudinale ont été effectuées avec un véhicule de mesure de type ARAN, à part les mesures sur la N5 qui sont effectuées avec un APL (Analyseur de Profil en Long).

Pour la mesure de la planéité longitudinale Le véhicule de mesure ARAN utilise la méthode de mesure une combinaison d'un accéléromètre et d'un laser – SDP (South Dakota Profilometer).

Le véhicule de mesure ARAN fait partie du système de qualité d'Infralab depuis 2013.

Fin 2018, le véhicule de mesure a été intégralement remplacé par un nouveau véhicule de mesure équipé de composants de « dernier cri ».

De très nombreux essais comparatifs entre les deux appareils de mesure ont démontré que les résultats sont tout à fait comparables.

## 4 Plan de campagne

### 4.1 Procédure de sélection des tronçons

Le mandat prévoyait 20 interventions de mesures de planéité longitudinale complétées par un certain nombre d'interventions sur couche de roulement (mesures de réception) effectuées dans le cadre d'autres mandats. Par exemple, les interventions sur les couches sous-jacentes de la RC 177 ont été effectuées dans le cadre de ce mandat tandis que les interventions sur la couche de roulement l'ont été dans le cadre d'un mandat direct avec le Canton de Vaud. Une intervention correspond à des mesures de planéité longitudinale sur une couche bitumineuse.

Afin de définir l'influence de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale, les mesures ont été effectuées, dans la mesure du possible, sur différents types de route (RGD, RP ou RL/RC/RD) et sur des tronçons où :

- Des épaisseurs différentes ont été mise en œuvre
- Différentes méthodes de pose ont été utilisées

De plus, les tronçons ont été sélectionnés de manière à obtenir des mesures réparties géographiquement sur plusieurs cantons de la Suisse Romande.

Par chantier, plusieurs interventions sont nécessaires pour caractériser la planéité longitudinale des différentes couches. Dans le cas où une seule couche de roulement est posée, 2 interventions suffisaient sur les couches n et n-1). Dans le cas de la RC177-T3 où 4 couches bitumineuses ont été posées, 4 interventions ont été nécessaires pour mesures la planéité longitudinale sur les couches n, n-1, n-2 et à n-3.

En plus des mesures effectuées dans le cadre du mandat de recherche, des résultats d'interventions antérieures ont été utilisées (N5, N1 et H10).

#### 4.1.1 Répartition géographique

Les tronçons retenus sont répartis géographiquement sur le territoire de la suisse romande.

**Tab. 15 Répartition des tronçons par canton**

| Canton | Nombre de tronçons | Nom des tronçons                            |
|--------|--------------------|---------------------------------------------|
| FR     | 4                  | RC2220, RC2500, RC1400, RC1500              |
| NE     | 1                  | H10                                         |
| VD     | 7                  | RC177-T3 et T4, RC701, RC726, RC251, N1, N5 |
| VS     | 1                  | Piste Aéroport de Sion                      |

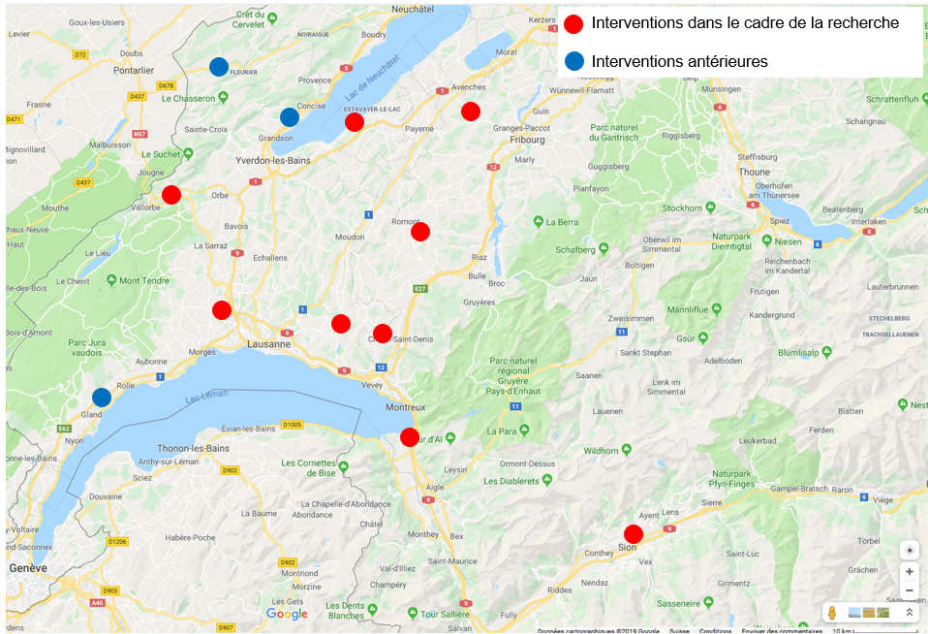


Fig. 19 – Localisation des tronçons

La localisation précise des débuts et fins de tronçon figurent en Annexe I.

4.1.2 Répartition par type de route

Tab. 16 Répartition des tronçons par type de route

| Type de route selon SN 640 521c | Vitesse maximale d'utilisation du tronçon selon VSS 40 525 | Nombre de tronçons | Nom des tronçons                         |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|
| RGD                             | >80km/h                                                    | 2                  | N1, N5                                   |
| RP                              | 60 - 80km/h                                                | 6                  | RC177-T3 et T4, RC701, RC726, RC251, H10 |
| RC                              | <=50km/h                                                   | 4                  | RC2220, RC2500, RC1400, RC1500           |
| Piste                           | -                                                          | 1                  | Piste Aéroport de Sion                   |

### 4.1.3 Répartition par nombre de couches mesurées

Le nombre de couches mesurées par tronçon dépendait de nombre de couche mises en œuvre.

**Tab. 17** Répartition des tronçons par nombre de couches bitumineuses mesurées

| Nombre de couches mesurées | Nombre de tronçons | Nom des tronçons                                              |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| 2                          | 6                  | RC2220, RC2500, RC1400, RC1500, N1, RC701, H10 <sup>(*)</sup> |
| 3                          | 4                  | RC177-T4, RC726, RC251, Piste Aéroport de Sion                |
| 4                          | 1                  | RC177-T3                                                      |
| 5                          | 1                  | N5                                                            |

*(\*) Pour la H10 mesurée en 2014, soit une intervention antérieure au mandat de recherche, seules des mesures de planéité longitudinale sur les couches n-2 et n avaient été programmées d'entente avec le client.*

Pour la moitié des tronçons, seules 2 couches ont été mesurées permettant d'évaluer le gain de planéité uniquement pour la couche de roulement.

Pour l'autre moitié des tronçons, plus de 2 couches ont été mesurées ce qui permet d'évaluer le gain en planéité de couches sous-jacentes (couche de liaison, couche de base, voire couche de fondation pour la RC177-T3 et la N5).

## 4.2 Description des tronçons

Le tableau ci-après contient les informations concernant les tronçons testés et les interventions sur les différentes couches.

Au total 28 interventions ont été réalisées pendant la durée du mandat de recherche, dont 22 dans le cadre du mandat de recherche et 6 dans le cadre de mandats directs avec le Canton de Vaud (mesures de réception sur couche de roulement, couche n).

A cela s'ajoute les 24 séries de mesures réalisées lors de projet antérieurs.

Le tableau permet de rendre compte du nombre réduit de mesures effectuées sur les couches n-3 et n-4. En effet, ce type de réfection avec plus de 3 couches de matériaux bitumineux posées est peu courant et il était donc difficile de pouvoir rencontrer ce type de chantier pour nos mesures.

**Tab. 18** Caractéristiques des tronçons relevés et inventaire des couches testées

| Canton                                                                | Tronçon        | Lieu                               | De     | A      | Direction | Nombre<br>de voies<br>par<br>direction | Longueur<br>[km] | Année<br>chantier | Intervention sur<br>couches |     |     |     |                                                         | Remarques                                                                                                              |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|----------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                       |                |                                    |        |        |           |                                        |                  |                   | n-4                         | n-3 | n-2 | n-1 | n                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | RC 177 -<br>T3 | Vufflens-la-<br>Ville -<br>Penthaz | 10.363 | 12.250 | +/-       | 1                                      | 3.774            | 2018/<br>2019     |                             | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                                                       | Couche n-2<br>rabotée entre<br>les km 10.750<br>et 11.550                                                              |                                                 |
| VD                                                                    | RC 177 -<br>T4 | Vufflens-la-<br>Ville -<br>Penthaz | 12.350 | 13.830 | +/-       | 2                                      | 5.920            | 2018/<br>2019     |                             |     | ✓   | ✓   | ✓                                                       | Couche n-2<br>rabotée entre<br>les km 12.950<br>et 13.750                                                              |                                                 |
| FR                                                                    | RC 2220        | Misery                             | 2.091  | 3.11   | +/-       | 1                                      | 2.038            | 2018              |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| FR                                                                    | RC 2500        | Cheyres                            | 11.558 | 13.355 | +/-       | 1                                      | 3.594            | 2018              |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| FR                                                                    | RC 1400        | Vuisternens-<br>dt-Romont          | 20     | 21.015 | +/-       | 1                                      | 2.030            | 2018              |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| VS                                                                    | Piste Sion     | Aéroport de<br>Sion                | 0      | 0.29   | +         | 15                                     | 4.350            | 2018              |                             |     | ✓   | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | RC 701         | Forel                              | 9.86   | 12.2   | +/-       | 1                                      | 4.680            | 2018              |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| FR                                                                    | RC 1500        | Bossonnens                         | 5.65   | 6.4    | +/-       | 1                                      | 1.500            | 2018              |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | RC 726         | Rennaz                             | 0.25   | 0.9    | +         | 1                                      | 0.650            | 2018/<br>2019     |                             |     |     | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | RC 726         | Rennaz                             | 0.9    | 0.25   | -         | 1                                      | 0.650            |                   |                             | (✓) | ✓   | ✓   | Couche n-2<br>rabotée avant<br>pose de la<br>couche n-1 |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | RC 251         | Les Clées -<br>Vallorbe            | 27.74  | 28.615 | +/-       | 1                                      | 1.750            | 2018/<br>2019     |                             |     | ✓   | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| Total - interventions pendant<br>la durée du mandat de recherche [km] |                |                                    |        |        |           |                                        | 30.936           |                   |                             |     |     |     |                                                         |                                                                                                                        |                                                 |
| VD                                                                    | N1             | Lausanne<br>Genève                 | 25.200 | 26.600 | Lac       | 2                                      | 2.800            | 2015              |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      | 15<br>interventions<br>sur couches n-<br>1 et n |
|                                                                       |                |                                    | 26.800 | 28.900 | Lac       | 2                                      | 4.200            |                   |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      |                                                 |
|                                                                       |                |                                    | 38.800 | 36.770 | Jura      | 2                                      | 4.060            |                   |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      |                                                 |
|                                                                       |                |                                    | 28.900 | 32.405 | Lac       | 2                                      | 7.010            |                   |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      |                                                 |
|                                                                       |                |                                    | 32.400 | 34.835 | Lac       | 2                                      | 4.870            |                   |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      |                                                 |
|                                                                       |                |                                    | 34.835 | 39.000 | Lac       | 2                                      | 8.330            |                   |                             |     |     |     | ✓                                                       | ✓                                                                                                                      |                                                 |
| VD                                                                    | N5             | Grandson -<br>Concise              | 10.000 | 15.500 | +/-       | 2                                      | 22.000           | 2004/<br>2005     | ✓                           | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                                                       | Pas de profils,<br>seulement<br>valeurs s <sub>w</sub><br>disponibles<br>Interventions<br>partielles sur<br>n-4 et n-3 |                                                 |
|                                                                       |                |                                    | 15.500 | 19.000 | +/-       | 2                                      | 14.000           |                   | ✓                           | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                                                       |                                                                                                                        |                                                 |
| NE                                                                    | H10            | St.Sulpice                         | 6.430  | 7.195  | +         | 1                                      | 0.765            | 2014              |                             |     | ✓   |     | ✓                                                       | Pas de mesure<br>sur la couche<br>n-1                                                                                  |                                                 |
| Total - interventions antérieures [km]                                |                |                                    |        |        |           |                                        | 60.035           |                   |                             |     |     |     |                                                         |                                                                                                                        |                                                 |
| Total [km]                                                            |                |                                    |        |        |           |                                        | 98.971           |                   |                             |     |     |     |                                                         |                                                                                                                        |                                                 |

### 4.3 Caractéristiques des couches posées

Le tableau ci-après contient les informations concernant les couches posées et pour lesquelles des mesures avant et après pose sont disponibles : épaisseurs et type de couche, méthode de pose.

**Tab. 19** Caractéristiques des couches posées par tronçon (épaisseurs et types de matériaux, méthodes de pose)

| Tronçon                                               | Longueur<br>[km] | Epaisseur<br>couche [mm] |     |     |    | Type de<br>couche posée |        |              |                     | Méthode<br>de pose |     |     |    | Remarques |                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|-----|-----|----|-------------------------|--------|--------------|---------------------|--------------------|-----|-----|----|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       |                  | n-3                      | n-2 | n-1 | n  | n-3                     | n-2    | n-1          | n                   | n-3                | n-2 | n-1 | n  |           |                                                                                                                                                                 |
|                                                       |                  |                          |     |     |    |                         |        |              |                     |                    |     |     |    |           |                                                                                                                                                                 |
| Interventions pendant la durée du mandat de recherche |                  |                          |     |     |    |                         |        |              |                     |                    |     |     |    |           |                                                                                                                                                                 |
| RC 177 -<br>T3                                        | 3.774            |                          | 80  | 40  | 25 |                         | ACT22S | ACB11S       | ACMR8-VD            |                    |     | 3D  | PO | VC        | Couche n-2<br>rabotée entre les<br>km 10.750 et<br>11.550 avant<br>pose de la<br>couche n-1 / Les<br>couches n et n-1<br>ont été posées<br>avec<br>alimentateur |
| RC 177 -<br>T4                                        | 5.920            |                          |     | 40  | 25 |                         |        | ACB11S       | ACMR8-VD            |                    |     |     | PO | VC        | Couche n-2<br>rabotée entre les<br>km 12.950 et<br>13.750 avant<br>pose de la<br>couche n-1 / Les<br>couches n et n-1<br>ont été posées<br>avec<br>alimentateur |
| RC 2220                                               | 2.038            |                          |     |     | 40 |                         |        |              | Sapaphone4          |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| RC 2500                                               | 3.594            |                          |     |     | 40 |                         |        |              | Famsi-<br>phonogrip |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| RC 1400                                               | 2.030            |                          |     |     | 40 |                         |        |              | Famsi-<br>phonogrip |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| Piste Sion                                            | 4.350            |                          |     | 80  | 40 |                         |        | ACB22S       | AC11S               |                    |     |     | PO | VC        | Couche n-1<br>posée avec<br>poutre laser                                                                                                                        |
| RC 701                                                | 4.680            |                          |     |     | 30 |                         |        |              | ACMR8-VD            |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| RC 1500                                               | 1.500            |                          |     |     | 40 |                         |        |              | Famsi-<br>phonogrip |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| RC 726                                                | 0.650            |                          |     |     | 30 |                         |        |              | ACMR8-VD            |                    |     |     |    | NR        | Couche n-2<br>rabotée avant<br>pose de la<br>couche n-1                                                                                                         |
| RC 251                                                | 1.750            |                          |     | 60  | 40 |                         |        | ACB16S       | ACMR8-VD            |                    |     |     | 3D | VC        |                                                                                                                                                                 |
| Interventions antérieures                             |                  |                          |     |     |    |                         |        |              |                     |                    |     |     |    |           |                                                                                                                                                                 |
| N1                                                    | 31.270           |                          |     |     | 35 |                         |        |              | SDA8A               |                    |     |     |    | VC        |                                                                                                                                                                 |
| N5                                                    | 36.000           | 105                      | 80  | 80  | 40 | ACF32                   | ACT22S | ACT22S       | PA11 ou<br>ACMR11   | NR                 | NR  | NR  | NR |           |                                                                                                                                                                 |
| H10                                                   | 0.765            |                          |     | 60  | 40 |                         |        | AC B 16<br>S | AC 11 S             |                    |     |     | NR | NR        |                                                                                                                                                                 |

Les informations relatives aux méthodes de pose présentent un intérêt car les techniques utilisées ont en théorie des influences différentes sur l'amélioration de la planéité longitudinale. Certaines informations, principalement pour les interventions antérieures, n'ont pas pu nous être renseignées (code NR).

Le tableau 20 présente la synthèse des nombres de chantiers par méthode de pose disponibles dans le cadre de ce mandat.

**Tab. 20 Répartition des chantiers par méthode de pose**

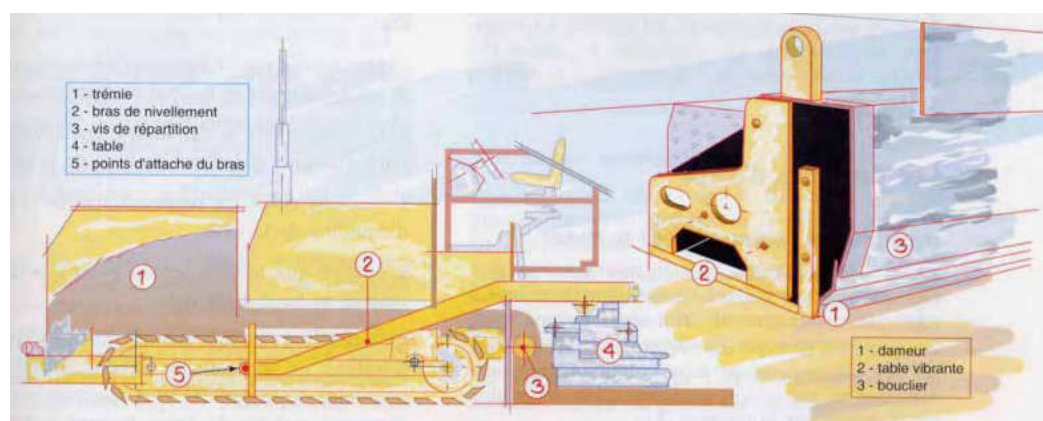
| Code | Méthode de pose<br>Système de nivellement /<br>Guidage                                              |                                                     | Nombre de chantier |               |               |             | Ensemble<br>de couche |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------|---------------|-------------|-----------------------|
|      |                                                                                                     |                                                     | Couche<br>n-3      | Couche<br>n-2 | Couche<br>n-1 | Couche<br>n |                       |
| 3D   | 3D                                                                                                  | Guidage par<br>référence<br>spatiale                | 0                  | 0             | 3             | 0           | 3                     |
| PO   | Poutre                                                                                              | Guidage par<br>rapport à un<br>ouvrage<br>construit | 0                  | 1             | 1             | 0           | 2                     |
| VC   | Vis calée                                                                                           | Absence de<br>guidage                               | 0                  | 0             | 0             | 10          | 10                    |
| NR   | Non renseigné<br>(Principalement<br>concernant les projets<br>antérieurs au mandat de<br>recherche) |                                                     | 1                  | 1             | 2             | 3           | 7                     |

Les méthodes de pose rencontrées sur dans le cadre de ce mandat sont au nombre de 3 : Pose 3D, pose à la poutre (PO) et pose en vis calée (VC).

#### Méthode de pose en Vis calées :

Cette méthode consiste à poser une couche avec une épaisseur de matériaux bitumineux constante. Pour ce faire, les points d'attache du bras de nivellement du finisseur sont maintenus constants, et la table est alors positionnée à une hauteur fixe par rapport au support de la couche posée (voir fig. 14).

En mode « vis calées », le finisseur suit la forme du support et en reproduit les éventuels défauts : en théorie, seules les petites ondes peuvent être améliorées. Cette technique est donc utilisée principalement en couche de roulement, dès lors que la planéité longitudinale sur le support est jugée suffisante. Dans le cadre de ce mandat et pour les tronçons renseignés, toutes les couche de roulement ont été posées en vis calée.



**Fig. 20 – Représentation des éléments essentiels du finisseur (LCPC [25])**

#### Méthode de pose à la poutre :

Contrairement au mode « vis calées », la hauteur de la table du finisseur est réglée en fonction d'une poutre située en amont et en aval de la mise en œuvre de la couche, appelée poutre enjambeuse. Cette poutre est équipée soit de palpeurs mécaniques, soit de capteurs à ultrasons (on parle alors de poutre virtuelle). Les palpeurs vont lire les variations entre les deux valeurs (amont et aval) et corriger le nivellement dans le profil en long. La longueur de la poutre peut varier entre 9m et 18m et a pour but de corriger les grandes et moyennes ondes.

Un guidage avec une poutre virtuelle, avec palpeurs à ultrasons, a été utilisée pour les couches n-1 des tronçons de la RC177 et de la piste de Sion.



**Fig. 21** – Exemple de poutre enjambeuse pour la pose de la couche n-1 sur la RC177 (© Eric Frigière)

#### Méthode de pose 3D :

Une station totale robotisée (ou système 3D) transmet les coordonnées X, Y, Z du niveau de la couche à poser au finisseur, qui peut régler l'altimétrie et la pente de la table en temps réel. Cette technique nécessite un travail préparatoire important en amont, avec la compétence d'un géomètre. Elle a pour but de corriger les défauts de grandes et moyennes ondes et est donc utilisée pour la pose de couches sous-jacentes. Cette méthode a été utilisée sur la RC177 (pose de la couche n-2) et sur la RC251 (pose de la couche n-1).



**Fig. 22** – Pose 3D de la couche n-2 sur la RC177, avec station totale robotisée (© Eric Frigière)

Autres méthodes de pose :

D'autres systèmes de guidage du finisseur existent mais n'ont pas été rencontrés dans le cadre de ce mandat, par exemple :

- Guidage sur fil : la référence est donnée par un fil tendu en bord de chaussée sur lequel le finisseur vient palper pour réaliser la mise en œuvre de la couche. Cette méthode est toutefois de moins en moins utilisée.
- Guidage laser : Le plan de référence est donné par un laser tournant qui est détecté par le finisseur. Cette solution est plutôt utilisée pour la réalisation de plateformes (places de parking, surfaces aéroportuaires...).

Hormis l'influence du guidage du finisseur sur la planéité longitudinale, d'autres facteurs importants sont à considérer :

- **Utilisation d'un alimentateur ou véhicule à transfert de matériaux (VTM)**  
Ces véhicules de chantiers assurent la liaison lors du transfert des matériaux bitumineux entre les camions d'approvisionnement et le finisseur. Ils permettent d'améliorer la planéité longitudinale en raison d'une alimentation avec une vitesse d'avancement constante et d'une homogénéisation des caractéristiques de matériaux.



**Fig. 23** – Alimentateur entre les camions et le finisseur (© Eric Frigière)

- **Rabotage de couches posées**

Pour la RC 177 et RC 726, les données de planéité sur les sous-couches fournies au maître d'ouvrage ont permis de mettre en évidence des valeurs de planéité longitudinale insuffisantes en se basant sur les recommandations du Canton de Jura sur les couches sous-jacentes. Au regard de ces valeurs, des travaux de micro-rabotage ont été réalisés pour rectifier la planéité longitudinale avant pose des couches suivantes. Infralab n'ayant pas été prévenu à temps de ces rabotages, aucune mesure ARAN après rabotage et avant pose de la couche suivante n'a pu être effectuée : dans ce cas, le gain de planéité longitudinale pour cette couche posée est influencé par l'effet combiné du rabotage et de la pose de la couche en elle-même. Ces zones n'ont pas été prises en compte dans les analyses statistiques des chapitres 5.1 à 5.4 mais font l'objet d'une analyse spécifique dans le chapitre 5.5.1.

## 4.4 Gestion des contraintes de chantiers

### 4.4.1 Aléas de chantiers

Les séries de mesure réalisées sur plusieurs couches d'enrobé bitumineux ont nécessité une coordination étroite avec les entreprises de construction.

Si la mesure sur la couche *n* pose peu de problème (mesures effectuées après réouverture au trafic), les mesures sur les couches sous-jacentes ont révélé certaines difficultés. Souvent le laps de temps entre la pose de différentes couches (ou le laps de temps entre le rabotage et la pose de la nouvelle couche) est court. Le jour et l'heure des mesures était également difficilement prévisibles à l'avance en raison des modifications de planning liés aux aléas de chantier et aux aléas météorologiques. En contact direct avec le contremaître, Infralab s'est rendu flexible pour intervenir aux créneaux disponibles sans impacter le bon déroulement des chantiers.

Pour autant et malgré toutes ces précautions, les types d'imprévus suivants ont été rencontrés :

- Engin ou matériel de chantier sur la voie à relever : D'entente avec le contremaître et dans la mesure du possible, aucun engin ou matériel de chantier ne devait rester en stationnement sur les voies à relever lors de notre passage. Cependant, certains engins ou matériels ne pouvaient pas être déplacés dans notre créneau de mesure et

nous avons dû les contourner pendant nos mesures. Lors de l'exploitation de la planéité longitudinale, les données au niveau des ces contournements ont été écartés de l'analyse.



**Fig. 24** – RC177, Exemples de matériel à contourner



**Fig. 25** – Traversée de Cheyres – Matériels et engins à contourner

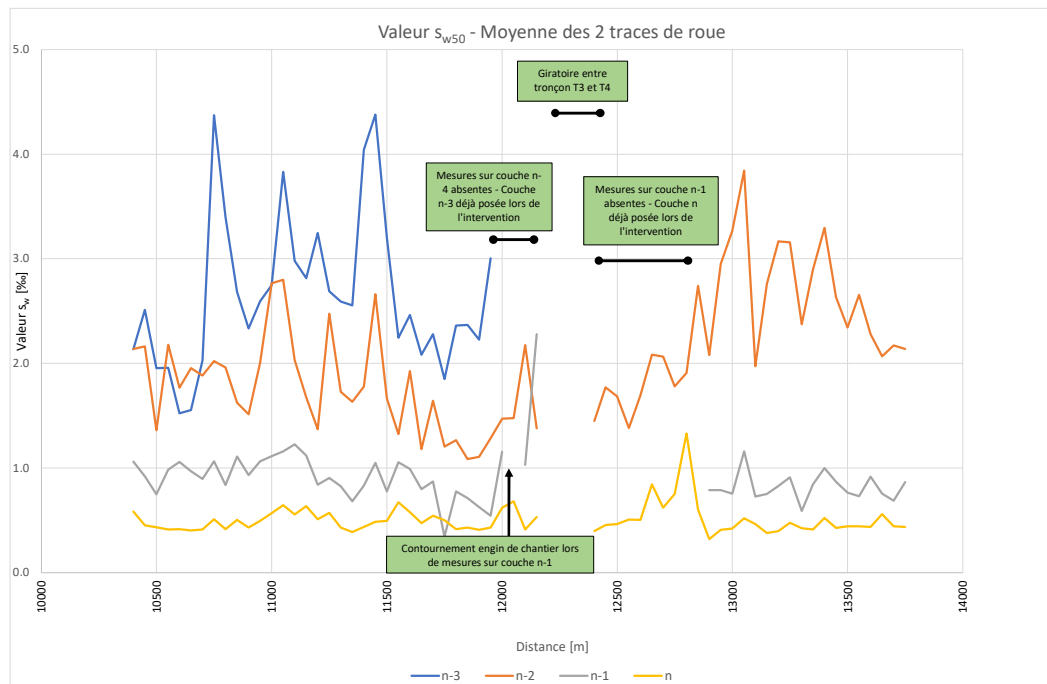
- Couches relevées ne correspondant pas à la couche annoncée : certaines poses de couche étaient effectuées sur plusieurs jours : lors de mesures sur une couche sous-jacente, nous avons parfois été contacté pour faire les mesures alors qu'une partie de la couche à mesurer avait déjà était revêtu par la couche suivante. Ces informations n'étaient pas toujours communiquées et c'est uniquement en consultant les images de l'ARAN et les données de planéité longitudinales que cela avait été détecté. Pour ces sections détectées, les données ont été écartées pour éviter de fausser les analyses.



**Fig. 26** – Traversée de Cheyres – Couche de roulement déjà posée sur 150m lors de l'intervention sur la couche n-1

- Couche sous-jacente rabotée avant pose de la couche suivante : RC177, RC726 : Comme décrit au chapitre 4.3, des travaux de rabotage ont été réalisés pour rectifier la planéité longitudinale avant pose des couches suivantes. Infralab n'ayant pas été prévenu à temps de ces rabotages, aucune mesure ARAN après rabotage et avant pose de la couche suivante n'a pu être effectuée. Ces zones ont été identifiées et font l'objet d'analyse spécifiques dans le chapitre 5.5.

Par conséquent, l'absence de données sur certains tronçons est visible sur les graphiques itinéraires, à l'exemple de ce graphique sur la RC177.



**Fig. 27** – Exemple d'absence de données sur graphe itinéraire avec motifs

La figure 27 témoigne de l'importance des contrôles des données avant d'effectuer les analyses. L'absence de ces contrôles conduirait à des données aberrantes liés à des motifs extérieurs à la pose des couches bitumineuses.

#### 4.4.2 Évènements particuliers

Certains évènements particuliers liés aux dispositions constructives du tronçon affectent la planéité longitudinale :

- Joints de pose entre revêtement neuf et existant
- Joints de pont
- Gendarmes couchés
- Regards et grilles dans les bandes de roulement

Ce mandat de recherche vise à estimer les gains de planéité liés à la pose des couches bitumineuses sans tenir compte de l'influence sur la planéité des évènements particuliers pour lesquels, en principe, l'entreprise ne peut pas être tenue responsable. Donc pour remplir cet objectif, les données de planéité longitudinale au niveau de ces évènements particuliers ont été exclus de l'analyse.



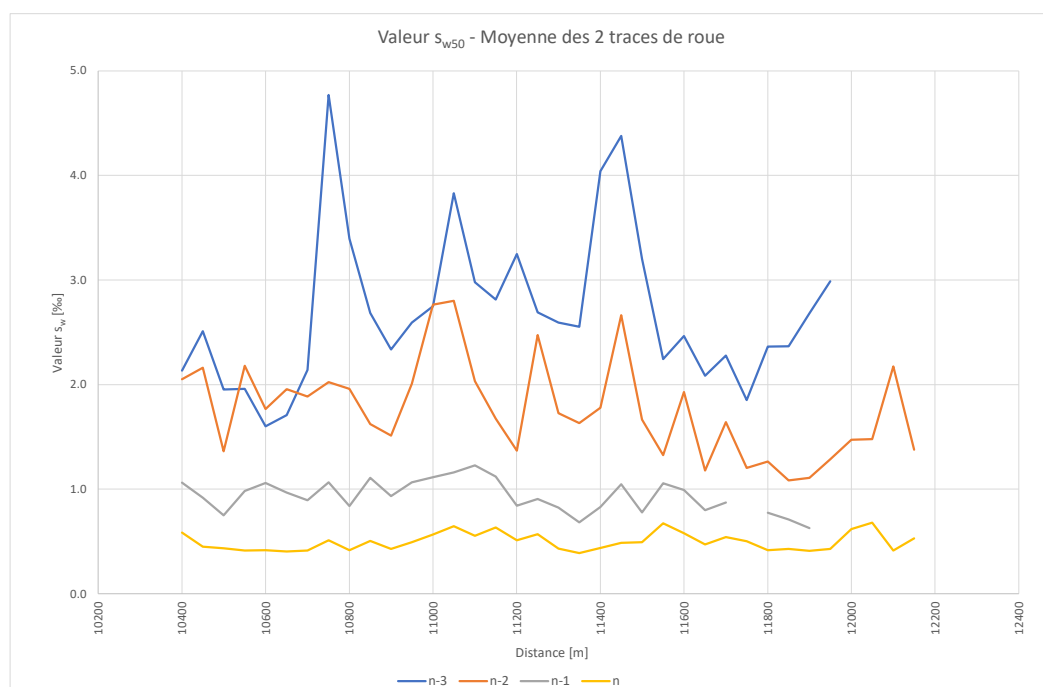
## 5 Résultats

### 5.1 Résultats de planéité longitudinale par tronçon

#### 5.1.1 Graphiques itinéraires

Les graphiques itinéraires pour chaque valeur d'état et pour chaque tronçon figurent en Annexe II.

A titre d'exemple, le graphique suivant représente les valeurs  $s_{w50}$  pour l'ensemble des couches testées sur le sens positif du tronçon T3 de la RC177. A l'exception de quelques valeurs ponctuelles, ce graphique permet de constater que les valeurs décroissent logiquement au fur et à mesure des couches posées.



**Fig. 28** – Graphique itinéraires des valeurs  $s_{w50}$  dans le sens positif du tronçon T3 de la RC177

## 5.1.2 Analyse des valeurs moyennes par tronçons

Le tableau de synthèse 21 présente un exemple des résultats fournis pour la valeur d'état  $S_{w50}$ .

**Tab. 21 Synthèse des gains  $s_{w50}$  par couche et par tronçon**

| Type de résultat    |            | Valeur d'état $s_{w50}$<br>(‰) sur couche |      |                     |      |      | Gain absolu (‰) de valeur<br>$s_{w50}$ pour la couche |      |      |      | Gain relatifs (%) de valeur<br>$s_{w50}$ pour la couche |     |     |    |
|---------------------|------------|-------------------------------------------|------|---------------------|------|------|-------------------------------------------------------|------|------|------|---------------------------------------------------------|-----|-----|----|
|                     |            | n-4                                       | n-3  | n-2                 | n-1  | n    | n-3                                                   | n-2  | n-1  | n    | n-3                                                     | n-2 | n-1 | n  |
| Moyenne totale      |            | 2.65                                      | 3.08 | 2.29                | 1.86 | 0.98 | -0.46                                                 | 0.97 | 0.56 | 0.94 | -17                                                     | 27  | 20  | 47 |
| Moyenne par tronçon | RC2220     |                                           |      |                     | 2.16 | 1.13 |                                                       |      |      | 1.11 |                                                         |     |     | 52 |
|                     | RC2500     |                                           |      |                     | 2.94 | 1.31 |                                                       |      |      | 1.72 |                                                         |     |     | 57 |
|                     | RC1400     |                                           |      |                     | 3.23 | 1.24 |                                                       |      |      | 2.01 |                                                         |     |     | 61 |
|                     | RC1500     |                                           |      |                     | 2.82 | 1.08 |                                                       |      |      | 1.74 |                                                         |     |     | 62 |
|                     | RC177-T3   |                                           | 2.77 | 1.84 <sup>(1)</sup> | 1.00 | 0.52 |                                                       | 0.93 | 0.61 | 0.49 |                                                         | 31  | 35  | 46 |
|                     | RC177-T4   |                                           |      | 2.54 <sup>(2)</sup> | 0.86 | 0.55 | (3)                                                   |      |      | 0.42 | (3)                                                     |     |     | 48 |
|                     | RC701      |                                           |      |                     | 1.45 | 0.80 |                                                       |      |      | 0.64 |                                                         |     |     | 44 |
|                     | RC726z     |                                           |      |                     | 3.94 | 1.99 |                                                       |      |      | 1.94 |                                                         |     |     | 48 |
|                     | RC251      |                                           |      | 3.31                | 1.08 | 0.61 |                                                       |      | 2.23 | 0.47 |                                                         |     | 67  | 43 |
|                     | H10        |                                           |      | 2.75                |      | 0.62 |                                                       |      |      |      |                                                         |     |     |    |
|                     | N1         |                                           |      |                     | 1.74 | 0.78 |                                                       |      |      | 1.00 |                                                         |     |     | 52 |
|                     | N5         | 2.65                                      | 3.16 | 2.19                | 1.77 | 0.95 | -0.46                                                 | 0.98 | 0.42 | 0.88 |                                                         | 26  | 15  | 48 |
|                     | Piste Sion |                                           |      | 3.07                | 2.32 | 2.29 |                                                       |      | 0.75 | 0.03 |                                                         |     | 19  | -4 |

(1) Valeur  $s_w$  moyenne avant rabotage partiel de la couche n-2

(2) Valeur  $s_w$  moyenne avant rabotage de la couche n-2 sur toute sa longueur

(3) Gain de la couche n-1 non calculé car mesures sur n-2 effectuées après rabotage de la couche n-2 sur toute sa longueur

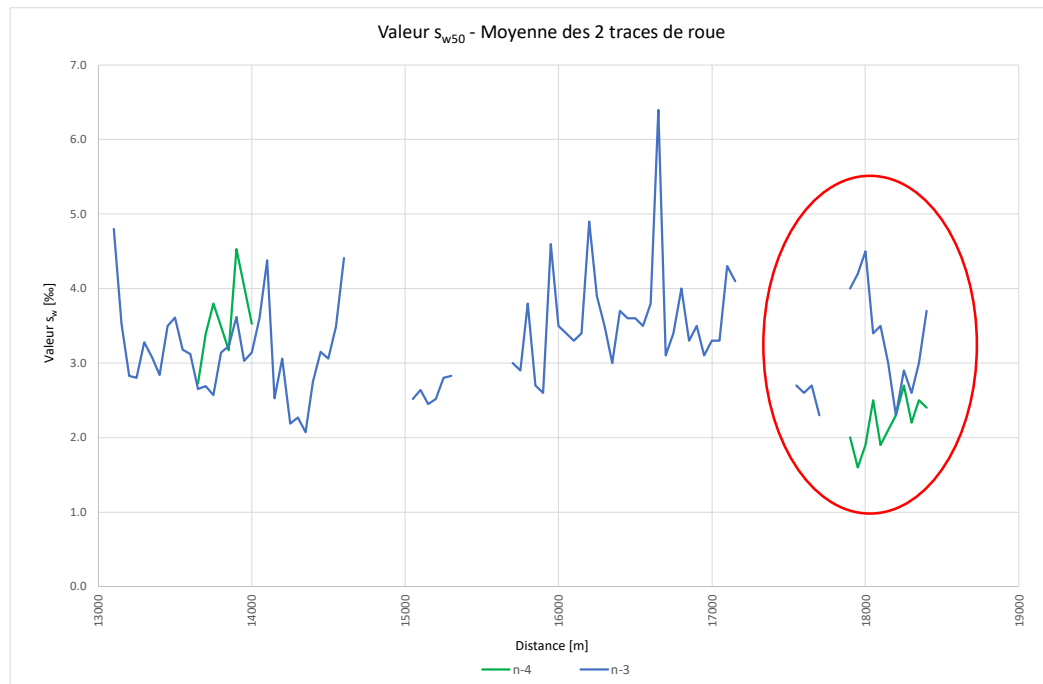
Le gain de planéité longitudinale se traduit par une baisse des valeurs d'état et correspond donc à la différence entre la valeur sur couche n-(i-1) et celle sur la couche n-i, à l'exception des notes par bandes d'ondes : dans ce cas, une augmentation de la note traduit une amélioration de la planéité longitudinale et donc le gain calculé correspond à la différence entre la note sur la couche n-i et celle de la couche n-(i-1).

Les gains absolus moyens calculés pour une couche donnée ne correspondent pas strictement à la différence des valeurs moyennes calculées avant et après cette couche : en effet, le gain pour un intervalle donné est calculé uniquement si les valeurs avant et après pose sont disponibles. Pour certains intervalles (voir chapitre 4.4), on dispose de valeurs uniquement sur l'une ou l'autre couche : ces valeurs sont alors incluses dans les valeurs moyennes des couches mais pas dans les valeurs moyennes des gains.

A la lecture du tableau 21 et des graphiques itinéraires en Annexe II, 3 résultats attirent l'attention et font l'objet des 3 cas traités ci-après.

### Cas 1 - Gain pour la couche n-3 de la N5 – Grandson-Concise

Dans le tableau de valeurs fournis en exemple, on observe un gain négatif en rouge pour la couche n-3 sur le chantier de la N5. Le graphique suivant illustre ce gain négatif :



**Fig. 29** – Graphique itinéraire de valeurs  $s_{w50}$  sur la N5 (voie normale, sens négatif) pour les couches n-4 et n-3

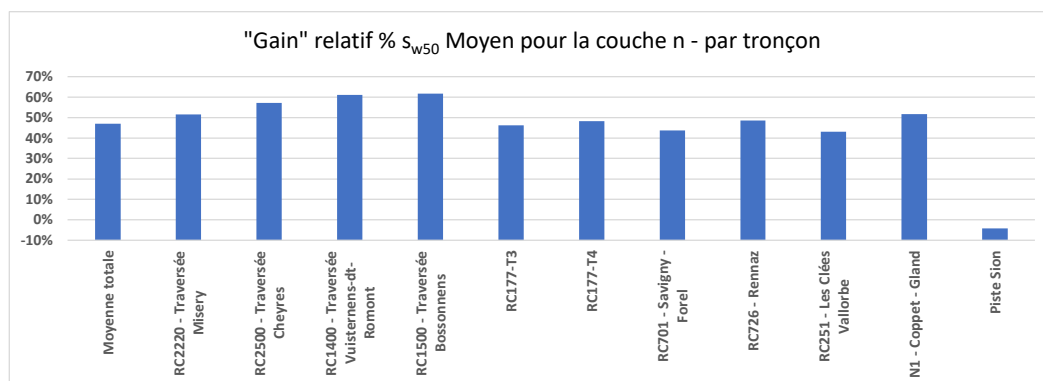
On observe sur ce graphique que :

- Peu de mesures ont été effectuées sur la couche n-4 (2.1 km sur l'ensemble des voies) en comparaison avec les mesures sur la couche n-3 (15.3 km sur l'ensemble des voies).
- Sur les zones où une comparaison entre couches n-4 et n-3 peut-être effectuées, certaines zones, comme celle encadrée en rouge dans le graphique, présentent des résultats anormaux, avec des valeurs  $s_{w50}$  sur la couche n-4 inférieures à celles sur la couche n-3. Ces résultats anormaux, étant liés probablement à des problèmes de pose, conduisent donc en moyenne au gain négatif observé pour la couche n-3 sur la N5.

Le tronçon de la N5 est le seul pour lequel on dispose de résultats sur la couche n-4, mais compte tenu de ces observations, les données ne seront pas exploitées. Alors, les analyses effectuées dans ce rapport de recherche se basent sur les résultats des couches n à n-3.

## Cas 2 - Gain pour la couche n de la piste de Sion

Le gain absolu moyen  $s_{w50}$  pour la couche n est quasiment nul (+0.03‰), soit un gain aberrant au regard des gains observés pour la couche n sur les autres tronçons (gains absolus compris entre 0.42‰ et 2.15‰). La comparaison des gains relatifs par tronçon, présentée dans le graphique suivant permet aussi de constater la nette différence de gain entre la piste de Sion et les autres tronçons (gains relatifs de -4% pour la piste de Sion alors que ceux des autres tronçons sont compris entre +43% et +62%).



**Fig. 30** – Comparaison des gains relatifs  $S_{w50}$  par tronçon



**Fig. 31** – Cartographie des gains relatifs  $s_{w50}$  sur la piste de Sion

La cartographie des gains relatifs pour la couche n permet de constater une forte disparité des gains relatifs sur la piste selon les traces de mesures effectuées. Ces disparités révèlent un probable problème lors de la mise en œuvre de la couche de roulement.

Le rapport de recherche vise à analyser les gains de planéité par couche pour des poses présentant des résultats normaux où la planéité ne se dégrade pas. Par conséquent, l'analyse relative à la pose de la couche n pour la piste de Sion est écartée des analyses statistiques de ce rapport de recherche. En revanche, la pose de la couche n-1 de la piste de Sion entraîne un gain de planéité longitudinale (+0.75‰) donc les résultats relatifs à cette couche sont conservés.

### Cas 3 - Planéité longitudinale sur la couche n de la RC726

La planéité sur la couche n de la RC726 est mauvaise ( $s_{w50} = 2.06\%$ ) et est en moyenne supérieure aux exigences suisses (1.8‰ sur une route principale selon VSS 40 525).

Cependant, le gain pour la couche n est bon (gain absolu de +1.87‰ et gain relatif de +48%). Le non-respect des exigences sur la couche n s'explique par la planéité longitudinale médiocre sur la couche n-1, avec une valeur  $s_{w50}$  moyenne de 3.94‰, soit la plus élevée de l'ensemble du tronçon.

Donc, la qualité de la pose de la couche n pour ce chantier n'est pas remise en cause et donc les résultats relatifs à cette couche sont conservés dans les analyses statistiques.

En Annexe III figurent les tableaux de synthèse des valeurs d'état par tronçon et pour chacune des couches testées, après exclusion des données sur la couche n de la piste de Sion et sur la couche n-4 de la N5.

#### 5.1.3 Analyse des valeurs isolées

L'analyse des gains moyens par tronçon a permis d'écarter les résultats relatifs à la pose de certaine couches (couche n-3 pour la N5 et couche n pour la piste de Sion).

Après exclusions de ces résultats, il demeure des valeurs isolées de gain négatif sur les autres chantiers restants et qui sont recensées dans le tableau 22 par valeur d'état et par type de couche.

**Tab. 22** Proportion de gains négatifs par valeur d'état

| Valeur d'état                         | Numéro de couche  |                        |                |                   |                        |                |                   |                        |                |                      |                        |                |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|----------------------|------------------------|----------------|
|                                       | n                 |                        |                | n-1               |                        |                | n-2               |                        |                | Ensemble des couches |                        |                |
|                                       | Nombre de valeurs | Nombre de gain négatif | % gain négatif | Nombre de valeurs | Nombre de gain négatif | % gain négatif | Nombre de valeurs | Nombre de gain négatif | % gain négatif | Nombre de valeurs    | Nombre de gain négatif | % gain négatif |
| SW50 (avec N5)                        | 1290              | 10                     | 0.8%           | 517               | 102                    | 19.7%          | 258               | 30                     | 11.6%          | 2065                 | 142                    | 6.9%           |
| SW50 (sans N5)                        | 802               | 9                      | 1.1%           | 115               | 14                     | 12.2%          | 66                | 6                      | 9.1%           | 983                  | 29                     | 3.0%           |
| IRI20                                 | 2065              | 63                     | 3.1%           | 375               | 40                     | 10.7%          | 167               | 27                     | 16.2%          | 2607                 | 130                    | 5.0%           |
| NPO                                   | 2011              | 31                     | 1.5%           | 355               | 20                     | 5.6%           | 166               | 10                     | 6.0%           | 2532                 | 61                     | 2.4%           |
| NMO                                   | 325               | 15                     | 4.6%           | 21                | 0                      | 0.0%           | 30                | 9                      | 30.0%          | 376                  | 24                     | 6.4%           |
| NGO                                   | 118               | 38                     | 32.2%          | 6                 | 1                      | 16.7%          | 14                | 4                      | 28.6%          | 138                  | 43                     | 31.2%          |
| DBW50                                 | 681               | 17                     | 2.5%           | 53                | 0                      | 0.0%           | 62                | 5                      | 8.1%           | 796                  | 22                     | 2.8%           |
| SBW50                                 | 681               | 54                     | 7.9%           | 53                | 1                      | 1.9%           | 62                | 12                     | 19.4%          | 796                  | 67                     | 8.4%           |
| Ensemble des valeurs d'état (avec N5) | 7171              | 228                    | 3.2%           | 1380              | 164                    | 11.9%          | 759               | 97                     | 12.8%          | 9310                 | 489                    | 5.3%           |
| Ensemble des valeurs d'état (sans N5) | 6683              | 227                    | 3.4%           | 978               | 76                     | 7.8%           | 567               | 73                     | 12.9%          | 8228                 | 376                    | 4.6%           |

Aucuns évènements particuliers visibles sur la chaussée n'ont permis d'expliquer ces gains négatifs isolés. Pour l'ensemble des couches et pour 5.3% des valeurs d'état calculées, les caractéristiques de planéité longitudinale sont moins bonnes après pose qu'avant pose. En détaillant les résultats par couches, on remarque que ce pourcentage est le plus élevé pour la couche la plus profonde, soit pour la couche n-2 (12.8% de gains négatif) puis il diminue à 11.9% pour la couche-1 et à 3.2% pour la couche n. Ces gains négatifs peuvent être attribués en partie à des aléas de chantiers entraînant des problèmes de pose ponctuels. Dans certains cas, on peut également expliquer des gains négatifs par le fait que, pour les couches sous-jacentes, les méthodes de travail et les matériaux utilisés favorisent une amélioration de la planéité longitudinale pour les grandes et moyennes ondes (et donc négligent les petites ondes) tandis que les méthodes mises œuvre pour les couches de surface (couches n et n-1) visent à améliorer les petites ondes.

Une distinction est présente dans le tableau pour les valeurs  $s_{w50}$ , en considérant l'échantillon de valeur avec N5 et sans N5. En effet, seules les valeurs  $s_{w50}$  sont disponibles pour la N5 et présenter les valeurs sans la N5 permet d'utiliser le même échantillon de résultats que pour les autres valeurs d'état.

Sur la N5, on enregistre une quantité non négligeable de gains  $s_{w50}$  négatifs pour la couche n-1 (88 valeurs de gains négatifs sur 402, soit 22% des valeurs) et pour la couche n-2 (24 valeurs de gains négatifs sur 192, soit 13% des valeurs). Cela explique les différences importantes observées entre les gains négatifs pour les valeurs  $s_{w50}$  et les valeurs  $s_{w100}$  pour les couches n-2 et n-1.

Pour les analyses suivantes du rapport, ces gains négatifs sont conservés dans les analyses statistiques. En effet, aucun motif visible sur la route nous permet d'expliquer au cas par cas la perte de planéité longitudinale et donc aucun critère ne peut être établi pour écarter ces valeurs ponctuelles. De plus, il nous paraît judicieux de tenir compte de ce risque statistique de perte de planéité longitudinale pour établir des préconisations au plus proches des conditions de chantiers.

## 5.2 Influence de l'épaisseur de la couche posée

### 5.2.1 Longueurs de pose par épaisseur

Pour l'ensemble des tronçons testés, les longueurs de pose à disposition pour chaque épaisseur figurent dans les tableaux 23 et 24. On fait la distinction entre les données disponibles pour la valeur d'état  $s_{w50}$ , pour laquelle les données sont disponibles sur tous les tronçons de ce mandat de recherche, et les autres valeurs d'état, non disponibles sur la N5 car les profils de ces mesures effectuées en 2004/2005 n'ont pas pu nous être fournis.

**Tab. 23** Longueurs de pose disponibles pour la valeur d'état  $s_{w50}$  (avec valeurs de la N5)

|                                      |     | Epaisseur de couche [mm] |     |       |       |     |      | Longueur de pose totale [km] |
|--------------------------------------|-----|--------------------------|-----|-------|-------|-----|------|------------------------------|
|                                      |     | 25                       | 30  | 35    | 40    | 60  | 80   |                              |
| Longueur de pose [km] pour la couche | n   | 5.2                      | 6.3 | 18.85 | 34.15 | 0   | 0    | 64.5                         |
|                                      | n-1 | 0                        | 0   | 0     | 1.85  | 1.4 | 22.6 | 25.85                        |
|                                      | n-2 | 0                        | 0   | 0     | 0     | 0   | 12.9 | 12.9                         |
| Longueur de pose totale [km]         |     | 5.2                      | 6.3 | 18.85 | 36    | 1.4 | 35.5 | 103.25                       |

**Tab. 24** Longueurs de pose disponibles pour l'ensemble des valeurs d'état (sans les valeurs sur la N5)

|                                      |     | Epaisseur de couche [mm] |     |       |      |     |     | Longueur de pose totale [km] |
|--------------------------------------|-----|--------------------------|-----|-------|------|-----|-----|------------------------------|
|                                      |     | 25                       | 30  | 35    | 40   | 60  | 80  |                              |
| Longueur de pose [km] pour la couche | n   | 5.2                      | 6.3 | 18.85 | 9.75 | 0   | 0   | 40.1                         |
|                                      | n-1 | 0                        | 0   | 0     | 1.85 | 1.4 | 2.5 | 5.75                         |
|                                      | n-2 | 0                        | 0   | 0     | 0    | 0   | 3.3 | 3.3                          |
| Longueur de pose totale [km]         |     | 5.22                     | 6.3 | 18.85 | 11.6 | 1.4 | 5.8 | 49.15                        |

Les longueurs de pose disponible pour chaque épaisseur correspondent aux longueurs de pose pour lesquelles les mesures de planéité longitudinale avant et après pose sont disponibles. Ainsi, cela explique les différences observées avec les longueurs mentionnées dans la synthèse des tronçons du chapitre 4.2.

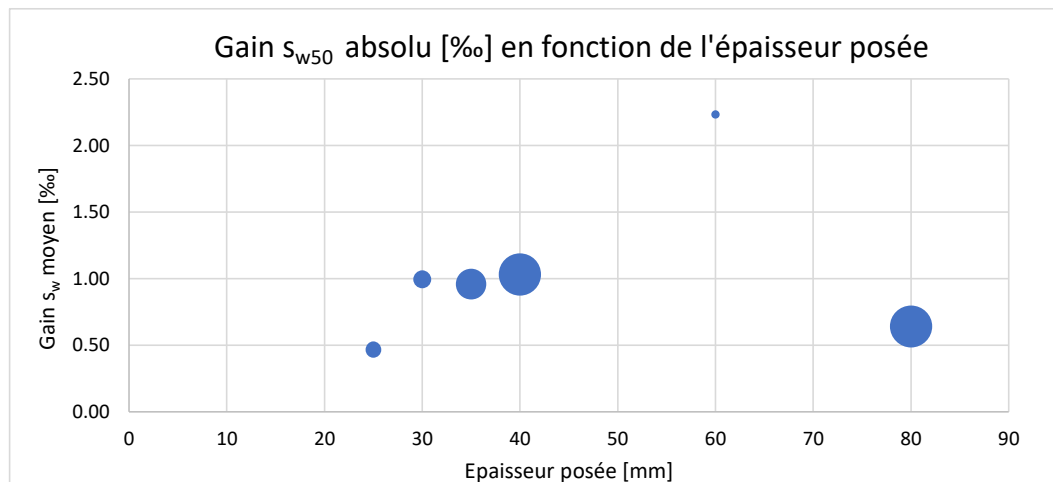
La gamme d'épaisseur (de 25 mm à 80 mm) permet de couvrir la majeure partie des épaisseurs de pose de matériaux bitumineux. On peut toutefois regretter de ne pas disposer de résultats avec des épaisseurs supérieures à 80 mm que l'on rencontre parfois en couche de base et souvent en couche de fondation.

La couche de roulement n varie entre 25 et 40 mm d'épaisseur tandis que les couches sous-jacentes présentent des épaisseurs comprises entre 40 et 80 mm. Les épaisseurs de 40 et 80 mm sont celles les plus fréquemment rencontrées pour les poses analysées dans le cadre ce mandat de recherche. Ce sont d'ailleurs les deux seules épaisseurs que l'on rencontre à différents niveaux de la chaussée (n et n-1 pour l'épaisseur de 40 mm et n-1 et n-2 pour l'épaisseur de 80mm).

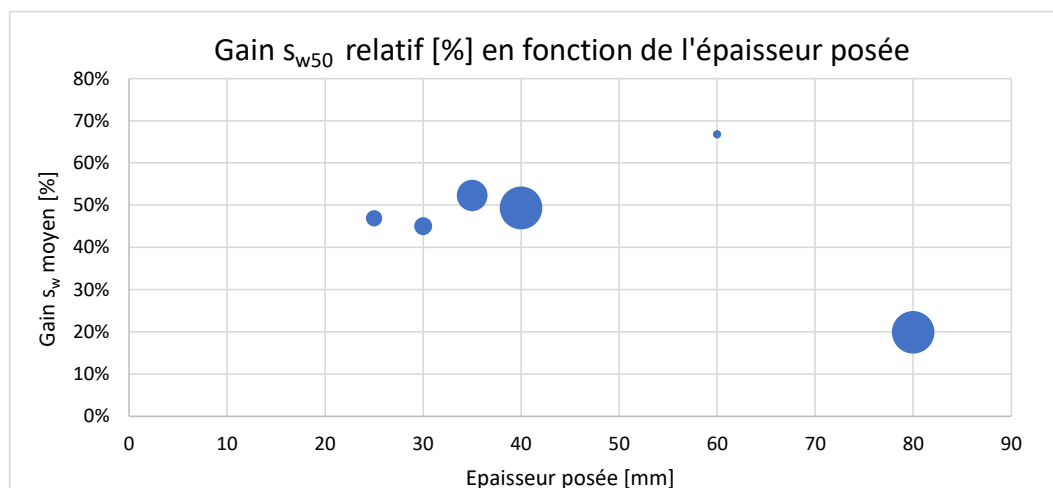
Le linéaire de pose pour l'épaisseur de 60mm est faible (1.4km) donc il convient par la suite d'analyser les résultats pour cette épaisseur avec précaution.

## 5.2.2 Résultats

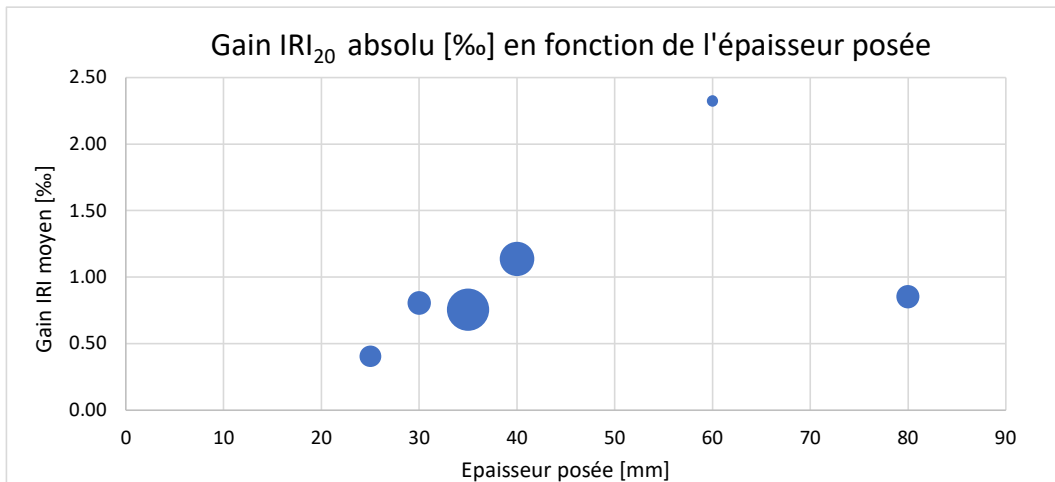
Les graphiques suivants représentent les gains absolus et relatifs par valeur d'état en fonction de l'épaisseur de couche posée, quel que soit sa position dans la structure de chaussée. Les résultats sont présentés sous forme de graphique à bulles, où les tailles des bulles sont proportionnelles au nombre d'intervalles utilisés pour calculer le gain considéré.



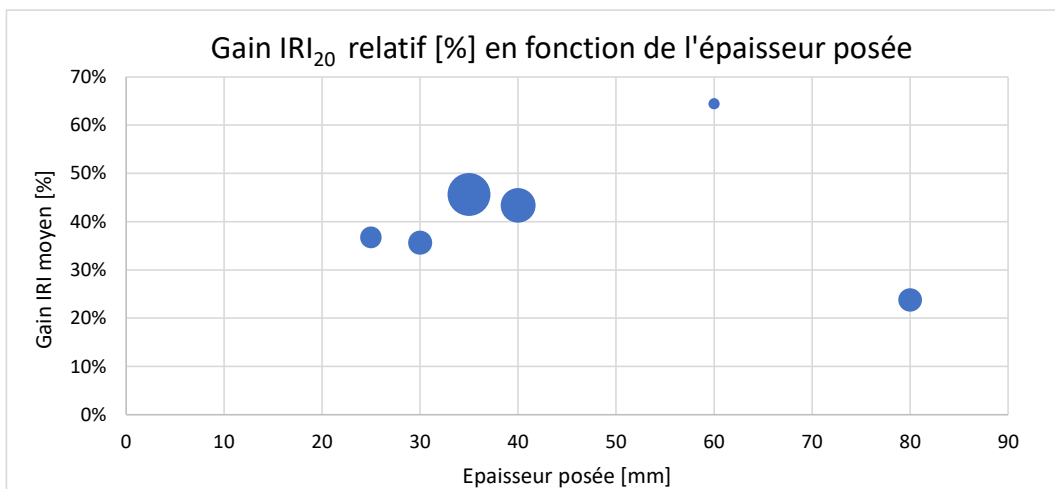
**Fig. 32** – Valeurs d'état  $s_w$  – Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée



**Fig. 33** – Valeurs d'état  $s_w$  – Gain relatif en fonction de l'épaisseur de couche posée



**Fig. 34** – Valeurs d'état IRI – Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée

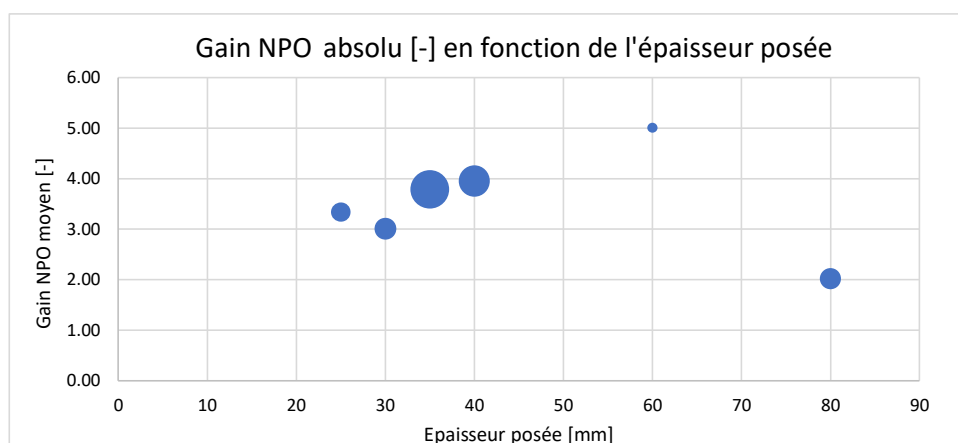


**Fig. 35** – Valeurs d'état IRI – Gain relatif en fonction de l'épaisseur de couche posée

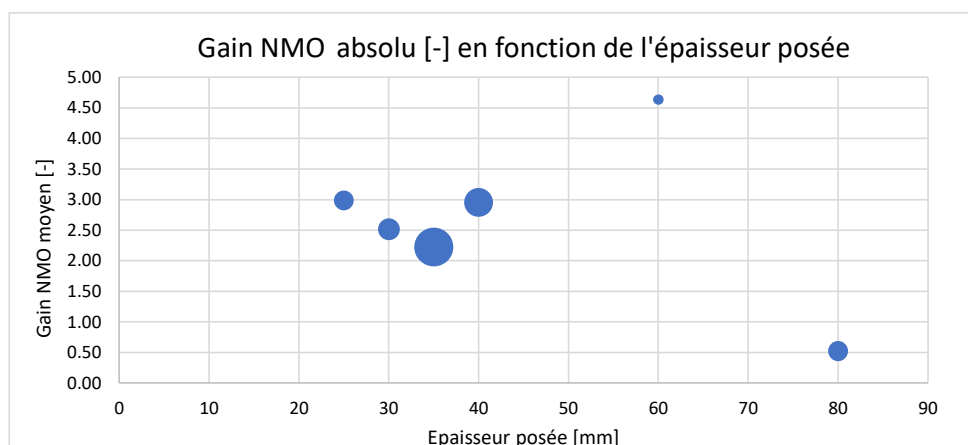
Les graphiques de gains absolus et relatifs pour les valeurs  $s_w$  et IRI ont des tendances proches, à savoir :

- Sur la tranche d'épaisseur de couche entre 25 et 60 mm, on observe que les gains absolus  $s_w$  et IRI ont tendance à augmenter quand l'épaisseur de couche augmente. Cette augmentation est présente également sur les gains relatifs mais est moins marquée.
- Cette évolution de gain selon l'épaisseur est à nuancer sur la tranche 40-60mm, car on dispose en effet de peu de valeurs pour l'épaisseur de 60 mm (1.4km de données).

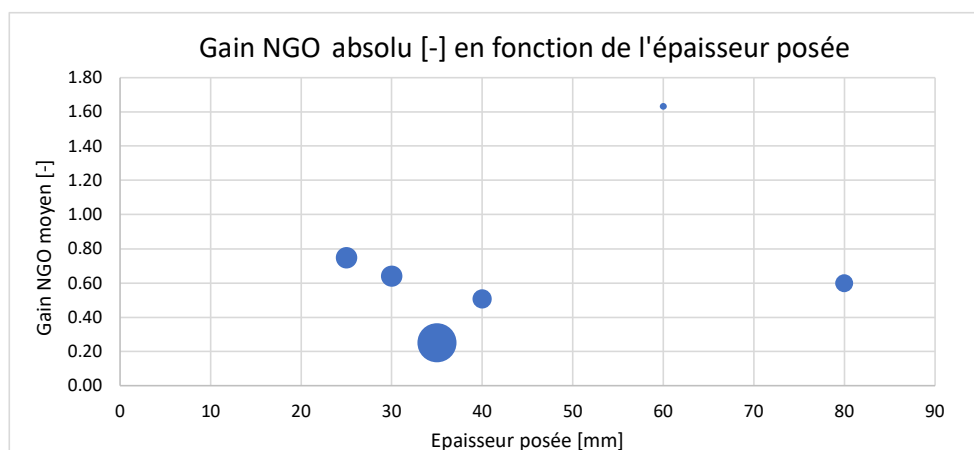
Les gains observés pour l'épaisseur de couche de 80 mm sont faibles et viennent donc altérer l'hypothèse d'une évolution de gains en fonction de l'épaisseur de couche posée. En comparaison avec les autres épaisseurs de couches posées, les gains relatifs pour l'épaisseur de 80mm sont les plus faibles tandis que les gains absolus pour cette épaisseur sont équivalents aux gains observés pour des épaisseurs de 30-35 mm.



**Fig. 36** – Valeurs d'état NPO – Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée



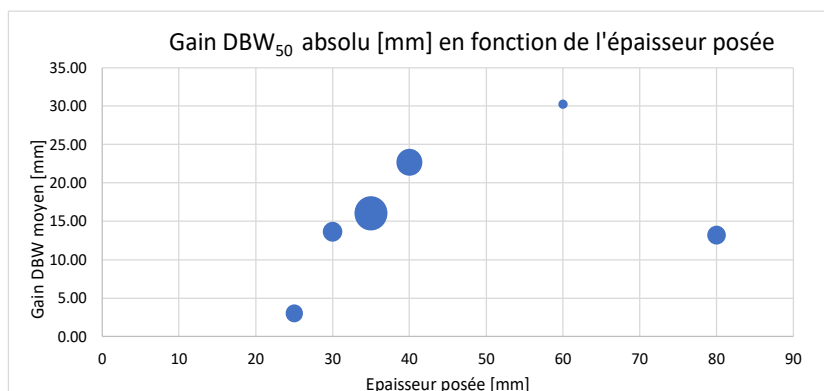
**Fig. 37** – Valeurs d'état NMO – Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée



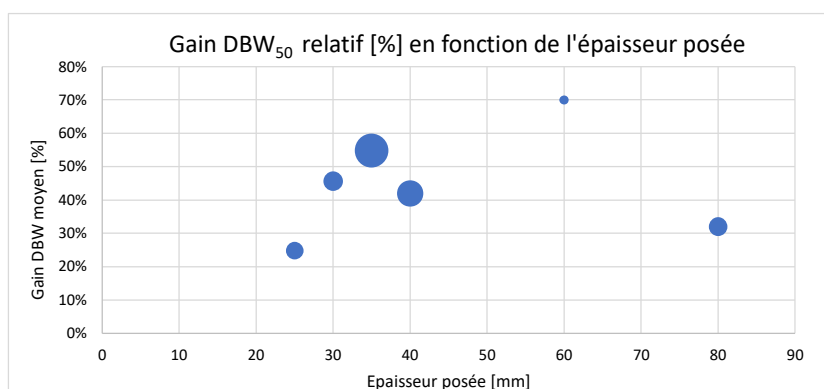
**Fig. 38** – Valeurs d'état NGO – Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée

Après exclusion des gains pour une épaisseur de 80 mm, les graphiques des valeurs NPO montre une légère tendance d'amélioration du gain avec l'épaisseur de couche posée. Les résultats de gains absolus NPO sont toutefois affectés par les gains pour une épaisseur de 35 mm qui sont inférieurs à ceux pour une épaisseur de 30 mm.

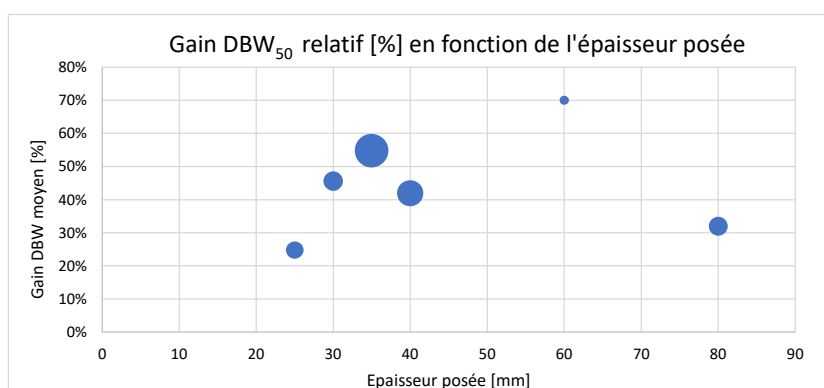
Les gains pour les moyennes et grandes ondes sont peu exploitables : aucune réelle tendance d'évolution de gains en fonction de l'épaisseur posée n'est détectée.



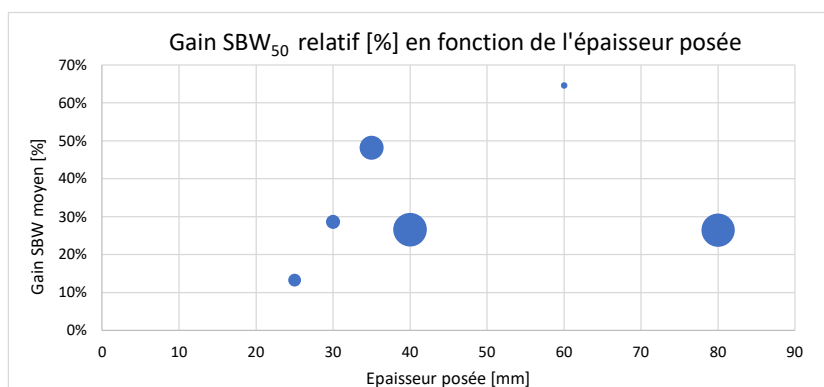
**Fig. 39 – Valeurs d'état DBW - Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée**



**Fig. 40 – Valeurs d'état DBW – Gain relatif en fonction de l'épaisseur de couche posée**



**Fig. 41 – Valeurs d'état SBW - Gain absolu en fonction de l'épaisseur de couche posée**



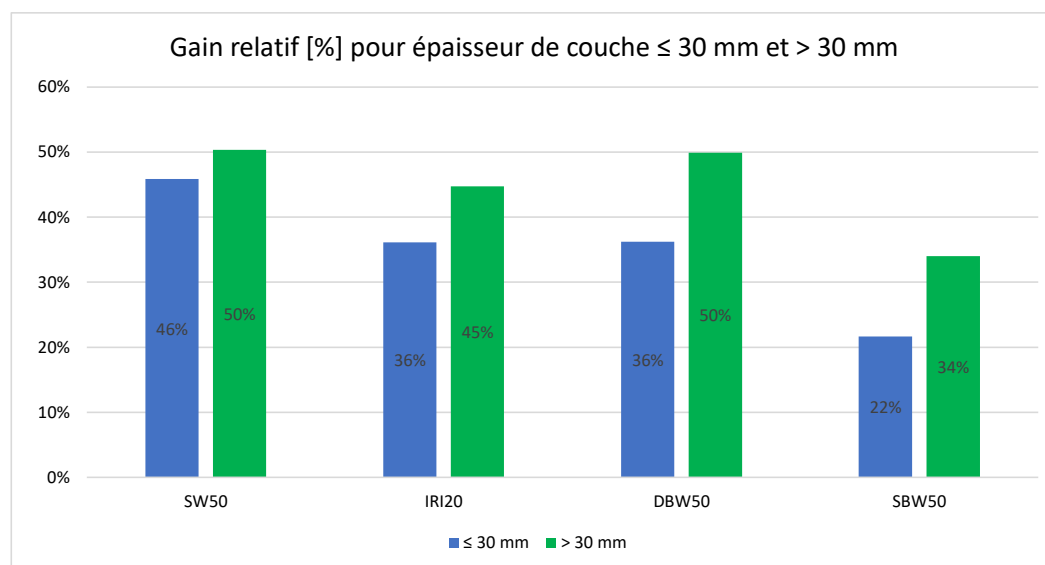
**Fig. 42 – Valeurs d'état SBW – Gain relatif en fonction de l'épaisseur de couche posée**

Une tendance nette d'amélioration des gains absolus en fonction de l'épaisseur posée est constatée pour les valeurs DBW et SBW sur la tranche 25-40 mm. Un bémol est observé sur les gains relatifs pour une épaisseur de 40 mm qui sont inférieurs à ceux pour une épaisseur de 35 mm.

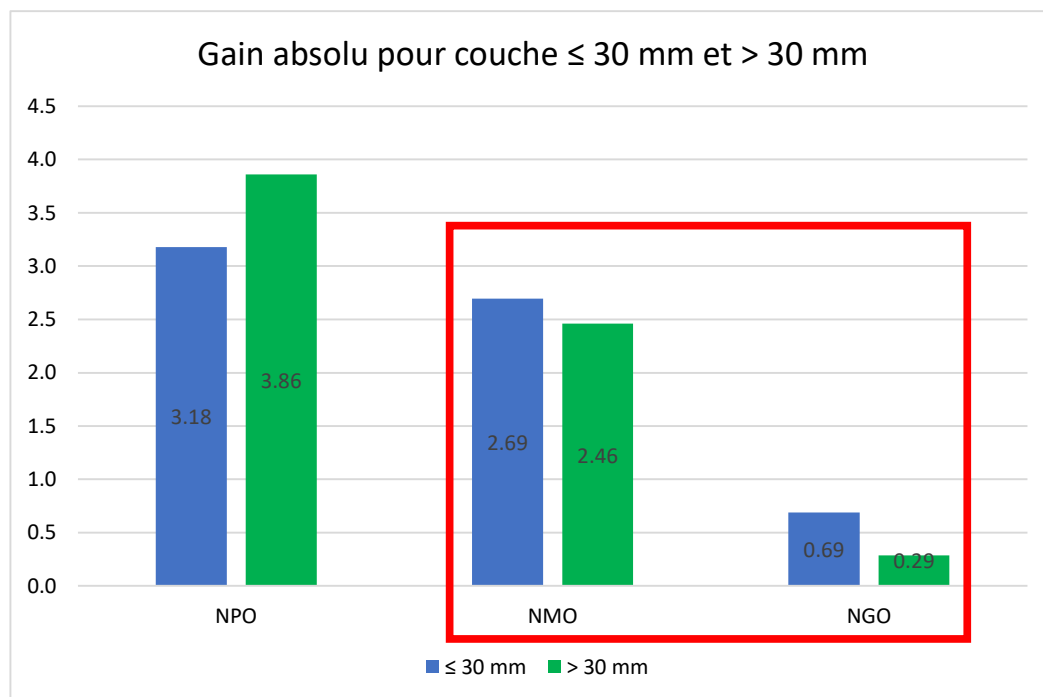
Au regard des résultats par valeurs d'état, aucune relations fiables d'évolution du gain en fonction de l'épaisseur de couche posée ne peuvent donc être établies. En revanche et en se limitant sur la tranche d'épaisseur de 25-40 mm, une tendance à l'augmentation des gains de planéité longitudinale. Pour la mettre en valeur, les moyennes des gains par valeurs d'état pour 2 tranches ont été calculées : épaisseurs de couche > 30mm (qui inclue les épaisseurs 35 et 40mm) et ≤ 30mm (qui inclue les épaisseurs de 25 et 30 mm). Cette séparation est de plus motivée par les recommandations françaises (paragraphe 2.6.2) qui font varier les spécifications des notes d'uni pour la couche n et pour les couches sous-jacentes en fonction de l'épaisseur de la couche de roulement, à savoir pour des épaisseurs > 3cm et ≤ 3cm.

**Tab. 25** Gains absolus et relatifs pour épaisseurs de couche ≤ 30 mm et > 30 mm

| Valeur d'état | Unité pour gains absolus | Gain absolu pour épaisseur de couche |         | Gain relatif pour épaisseur de couche |         |
|---------------|--------------------------|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
|               |                          | ≤ 30 mm                              | > 30 mm | ≤ 30 mm                               | > 30 mm |
| SW50          | [‰]                      | 0.76                                 | 1.01    | 46%                                   | 50%     |
| IRI20         | [m/km]                   | 0.62                                 | 0.91    | 36%                                   | 45%     |
| NPO           | [-]                      | 3.18                                 | 3.86    | -                                     | -       |
| NMO           | [-]                      | 2.69                                 | 2.46    | -                                     | -       |
| NGO           | [-]                      | 0.69                                 | 0.29    | -                                     | -       |
| DBW50         | [mm]                     | 4.52                                 | 12.07   | 32%                                   | 47%     |
| SBW50         | [mm]                     | 5.18                                 | 13.77   | 35%                                   | 43%     |



**Fig. 43** – Gain relatif [%] pour une épaisseur de couche ≤ 30 mm et > 30 mm



**Fig. 44** – Gain absolu [%] pour une épaisseur de couche ≤ 30 mm et > 30 mm

A l'exception des valeurs d'état NMO et NGO (encadrées en rouge), les gains obtenus pour une épaisseur de couche > 30mm sont supérieurs à ceux pour une épaisseur de couche ≤ 30mm pour l'ensemble des valeurs d'états (gains relatifs supérieur de +4% à +19% selon les valeurs d'état).

Pour ce qui concerne les valeurs d'état NMO et NGO, on peut avancer le fait que les différences d'épaisseur entre les tranches 25-30mm et 35-40mm sont trop faibles pour influencer la planéité longitudinale sur les moyennes et grandes longueurs d'ondes.

Les autres valeurs d'état sont visiblement plus sensibles à cette variation d'épaisseurs puisqu'elles sont influencées entièrement (valeur d'état NPO) ou partiellement (valeurs d'état  $s_w$ , IRI, DBW et SBW) par la planéité longitudinale sur les petites longueurs d'ondes.

## 5.3 Influence du numéro de couche posée

### 5.3.1 Longueurs de pose par numéro de couche posée

Pour l'ensemble des tronçons testés, les longueurs de pose à disposition pour calculer les gains de chaque couche posée figurent dans le tableau 26. Comme pour les données du chapitre 5.2, on fait la distinction entre les données disponibles pour la valeur d'état  $s_{w50}$ , pour laquelle les données sont disponibles sur tous les tronçons de ce mandat de recherche, et les autres valeurs d'état, non disponibles sur la N5.

**Tab. 26** Longueurs de pose disponibles par numéro de couche posée

| Données disponibles                         | Données disponibles pour la valeur d'état $s_{w50}$<br>(Avec données de la N5)<br>[km] |                   | Données disponibles pour l'ensemble des valeurs d'état<br>(Sans données de la N5)<br>[km] |                   |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                             | Longueur de pose                                                                       | Nombre de tronçon | Longueur de pose                                                                          | Nombre de tronçon |
| Sur couches n et n-1<br>→ Gain couche n     | 64500                                                                                  | 11                | 40100                                                                                     | 10                |
| Sur couches n-1 et n-2<br>→ Gain couche n-1 | 25850                                                                                  | 4                 | 5750                                                                                      | 3                 |

|                                          |       |   |      |   |
|------------------------------------------|-------|---|------|---|
| Sur couches n-2 et n-3 → Gain couche n-2 | 12900 | 2 | 3300 | 1 |
|------------------------------------------|-------|---|------|---|

Au regard du tableau x, on constate que l'on dispose d'un échantillon de données importants pour évaluer l'effet de la couche n. En revanche, les données pour évaluer les couche n-1 et n-2 sont moindres, surtout quand on ne dispose pas des données de la N5, ce qui est le cas pour l'ensemble des valeurs d'état à l'exception du  $s_{w50}$ . Il convient donc d'analyser les résultats liés à ces couches avec précaution.

### 5.3.2 Résultats

Les gains relatifs moyens et absolus pour chaque numéro de couche et chaque valeur d'état figurent dans les graphiques suivants. Pour les raisons évoquées au chapitre 2.6.1, seuls les gains absolus sont calculés pour les valeurs NBO.

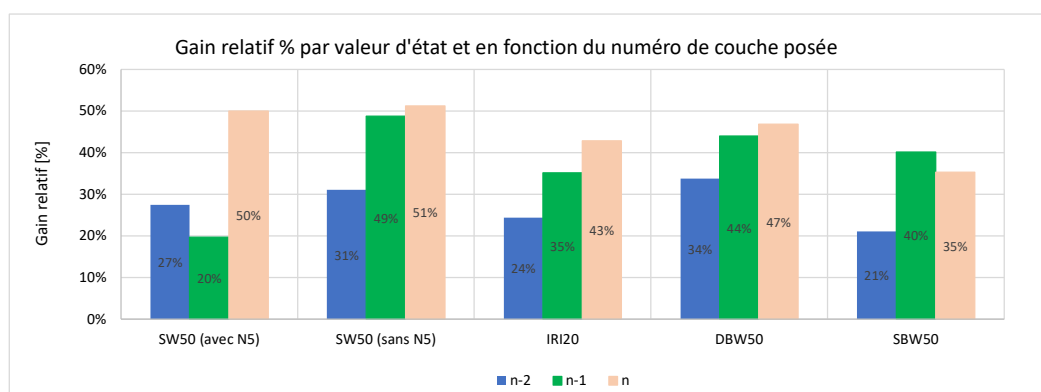


Fig. 45 – Gains relatifs moyens pour chaque numéro de couche et chaque valeur d'état

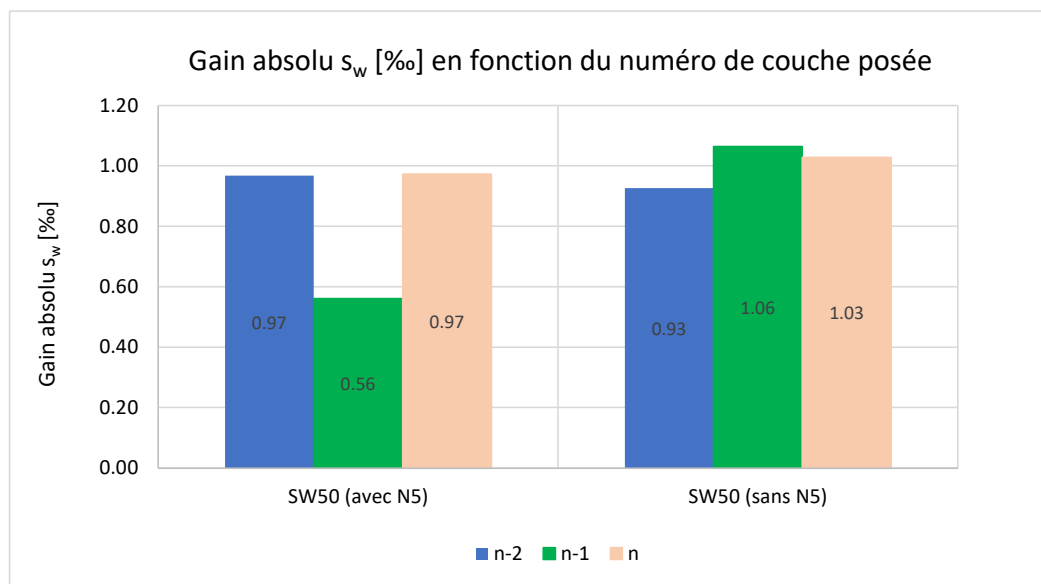
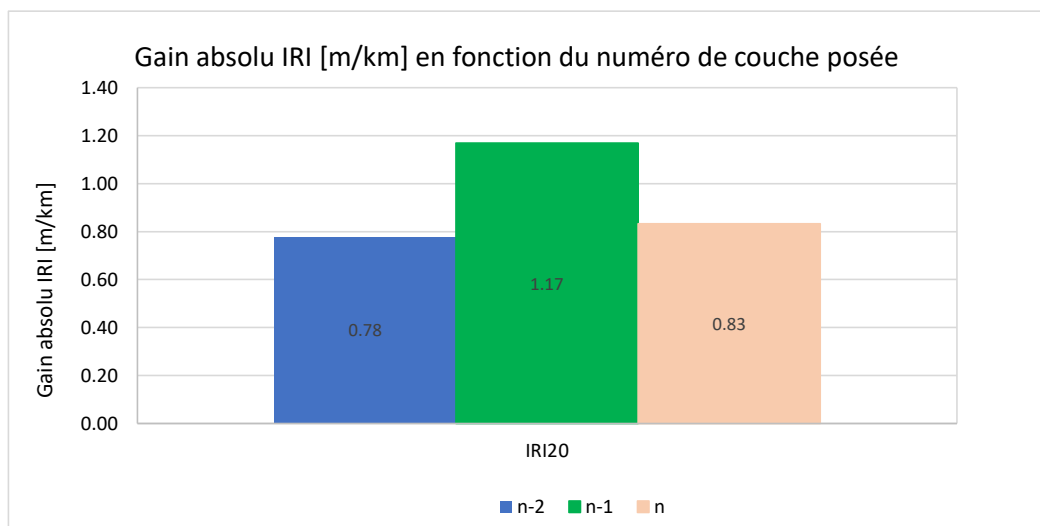
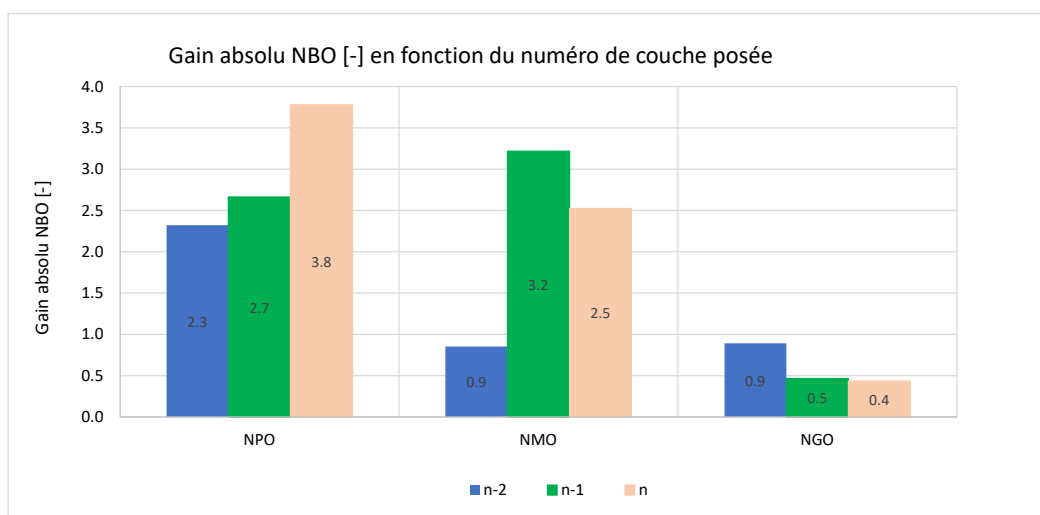


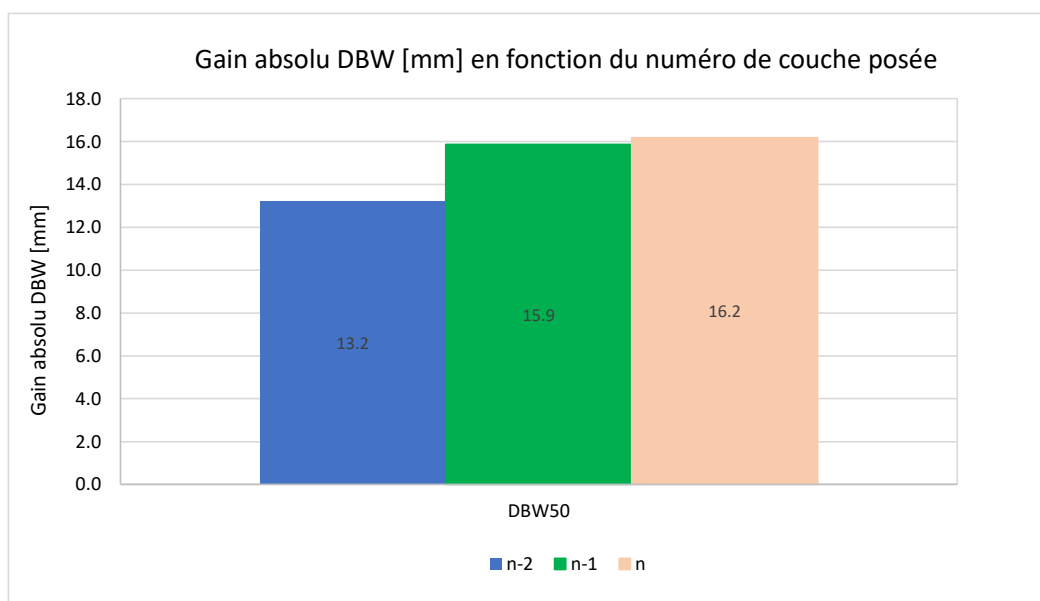
Fig. 46 – Gains absolus moyens  $s_w$  pour chaque numéro de couche



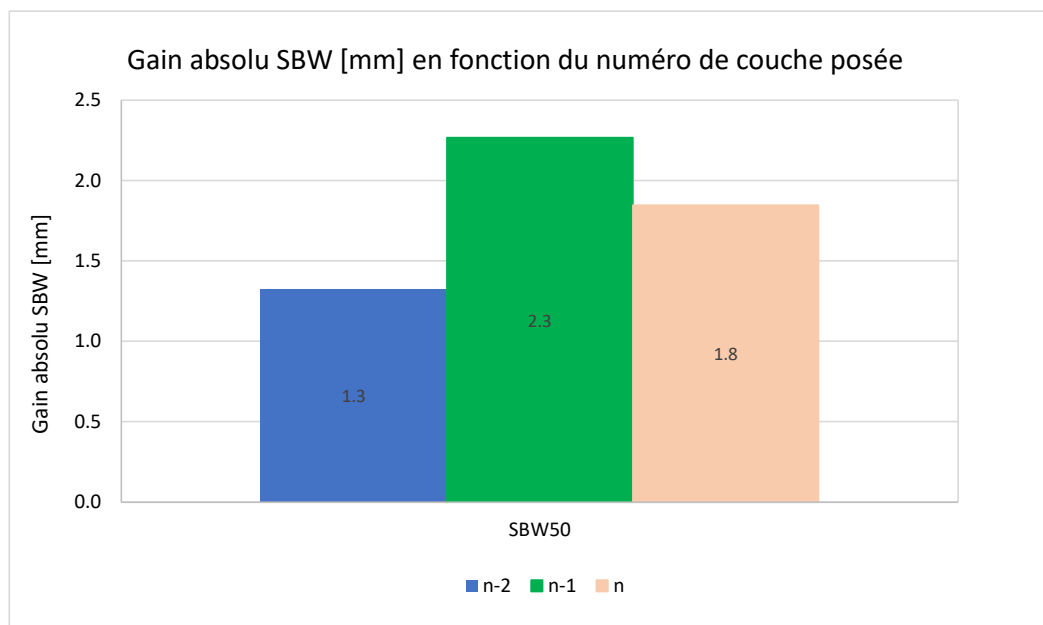
**Fig. 47** – Gains absolus moyens IRI pour chaque numéro de couche



**Fig. 48** – Gains absolus moyens NBO pour chaque numéro de couche



**Fig. 49** – Gains absolus moyens DBW pour chaque numéro de couche



**Fig. 50** – Gains absolus moyens SBW pour chaque numéro de couche

#### Analyse séparée des valeurs $s_{w50}$ (avec et sans N5) :

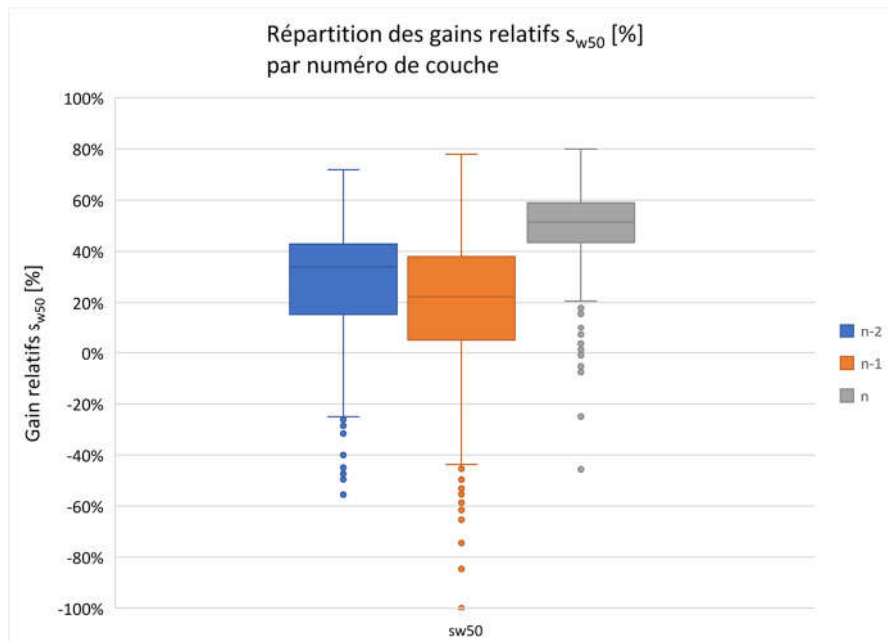
La prise en compte ou non des données de la N5 affecte peu les gains  $s_{w50}$  relatifs et absolus pour les couches n et n-2.

En revanche, les gains pour la couche n-1 diffèrent grandement :

- Le gain relatif moyen de  $s_{w50}$  passe de 20% avec la N5 à 49% sans la N5
- Le gain absolu moyen de  $s_{w50}$  passe de 0.56‰ avec la N5 à 1.06‰ sans la N5

Autrement dit, les gains des couches n-1 testées dans le cadre de ce mandat de recherche sont en moyenne plus importants que ceux de la couche n-1 de la N5 (gain relatif moyen de 15%). On peut citer par exemple les tronçons de la RC177-T3 et de la RC251 dont les gains relatifs respectifs sont de 35 et 67%. Ces écarts constatés peuvent s'expliquer par les conditions de réalisation de pose de la couche n-1 : par exemple l'utilisation d'alimentateur pour le tronçon de la RC177-T4 et le nivellement automatique utilisé pour le guidage du finisseur sur la RC251 ont probablement eu un effet bénéfique sur la planéité longitudinale. De plus, nous n'avons aucune information sur les conditions de pose lors de la mise en œuvre des couches de la N5 (chantier datant de 2004-2005).

L'influence des conditions de pose est étudiée plus en détails dans le chapitre 5.5 mais ces statistiques révèlent déjà de fortes disparités de gain de planéité longitudinale entre différentes poses. Les graphiques à moustaches suivants permettent de mettre en valeur ces disparités par couche :



**Fig. 51** – Répartition des gains relatifs par numéro de couche – Avec données de la N5

Un graphique à moustache illustre la répartition d'un échantillon de données. On distingue la boîte, composés de 3 lignes représentant au centre la médiane et les quartiles inférieur et supérieur de part et d'autre. En dehors de la boîte s'étendent des lignes puis des moustaches indiquant la variabilité hors des quartiles inférieures et supérieures, et tout point situé en dehors de ces lignes ou de ces valeurs est considéré comme aberrant. On observe, sur ce graphique à moustache des valeurs  $s_{w50}$ , des boîtes beaucoup plus étendues pour les couches n-2 et n-1 que pour la couche n, ce qui illustre la plus grande variabilité des gains pour les couches sous-jacentes.

#### Analyse globale de l'ensemble des valeurs d'état (sans N5) :

De manière générale, les gains relatifs augmentent au fur et à mesure des couches posées. Quelques exceptions sont toutefois à signaler :

- Pour les valeurs  $s_{w50}$  en intégrant les résultats de la N5, les gains les plus faibles concernent la couche n-1 ; Comme précédemment signalé, les gains sur la couche n-1 sur le tronçon de la N5 sont nettement plus faibles que sur la couche n-1 des autres tronçons.
- Pour les valeurs  $SBW_{50}$ , les gains relatifs de la couche n-1 sont supérieurs à ceux pour la couche n.

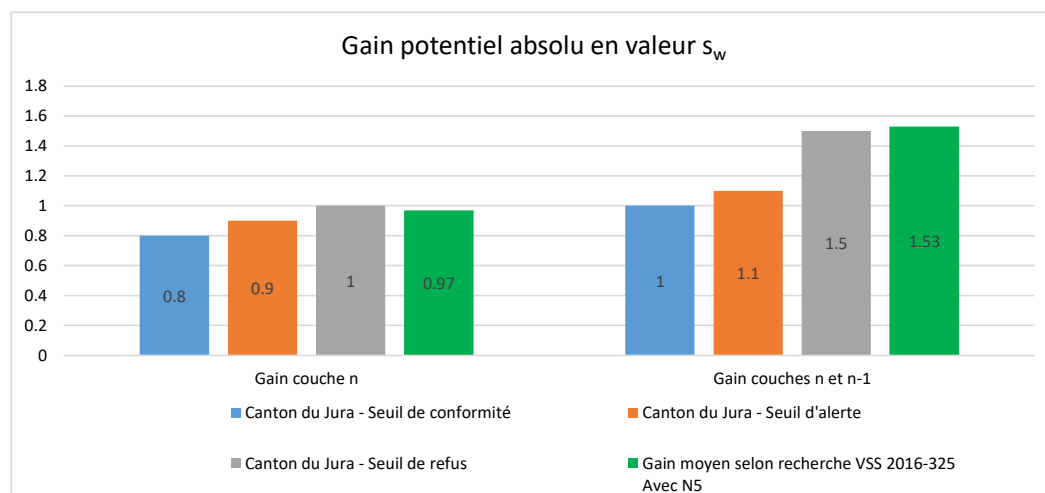
L'analyse des gains absolus pour ces mêmes valeurs d'état ( $s_w$ , IRI, SBW et DBW) confirme la faiblesse des gains pour la couche n-3. En revanche et contrairement aux gains relatifs, les gains absolus pour la couche n-1 sont équivalents voire supérieurs à ceux pour la couche n.

L'analyse des gains absolus pour les valeurs NBO permet d'affiner l'analyse selon les types de longueurs d'onde :

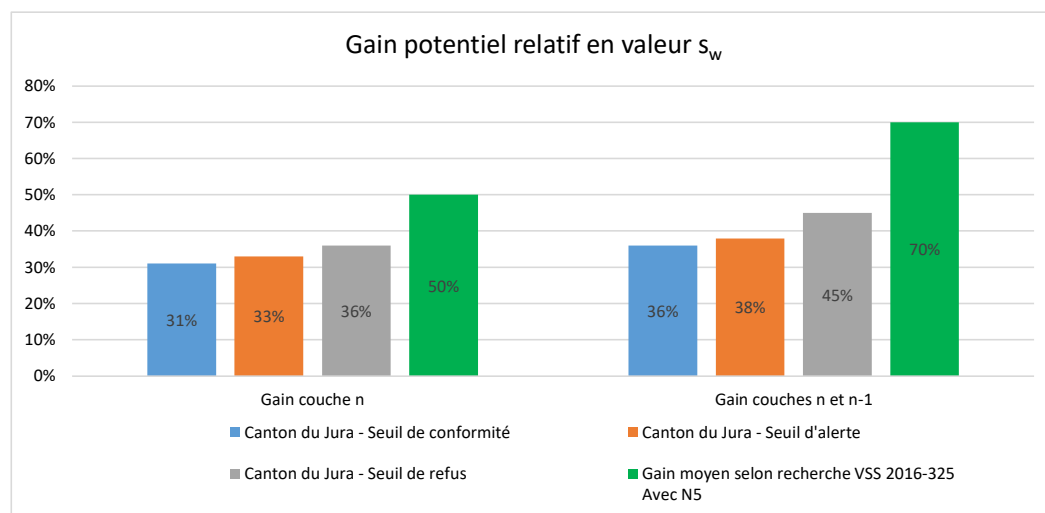
- Petites ondes NPO : On observe une amélioration des gains absolus de valeurs NPO au fur et à mesure des couches posées. Il est surprenant d'observer un gain NPO si élevé sur la couche n-2 (+2.32) alors que la couche n-2 est en théorie destinée à améliorer la planéité longitudinale pour les grandes ondes.
- Moyennes ondes NMO : les gains les plus importants sont observés sur la couche n-1 (+3.22) suivi de la couche n (+2.52).
- Grandes ondes NGO : A l'inverse de ce qui est observé sur les autres valeurs d'état, les gains pour la couche n-2 sont supérieurs aux gains des couches n-1 et n pour les grandes ondes. L'amélioration de la planéité dans les grandes ondes se fait en théorie lors de la pose des couches n-2 et n-3 (voir les gains potentiels au chapitre 2.6).

### Comparaison des gains $s_{w50}$ aux gains potentiels du chapitre 2.7.1

Les graphiques suivants permettent de comparer les gains moyens  $s_w$  observés dans ce mandat de recherche aux gains potentiels déduits des valeurs cibles du Jura sur les couches n-1 et n-2. A noter que le gain du canton du Jura pour le seuil de refus peut être considéré comme le gain maximal pouvant être atteint après la pose d'une ou deux couches de matériaux bitumineux.



**Fig. 52** – Comparaison des gains potentiels absolus  $s_w$



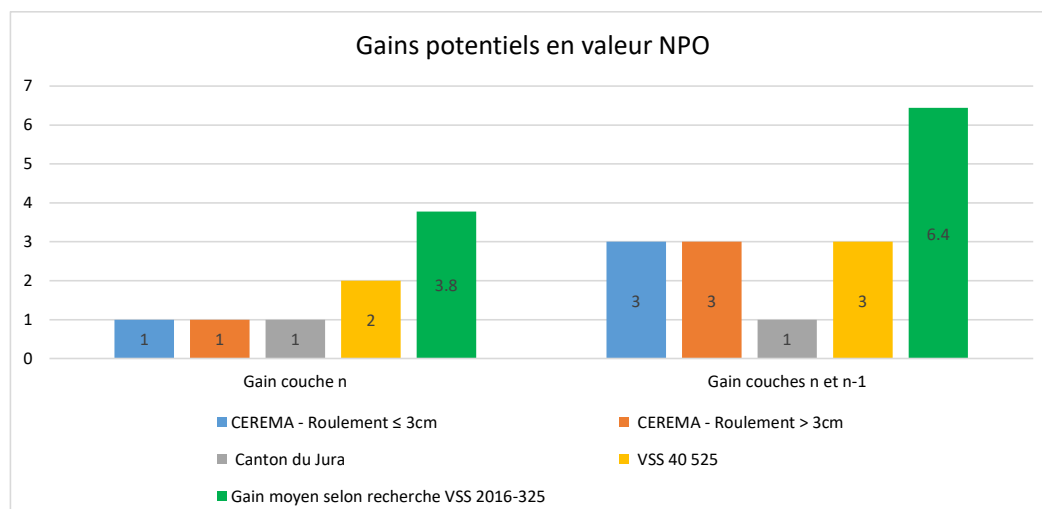
**Fig. 53** – Comparaison des gains potentiels relatifs  $s_w$

Les gains absolus moyens calculés dans le cadre de ce mandat de recherche sont au niveau du seuil de refus du canton du Jura pour une couche posée.

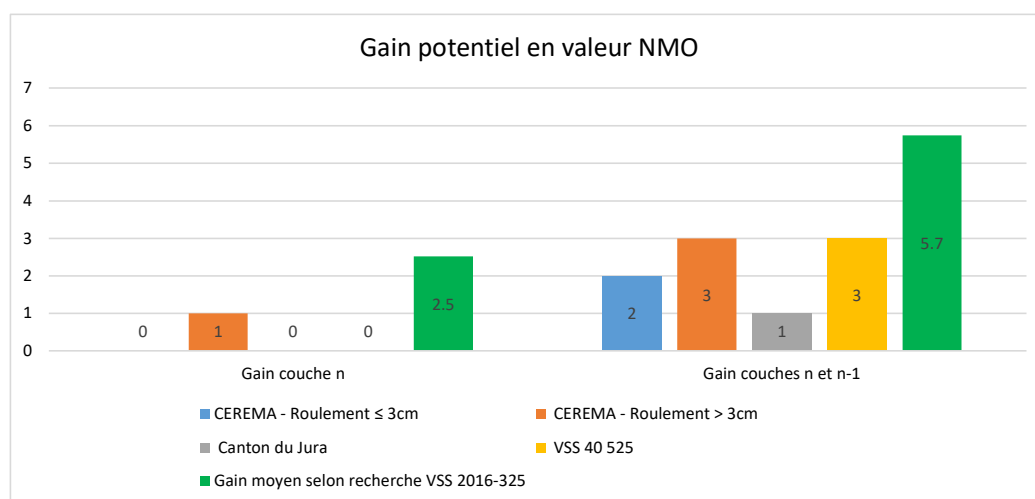
Les gains relatifs moyens issus des mesures de ce mandat sont quant à eux nettement supérieurs aux gains du seuil de refus du canton du Jura : les mesures révèlent donc que les gains relatifs sont en moyenne plus importants que les gains potentiels maximaux attendus par le canton du Jura.

### Comparaison des gains NBO aux gains potentiels du chapitre 2.7.1

Les graphiques suivants permettent de comparer les gains moyens NPO et NMO observés dans ce mandat de recherche aux gains potentiels déduits des valeurs cibles du CEREMA/Jura/VSS40525 sur les couches n-1 et n-2.



**Fig. 54** – Comparaison des gains potentiels NPO



**Fig. 55** – Comparaison des gains potentiels NMO

Les gains moyens NPO et NMO sont nettement supérieurs aux gains potentiels déduits de l'analyse bibliographique où le gain par couche (n ou n-1) ne dépasse pas 2 points, que ce soit pour le CEREMA, pour le canton du Jura ou pour la VSS40 525.

Concernant les grandes ondes, le gain absolu moyen NGO sur la couche n-2 est de +0.89, soit proche du gain potentiel attendu par CEREMA (gain de 1 point sur la couche n-2).

## 5.4 Evolution de la planéité longitudinale en fonction de l'état sur les couches sous-jacentes

### 5.4.1 Evolution en fonction de l'état sur couche n-1

#### Longueurs de pose pour évaluer la couche n

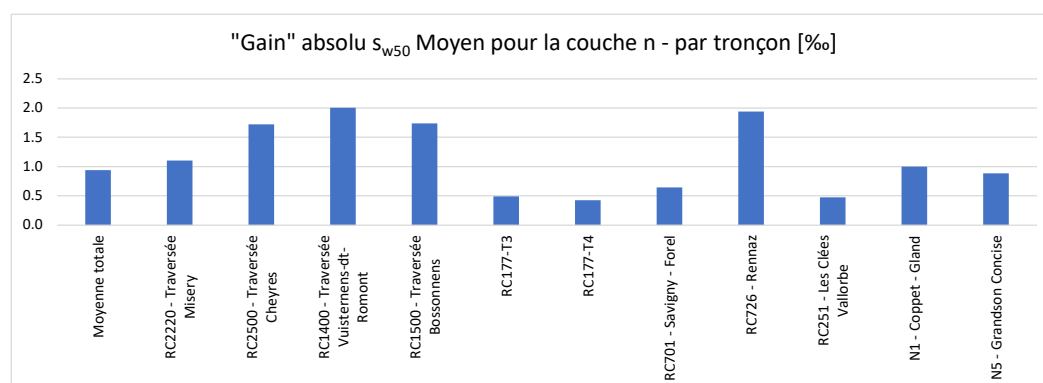
Pour rappel, les données disponibles pour la couche n figurent dans le tableau 27 :

**Tab. 27** Longueurs de pose disponibles pour évaluer la couche n

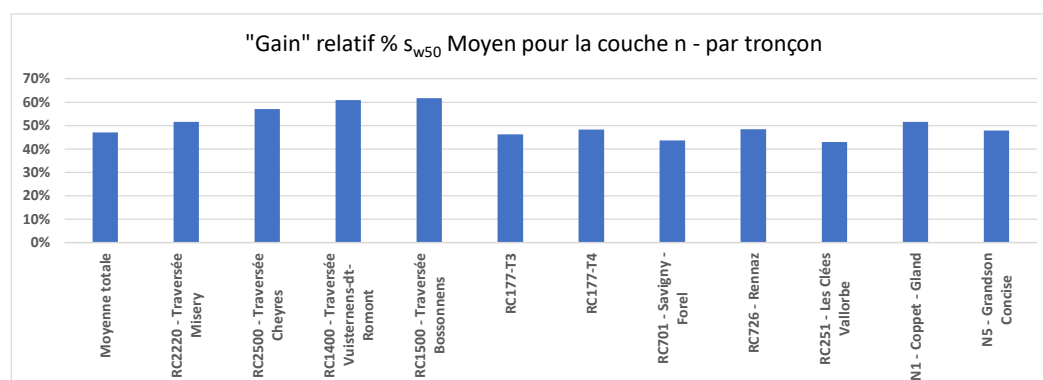
| Données disponibles                     | Données disponibles pour la valeur d'état $s_{w50}$ (Avec données de la N5) [km] |                   | Données disponibles pour l'ensemble des valeurs d'état (Sans données de la N5) [km] |                   |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                         | Longueur de pose                                                                 | Nombre de tronçon | Longueur de pose                                                                    | Nombre de tronçon |
| Sur couches n et n-1<br>→ Gain couche n | 64500                                                                            | 11                | 40100                                                                               | 10                |

#### Comparaison des gains par tronçons

Les graphiques de ce chapitre représentent les gains absolus et relatifs par tronçon et pour chaque valeur d'état, à l'exception des notes NBO où seuls les gains absolus sont présentés.



**Fig. 56** – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur  $s_{w50}$

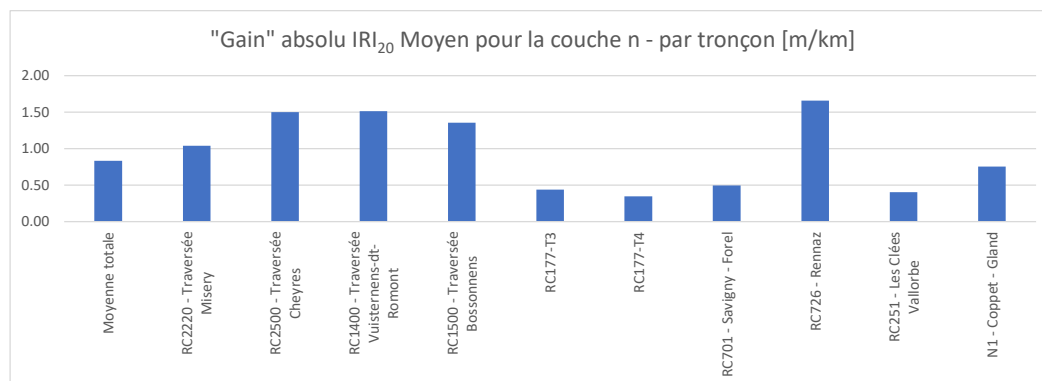


**Fig. 57** – Gains relatifs par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur  $s_{w50}$

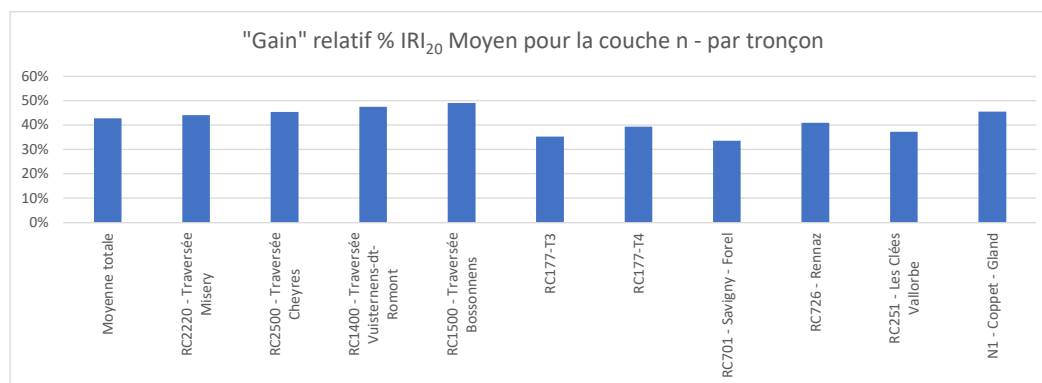
En moyenne, le gain absolu  $s_{w50}$  pour la couche n est de 0.97 ‰. Les gains absolus varient fortement d'un tronçon à un autre, de 0.42‰ pour la RC177-T4 à 2.01‰ pour la RC1400.

Les gains relatifs sont beaucoup plus homogènes. Ils sont compris entre 43% et 62%.

Plus les valeurs  $s_{w50}$  sur la couche n-1 sont élevés et plus les gains augmentent, ce qui explique le nivellement des gains négatifs par rapport aux gains absolus. On peut citer l'exemple de la RC177-T4 : si le gain absolu de 0.42‰ sur ce tronçon paraît faible, il s'explique par une planéité longitudinale déjà très bonne sur la couche n-1 ( $s_{w50}$  moyen de 0.86 ‰, soit déjà bien inférieur à la valeur de réception de 1.8‰ pour une route RP). En calculant le gain relatif sur ce tronçon (gain de 48%), on s'aperçoit qu'il est proche des gains relatifs des autres tronçons.

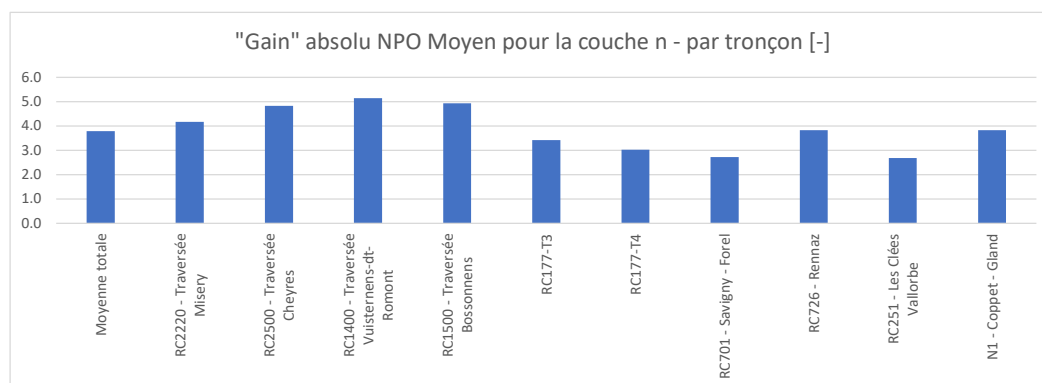


**Fig. 58** – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur IRI<sub>20</sub>



**Fig. 59** – Gains relatifs par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur IRI<sub>20</sub>

De même que pour les valeurs  $s_{w50}$ , les gains relatifs pour l'IRI<sub>20</sub> sont plus homogènes (gains compris entre 34 et 49%) que les gains absolus (gains variants entre 0.34 m/km pour la RC177-T4 et 1.65 m/km pour la RC726).



**Fig. 60** – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur NPO

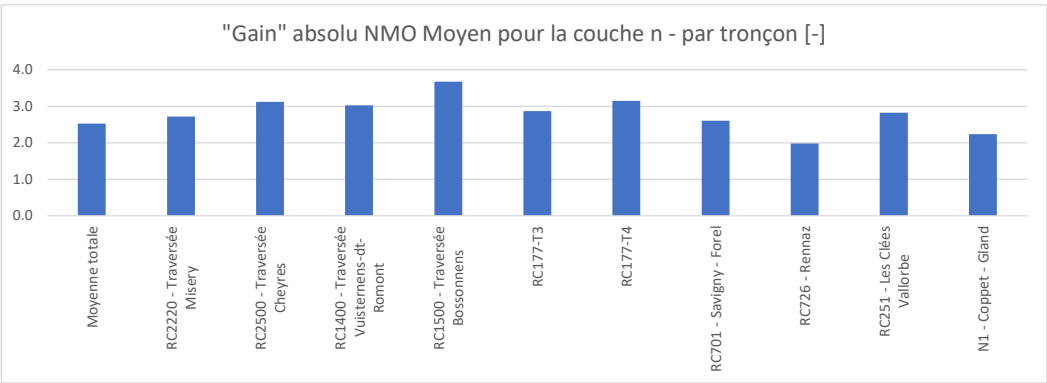


Fig. 61 – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur NMO

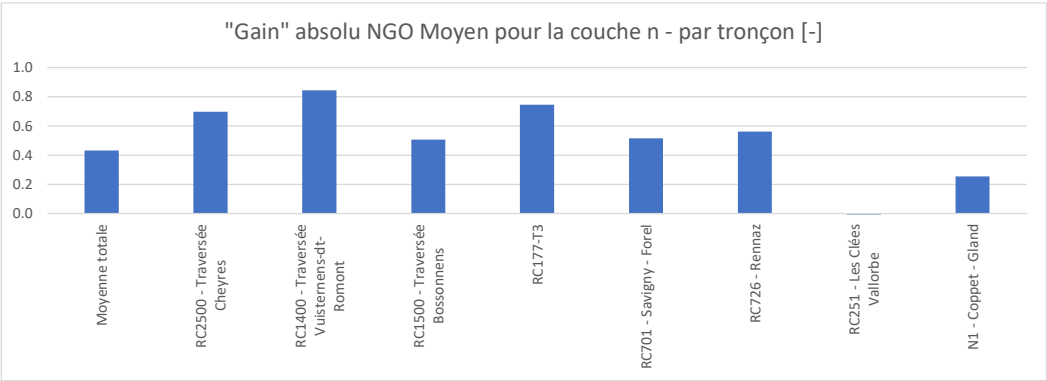


Fig. 62 – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur NGO

L'analyse des gains absolus des valeurs NPO et NMO permet de constater une bonne homogénéité des résultats entre tronçons. Selon les tronçons, on aboutit donc :

- À des gains absolus NPO compris entre 2.69 points (RC251) et 5.14 points (RC1400),
- Des gains absolus NMO compris entre 1.98 points (RC726) et 3.68 points (RC1500).

Les gains NGO sont en moyenne bien inférieurs aux gains NMO et NPO avec parfois même la présence d'un gain nul pour la RC251.

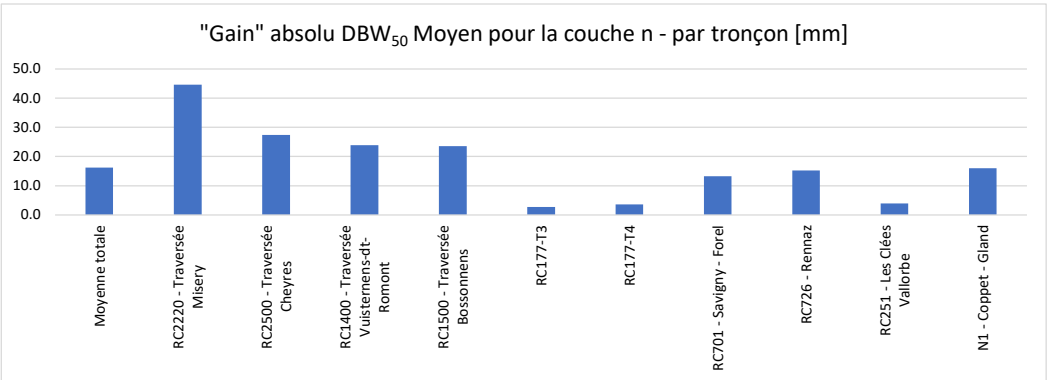
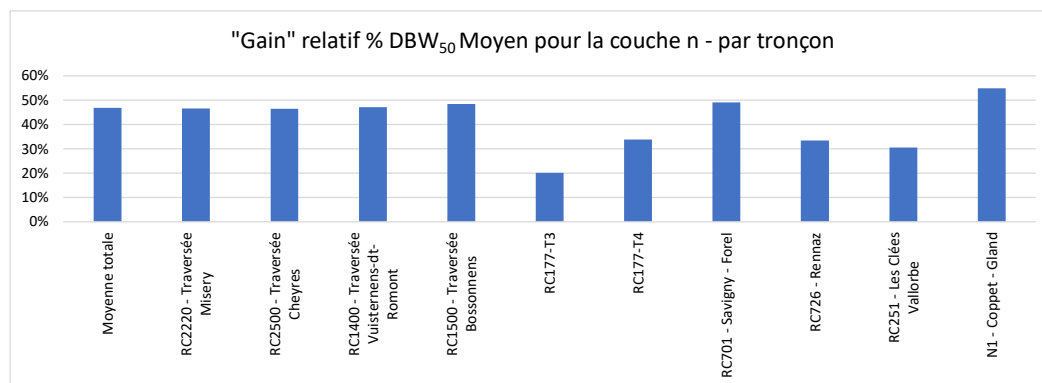
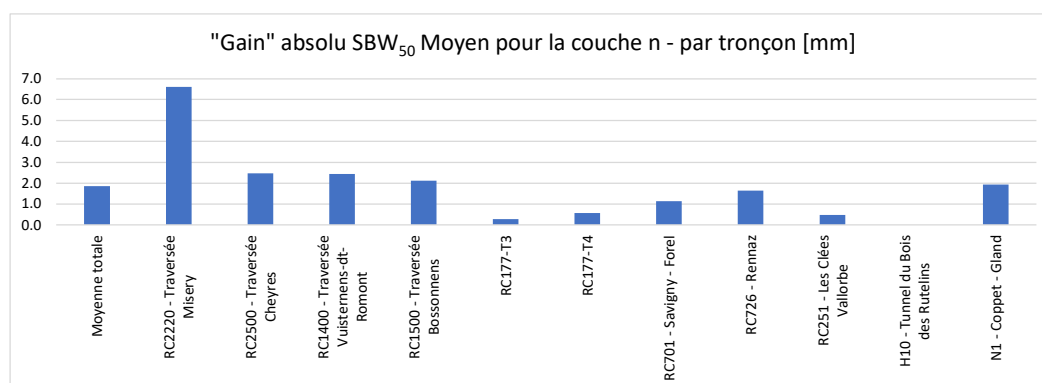


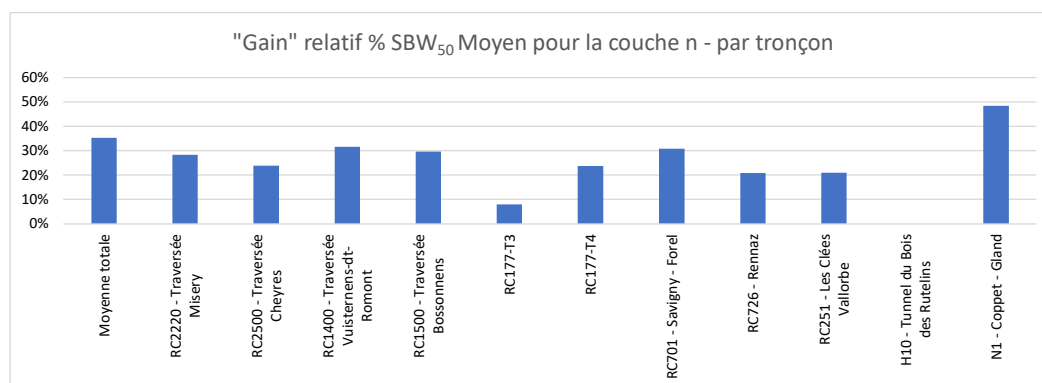
Fig. 63 – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur DBW<sub>50</sub>



**Fig. 64** – Gains relatifs par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur DBW<sub>50</sub>



**Fig. 65** – Gains absolus par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur SBW<sub>50</sub>



**Fig. 66** – Gains relatifs par tronçon pour la pose de la couche n – Valeur SBW<sub>50</sub>

Les gains relatifs des valeurs DBW<sub>50</sub> et SBW<sub>50</sub> sont plus homogènes que les gains absolus, mais restent relativement dispersés. Selon les tronçons, les gains relatifs DBW<sub>50</sub> sont compris entre 20% (RC177-T3) et 55% (N1) et ceux pour les valeurs SBW<sub>50</sub> sont compris entre 8% et 48%. Les gains les plus faibles sont observés sur la RC177-T3 et les plus élevés sur la N1.

#### Synthèse des résultats des gains par tronçons :

Au regard des analyses de gain par tronçon et par valeur d'état, on peut distinguer 3 groupes de valeurs d'état :

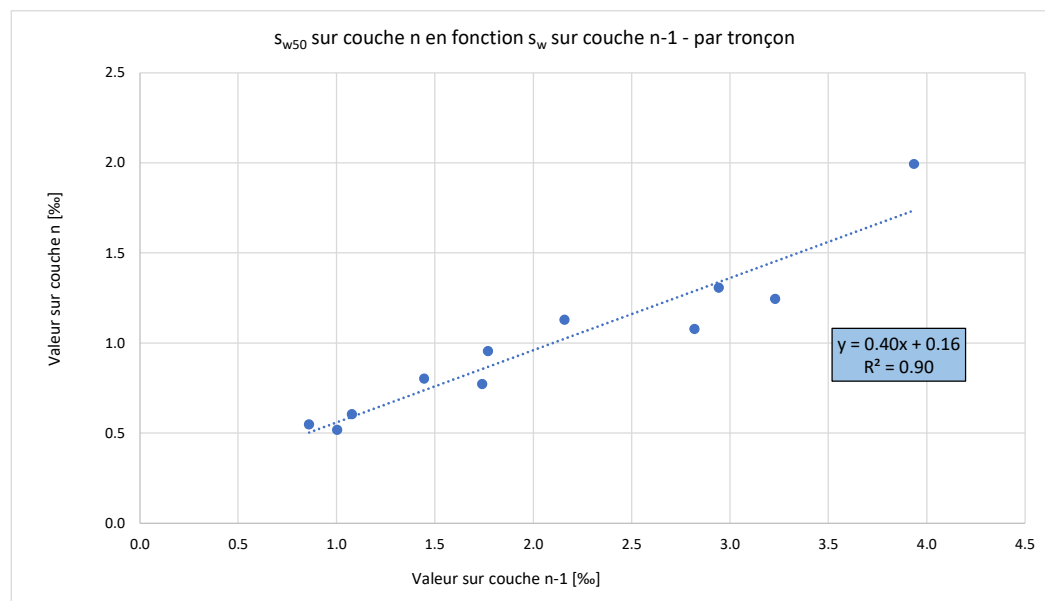
- Valeurs  $s_{w50}$ , IRI<sub>20</sub>, NPO/EPO et NMO/EMO : Pour ces valeurs, une bonne homogénéité des gains est observée (gains absolus pour les notes NPO et NMO, gains relatifs pour autres valeurs).
- Valeurs NGO : Les gains sont faibles voire nul comme dans le cas de la RC251. L'amélioration de la planéité longitudinale sur les grandes ondes n'est pas un objectif pour la couche de roulement mais plutôt pour les couches sous-jacentes (couches n-2 et n-3) et cela explique probablement les résultats faibles constatés.

- Valeurs DBW et SBW : Les résultats pour ces valeurs sont plus dispersés que pour les autres valeurs d'état. Ces valeurs sont affectées par la planéité longitudinale sur des longueurs d'ondes très variables (allant de 0 à 50m) ce qui peut expliquer les dispersions plus importantes par rapport aux autres valeurs d'état.

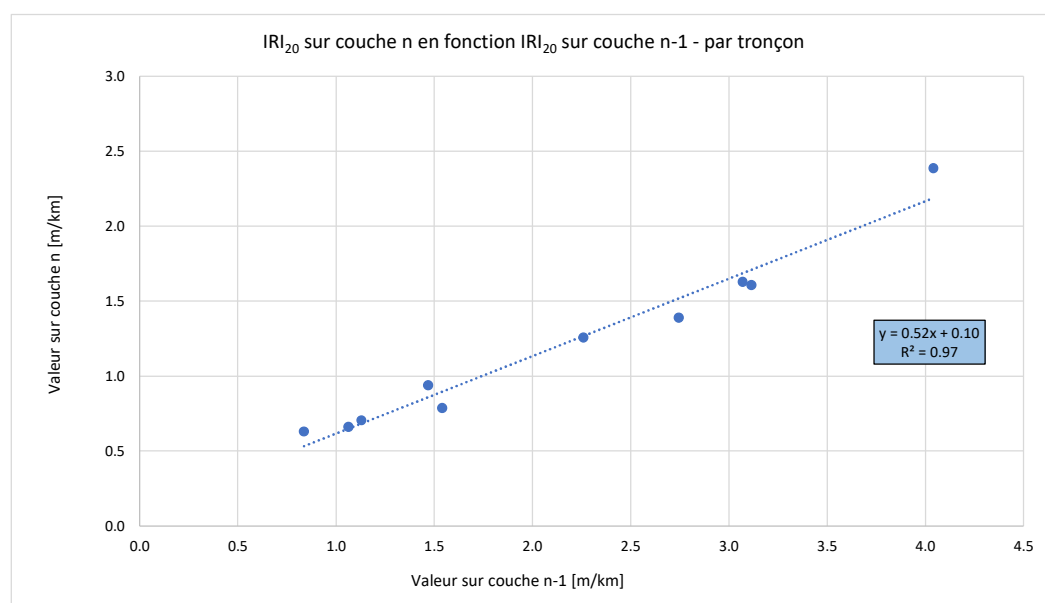
### Corrélations linéaires

Les graphiques suivants représentent les valeurs d'état sur la couche n en fonction des valeurs d'état sur la couche n-1. Les corrélations linéaires déduites ont pour but de prédire les valeurs d'état sur la couche n en fonction des résultats sur la couche n-1.

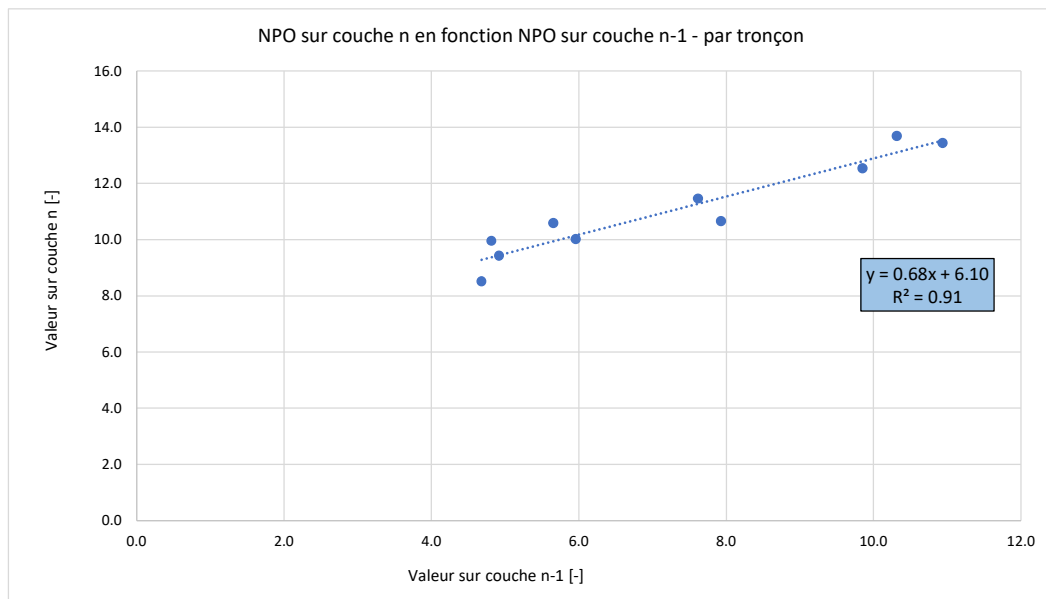
Les graphiques utilisent les valeurs d'état moyennes par tronçon.



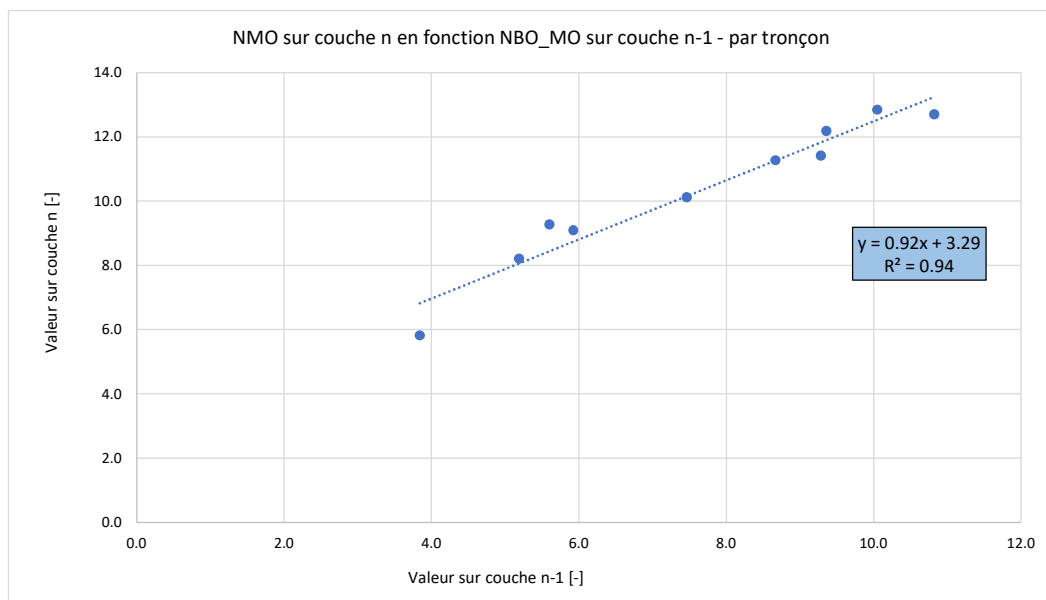
**Fig. 67** – Valeurs s<sub>w50</sub> – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1



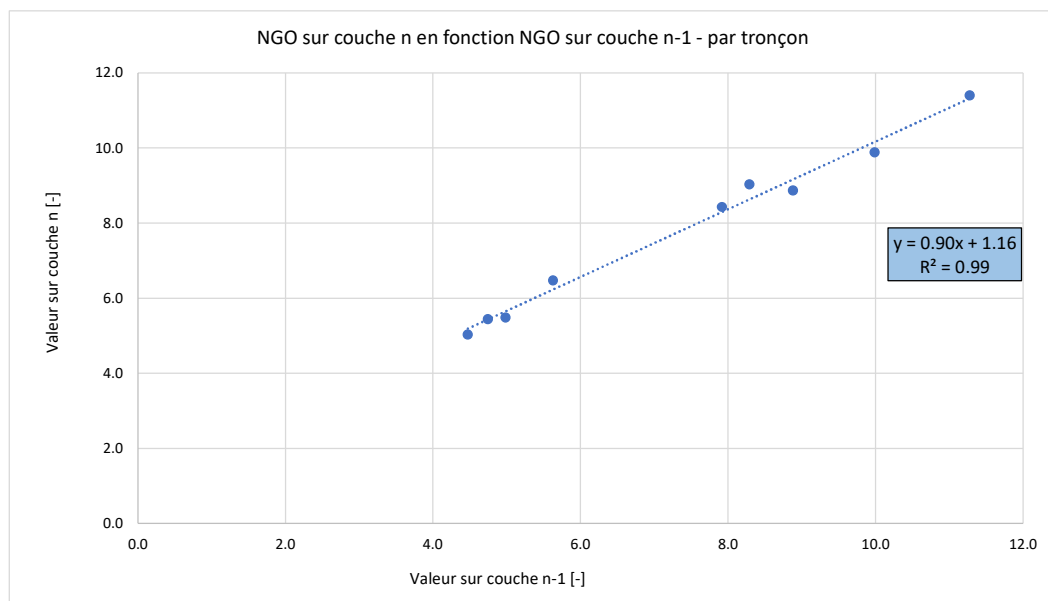
**Fig. 68** – Valeurs IRI<sub>20</sub> – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1



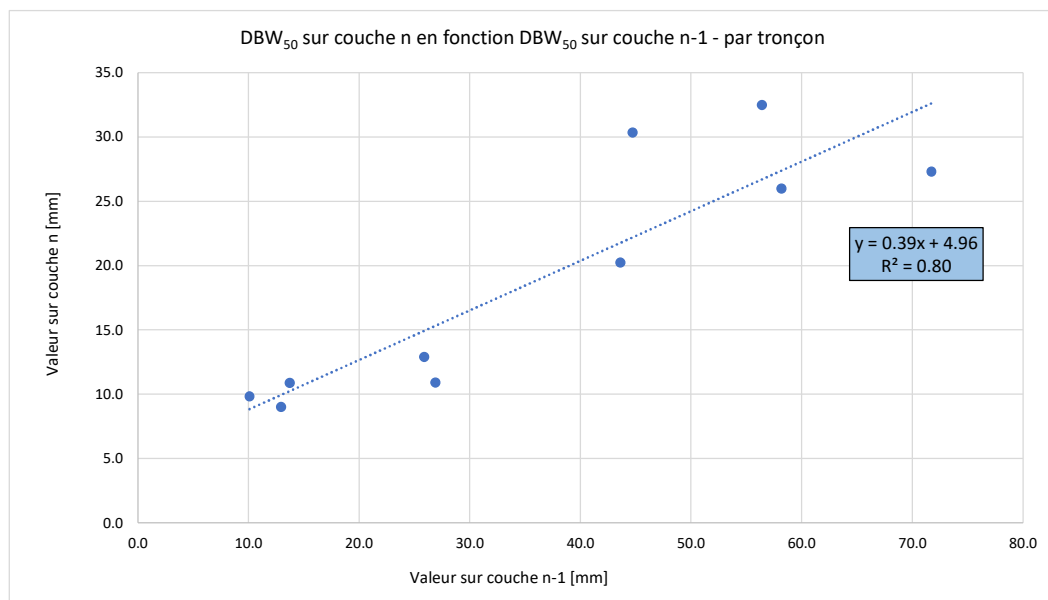
**Fig. 69** – Valeurs NPO – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1



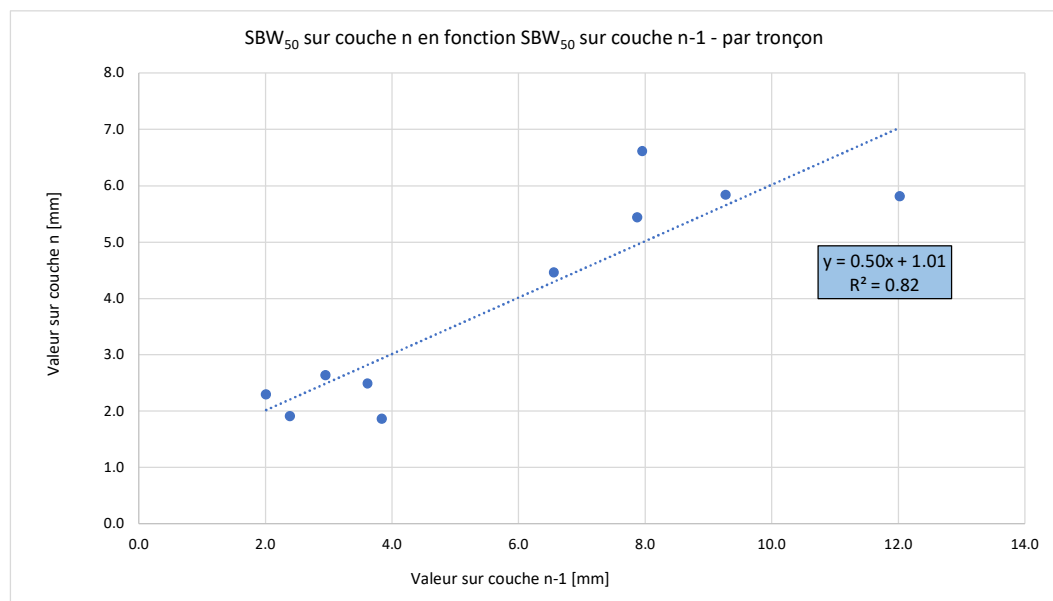
**Fig. 70** – Valeurs NMO – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1



**Fig. 71 – Valeurs NGO – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1**



**Fig. 72 – Valeurs DBW<sub>50</sub> – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1**



**Fig. 73 – Valeurs SBW<sub>50</sub> – Graphique des valeurs sur couche n en fonction des valeurs sur couche n-1**

**Tab. 28 Tableau de synthèse des corrélations linéaires**

| Valeur d'état     | Equation                                    | R <sup>2</sup> |
|-------------------|---------------------------------------------|----------------|
| S <sub>w50</sub>  | $S_{w50(n)} = S_{w50(n-1)} * 0.40 + 0.16$   | 0.90           |
| IRI <sub>20</sub> | $IRI_{20(n)} = IRI_{20(n-1)} * 0.52 + 0.10$ | 0.97           |
| NPO               | $NPO_{(n)} = NPO_{(n-1)} * 0.68 + 6.10$     | 0.91           |
| NMO               | $NMO_{(n)} = NMO_{(n-1)} * 0.92 + 3.29$     | 0.94           |
| NGO               | $NGO_{(n)} = NGO_{(n-1)} * 0.90 + 1.16$     | 0.99           |
| DBW <sub>50</sub> | $DBW_{50(n)} = DBW_{50(n-1)} * 0.39 + 4.96$ | 0.80           |
| SBW <sub>50</sub> | $DBW_{50(n)} = DBW_{50(n-1)} * 0.50 + 1.01$ | 0.82           |

Ces corrélations peuvent donc être utilisées pour prédire pour un tronçon les valeurs d'état moyennes sur la couche n à partir des valeurs moyennes sur la couche n-1, et ainsi anticiper d'éventuels non-respect des exigences. Les coefficients R<sup>2</sup> sont élevés (supérieurs à 0.9 pour les valeurs s<sub>w</sub>, IRI, et NBO ; supérieurs à 0.8 pour les valeurs DBW et SBW) et indiquent des corrélations consistantes.

Les valeurs projetées sur la couche n à partir de ces corrélations devraient être proches des valeurs finales après pose de la couche de roulement. A noter que toutes les couches testées dans le cadre de mandat ont été posées en vis calée, soit la méthode de guidage de finisseur la plus répandue pour la pose de la couche de roulement. En cas de pose avec une autre méthode de guidage, ces corrélations devraient être considérées avec précaution.

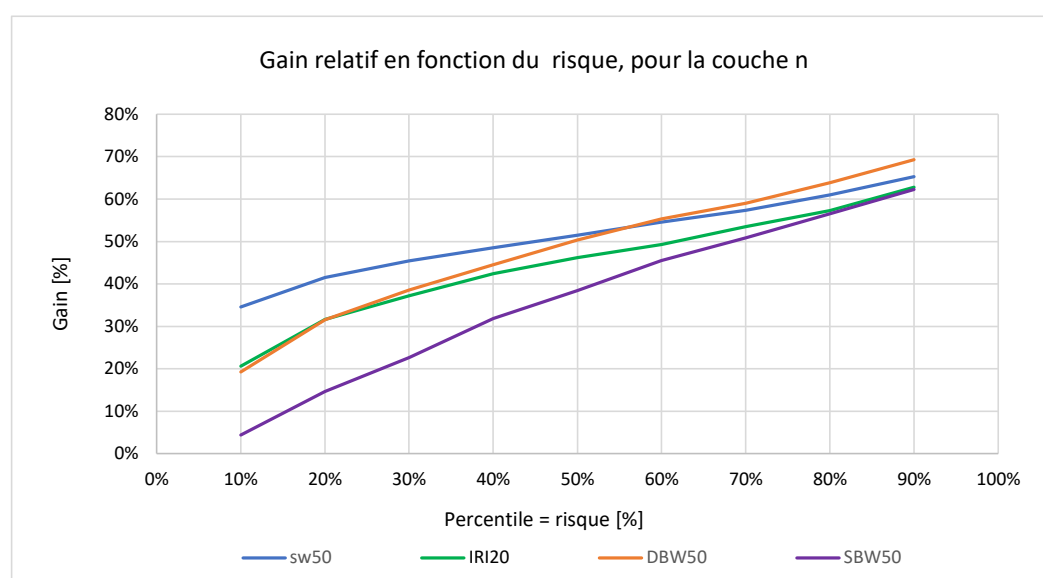
### Analyse par percentiles

Pour connaître la répartition des gains relatifs pour la couche n, on propose d'utiliser la méthode des percentiles : pour les percentiles de 10% à 90%, les gains relatifs sont calculés en considérant les valeurs de gains pour l'ensemble des intervalles.

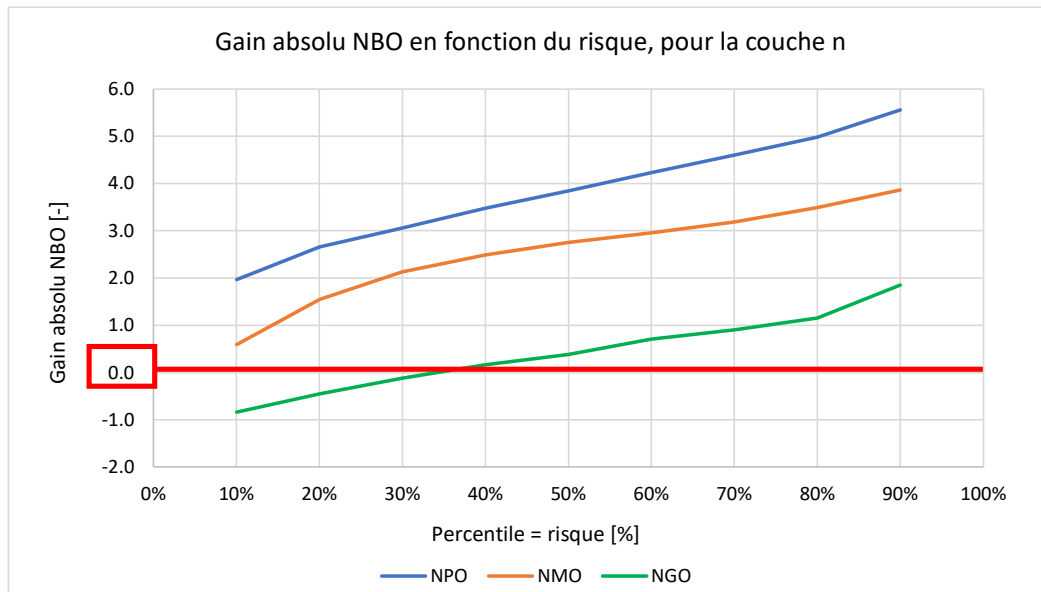
Pour les valeurs NBO, le gain absolu est utilisé car elles intègrent déjà la notion de gain relatif lors de la conversion des valeurs EBO en NBO.

**Tab. 29 Répartition des gains relatifs pour la couche n selon la méthode des percentiles**

| Percentile                    |                   | 10%  | 20%  | 30%  | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
|-------------------------------|-------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Gain relatif pour la couche n | Sw <sub>50</sub>  | 35%  | 41%  | 45%  | 48% | 51% | 55% | 57% | 61% | 65% |
|                               | IRI <sub>20</sub> | 21%  | 32%  | 37%  | 42% | 46% | 49% | 53% | 57% | 63% |
|                               | DBW <sub>50</sub> | 19%  | 32%  | 39%  | 45% | 50% | 55% | 59% | 64% | 69% |
|                               | SBW <sub>50</sub> | 4%   | 15%  | 23%  | 32% | 38% | 45% | 51% | 57% | 62% |
| Gain absolu pour la couche n  | NPO               | 2.0  | 2.7  | 3.1  | 3.5 | 3.8 | 4.2 | 4.6 | 5.0 | 5.6 |
|                               | NMO               | 0.6  | 1.5  | 2.1  | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.5 | 3.9 |
|                               | NGO               | -0.8 | -0.5 | -0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.2 | 1.9 |



**Fig. 74 – Gains relatifs pour la couche n en fonction des percentiles**



**Fig. 75** – Gains absolus NBO pour la couche n en fonction des percentiles

Ces tableaux et graphiques permettent d'associer le gain qu'il est possible d'obtenir pour chaque valeur d'état en l'associant à un risque qui est la valeur du percentile. Par exemple, en retenant un percentile de 20%, cela signifie qu'il y a un risque de 20% pour lequel le gain relatif  $s_{w50}$  de 41% ne sera pas atteint. Et inversement, dans 80% des cas, le gain relatif  $s_{w50}$  est supérieur à 41%.

Les gains absolus NBO peuvent être comparés aux gains potentiels pour la couche n relevés dans la littérature (CEREMA, Canton du Jura, VSS40525) et qui font état :

- D'un gain potentiel NPO variant de 1 à 2 points. Ces gains potentiels sont sécuritaires puisque le gain de 2 points correspond au percentile 10% ce qui veut dire que pour 90% des cas, le gain observé est supérieur à 2 points pour la couche n.
- D'un gain potentiel NMO variant de 0 à 1 point. Comme pour les valeurs NPO, ces gains potentiels paraissent très conservateurs puisqu'on observe une amélioration des notes NMO lors de la pose de la couche n : pour 86% des intervalles testés,
- D'un gain potentiel NGO nul. Les résultats viennent appuyer cette recommandation, puisque les gains absolus sont faibles voire négatifs sur plus de 30% des intervalles testés (valeur en rouge dans le tableau x. La pose de la couche n n'a probablement peu d'effet sur l'amélioration des valeurs NGO, celle-ci dépendant essentiellement de la qualité des couches sous-jacentes.

### Définition de valeurs cibles sur couche n-1

Connaissant les valeurs de réception pour les valeurs  $s_{w50}$  sur la couche de roulement, soit la couche n, on en déduit pour chaque percentile la valeur cible  $s_{w50}$  à obtenir sur la couche n-1.

**Tab. 30** Valeurs cibles  $s_{w50}$  sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525

| Vitesse d'utilisation | Valeur de réception $s_w$<br>sur couche n<br>selon VSS 40 525 | Valeur cible $s_{w50}$ sur couche n-1 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       |                                                               | 10%                                                   | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| >80km/h               | 1.4                                                           | 2.1                                                   | 2.4 | 2.6 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 4.0 |
| 60 - 80km/h           | 1.8                                                           | 2.8                                                   | 3.1 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 4.0 | 4.2 | 4.6 | 5.2 |
| <=50km/h              | 2.2                                                           | 3.4                                                   | 3.8 | 4.0 | 4.3 | 4.5 | 4.8 | 5.2 | 5.6 | 6.3 |

A titre indicatif, les valeurs cibles  $s_w$  du Canton du Jura sur la couche n-1 des routes RP et RL sont de :

- Seuil de conformité : 2.6 ‰
- Seuil d'alerte : 2.7 ‰
- Seuil de refus : 2.8 ‰

Ces seuils sont valables pour les routes RP et RL, que l'on peut assimiler aux routes avec vitesse d'utilisation respectivement de 60-80km/h et <=50km/h selon VSS 40 525. On note que ces valeurs sont assez conservatrices, puisque les seuils de conformité, d'alerte et de refus du canton du Jura correspondent à des risques respectifs de 7%, 9% et 11% pour une vitesse de mesure de 60-80km/h et inférieurs à 4% pour une vitesse de mesure <=50km/h.

Le même tableau peut être établi en substituant les valeurs  $s_w$  par la valeur  $I_2$  selon la norme VSS 40925. Pour tous les types de route, la valeur de réception correspond à une valeur  $I_2$  égale à 1.

**Tab. 31** Valeurs cibles  $I_2$  sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525

| Vitesse de mesure | Valeur de réception $I_2$<br>sur couche n | Valeur cible $I_2$ sur couche n-1 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |                                           | 10%                                               | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| >80km/h           | 1.0                                       | 1.9                                               | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.6 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 |
| 60 - 80km/h       | 1.0                                       | 1.8                                               | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.3 |
| <=50km/h          | 1.0                                       | 1.7                                               | 2.0 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.1 | 3.3 |

| Indice d'état $I_2$ [-] | Appréciation selon VSS 40 925 |
|-------------------------|-------------------------------|
| 0 à 1                   | Bon                           |
| 1 à 2                   | Moyen                         |
| 2 à 3                   | Suffisant                     |
| 3 à 4                   | Critique                      |
| 4 à 5                   | Mauvais                       |

Pour ce mandat, les mesures sur les couches sous-jacentes ont été réalisées pendant les travaux, soit sur des couches nouvellement posées ou sur des surfaces rabotées.

Les valeurs cibles définies sur la couche n-1 peuvent aussi être comparées aux valeurs de planéité longitudinale sur l'existant avant travaux.

Dans le cas d'un rechargement, la couche de roulement existante devient alors la couche n-1 de la future structure.

Dans le cas d'un renouvellement du revêtement (rabotage + pose de la nouvelle couche de roulement), ces pourcentages de risques pourraient être utilisés mais ils seront probablement sous-estimés puisque les travaux de rabotage devraient permettre également d'améliorer la planéité longitudinale (voir chapitre 5.5).

Les données de planéité longitudinale sur l'existant avant travaux peuvent également être utilisées pour affiner les solutions de réfection : d'après le tableau x, le risque de non-respect des exigences  $s_w$  sur la future couche de roulement sont faibles si la valeur  $I_2$  avant travaux est jugée « Moyenne » selon la norme VSS 40 925 ( $I_2$  compris entre 1 et 2). En revanche le risque est plus important pour une planéité longitudinale jugée « Suffisante » ( $I_2$  compris entre 2 et 3, risque variant entre 20 et 70%). Enfin, dès que  $I_2$  dépasse la valeur de 3 (niveau « Critique » ou « Mauvais »), le risque est très élevé (> 80%). Dans ce dernier cas, un rechargement en plusieurs couches devrait être envisagé pour garantir le respect des exigences de planéité longitudinale sur la couche de roulement.

Les tableaux des valeurs cibles sur la couche n-1 sont également établis pour les valeurs NBO (NPO, NMO et NGO), pour lesquels des valeurs de réception existent dans la norme VSS 40 525.

**Tab. 32 Valeurs cibles NPO sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525**

| Nombre de couche renouvelées                                          | Vitesse de mesure | Valeur de réception NPO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NPO sur couche n-1 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                       |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| <b>Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée</b> | >80km/h           | 7                                                     | 5.0                                             | 4.3 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.0 | 1.4 |  |
|                                                                       | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 5.0                                             | 4.3 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.0 | 1.4 |  |
|                                                                       | <=50km/h          | 6                                                     | 4.0                                             | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.4 |  |
| <b>Renouvellement couche de roulement</b>                             | >80km/h           | 6                                                     | 4.0                                             | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.4 |  |
|                                                                       | 60 - 80km/h       | 5                                                     | 3.0                                             | 2.3 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                       | <=50km/h          | 5                                                     | 3.0                                             | 2.3 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |  |
| <b>Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux</b>           | >80km/h           | 6                                                     | 4.0                                             | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.4 |  |
|                                                                       | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 4.0                                             | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.4 |  |
|                                                                       | <=50km/h          | 6                                                     | 4.0                                             | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.4 |  |

**Tab. 33 Valeurs cibles NMO sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525**

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NMO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NMO sur couche n-1 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 7                                                     | 6.4                                             | 5.5 | 4.9 | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 3.1 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 6.4                                             | 5.5 | 4.9 | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 3.1 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 5.4                                             | 4.5 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |  |
| Renouvellement couche de roulement                             | >80km/h           | 7                                                     | 6.4                                             | 5.5 | 4.9 | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 3.1 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 5.4                                             | 4.5 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |  |
|                                                                | <=50km/h          | -                                                     | -                                               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   |  |
| Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux           | >80km/h           | 7                                                     | 5.5                                             | 4.5 | 3.9 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 5.5                                             | 4.5 | 3.9 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 5.5                                             | 4.5 | 3.9 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |  |

**Tab. 34 Valeurs cibles NGO sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 (uniquement pour construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée)**

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NGO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NGO sur couche n-1 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 8                                                     | 8.8                                             | 8.5 | 8.1 | 7.8 | 7.6 | 7.3 | 7.1 | 6.8 | 6.1 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 7.8                                             | 7.5 | 7.1 | 6.8 | 6.6 | 6.3 | 6.1 | 5.8 | 5.1 |  |
|                                                                | <=50km/h          | -                                                     | -                                               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   |  |

Les valeurs en rouges dans le tableau 34 sont surprenantes puisque des valeurs cibles NGO sur couche n-1 sont supérieures aux exigences sur la couche. En effet, on observe un gain absolu négatif pour les valeurs NGO sur un peu plus de 30% des intervalles testés. Donc en théorie et si on souhaite minimiser le risque de non-respect des exigences NGO sur la couche n, on devrait viser une note un peu plus élevée sur la couche n-1 sachant que la planéité longitudinale pour les grandes longueurs d'ondes peut être altérée lors de la pose de la couche de roulement.

Aucune valeur de réception ne figure dans la norme VSS 40 525 pour les valeurs d'état IRI, le DBW et le SBW. Cependant et à titre d'exemple, ces tableaux sont fournis pour les valeurs de réception proposées dans le mandat de recherche VSS2016/322.

**Tab. 35 Valeurs cibles IRI sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322**

| Proposition<br>selon VSS<br>316/322 | Vitesse de<br>mesure | Valeur de réception IRI<br>sur couche n proposée<br>par VSS 2016/322 | Valeur cible IRI sur couche n-1 pour<br>percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                     |                      |                                                                      | 10%                                                | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Proposition a                       | >80km/h              | 1.4                                                                  | 1.8                                                | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.8 |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 1.8                                                                  | 2.3                                                | 2.6 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.5 | 3.9 | 4.2 | 4.8 |  |
|                                     | <=50km/h             | 2.4                                                                  | 3.0                                                | 3.5 | 3.8 | 4.2 | 4.5 | 4.7 | 5.2 | 5.6 | 6.5 |  |
| Proposition b                       | >80km/h              | 1.6                                                                  | 2.0                                                | 2.3 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 4.3 |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 1.9                                                                  | 2.4                                                | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 4.1 | 4.4 | 5.1 |  |
|                                     | <=50km/h             | 2.5                                                                  | 3.1                                                | 3.7 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.9 | 5.4 | 5.9 | 6.7 |  |

**Tab. 36 Valeurs cibles DBW sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322**

| Proposition<br>selon VSS<br>316/322 | Vitesse de<br>mesure | Valeur de réception<br>DBW sur couche n<br>proposée par VSS<br>2016/322 | Valeur cible DBW sur couche n-1 pour<br>percentile |      |      |      |      |      |       |       |       |  |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--|
|                                     |                      |                                                                         | 10%                                                | 20%  | 30%  | 40%  | 50%  | 60%  | 70%   | 80%   | 90%   |  |
| Proposition a                       | >80km/h              | 22.1                                                                    | 27.4                                               | 32.3 | 36.0 | 39.8 | 44.5 | 49.4 | 53.9  | 61.0  | 71.9  |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 29.2                                                                    | 36.2                                               | 42.7 | 47.5 | 52.6 | 58.7 | 65.3 | 71.2  | 80.7  | 95.0  |  |
|                                     | <=50km/h             | 41.5                                                                    | 51.4                                               | 60.7 | 67.5 | 74.8 | 83.5 | 92.8 | 101.3 | 114.6 | 135.0 |  |
| Proposition b                       | >80km/h              | 25.2                                                                    | 31.2                                               | 36.8 | 41.0 | 45.4 | 50.7 | 56.3 | 61.5  | 69.6  | 82.0  |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 30.6                                                                    | 37.9                                               | 44.7 | 49.8 | 55.2 | 61.6 | 68.4 | 74.7  | 84.5  | 99.6  |  |
|                                     | <=50km/h             | 43.2                                                                    | 53.5                                               | 63.1 | 70.3 | 77.9 | 86.9 | 96.5 | 105.4 | 119.3 | 140.6 |  |

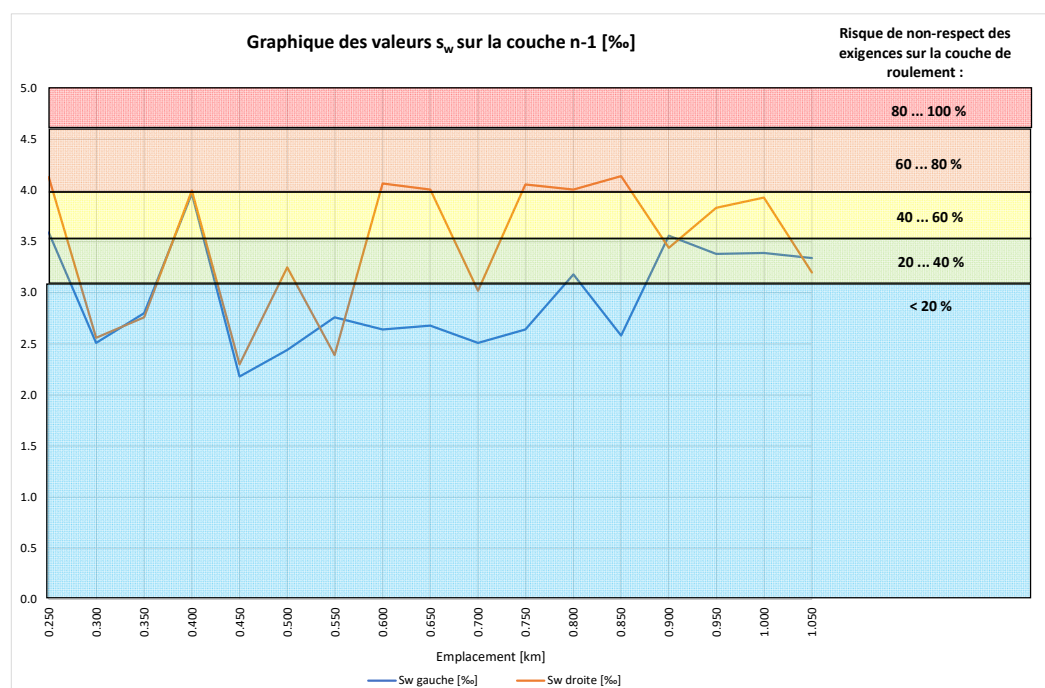
**Tab. 37 Valeurs cibles SBW sur la couche n-1 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322**

| Proposition<br>selon VSS<br>316/322 | Vitesse de<br>mesure | Valeur de réception SBW<br>sur couche n proposée<br>par VSS 2016/322 | Valeur cible SBW sur couche n-1 pour<br>percentile |     |     |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|--|
|                                     |                      |                                                                      | 10%                                                | 20% | 30% | 40%  | 50%  | 60%  | 70%  | 80%  | 90%  |  |
| Proposition a                       | >80km/h              | 3.7                                                                  | 3.9                                                | 4.3 | 4.8 | 5.4  | 6.0  | 6.8  | 7.5  | 8.5  | 9.8  |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 4.9                                                                  | 5.1                                                | 5.7 | 6.3 | 7.2  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 11.3 | 13.0 |  |
|                                     | <=50km/h             | 6.9                                                                  | 7.2                                                | 8.1 | 8.9 | 10.1 | 11.2 | 12.7 | 14.0 | 15.9 | 18.3 |  |
| Proposition b                       | >80km/h              | 4.2                                                                  | 4.4                                                | 4.9 | 5.4 | 6.2  | 6.8  | 7.7  | 8.5  | 9.7  | 11.1 |  |
|                                     | 60 - 80km/h          | 5.1                                                                  | 5.3                                                | 6.0 | 6.6 | 7.5  | 8.3  | 9.4  | 10.4 | 11.7 | 13.5 |  |
|                                     | <=50km/h             | 7.2                                                                  | 7.5                                                | 8.4 | 9.3 | 10.6 | 11.7 | 13.2 | 14.6 | 16.6 | 19.1 |  |

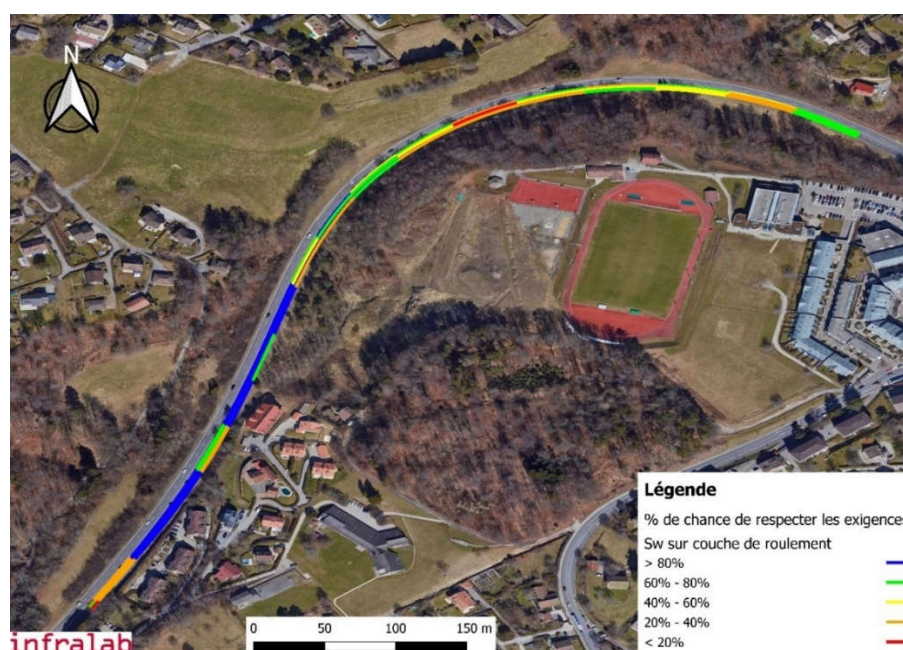
Connaissant les gains relatifs en fonction des percentiles pour l'ensemble des valeurs d'état, ces tableaux avec valeurs cibles sur couche n-1 pourront être établis en cas de changements ou ajouts de valeurs de réception dans la normalisation suisse.

## Cas pratique

Avec ces tableaux et connaissant les valeurs  $s_{w50}$  / NBO sur la couche n-1, le maître d'ouvrage et l'entreprise de construction pourraient alors estimer le risque qu'elle a de ne pas respecter les exigences sur la couche de roulement. En cas de risque élevé, l'entreprise pourrait alors prendre des dispositions particulières pour éviter des non-conformités sur la couche de roulement, comme adapter la méthode de pose, ou procéder à un rabotage de la couche n-1. Les figures suivantes (graphes itinéraires, cartographie) sont des exemples de représentation du risque de non-respect des exigences à partir des mesures sur la couche n-1.



**Fig. 76** – Exemple de graphe itinéraire des valeurs  $s_{w50}$  sur couche n-1 avec visualisation des risques de non-respect des exigences



**Fig. 77** – Exemple de cartographie des risques de non-respect des exigences à partir des valeurs  $s_{w50}$  sur couche n-1

## 5.4.2 Evolution en fonction de l'état sur couche n-2

### Longueurs de pose pour évaluer la pose de 2 couches

Pour cette évaluation, on analyse les tronçons pour lesquels on dispose des données sur les surfaces des couches n et n-2. A noter le cas particulier de la H10 et d'une partie de la RC177-T4 : pour ces tronçons, on dispose de données sur les couches n et n-2 mais pas sur la couche n-1. Les analyses de ces tronçons ne pouvaient donc pas être intégrées pour l'évaluation de la couche n mais peuvent donc l'être pour l'évaluation de la pose des 2 couches de surface (couches n et n-1).

Les données disponibles pour l'évaluation de la pose des 2 couches de surface figurent dans le tableau suivant :

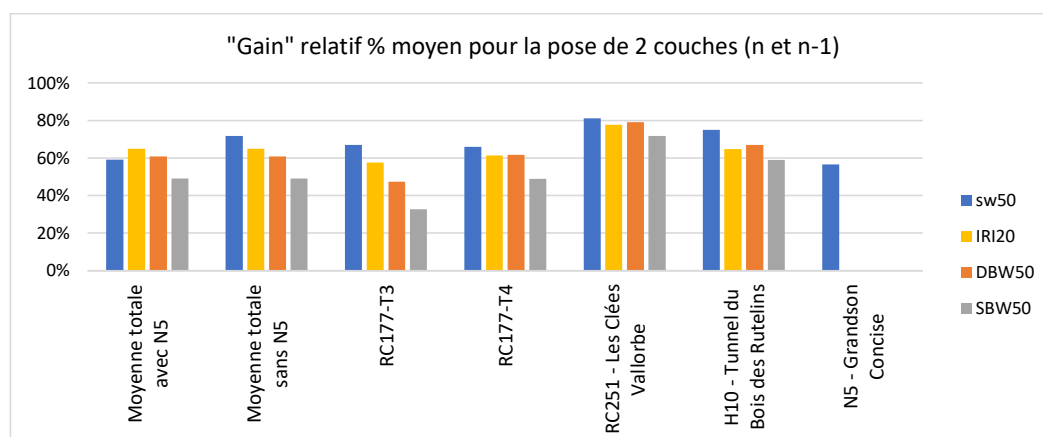
**Tab. 38** Longueurs de pose disponibles pour évaluer la pose des 2 couches de surface

| Données disponibles                                        | Données disponibles pour la valeur d'état $s_{w50}$<br>(Avec données de la N5)<br>[km] |                    | Données disponibles pour l'ensemble des valeurs d'état<br>(Sans données de la N5)<br>[km] |                    |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                            | Longueur de pose                                                                       | Nombre de tronçons | Longueur de pose                                                                          | Nombre de tronçons |
| Sur couches n et n-2<br>→ Gain des 2<br>couches de surface | 28950                                                                                  | 5                  | 4950                                                                                      | 4                  |

On dispose donc de linéaires beaucoup moins importants que pour la couche n mais le nombre de tronçons à disposition (4 ou 5 tronçons, selon que la considère ou non la N5) reste suffisamment représentatif pour évaluer l'impact de la pose des 2 couches de surface, au moins pour la comparaison des gains par tronçons et l'analyse par percentiles. En revanche, on ne dispose pas de suffisamment de points pour établir des corrélations linéaires comme celles présentées pour l'analyse de la couche n.

### Comparaison des gains par tronçons

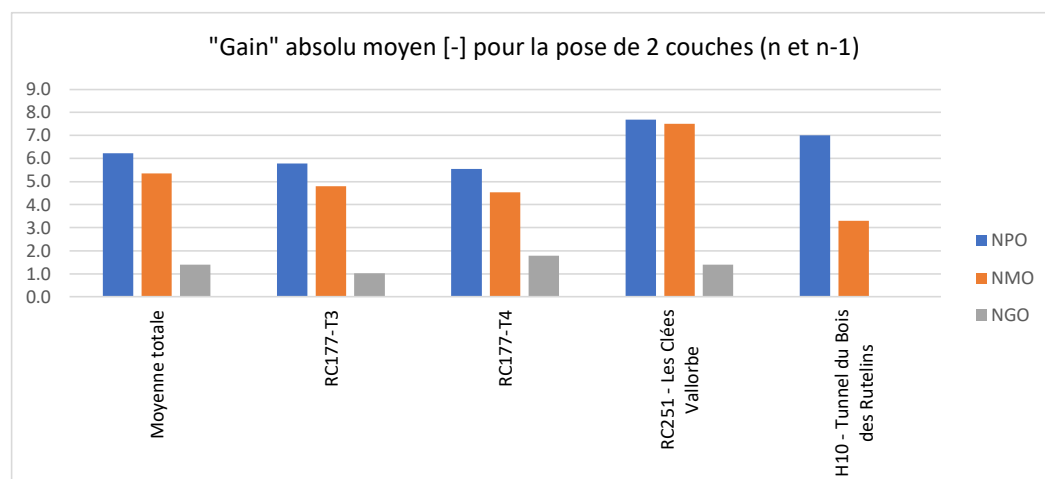
Les graphiques de ce chapitre représentent les gains absolus et relatifs par tronçon et pour chaque valeur d'état, à l'exception des notes NBO où seuls les gains absolus sont présentés.



**Fig. 78** – Gains relatifs par tronçon pour la pose des 2 couches de surface – Valeurs  $s_{w50}$ ,  $IRI_{20}$ ,  $DBW_{50}$ ,  $SBW_{50}$

Pour l'ensemble des tronçons où l'on dispose de toutes les données, les gains relatifs pour la pose des 2 couches de surface sont les plus élevés pour les valeurs  $s_{w50}$  et les plus faibles pour les valeurs  $SBW_{50}$ .

Pour la N5, on ne dispose du gain que pour la valeur  $s_{w50}$ . Pour ce tronçon, le gain relatif  $s_{w50}$  pour la pose de deux couches est inférieur à celui des autres tronçons, en raison du faible gain sur la couche n-2 par rapport aux autres tronçons (voir chapitre 5.3.2). Compte tenu de l'importance de la N5, celui-ci a un fort impact sur la moyenne totale de gains relatifs et c'est la raison pour laquelle on distingue dans la figure 78 la moyenne totale avec et sans prise en compte des résultats de la N5. Sans résultats de la N5, la valeur  $s_{w50}$  présente les gains les plus élevés, alors qu'avec la N5, le gain de la valeur  $s_{w50}$  est plus faible que ceux de l'IRI<sub>20</sub> et du DBW<sub>50</sub>.



**Fig. 79** – Gains absolus par tronçon pour la pose des 2 couches de surface – Valeurs NBO

Compte tenu de la faible longueur du tronçon de la H10 (0.765 km), les résultats sur ce tronçon ne sont pas fournis pour les valeurs NGO.

La pose des 2 couches amène à une forte amélioration des valeurs NPO et NMO.

L'impact sur les valeurs NGO est faible mais assez constant (gain de 1.0 à 1.8 points selon les tronçons).

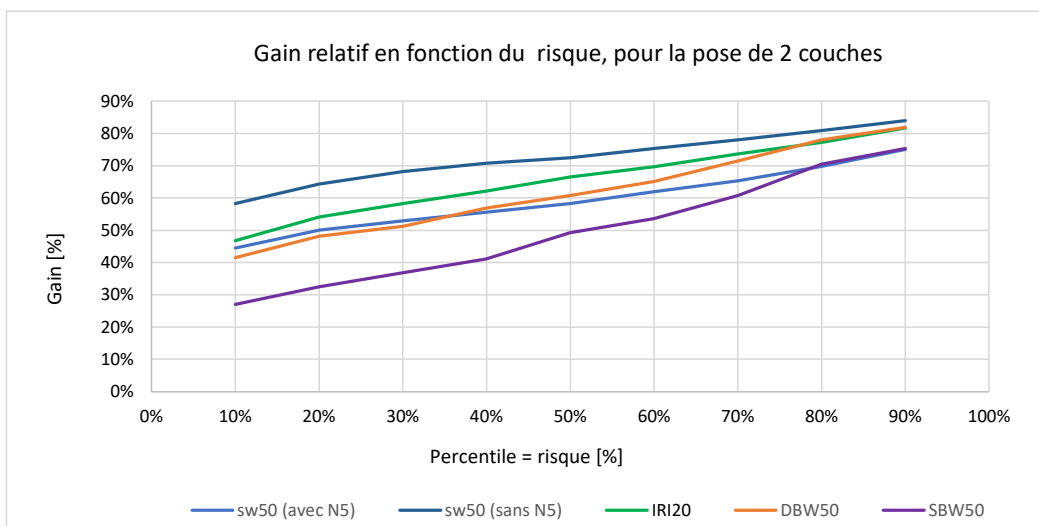
#### Analyse par percentiles

Les gains relatifs pour la pose des 2 couches de surface sont calculés en considérant les valeurs de gains pour l'ensemble des intervalles.

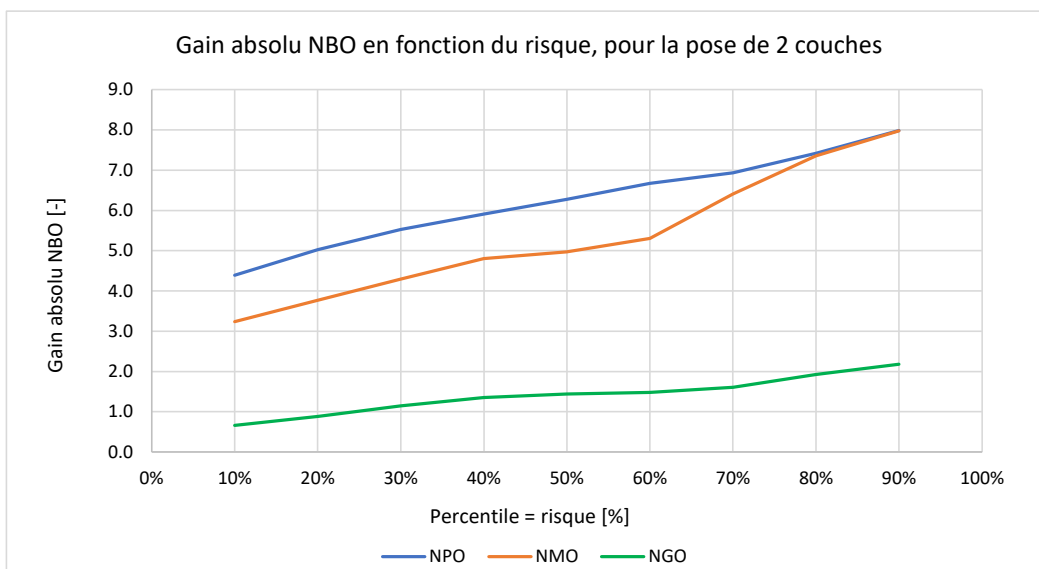
Pour les valeurs NBO, le gain absolu est utilisé car elles intègrent déjà la notion de gain relatif lors de la conversion des valeurs EBO en NBO.

**Tab. 39** Répartition des gains relatifs pour la pose des 2 couches de surface selon la méthode des percentiles

| Percentile                                         |                     | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
|----------------------------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Gain relatif pour la Pose des 2 couches de surface | $s_{w50}$ (Avec N5) | 44% | 50% | 53% | 56% | 58% | 62% | 65% | 70% | 75% |
|                                                    | $s_{w50}$ (Sans N5) | 58% | 64% | 68% | 71% | 73% | 75% | 78% | 81% | 84% |
|                                                    | IRI <sub>20</sub>   | 47% | 54% | 58% | 62% | 66% | 70% | 74% | 77% | 82% |
|                                                    | SBW <sub>50</sub>   | 42% | 48% | 51% | 57% | 61% | 65% | 71% | 78% | 82% |
|                                                    | DBW <sub>50</sub>   | 27% | 32% | 37% | 41% | 49% | 54% | 61% | 71% | 75% |
|                                                    | NPO                 | 4.4 | 5.0 | 5.5 | 5.9 | 6.3 | 6.7 | 6.9 | 7.4 | 8.0 |
| Gain absolu pour la Pose des 2 couches de surface  | NMO                 | 3.2 | 3.8 | 4.3 | 4.8 | 5.0 | 5.3 | 6.4 | 7.4 | 8.0 |
|                                                    | NGO                 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.9 | 2.2 |



**Fig. 80** – Gains relatifs pour la pose des 2 couches de surface en fonction des percentiles



**Fig. 81** – Gains absolus pour la pose des 2 couches de surface en fonction des percentiles

Les gains potentiels pour la pose des 2 couches de surface identifiés dans la littérature (CEREMA, Canton du Jura, VSS40525) pour les valeurs NBO font état :

- De gains potentiels NPO et NMO variant de 1 à 3 points. Le risque de 10% basé sur les mesures effectuées lors de mandat indiquent un gain NPO de 4.4 points et un gain NMO de 3.2 points, soit des gains déjà supérieurs au gain potentiel maximum de 3 points, qui est très conservateur.
- D'un gain potentiel NGO nul. Les résultats indiquent cependant qu'on peut raisonnablement espérer un gain d'1 point BGO avec la pose des 2 couches de surface (un gain NGO de 1 point a été observé sur 75 % des intervalles testés).

### Définition de valeurs cibles sur couche n-2

Connaissant les valeurs de réception pour les valeurs  $s_{w50}$  sur la couche de roulement, soit la couche n, on en déduit pour chaque percentile la valeur cible  $s_{w50}$  à obtenir sur la couche n-2.

**Tab. 40** Valeurs cibles  $s_{w50}$  sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 – Avec résultats de la N5

| Vitesse de mesure | Valeur de réception $s_w$ sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible $s_{w50}$ sur couche n-2 pour percentile (Avec N5) |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                   |                                                         | 10%                                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| >80km/h           | 1.4                                                     | 2.5                                                             | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 4.0 | 4.6 | 5.6 |  |
| 60 - 80km/h       | 1.8                                                     | 3.2                                                             | 3.6 | 3.8 | 4.1 | 4.3 | 4.7 | 5.2 | 6.0 | 7.2 |  |
| <=50km/h          | 2.2                                                     | 4.0                                                             | 4.4 | 4.7 | 5.0 | 5.3 | 5.8 | 6.3 | 7.3 | 8.8 |  |

**Tab. 41** Valeurs cibles  $s_{w50}$  sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 – Sans résultats de la N5

| Vitesse de mesure | Valeur de réception $s_w$ sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible $s_{w50}$ sur couche n-2 pour percentile (Sans N5) |     |     |     |     |     |      |      |      |  |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|--|
|                   |                                                         | 10%                                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70%  | 80%  | 90%  |  |
| >80km/h           | 1.4                                                     | 3.4                                                             | 3.9 | 4.4 | 4.8 | 5.1 | 5.7 | 6.4  | 7.3  | 8.7  |  |
| 60 - 80km/h       | 1.8                                                     | 4.3                                                             | 5.0 | 5.7 | 6.1 | 6.5 | 7.3 | 8.2  | 9.4  | 11.2 |  |
| <=50km/h          | 2.2                                                     | 5.3                                                             | 6.2 | 6.9 | 7.5 | 8.0 | 8.9 | 10.0 | 11.5 | 13.7 |  |

A titre indicatif, les valeurs cibles  $s_w$  du Canton du Jura sur la couche n-2 sont de :

- Seuil de conformité : 2.8 ‰
- Seuil d'alerte : 2.9 ‰
- Seuil de refus : 3.3 ‰

Comme déjà observés pour les seuils du canton du Jura sur la couche n-1, ces seuils sur la couche n-sont sécuritaires, puisqu'ils correspondant à des risques faibles (risque maximal de 11% une vitesse de mesure de 60-80km/h et avec prise en compte de résultats de la N5).

De même que pour la couche n-1, les valeurs cibles  $l_2$  sont calculées sur la couche n-2, par transformation des valeurs  $s_w$  selon la norme VSS 40 925b [8].

**Tab. 42** Valeurs cibles  $s_{w50}$  sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 – Hypothèses avec résultats de la N5

| Vitesse de mesure | Valeur de réception I <sub>2</sub> sur couche n | Valeur cible I <sub>2</sub> sur couche n-2 pour percentile (Avec N5) |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                   |                                                 | 10%                                                                  | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| >80km/h           | 1.0                                             | 2.3                                                                  | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 4.1 |  |
| 60 - 80km/h       | 1.0                                             | 2.2                                                                  | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.8 | 3.1 | 3.3 | 3.7 | 4.3 |  |
| <=50km/h          | 1.0                                             | 2.1                                                                  | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.7 | 4.3 |  |

**Tab. 43** Valeurs cibles  $sw_{50}$  sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 – Hypothèses sans résultats de la N5

| Vitesse de mesure | Valeur de réception I <sub>2</sub> sur couche n | Valeur cible I <sub>2</sub> sur couche n-2 pour percentile (Avec N5) |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                   |                                                 | 10%                                                                  | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| >80km/h           | 1.0                                             | 3.0                                                                  | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 3.8 | 4.1 | 4.4 | 4.7 | 5.0 |  |
| 60 - 80km/h       | 1.0                                             | 2.8                                                                  | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 5.0 |  |
| <=50km/h          | 1.0                                             | 2.9                                                                  | 3.3 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 5.0 |  |

| Indice d'état $I_2$ [-] | Appréciation selon VSS 40 925 |
|-------------------------|-------------------------------|
| 0 à 1                   | Bon                           |
| 1 à 2                   | Moyen                         |
| 2 à 3                   | Suffisant                     |
| 3 à 4                   | Critique                      |
| 4 à 5                   | Mauvais                       |

La prise en compte ou non des résultats de la N5 a un impact important sur les valeurs cibles  $I_2$  sur la couche n-2. Pour un même risque, on constate environ une classe d'écart dans la valeur d'indice  $I_2$ . Autrement dit, en partant sur un risque par exemple de 50% :

- Avec résultats de la N5, un indice  $I_2$  jugé « Suffisant » sur la couche n-2 ( $I_2$  entre 2 et 3) permettrait de respecter les exigences sur la couche n
- Sans prise en compte de la N5, un indice  $I_2$  jugé « Critique » sur la couche n-2 ( $I_2$  entre 3 et 4) suffirait pour atteindre les exigences.

Les tableaux 43 à 45 présentent les valeurs cibles NBO (NPO, NMO et NGO) sur la couche n-2 pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525.

**Tab. 43** Valeurs cibles NPO sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NPO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NPO sur couche n-2 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 7                                                     | 2.6                                             | 2.0 | 1.5 | 1.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 2.6                                             | 2.0 | 1.5 | 1.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 1.6                                             | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |
| Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux           | >80km/h           | 6                                                     | 1.6                                             | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 1.6                                             | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 1.6                                             | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |

**Tab. 44** Valeurs cibles NMO sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NMO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NMO sur couche n-2 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 7                                                     | 3.8                                             | 3.2 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 3.8                                             | 3.2 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 2.8                                             | 2.2 | 1.7 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |
| Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux           | >80km/h           | 7                                                     | 3.8                                             | 3.2 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 2.8                                             | 2.2 | 1.7 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 2.8                                             | 2.2 | 1.7 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |  |

**Tab. 45** Valeurs cibles NGO sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les valeurs de réception de la norme VSS 40 525 (uniquement pour construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée)

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NGO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible NGO sur couche n-2 pour percentile |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                                |                   |                                                       | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |  |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 8                                                     | 7.3                                             | 7.1 | 6.9 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 6.4 | 6.1 | 5.8 |  |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 6.3                                             | 6.1 | 5.9 | 5.6 | 5.6 | 5.5 | 5.4 | 5.1 | 4.8 |  |
|                                                                | <=50km/h          | -                                                     | -                                               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   |  |

Les valeurs cibles sur la couche n-2 sont fournis pour l'IRI, le DBW et le SBW en considérant les valeurs de réception proposées dans le mandat de recherche VSS2016/322.

**Tab. 46** Valeurs cibles IRI sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322

| Proposition selon VSS 316/322 | Vitesse de mesure | Valeur de réception IRI sur couche n proposée par VSS 2016/322 | Valeur cible IRI sur couche n-2 pour percentile |     |     |     |     |     |     |      |      |  |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|--|
|                               |                   |                                                                | 10%                                             | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80%  | 90%  |  |
| Proposition a                 | >80km/h           | 1.4                                                            | 2.6                                             | 3.1 | 3.4 | 3.7 | 4.2 | 4.6 | 5.3 | 6.2  | 7.7  |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 1.8                                                            | 3.4                                             | 3.9 | 4.3 | 4.8 | 5.4 | 5.9 | 6.8 | 7.9  | 9.9  |  |
|                               | <=50km/h          | 2.4                                                            | 4.5                                             | 5.2 | 5.8 | 6.4 | 7.1 | 7.9 | 9.1 | 10.6 | 13.2 |  |
| Proposition b                 | >80km/h           | 1.6                                                            | 3.0                                             | 3.5 | 3.8 | 4.2 | 4.8 | 5.3 | 6.1 | 7.0  | 8.8  |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 1.9                                                            | 3.6                                             | 4.1 | 4.6 | 5.0 | 5.7 | 6.3 | 7.2 | 8.4  | 10.4 |  |
|                               | <=50km/h          | 2.5                                                            | 4.7                                             | 5.4 | 6.0 | 6.6 | 7.4 | 8.2 | 9.5 | 11.0 | 13.7 |  |

**Tab. 47** Valeurs cibles DBW sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322

| Proposition selon VSS 316/322 | Vitesse de mesure | Valeur de réception DBW sur couche n proposée par VSS 2016/322 | Valeur cible DBW sur couche n-2 pour percentile |      |      |       |       |       |       |       |       |  |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                               |                   |                                                                | 10%                                             | 20%  | 30%  | 40%   | 50%   | 60%   | 70%   | 80%   | 90%   |  |
| Proposition a                 | >80km/h           | 22.1                                                           | 37.8                                            | 42.6 | 45.4 | 51.3  | 56.4  | 63.3  | 77.3  | 100.6 | 122.0 |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 29.2                                                           | 49.9                                            | 56.3 | 59.9 | 67.8  | 74.5  | 83.6  | 102.2 | 132.9 | 161.2 |  |
|                               | <=50km/h          | 41.5                                                           | 71.0                                            | 80.0 | 85.2 | 96.3  | 105.9 | 118.9 | 145.2 | 188.9 | 229.1 |  |
| Proposition b                 | >80km/h           | 25.2                                                           | 43.1                                            | 48.6 | 51.7 | 58.5  | 64.3  | 72.2  | 88.2  | 114.7 | 139.1 |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 30.6                                                           | 52.3                                            | 59.0 | 62.8 | 71.0  | 78.1  | 87.6  | 107.1 | 139.3 | 168.9 |  |
|                               | <=50km/h          | 43.2                                                           | 73.9                                            | 83.3 | 88.7 | 100.3 | 110.2 | 123.7 | 151.1 | 196.7 | 238.5 |  |

**Tab. 48** Valeurs cibles SBW sur la couche n-2 par percentile et pour atteindre les propositions de valeurs de réception du mandat de recherche VSS 2016/322

| Proposition selon VSS 316/322 | Vitesse de mesure | Valeur de réception SBW sur couche n proposée par VSS 2016/322 | Valeur cible SBW sur couche n-2 pour percentile |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                               |                   |                                                                | 10%                                             | 20%  | 30%  | 40%  | 50%  | 60%  | 70%  | 80%  | 90%  |  |
| Proposition a                 | >80km/h           | 3.7                                                            | 5.1                                             | 5.5  | 5.9  | 6.3  | 7.3  | 8.0  | 9.4  | 12.5 | 15.0 |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 4.9                                                            | 6.7                                             | 7.3  | 7.8  | 8.3  | 9.6  | 10.6 | 12.5 | 16.6 | 19.9 |  |
|                               | <=50km/h          | 6.9                                                            | 9.4                                             | 10.2 | 10.9 | 11.7 | 13.6 | 14.9 | 17.6 | 23.4 | 28.0 |  |
| Proposition b                 | >80km/h           | 4.2                                                            | 5.8                                             | 6.2  | 6.6  | 7.1  | 8.3  | 9.1  | 10.7 | 14.2 | 17.0 |  |
|                               | 60 - 80km/h       | 5.1                                                            | 7.0                                             | 7.6  | 8.1  | 8.7  | 10.0 | 11.0 | 13.0 | 17.3 | 20.7 |  |
|                               | <=50km/h          | 7.2                                                            | 9.9                                             | 10.7 | 11.4 | 12.2 | 14.2 | 15.5 | 18.4 | 24.4 | 29.2 |  |

Connaissant les gains relatifs en fonction des percentiles (voir Tableau x) pour l'ensemble des valeurs d'état, ces tableaux avec valeurs cibles sur couche n-2 pourront être établis en cas de changements ou d'ajouts de valeurs de réception dans la normalisation suisse.

### 5.4.3 Evolution en fonction de l'état sur couche n-3

#### Longueurs de pose pour évaluer la pose de 3 couches

Pour cette évaluation, on analyse les tronçons pour lesquels on dispose des données sur les surfaces des couches n et n-3.

Les données disponibles pour l'évaluation de la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2) figurent dans le tableau 49 :

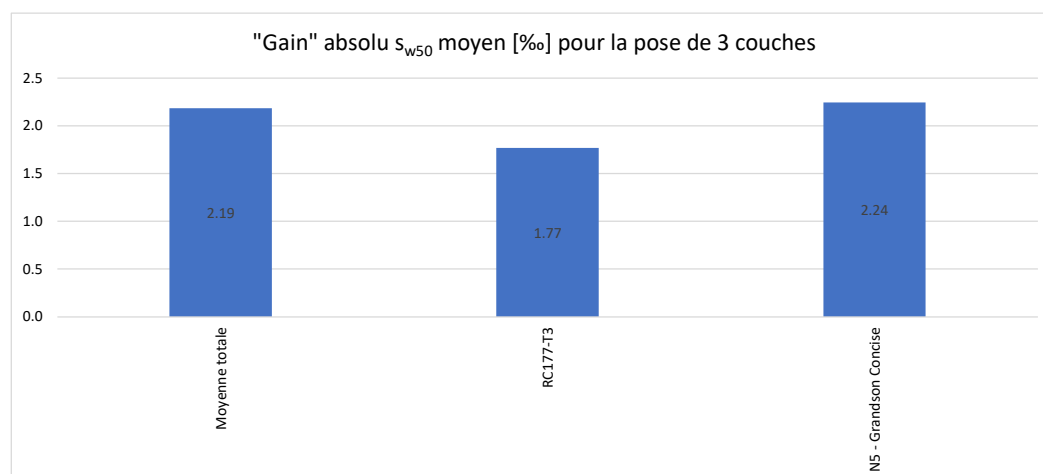
**Tab. 49** Longueurs de pose disponibles évaluer pour la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2)

| Données disponibles                                            | Données disponibles pour la valeur d'état $s_{w50}$<br>(Avec données de la N5)<br>[km] |                   | Données disponibles pour l'ensemble des valeurs d'état<br>(Sans données de la N5)<br>[km] |                   |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                | Longueur de pose                                                                       | Nombre de tronçon | Longueur de pose                                                                          | Nombre de tronçon |
| Sur couches n et n-3<br>→ Gain de 3 couches<br>(n, n-1 et n-2) | 13700                                                                                  | 2                 | 1700                                                                                      | 1                 |

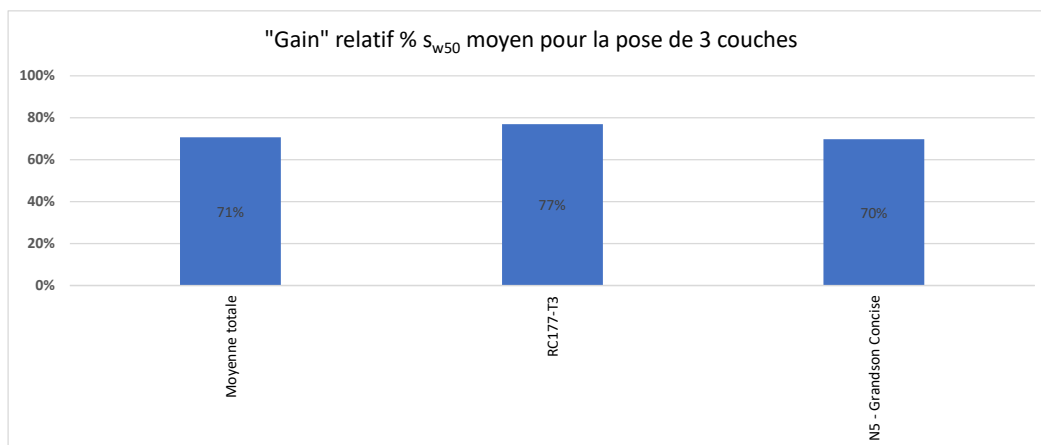
Sans les données de la N5, on ne dispose que d'un tronçon et de seulement 1.7km. Cet échantillon de données est insuffisant pour établir une analyse consistante.

Avec les données de la N5, on dispose de 2 tronçons et d'un linéaire plus important de 13.7km. L'analyse de ce chapitre considère cet échantillon de données et s'intéresse de ce fait uniquement aux valeurs  $s_{w50}$ . L'analyse portant uniquement sur 2 tronçons, les résultats sont uniquement indicatifs.

#### Comparaison des gains par tronçons

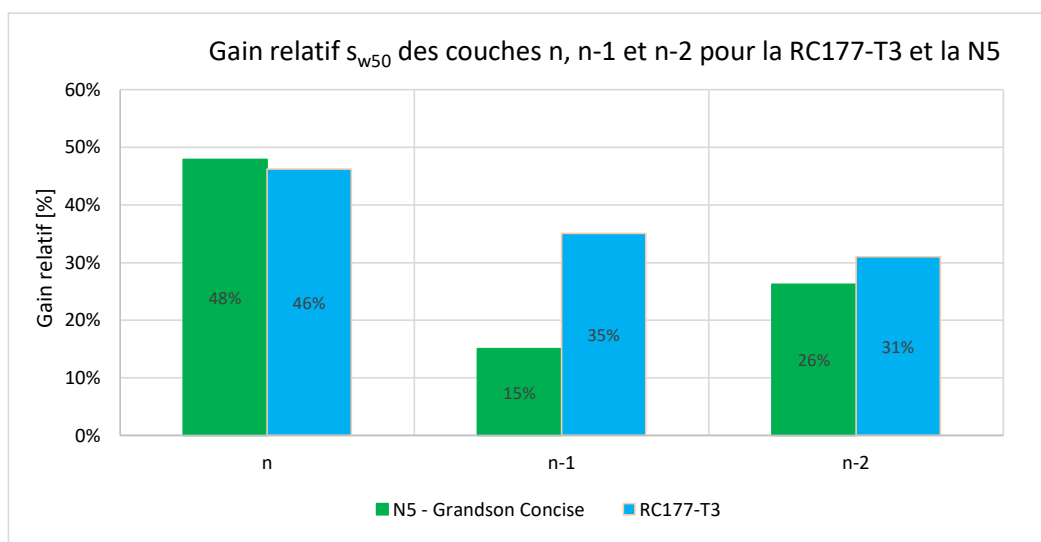


**Fig. 82** – Gains absolus par tronçon pour la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2) – Valeur  $s_{w50}$



**Fig. 83** – Gains relatifs par tronçon pour la pose de 3 couches ( $n$ ,  $n-1$  et  $n-2$ ) – Valeur  $s_{w50}$

Les gains relatifs entre les 2 tronçons sont proches (77% pour la RC177-T3, 70% pour la N5). La différence de gain entre les 2 tronçons s'explique par les gains plus faibles pour la couche  $n-1$  sur la N5 que sur la RC177-T3, comme le prouve le graphique suivant :



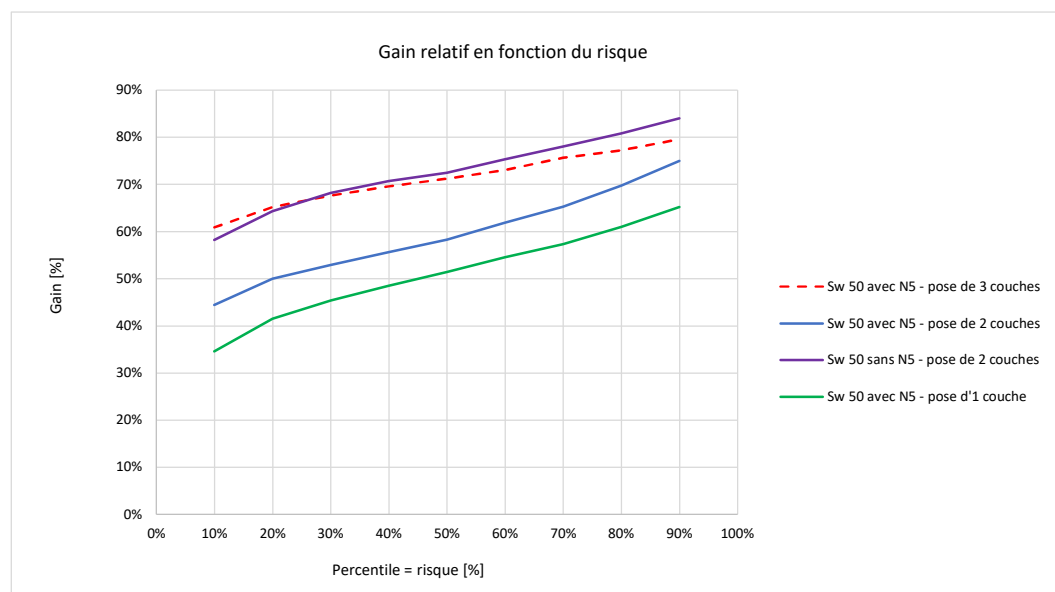
**Fig. 84** – Gain relatif  $s_{w50}$  des couches  $n$ ,  $n-1$  et  $n-2$  pour la RC177-T3 et la N5

### Analyse par percentiles

Les gains relatifs  $s_{w50}$  pour la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2) sont calculés en considérant les valeurs de gains pour l'ensemble des intervalles.

**Tab. 50 Répartition des gains relatifs pour la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2) selon la méthode des percentiles**

| Percentile                                       | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Gain relatif $s_{w50}$ pour la pose de 3 couches | 61% | 65% | 68% | 70% | 71% | 73% | 76% | 77% | 80% |



**Fig. 85 – Gains relatifs pour la pose de 3 couches (n, n-1 et n-2) en fonction des percentiles – Comparaison avec gain pour la pose d'1 et 2 couches**

On note que la courbe des gains relatifs avec N5 pour la pose de 3 couches suit la courbe des gains relatifs sans N5 pour la pose de 2 couches. Autrement dit et sachant que la N5 fournit la grande majorité des données pour l'analyse des 3 couches, le gain relatif  $s_{w50}$  obtenu en 3 couches sur la N5 a été obtenu sur les autres chantiers en seulement 2 couches.

La définition des valeurs cibles sur la couche n-3 apparait de ce fait très hasardeuse. Dès lors et en l'absence de données plus conséquentes, aucune valeur cible n'est fournie sur la couche n-3.

#### 5.4.4 Synthèse

Les données de planéité longitudinale obtenues sur les différentes couches permettent de définir des valeurs cibles sur les sous-couches en vue d'atteindre les exigences sur la couche de roulement.

Les résultats du gain de la couche n sont robustes, en raison d'une part de la quantité de données à disposition (11 tronçons, 64 km de données) et d'autre part de l'homogénéité des résultats entre tronçons. La fiabilité de ces résultats permet d'estimer de manière assez précise la planéité longitudinale sur la couche n à partir des valeurs d'état sur la couche n-1.

Les gains observés pour la couche n-1 sont plus dispersés entre tronçons testés, notamment entre le tronçon N5 et les 4 autres tronçons. Les résultats analysés permettent de définir des valeurs cibles sur la couche n-2 selon 2 hypothèses :

- Hypothèse « sans N5 » en rejetant les données de la N5, applicable pour l'ensemble des valeurs d'état. Cette hypothèse est jugée « optimiste » car n'intègre pas les résultats de la N5 où les gains sont faibles.
- Hypothèse « avec N5 » en intégrant les données de la N5, applicable uniquement pour les valeurs sw. Les gains faibles de la N5 ont pour effet de baisser les valeurs cibles sw50, cette hypothèse pouvant alors être qualifiée de « pessimiste ».

Des échantillons de données supplémentaires seraient nécessaires pour affiner ces valeurs cibles sur la couche n-2 et savoir vers quelles hypothèses les valeurs cibles devraient s'orienter.

Enfin les données de gain sur la couche n-3 ne peuvent être établies avec fiabilité en raison du peu de données disponibles.

La méthode de percentile permet d'associer, en fonction des valeurs d'état sur les sous-couches, un risque de non-respect des exigences sur la couche n.

Actuellement, des valeurs de réception sont présentes dans la norme uniquement pour les valeurs  $s_w$ , W et NBO. L'analyse sur les couches sous-jacentes n'ayant pas été jugé pertinente sur les valeurs W, les valeurs cibles sur les couches n-1 et n-2 sont proposées uniquement pour les valeurs  $s_w$  et NBO.

Les valeurs cibles issues de la littérature (CEREMA, Jura et VSS40525), bien que variables entre référentiels, sont apparues comme étant conservatrices avec des risques selon la méthode des percentiles généralement inférieurs à 10% et parfois proche de 0%. Toutefois, ces valeurs cibles offrent déjà de bonnes tendances des pratiques existantes et nous conduisent à retenir un risque de 10% pour l'établissement des valeurs cibles pour toutes les valeurs d'état.

Pour les valeurs cibles sur la couche n-2 et dans l'attente d'éventuelles nouvelles investigations, elles sont proposées pour les 2 hypothèses « avec N5 » et « sans N5 » précédemment décrites. Ces valeurs devraient être validées par d'éventuelles nouvelles investigations et figurent donc entre parenthèses dans les tableaux.

**Tab. 51** Valeurs cibles  $s_w$  sur les couches n-1 et n-2 pour atteindre les valeurs de réception sur la couche n

| Vitesse de mesure | Valeur de réception $s_w$ sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible sur la couche n-1 | Valeur cible sur la couche n-2 |                       |
|-------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
|                   |                                                         |                                | Hypothèse « Avec N5 »          | Hypothèse « Sans N5 » |
| >80km/h           | 1.4                                                     | 2.1                            | (2.5)                          | (3.4)                 |
| 60 - 80km/h       | 1.8                                                     | 2.8                            | (3.2)                          | (4.3)                 |
| <=50km/h          | 2.2                                                     | 3.4                            | (4.0)                          | (5.3)                 |

**Tab. 52** Valeurs cibles NPO sur les couches n-1 et n-2 pour atteindre les valeurs de réception sur la couche n

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NPO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible sur la couche n-1 | Valeur cible sur la couche n-2                |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                |                   |                                                       |                                | Hypothèse « Sans N5 »                         |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 7                                                     | 5.0                            | (2.6)                                         |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 5.0                            | (2.6)                                         |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 4.0                            | (1.6)                                         |
| Renouvellement couche de roulement                             | >80km/h           | 6                                                     | 4.0                            | Pas de valeur car travaux en une seule couche |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 5                                                     | 3.0                            |                                               |
|                                                                | <=50km/h          | 5                                                     | 3.0                            |                                               |
| Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux           | >80km/h           | 6                                                     | 4.0                            | (1.6)                                         |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 4.0                            | (1.6)                                         |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 4.0                            | (1.6)                                         |

**Tab. 53** Valeurs cibles NMO sur les couches n-1 et n-2 pour atteindre les valeurs de réception sur la couche n

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NMO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible sur la couche n-1 | Valeur cible sur la couche n-2                      |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                |                   |                                                       |                                | Hypothèse « Sans N5 »                               |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 7                                                     | 6.4                            | (3.8)                                               |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | 6.4                            | (3.8)                                               |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 5.4                            | (2.8)                                               |
| Renouvellement couche de roulement                             | >80km/h           | 7                                                     | 6.4                            | Pas de valeur cible car travaux en une seule couche |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 5.4                            |                                                     |
|                                                                | <=50km/h          | -                                                     | -                              |                                                     |
| Renouvellement de 2 à 3 couches en enrobé bitumineux           | >80km/h           | 7                                                     | 6.4                            | (3.8)                                               |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 6                                                     | 5.4                            | (2.8)                                               |
|                                                                | <=50km/h          | 6                                                     | 5.4                            | (2.8)                                               |

Au regard des résultats analysés, les gains de la couche n pour la valeur NGO sont faibles voire parfois négatifs. Par conséquent aucune valeur cible sur la couche n-1 n'est proposée.

**Tab. 54** Valeurs cibles NGO sur la couche n-2 pour atteindre les valeurs de réception sur la couche n

| Nombre de couche renouvelées                                   | Vitesse de mesure | Valeur de réception NGO sur couche n selon VSS 40 525 | Valeur cible sur la couche n-2 |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                |                   |                                                       | Hypothèse « Sans N5 »          |
| Construction nouvelle ou renouvellement complet de la chaussée | >80km/h           | 8                                                     | (7.3)                          |
|                                                                | 60 - 80km/h       | 7                                                     | (6.3)                          |
|                                                                | <=50km/h          | -                                                     | -                              |

Si la vérification des valeurs cibles sur les couches sous-jacentes est utile dans le cadre des travaux, elle peut aussi permettre d'intervenir en amont dans le choix de solutions de réfection, en évaluant la planéité longitudinale de la couche de roulement avant travaux.

Le réseau national et la plupart des réseaux cantonaux font l'objet de relevés périodiques (environ tous les 3 à 5 ans) des caractéristiques de surface de chaussées et en particulier de la planéité longitudinale.

L'indice  $I_2$  est le plus souvent demandé et, étant obtenu après transformation des valeurs d'état  $s_w$ , des valeurs cibles  $I_2$  sur les couches n-1 et n-2 sont également proposées. En effet, le revêtement existant avant travaux peut être assimilé à une couche sous-jacente de la future structure, selon le nombre de couches utilisées pour le renforcement (que ce soit un renforcement par rechargement ou par renouvellement des couches existantes). Les données  $I_2$  de l'existant pourraient alors être utilisées pour valider le nombre de couches à remplacer ou à ajouter pour atteindre après travaux la valeur  $I_2$  de 1.0 équivalent la valeur de réception  $s_w$  de la norme VSS 40 525.

**Tab. 55** Valeurs cibles  $I_2$  sur les couches n-1 et n-2 pour atteindre les valeurs de réception  $s_w$  sur la couche n

| Vitesse de mesure | Valeur de réception $I_2$ sur couche n | Valeur cible sur la couche n-1 | Valeur cible sur la couche n-2 |                       |
|-------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
|                   |                                        |                                | Hypothèse « Avec N5 »          | Hypothèse « Sans N5 » |
| >80km/h           | 1.0                                    | 1.9                            | (2.3)                          | (3.0)                 |
| 60 - 80km/h       | 1.0                                    | 1.8                            | (2.2)                          | (2.8)                 |
| <=50km/h          | 1.0                                    | 1.7                            | (2.1)                          | (2.9)                 |

| Indice d'état $I_2$ [-] | Appréciation selon VSS 40 925 |
|-------------------------|-------------------------------|
| 0 à 1                   | Bon                           |
| 1 à 2                   | Moyen                         |
| 2 à 3                   | Suffisant                     |
| 3 à 4                   | Critique                      |
| 4 à 5                   | Mauvais                       |

A l'instar de ce qui est proposé par le Canton du Jura, les valeurs cibles pourraient être aussi déclinées en 3 seuils, associés à différents risques selon la méthode des percentiles :

- Risque de 10% → Seuils d'acceptation
- Risque de 30% → Seuils d'alerte
- Risque de 50% → Seuils de refus

## 5.5 Influence des conditions de pose

Dans ce chapitre, on distingue la pose des couches sous-jacentes et celle de la couche de roulement, compte tenu que les méthodes de guidage de finisseur diffèrent entre ces types de couches.

### 5.5.1 Pose des couches sous-jacentes

Les informations sur les méthodes de pose sur la N5 n'ont pas pu être recueillies, ce chantier ayant eu lieu en 2004-2005. Dès lors on dispose de 5 couches sous-jacentes posées pour lesquelles les informations relatives aux méthodes de pose sont connues.

**Tab. 56** Couches sous-jacentes avec informations sur les conditions de pose

| Tronçon    | Numéro de couche | Type de couche | Epaisseur | Méthode de guidage du finisseur           | Pose avec alimentateur | Rabotage avant pose ?                | Remarque additionnelle                                                                 |
|------------|------------------|----------------|-----------|-------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| RC177-T3   | n-2              | ACT22S         | 80        | 3D                                        | non                    | non                                  | Problème de réception du signal GPS rencontré pendant la pose + Problème de compactage |
| RC177-T3   | n-1              | ACB11S         | 40        | Poutre virtuelle avec palpeur à ultrasons | oui                    | oui, sur 1.6km                       |                                                                                        |
| RC177-T4   | n-1              | ACB11S         | 40        | Poutre virtuelle avec palpeur à ultrasons | oui                    | oui, sur l'entier du tronçon analysé |                                                                                        |
| Piste Sion | n-1              | ACB22S         | 80        | Poutre virtuelle avec palpeur à ultrasons | non                    | non                                  |                                                                                        |
| RC251      | n-1              | ACB16S         | 60        | 3D                                        | non                    | non                                  |                                                                                        |

Le gain de la couche n-1 de la RC177-T4 ne peut être isolé puisqu'un rabotage a eu lieu après nos mesures sur la couche n-2 sur l'entier de la section disponible pour analyse.

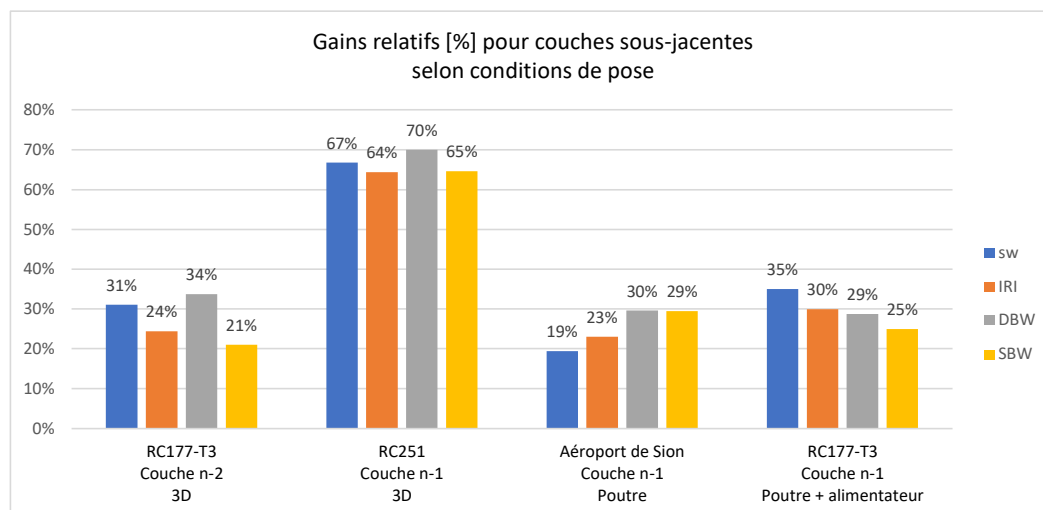
Sur la RC177-T3, un rabotage a eu lieu sur la couche n-2 sur une partie de la zone analysée. Cette portion est écartée de l'analyse du gain de la couche n-1.

Ces rabotages sur la couche n-2 de la RC177 sont la conséquence de problème ayant lieu lors de la pose (problème de réception du signal GPS par la finisseuse et problèmes de compactage).

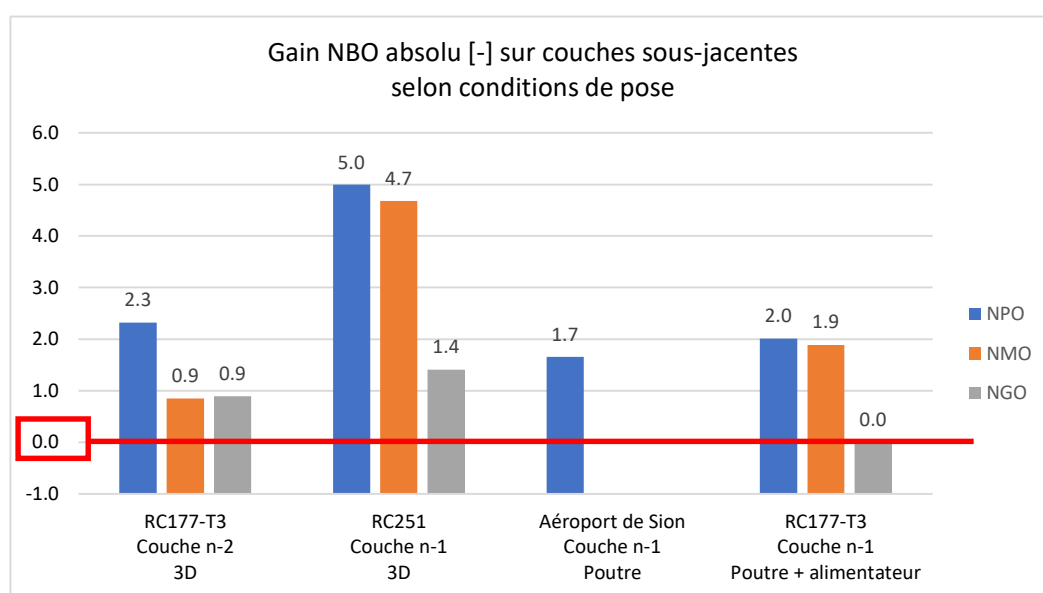
#### Comparaison des gains sur couches sous-jacentes

Compte tenu des spécificités des conditions de pose des couches analysées, les gains sont présentés par couches et par tronçon. En effet, il n'a pas semblé judicieux de rassembler les résultats par type de guidage du finisseur pour les raisons suivantes :

- On dispose de 2 couches avec guidage du finisseur en 3D. Dans le cas de couches n-2 de la RC177-T3, des problèmes de réception du signal pour la pose 3D ont été recensés, alors que pour la couche n-1 de la RC251, le guidage s'est effectué sans problèmes majeurs.
- 2 couches ont été posées avec un guidage à la poutre, dans un cas avec alimentateur (couche n-1 de la RC177-T3), dans l'autre sans (couche n-1 de l'aéroport de Sion). De plus les types de route différents selon les tronçons (route cantonale pour la RC177 ; piste pour l'aéroport de Sion) justifient de ne pas regrouper les gains de ces couches.



**Fig. 86** - Gains relatifs [%] pour couches sous-jacentes selon conditions de pose



**Fig. 87** - Gains absolus NBO pour couches sous-jacentes selon conditions de pose

Les gains NMO et NGO ne sont pas calculées pour le tronçon de l'aéroport de Sion en raison de la faible longueur des traces de mesures (290m).

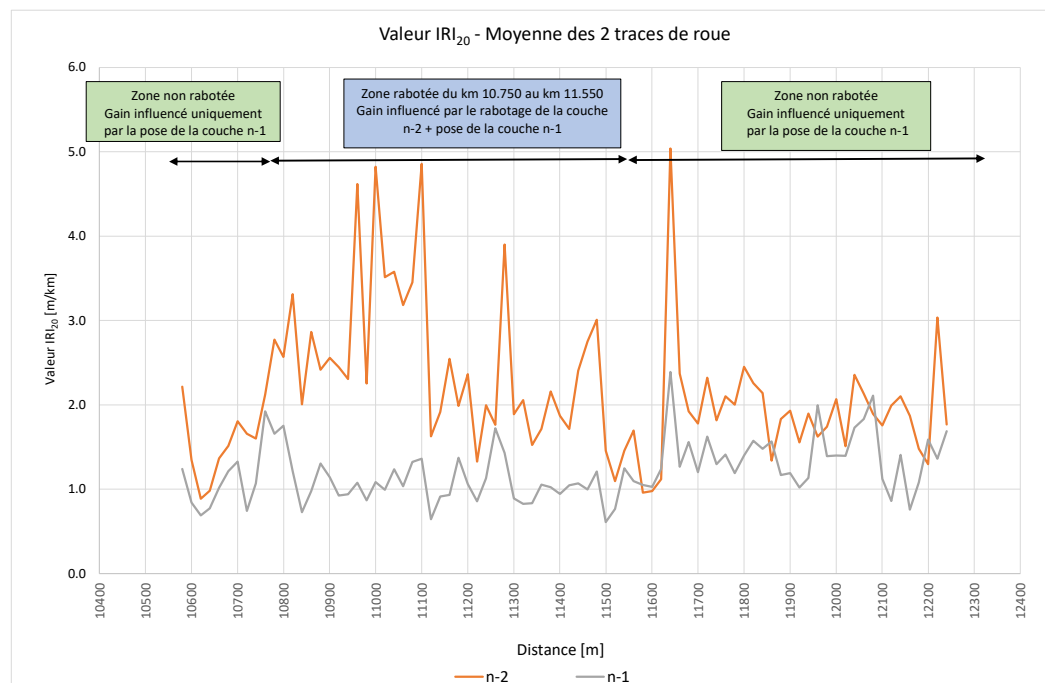
La couche n-1 sur la RC251, posée avec un guidage GPS du finisseur, est celle qui présente les meilleurs gains pour l'ensemble des valeurs d'état. Les gains relatifs / absolus pour les valeurs NBO sont en général plus de 2 fois supérieurs à ceux des autres couches.

Même si des quelques différences sont observées, les gains concernant les autres couches sont proches.

Au regard de ces résultats, la pose avec un guidage 3D, quand il se déroule sans problèmes majeurs, aboutit à une amélioration de la planéité longitudinale plus importante que pour une pose à la poutre virtuelle. Ces résultats sont toutefois à prendre avec précaution compte tenu du faible nombre de tronçons à disposition.

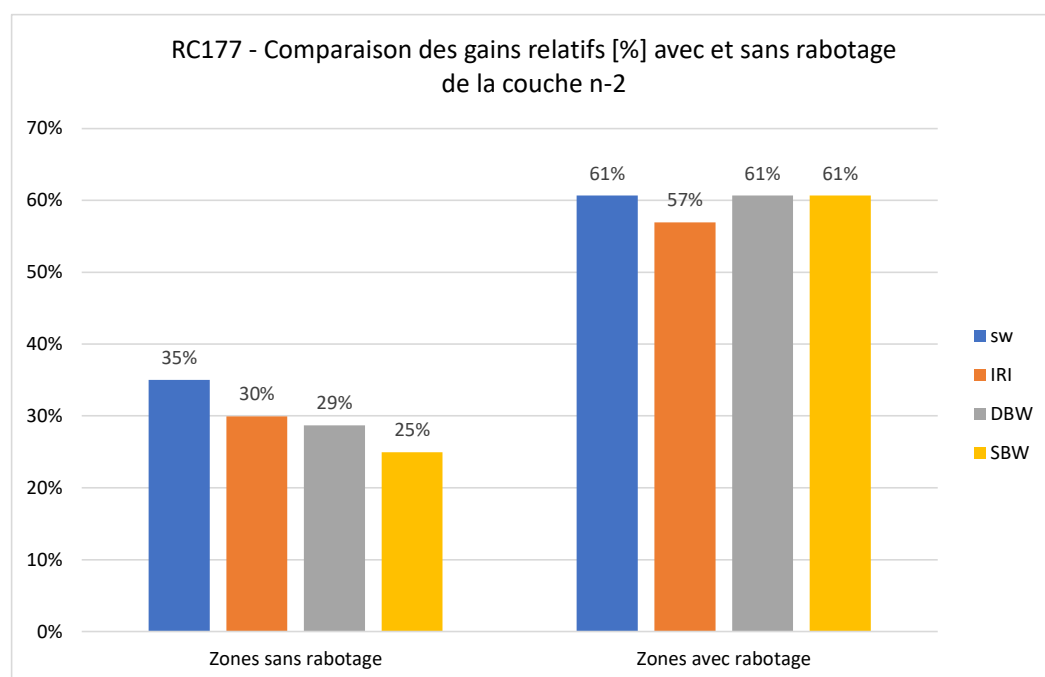
### Influence du rabotage

Sur les tronçons T3 et T4 de la RC177, des parties de la couche n-2 ont été rabotées avant pose de la couche n-1. Sur ces parties, les gains calculés sont influencés à la fois par le rabotage et par la pose de la couche n-1, comme l'illustre le graphique suivant, avec une baisse de l'IRI plus grande sur la zone rabotée.

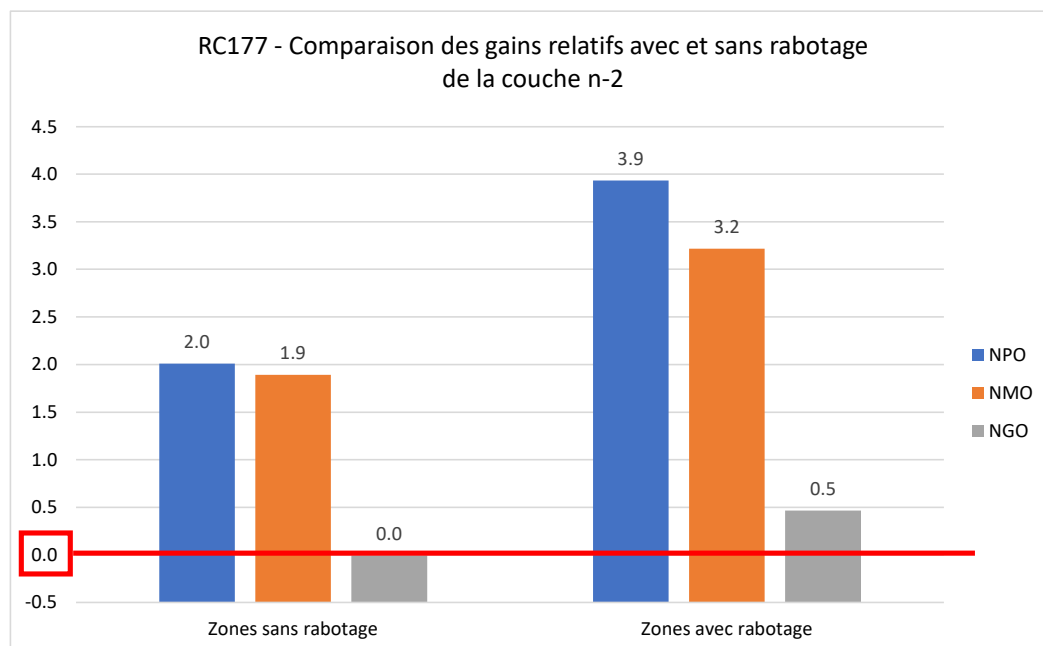


**Fig. 88** – Valeur IRI sur les couches n-2 et n-1 de la RC177 – Mise en valeur de l'effet du rabotage

Les différences de gains entre zones rabotées et non rabotées pour toutes les valeurs d'état figurent dans les graphiques suivants.



**Fig. 83** – Gains relatifs avec et sans rabotage de la couche n-2 sur la RC177



**Fig. 89** – Gains absolus NBO avec et sans rabotage de la couche n-2 sur la RC177

Pour l'ensemble des valeurs d'état, on observe un gain nettement supérieur sur les zones rabotées.

Les gains avec rabotage, influencés à la fois par le rabotage de la couche n-2 et par la pose de la couche n-1, sont environ 2 fois supérieurs aux gains sans rabotage. Dans ce cas, on peut émettre l'hypothèse que les gains liés au rabotage sont équivalents aux gains liés à la pose d'une couche, en l'occurrence ici la couche n-1. Ce n'est cependant qu'une hypothèse, car aucune mesure après rabotage et avant pose de la couche n-1 n'ont pu être effectuées.

## 5.5.2 Pose de la couche de roulement

### Descriptif des tronçons

La méthode de pose pour les couches de roulement des tronçons RC 726, N5 et H10 n'a pas été renseignée.

Pour tous les autres tronçons, les couches de roulement ont toutes été posées en méthode « vis calées ». On ne peut donc pas étudier l'influence de différentes méthodes de pose pour la couche de roulement.

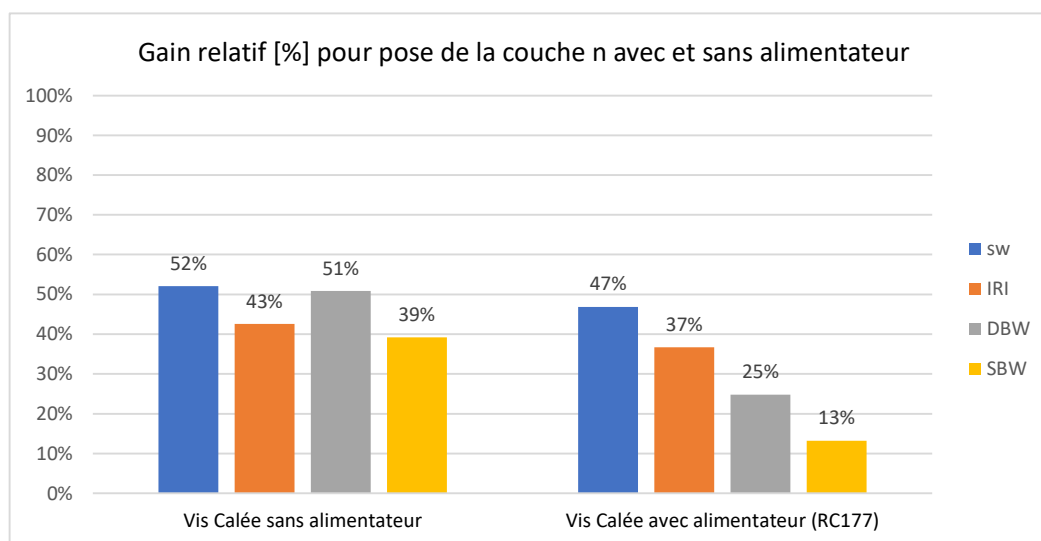
Toutefois et contrairement à tous les autres tronçons, la couche de roulement de la RC177 (tronçon T3 et T4) a été posée avec un alimentateur. L'analyse des gains avec et sans utilisation d'un alimentateur est donc effectuée dans ce chapitre.

**Tab. 57** Linéaire disponible pour analyse de l'influence de la pose avec alimentateur

| Tronçon         | Méthode de pose | Pose avec alimentateur | Linéaire [km] |
|-----------------|-----------------|------------------------|---------------|
| RC177-T3 et T4  | Vis calées      | Oui                    | 5.200         |
| Autres tronçons | Vis calées      | Non                    | 33.200        |

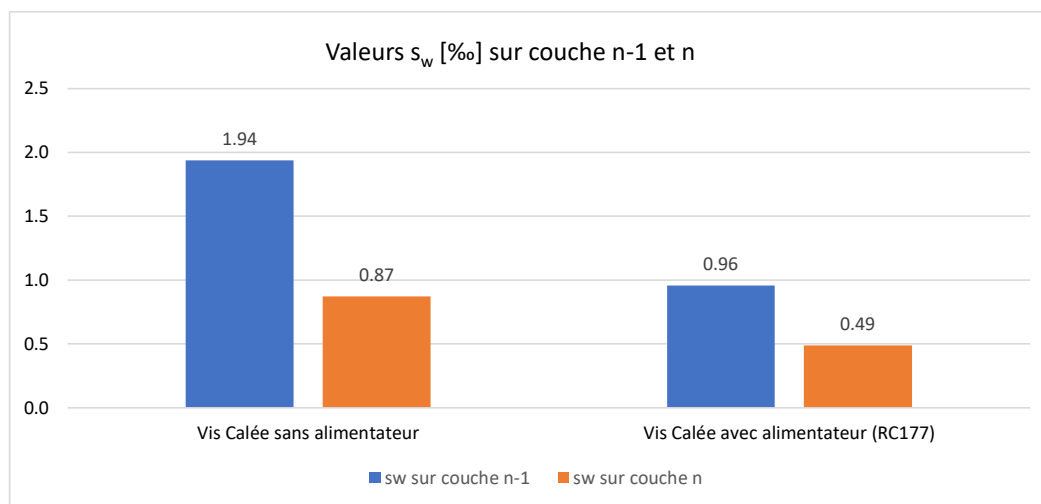
### Influence de l'alimentateur

Le graphique suivant présente les gains relatifs observés pour la couche n avec et sans alimentateur.



**Fig. 90** – Gain relatif [%] pour pose de la couche n avec et sans alimentateur

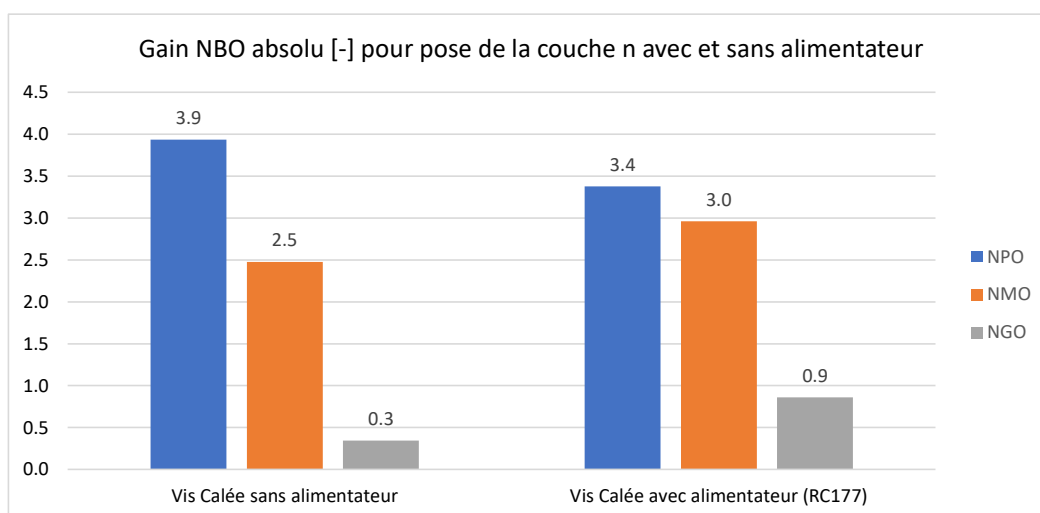
Les gains relatifs pour les valeurs  $s_w$ , IRI, SBW et DBW sont supérieurs pour les poses sans alimentateurs. Ces résultats sont inattendus sachant que l'utilisation d'un alimentateur vise notamment à améliorer la planéité longitudinale. Cependant, le chantier de la RC177 est un chantier particulier et probablement non représentatif, dans le sens où la planéité longitudinale sur la couche n-1 est déjà très bonne. Le graphique suivant permet de comparer les valeurs moyennes  $s_w$  sur couches n-1 et n sur la RC177 et sur les autres tronçons.



**Fig. 91**– Gain absolu  $s_w$  pour pose de la couche n avec et sans alimentateur

Sur la couche n-1 de la RC177, la valeur moyenne  $s_w$  est de 0.96 ‰, soit près de 2 fois inférieur à l'exigence de 1.8 ‰ sur la couche de roulement. Le potentiel de gain de planéité avec la pose de la couche n sur la RC177 est donc limité, ce qui expliquerait, malgré l'utilisation d'un alimentateur, les faibles gains relatifs observés par rapport aux autres tronçons.

Les résultats des gains NBO absolus représentés dans la fig x sont plus nuancés, avec des gains pour les moyennes (NMO) et grandes ondes (NGO) supérieurs avec l'utilisation d'un alimentateur.



**Fig. 92** – Gain NBO absolu [-] pour pose de la couche n avec et sans alimentateur

Afin d'aboutir à des conclusions plus consistantes sur l'apport de l'alimentateur pour l'amélioration de la planéité longitudinale, des données supplémentaires de pose avec alimentateur serait à recueillir sur des tronçons avec des valeurs de planéité longitudinale sur la couche n-1 plus communes que celles rencontrées sur la RC177.



## 6 Conclusions

### 6.1 Résultats principaux

La norme suisse VSS 40 525 définit des valeurs de réception de planéité longitudinale sur la couche de roulement. Sauf cas exceptionnel et faute de valeurs cibles existantes dans la normalisation, la planéité longitudinale n'est pas contrôlée sur les couches sous-jacentes. Or, ces contrôles permettraient d'anticiper des problèmes de planéité sur la couche de roulement et d'éviter des litiges entre l'entreprise et le maître d'ouvrage au moment de réceptionner les travaux.

Par le biais de mesures effectuées après chaque pose de matériaux bitumineux sur plusieurs tronçons en travaux, l'évolution de la planéité longitudinale au fur et à mesure des couches posées a pu être étudiée. Les valeurs d'état de planéité longitudinale calculées sont celles figurant dans la norme VSS 40 517, à savoir les valeurs  $s_w$ , IRI, NBO et BLP. De ces analyses ressortent les conclusions suivantes :

- L'objectif initial de ce mandat de recherche visait à établir des corrélations entre épaisseur de matériaux bitumineux posée et gains de valeurs d'état de planéité longitudinale. Les analyses n'ont cependant pas démontré une augmentation des gains en fonction de l'épaisseur de couche posée (chapitre 5.2).
- La recherche s'est orientée ensuite sur le type de couche posée plutôt que sur l'épaisseur de couche posée (chapitre 5.3). De manière générale, les gains relatifs de planéité longitudinale pour les valeurs  $s_w$ , IRI et BLP augmentent au fur et à mesure des couches posées. L'analyse des valeurs NBO permet quant à elle de rendre des conclusions selon les types de longueurs d'ondes, à savoir que l'amélioration de la planéité sur les grandes et moyennes ondes (notes NGO et NMO) est plus importante lors des poses des couches sous-jacentes tandis que la couche de roulement est celle qui obtient les meilleurs résultats pour l'amélioration des petites ondes (NPO).
- Les résultats du gain de la couche de roulement (couche n) sont robustes, en raison d'une part de la quantité de données à disposition (11 tronçons, 64 km de données) et d'autre part de l'homogénéité des résultats entre tronçons. Ces résultats permettent d'estimer avec une bonne fiabilité la planéité longitudinale sur la couche n à partir des valeurs d'état sur la couche n-1 (chapitre 5.4.1).
- Compte tenu des dispersions et de la faible quantité de données disponible pour évaluer les gains des couches sous-jacentes (4 tronçons pour la couche n-1, 1 tronçon pour la couche n-2), les résultats obtenus ne permettent pas d'estimer de manière fiable la planéité de la couche n à partir des résultats sur les couches n-2 et n-3 (chapitres 5.4.2 et 5.4.3).
- Enfin, l'influence des conditions de pose a été étudiée (chapitre 5.5)  
Pour les couches sous-jacentes, la pose présentant les meilleurs gains de planéité a été effectuée avec un guidage 3D de la finisseuse. Ces résultats proviennent toutefois d'un seul tronçon et doivent donc être considéré avec précaution.  
Toutes les couches de roulement ayant été posées en méthode « vis calées », l'influence de différentes méthodes de guidage de finisseur n'a pu être étudiée pour cette couche.

## 6.2 Valeurs cibles sur la couche n-1

Les gains observés pour la couche n sont robustes en raison de l'homogénéité des résultats obtenus et de la quantité de donnée à disposition (11 tronçons, 64.5 km). Une analyse de ces gains par la méthode des percentiles permet de connaître le risque de non-respect des exigences sur la couche de roulement n en fonction des valeurs obtenues sur la couche n-1 :

- Sur la base d'un risque de 10%, des valeurs cibles sur la couche n-1 sont proposées et pourraient être introduites dans la norme VSS 40 525 en complément des valeurs de réception existantes sur la couche de roulement (chapitre 5.4.4).
- Des seuils d'alertes et de refus pourraient également être proposés avec des risques respectifs de 30% et 50%.

Ces valeurs pour la couche n-1 constitueraient un outil important pour les entreprises et maîtres d'ouvrage pour limiter les risques de non-respect des exigences de planéité longitudinale sur la couche de roulement.

## 6.3 Propositions pour la suite de la recherche

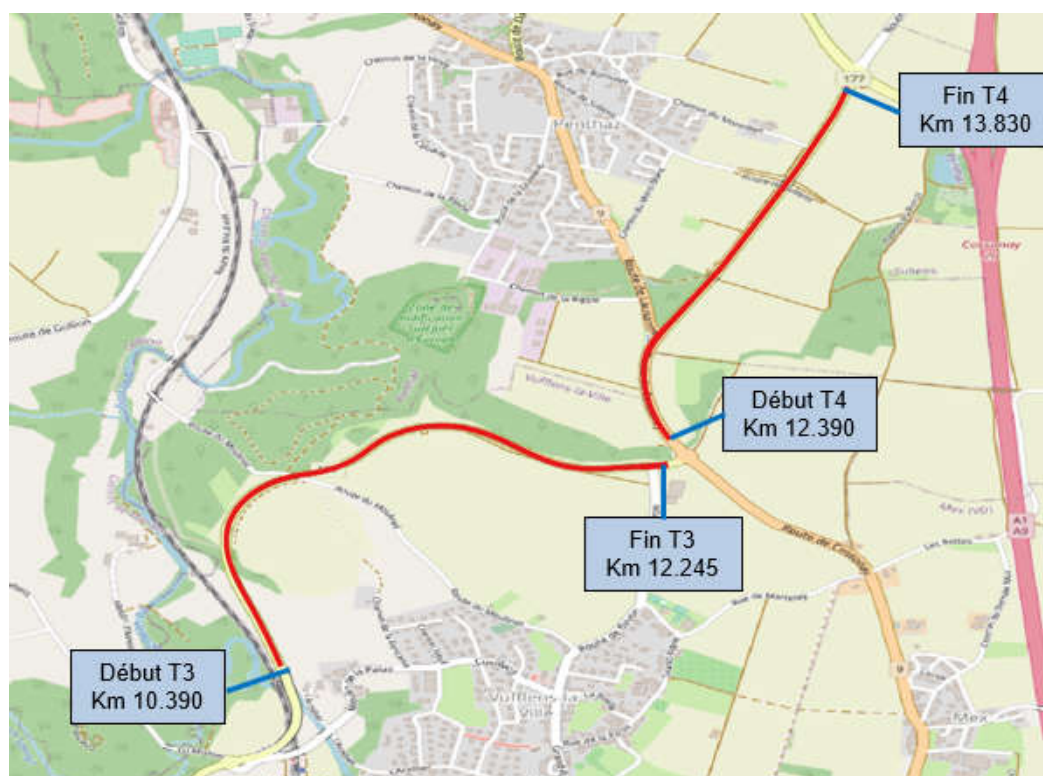
Les résultats issus de ce mandat de recherche ont permis d'identifier des besoins pour la suite de la recherche :

- Les données recueillies dans le cadre de ce mandat de recherche pour évaluer les gains des couches sous-jacentes n-1 et n-2 sont insuffisantes pour proposer des valeurs cibles sur les couches n-2 et n-3. De plus, les gains observés pour ces couches sont très dispersés selon les tronçons analysés. En effet et contrairement à la couche n pour laquelle la pose se fait quasiment toujours en vis calées, les méthodes de guidage du finisseur pour les couches sous-jacentes varient d'un chantier à l'autre (guidage au fil, à la poutre, 3D, laser...). L'établissement de valeurs cibles sur les couches n-2 et n-3 devrait donc dépendre du mode de guidage. Pour atteindre cet objectif, nous proposons de récolter les données de gains d'au moins 5 chantiers par numéro de couche et par type de guidage.
- Les alimentateurs, assurant la liaison lors du transfert des matériaux bitumineux entre les camions d'approvisionnement et le finisseur, permettent en théorie d'améliorer la planéité longitudinale en raison d'une alimentation avec une vitesse d'avancement constante et d'une homogénéisation des caractéristiques de matériaux. Dans le cadre de ce mandat de recherche, la couche n de la RC177 a été posée avec un alimentateur. L'analyse de cette pose n'a pas permis de mettre en valeur des gains plus élevés par rapport aux autres poses sans alimentateur. Afin d'aboutir à des conclusions plus consistantes sur l'apport de l'alimentateur pour l'amélioration de la planéité longitudinale, des données supplémentaires de pose avec alimentateur serait à recueillir sur un minimum de 5 chantiers par numéro de couche posée.

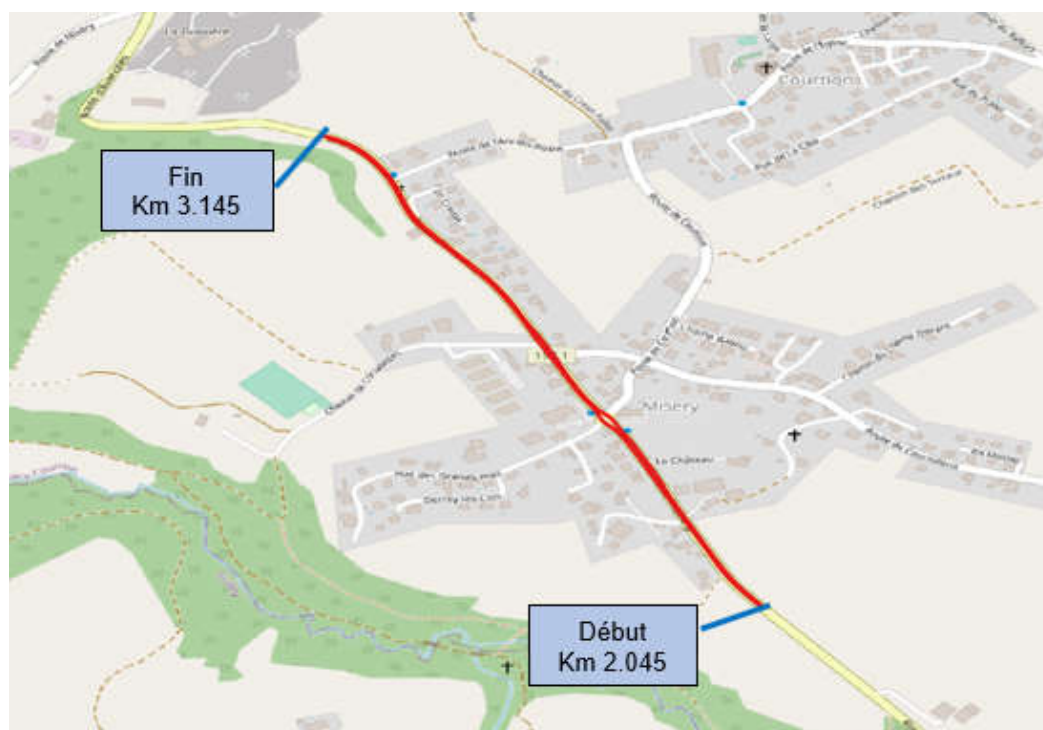
## Annexes

|             |                                                                                                              |            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>I</b>    | <b>Cartographies – Localisation des tronçons.....</b>                                                        | <b>112</b> |
| <b>II</b>   | <b>Graphiques itinéraires des résultats de planéité longitudinale par tronçon et par valeur d'état .....</b> | <b>118</b> |
| <b>II.1</b> | <b>Valeur d'état <math>s_{w50}</math> .....</b>                                                              | <b>118</b> |
| <b>II.2</b> | <b>Valeur d'état <math>IRI_{20}</math> .....</b>                                                             | <b>131</b> |
| <b>II.3</b> | <b>Valeur d'état NPO.....</b>                                                                                | <b>142</b> |
| <b>II.4</b> | <b>Valeur d'état NMO .....</b>                                                                               | <b>153</b> |
| <b>II.5</b> | <b>Valeur d'état NGO .....</b>                                                                               | <b>160</b> |
| <b>II.6</b> | <b>Valeur d'état <math>DBW_{50}</math> .....</b>                                                             | <b>164</b> |
| <b>II.7</b> | <b>Valeur d'état <math>DBW_{50}</math> .....</b>                                                             | <b>176</b> |
| <b>III</b>  | <b>Tableaux de synthèse des valeurs d'état par tronçon et par couche testée.....</b>                         | <b>188</b> |

## I Cartographies – Localisation des tronçons



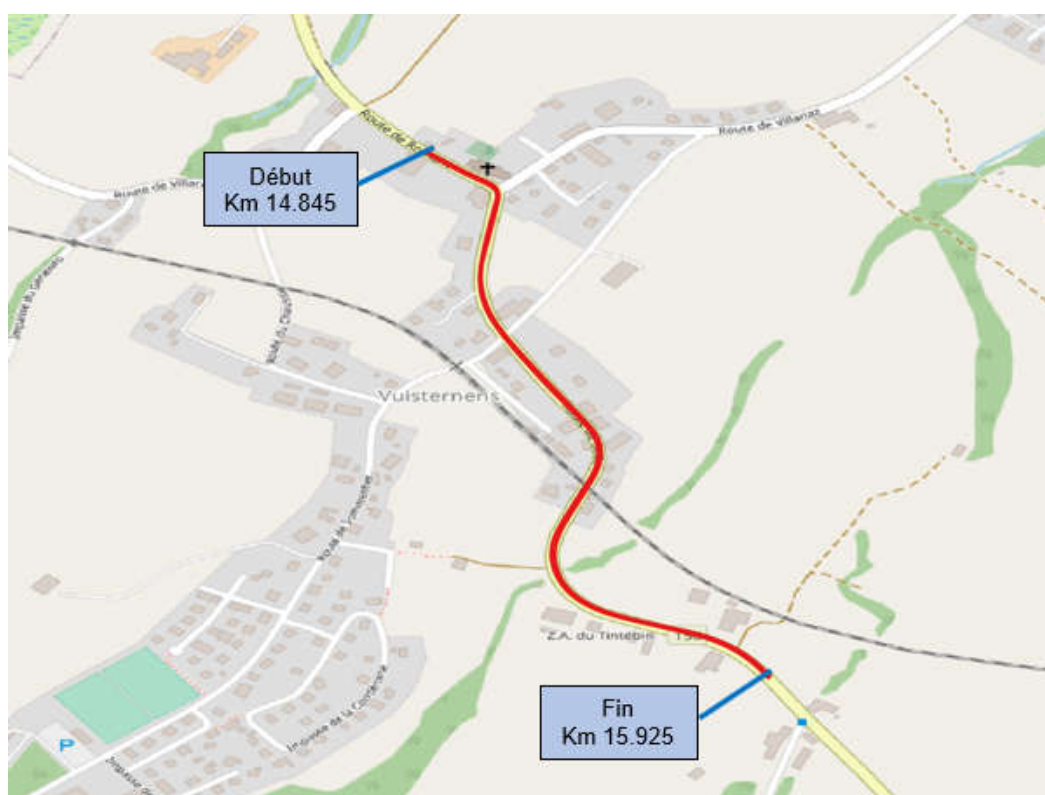
**Fig. 1** – RC177 – T3 et T4 – Vufflens-la-Ville - Penthaz



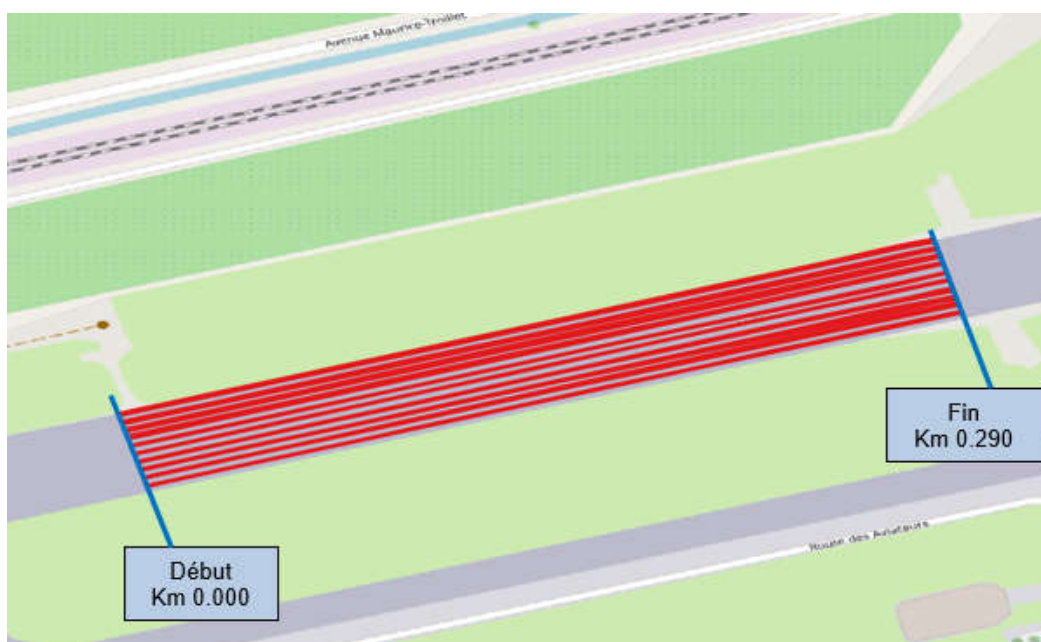
**Fig. 2** – RC2220 – Traversée de Misery



**Fig. 3 – RC2500 – Traversée de Chèvres**



**Fig. 4 – RC1400 – Traversée de Vuisternens-devant-Romont**



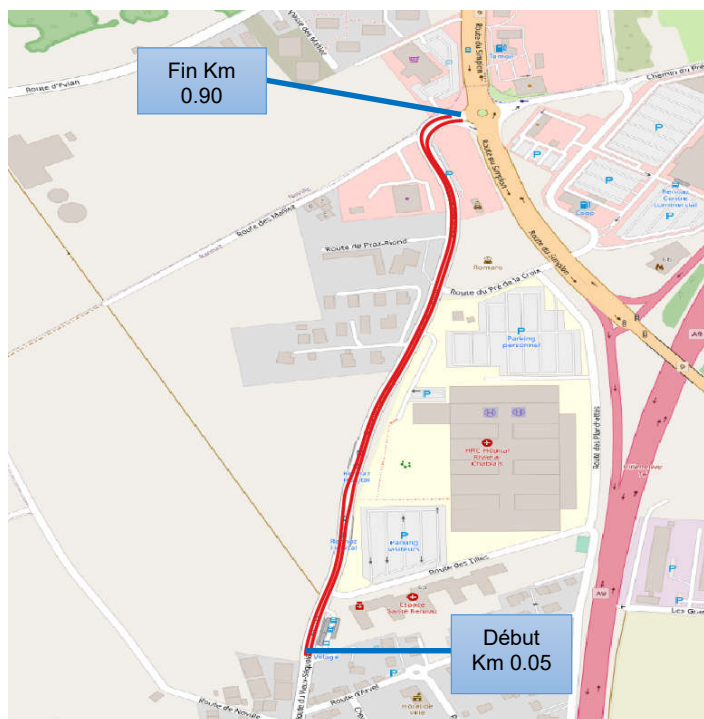
**Fig. 5** – Aéroport de Sion



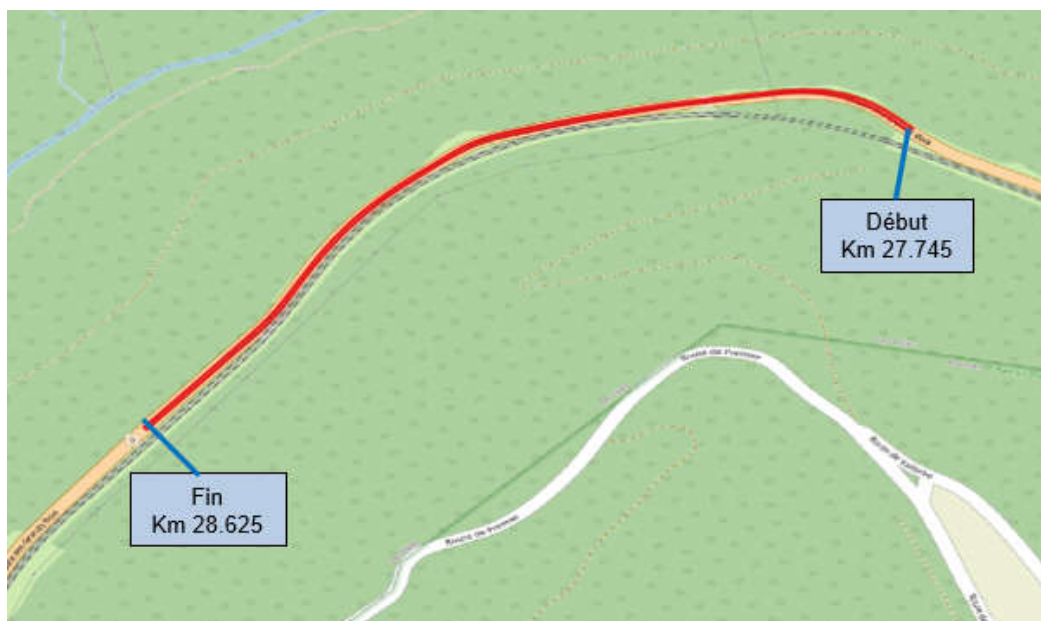
**Fig. 6** – RC701 – Savigny - Forel



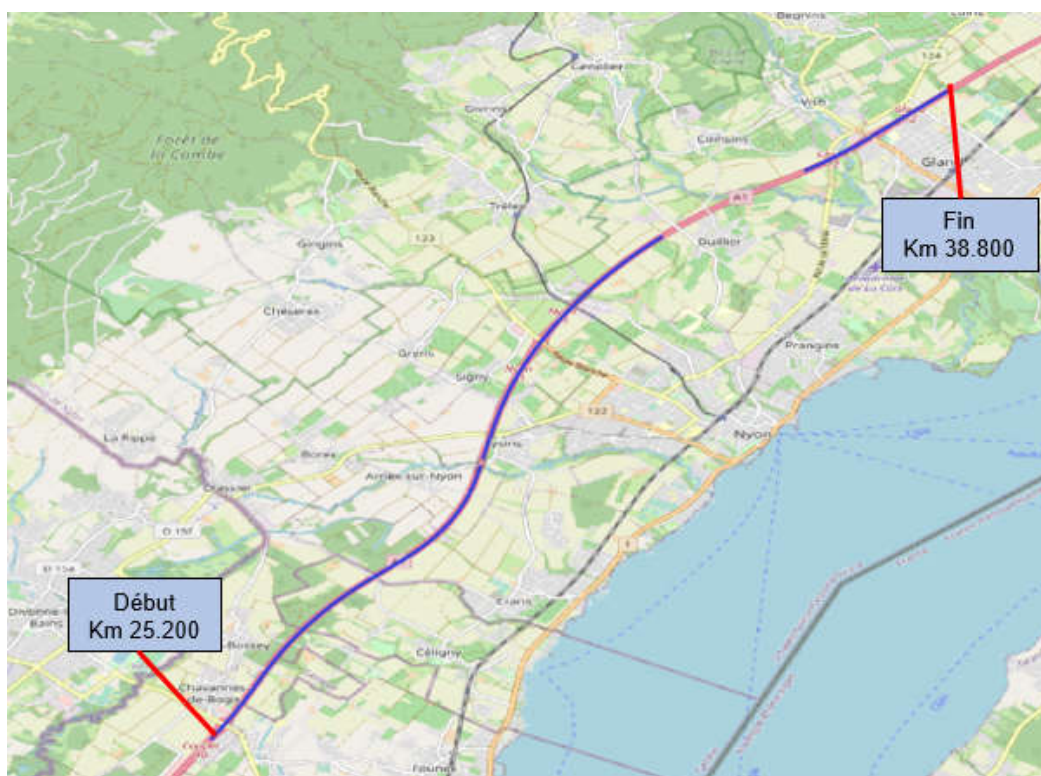
**Fig. 7 – RC1500 – Traversée de Bossonnens**



**Fig. 8 – RC726 – Villeneuve - Rennaz**



**Fig. 9** – RC251 – Les Clées - Vallorbe



**Fig. 10** – N1 – Lausanne - Genève



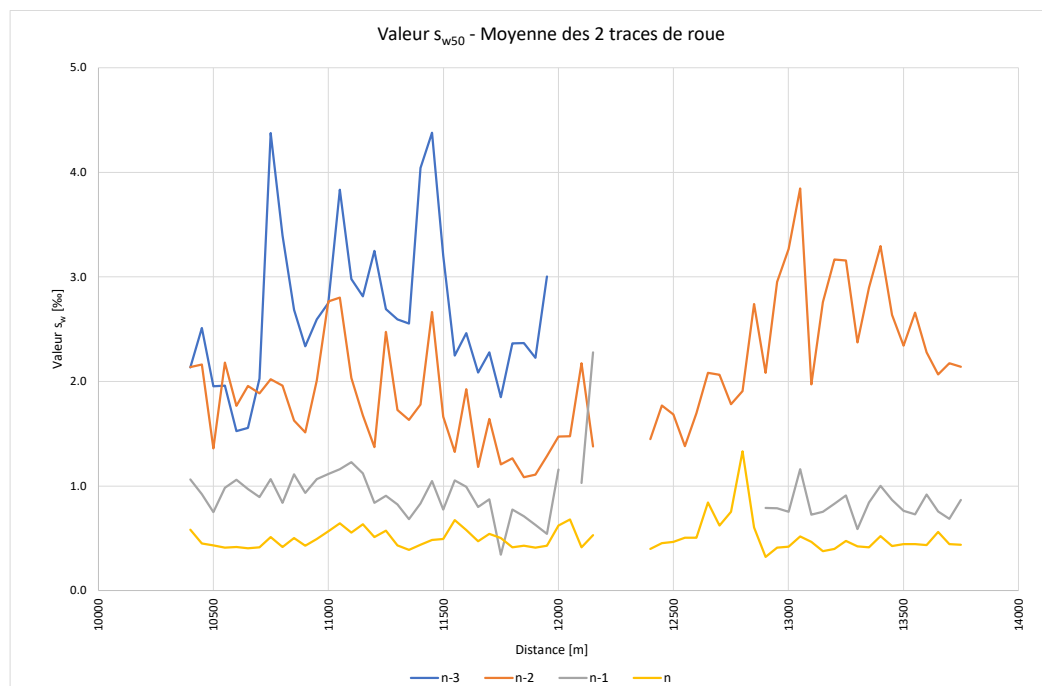
**Fig. 11** – N5 – Grandson - Concise



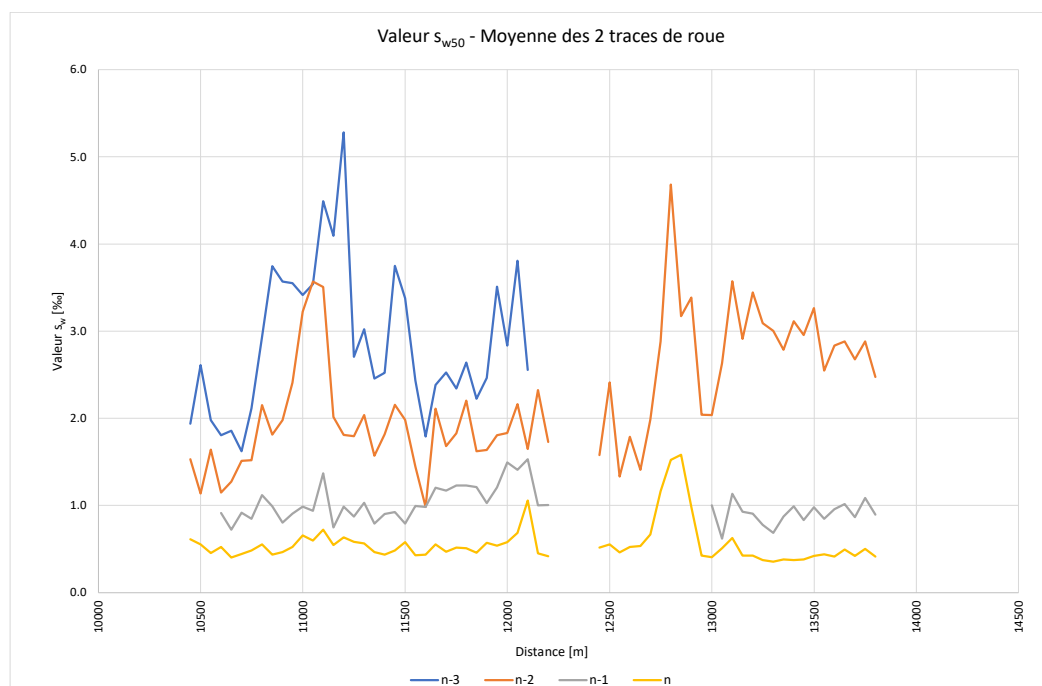
**Fig. 12** – H10 – St. Sulpice

## II Graphiques itinéraires des résultats de planéité longitudinale par tronçon et par valeur d'état

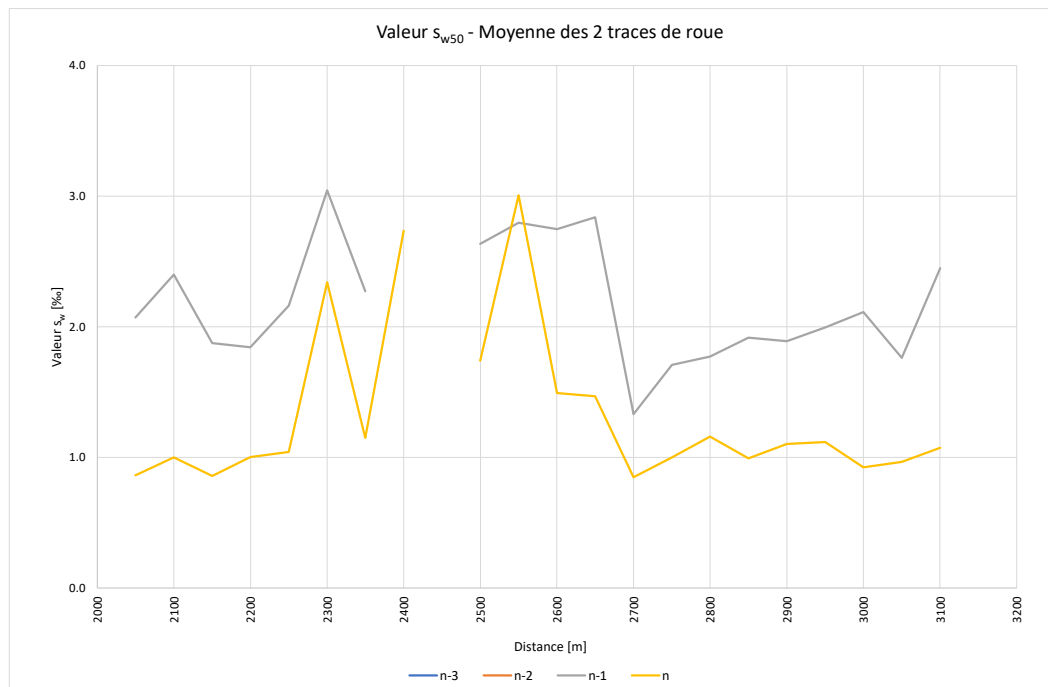
### II.1 Valeur d'état $s_{w50}$



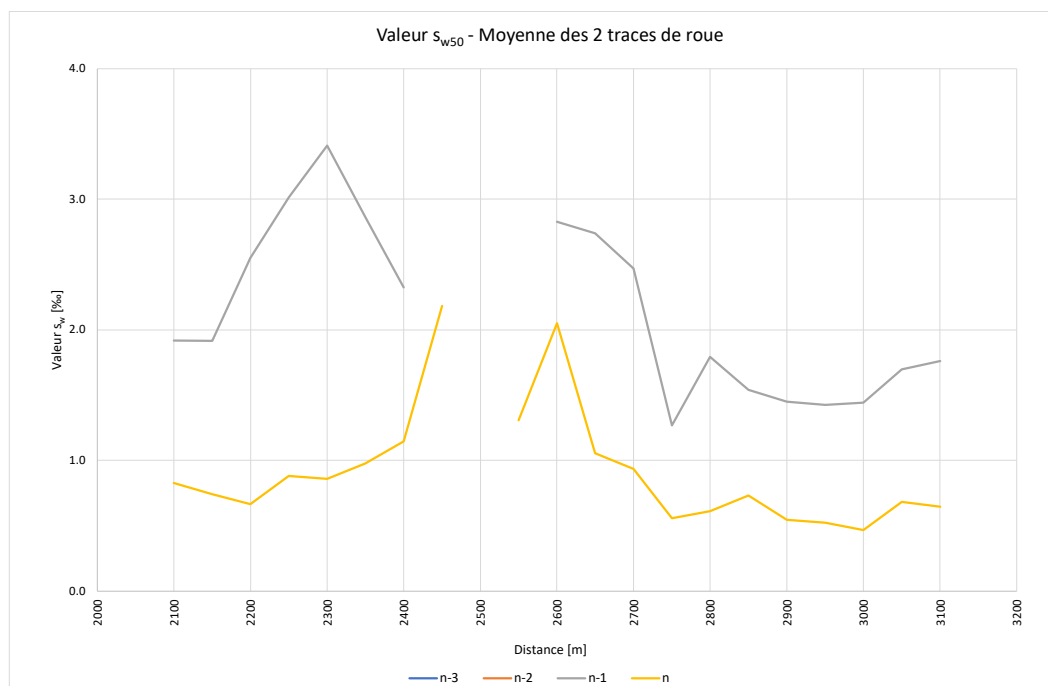
**Fig. 13 – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif**



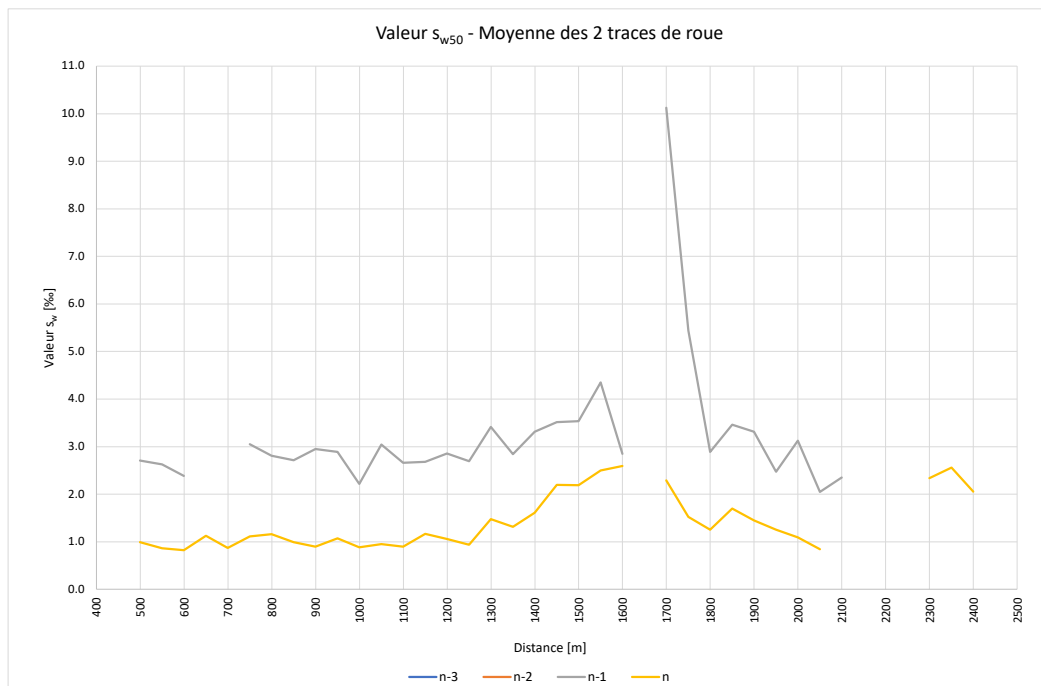
**Fig. 14 – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif**



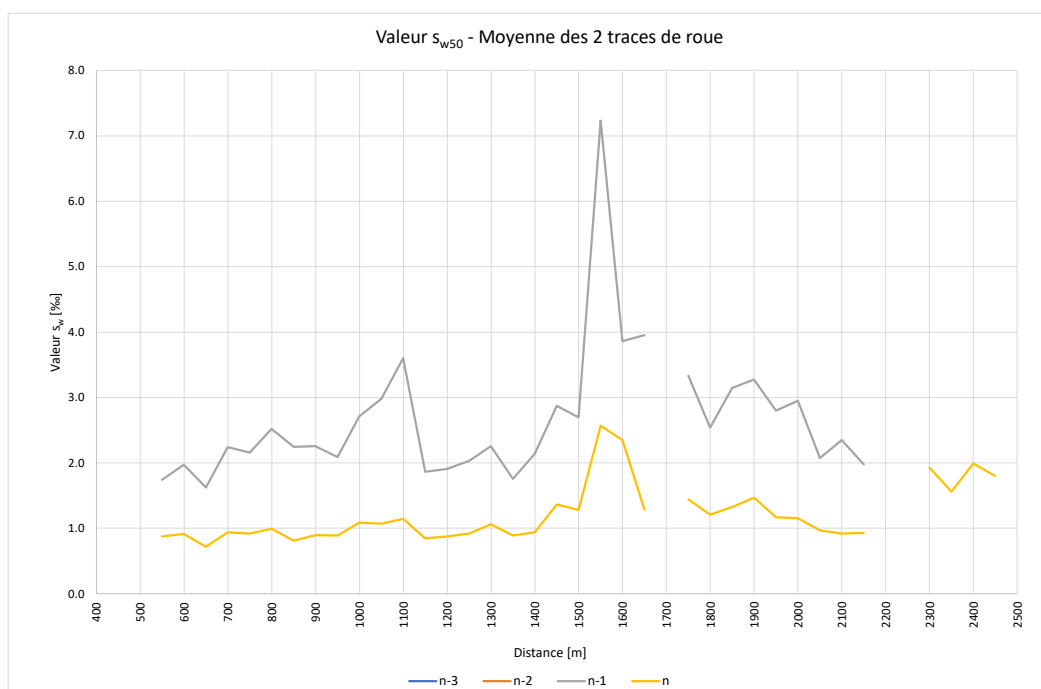
**Fig. 15 – RC2220 – Sens Positif**



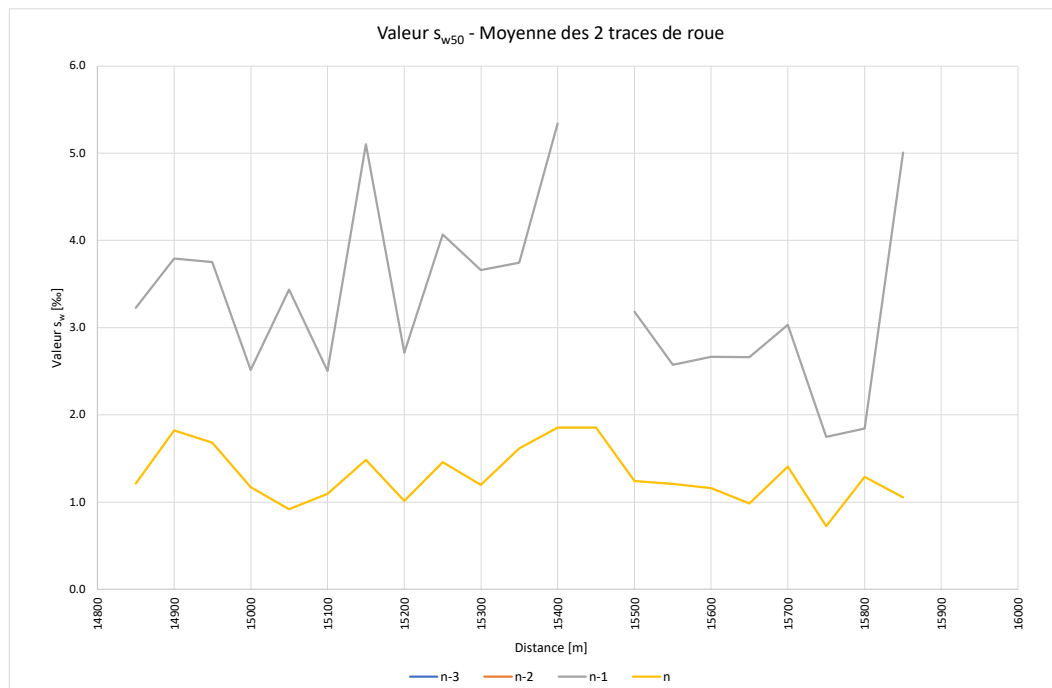
**Fig. 16 – RC2220 – Sens Négatif**



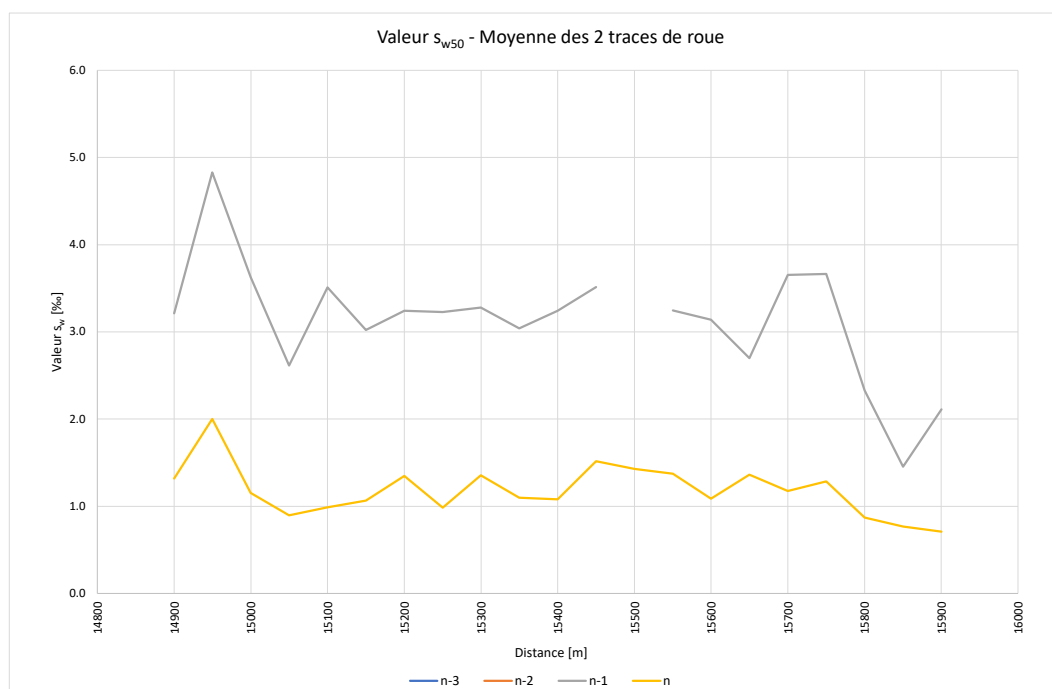
**Fig. 17 – RC2500 – Sens Positif**



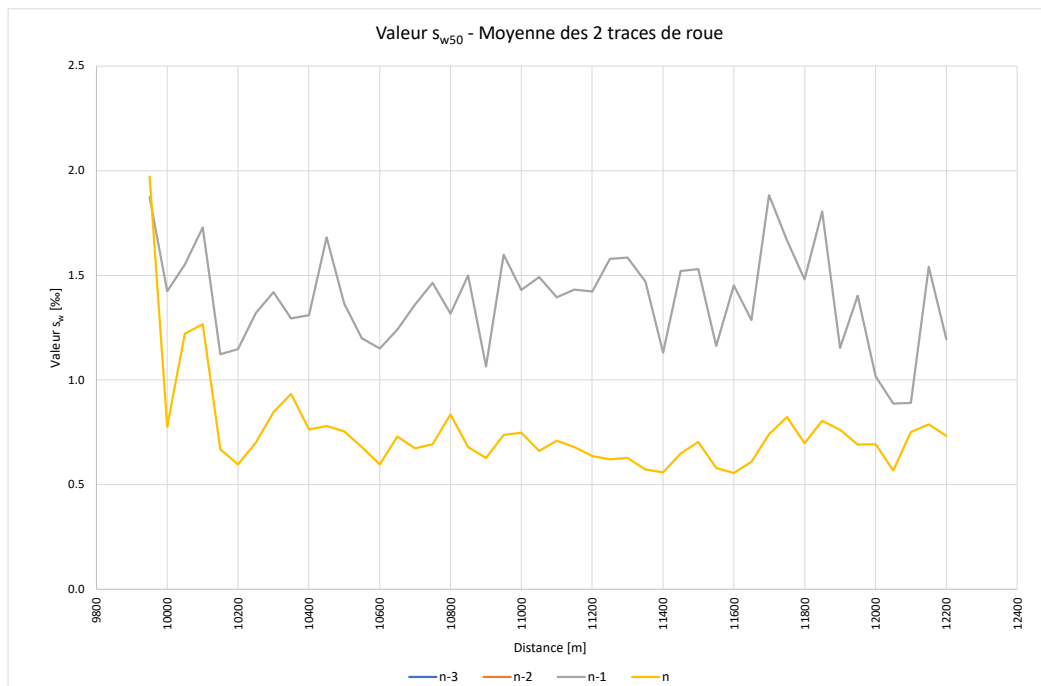
**Fig. 18 – RC2500 – Sens Négatif**



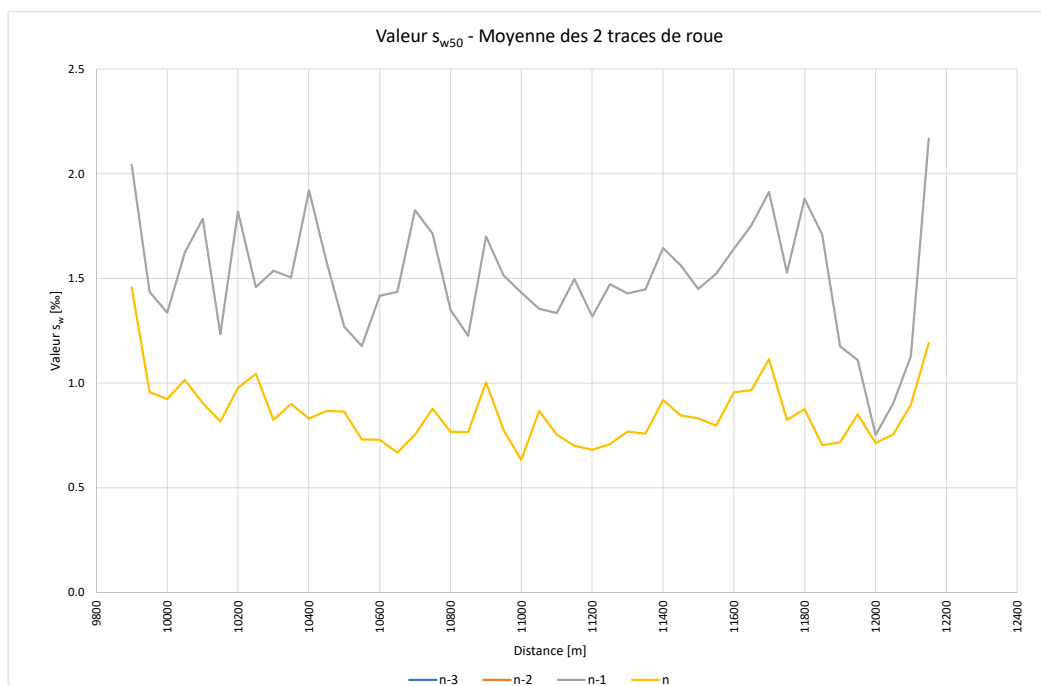
**Fig. 19 – RC1400 – Sens Positif**



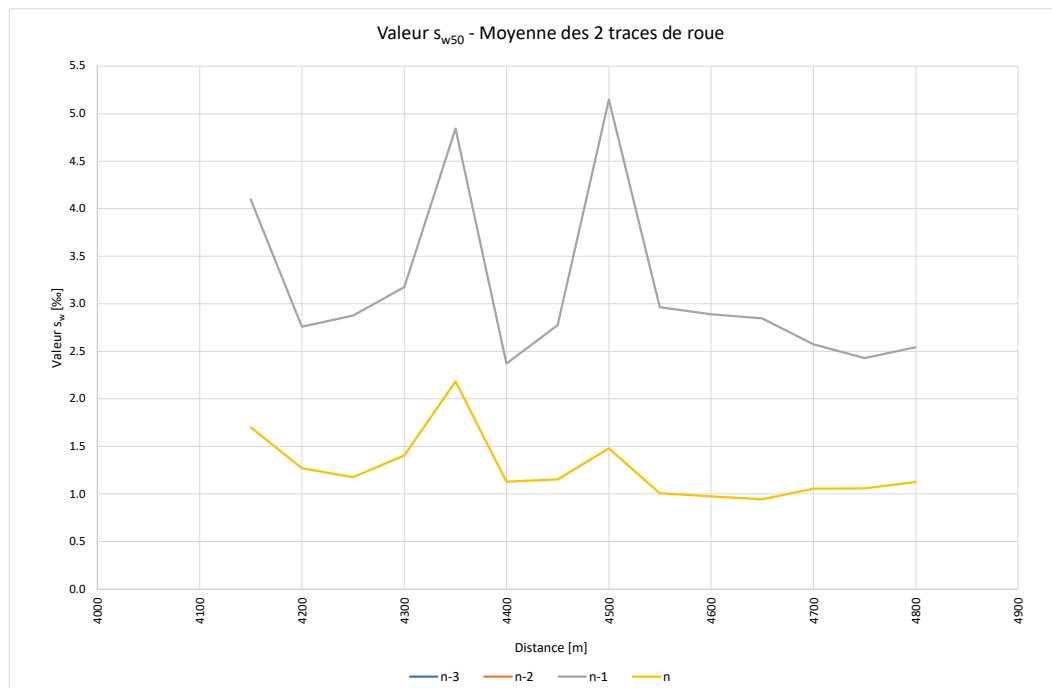
**Fig. 20 – RC1400 – Sens Négatif**



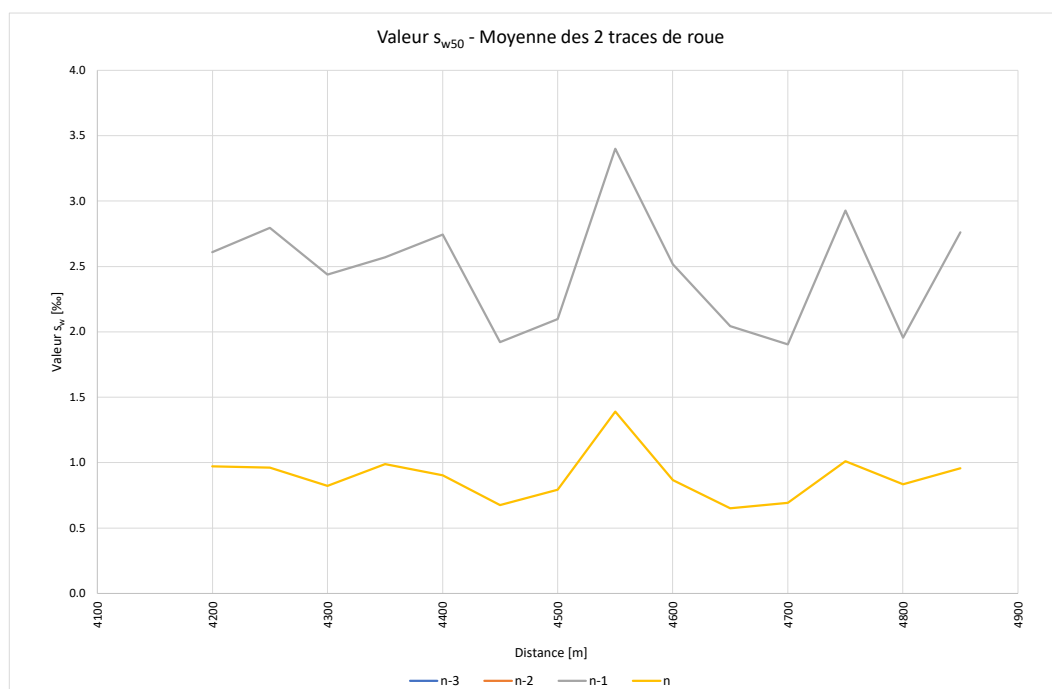
**Fig. 21** – RC701 – Savigny - Forel – Sens Positif



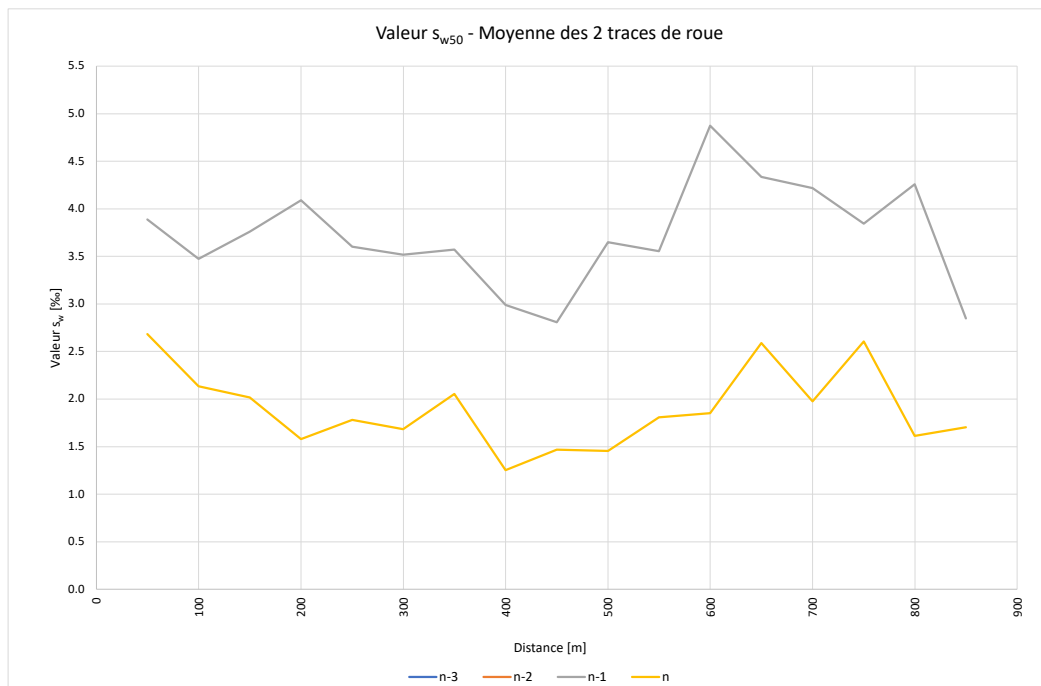
**Fig. 22** – RC701 – Savigny - Forel – Sens Négatif



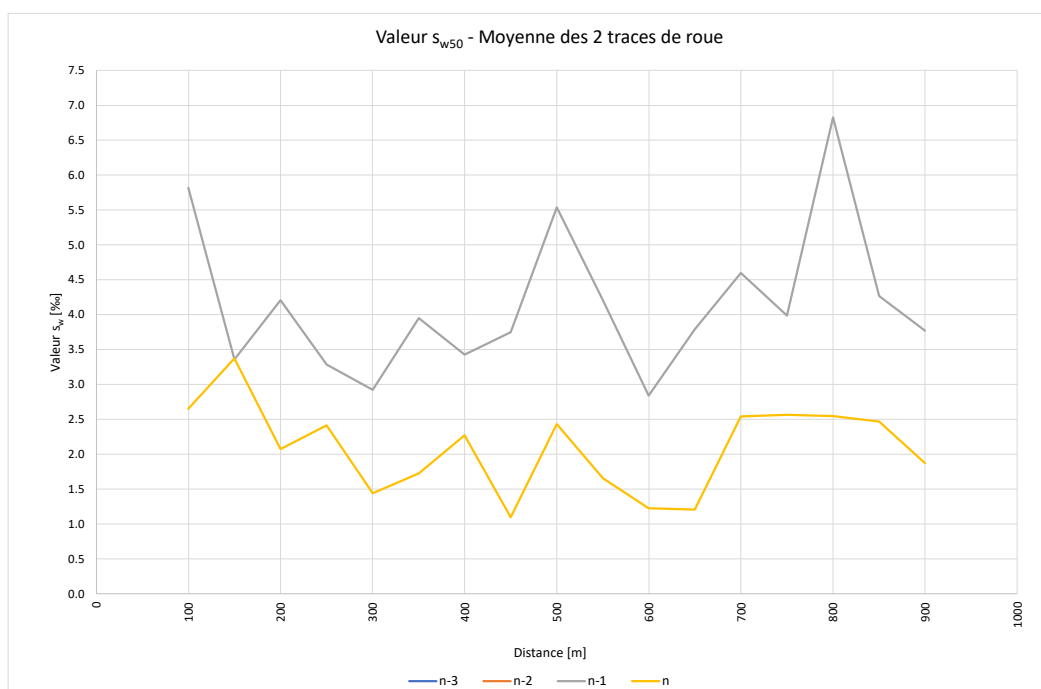
**Fig. 23 – RC1500 – Sens Positif**



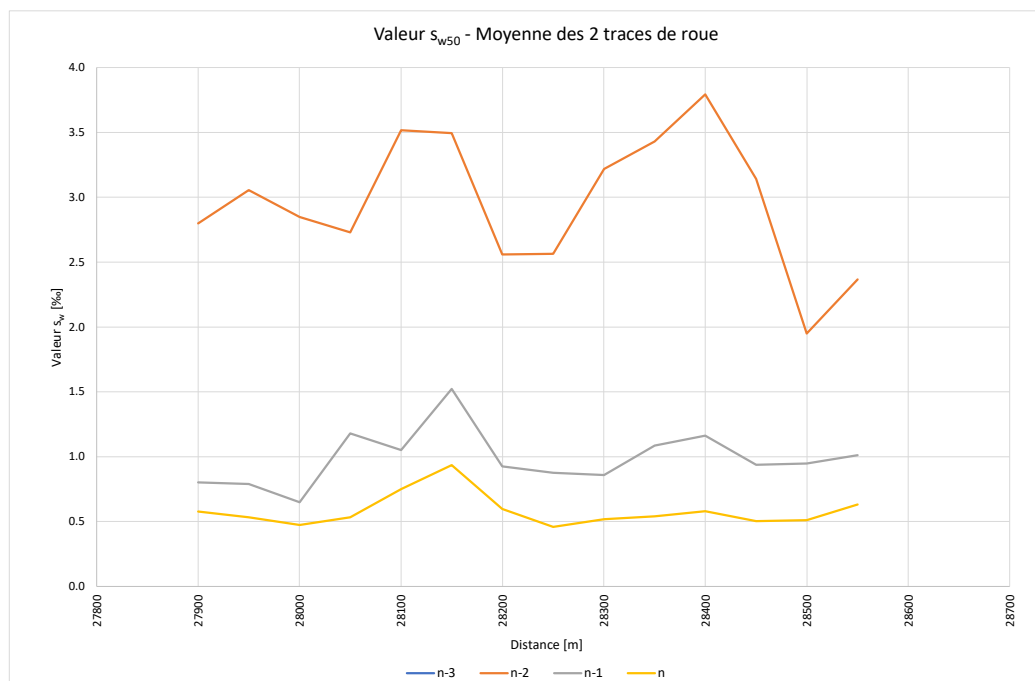
**Fig. 24 – RC1500 – Sens Négatif**



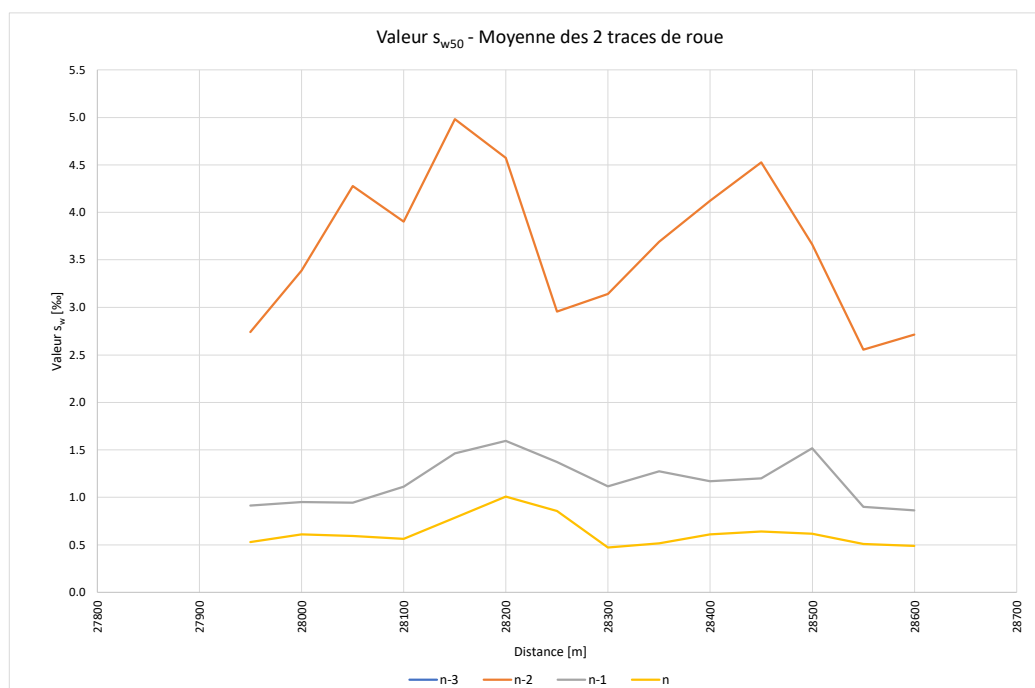
**Fig. 25 – RC726 – Sens Positif**



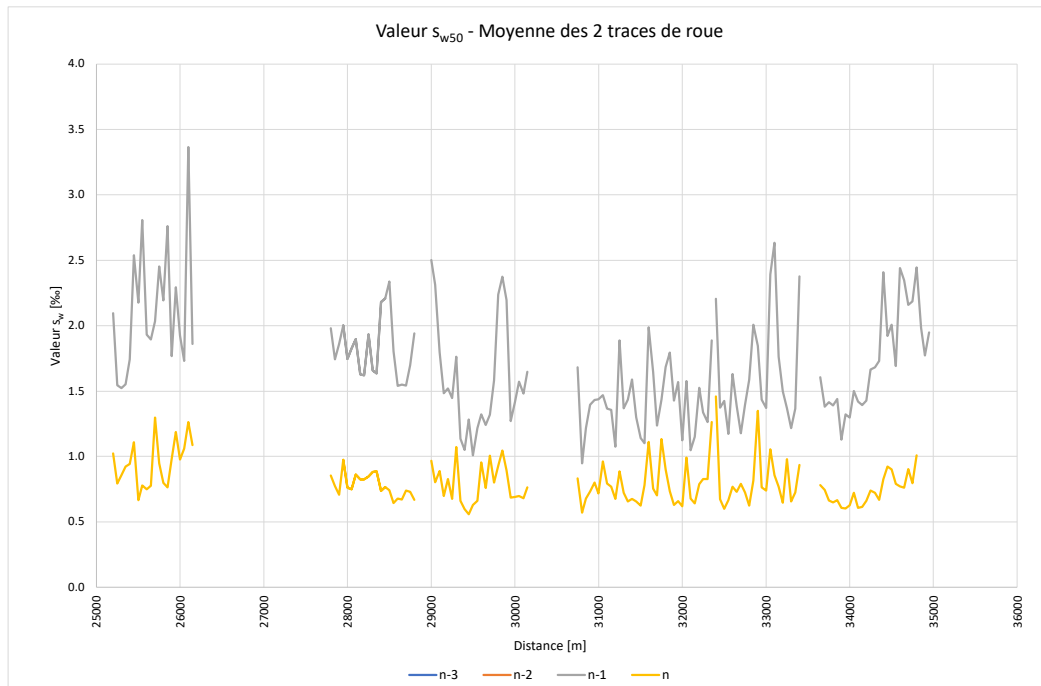
**Fig. 26 – RC726 – Sens Négatif**



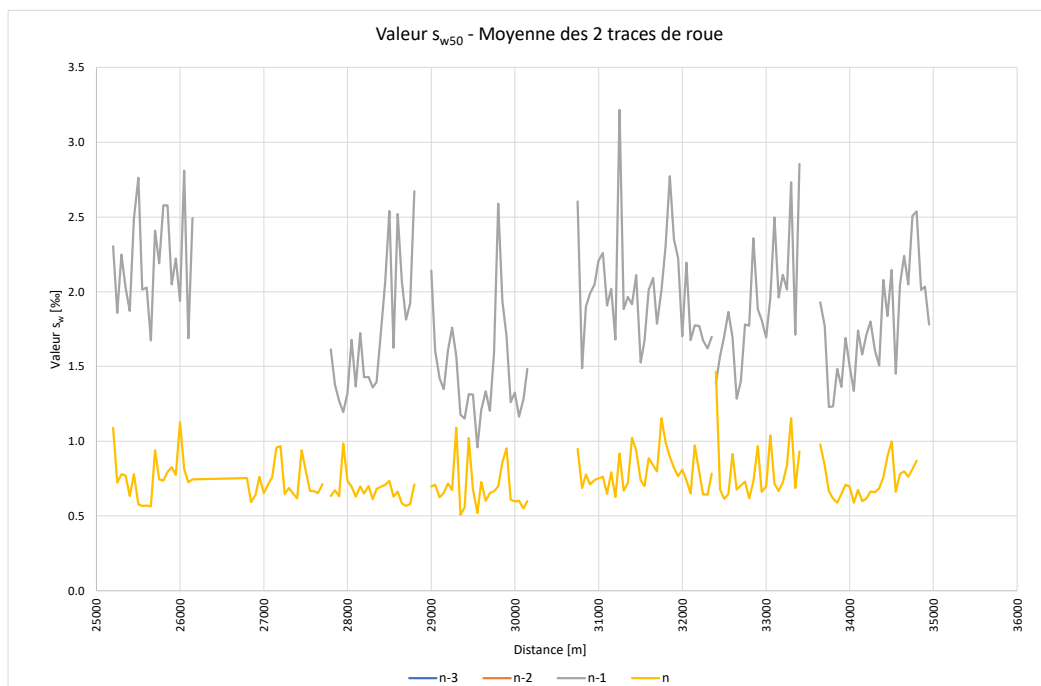
**Fig. 27 – RC251 – Sens Positif**



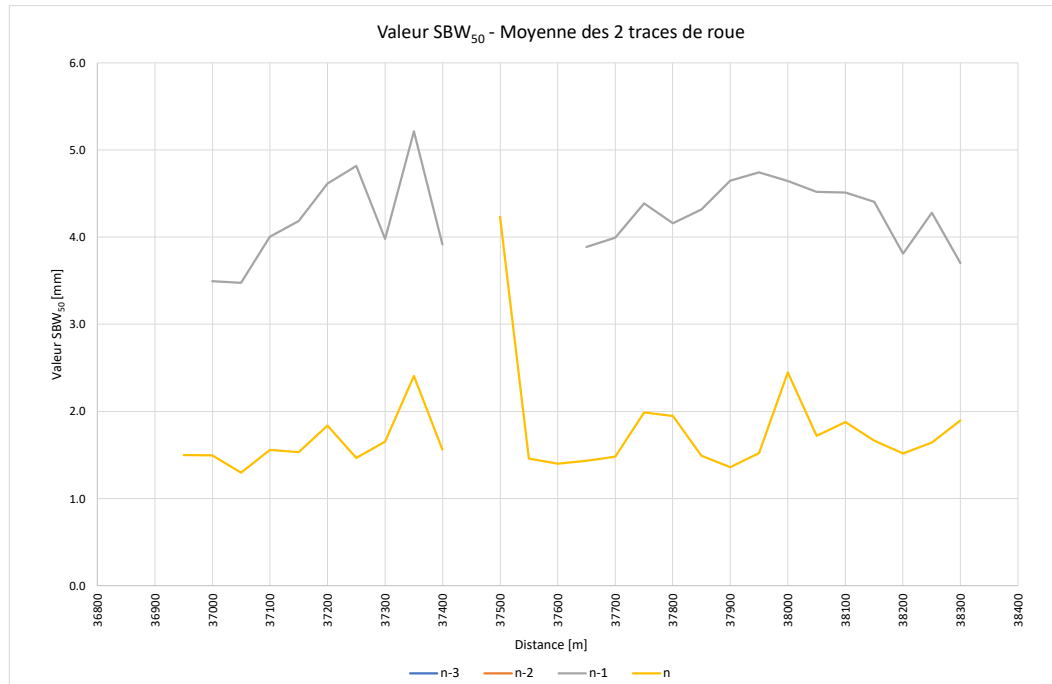
**Fig. 28 – RC251 – Sens Négatif**



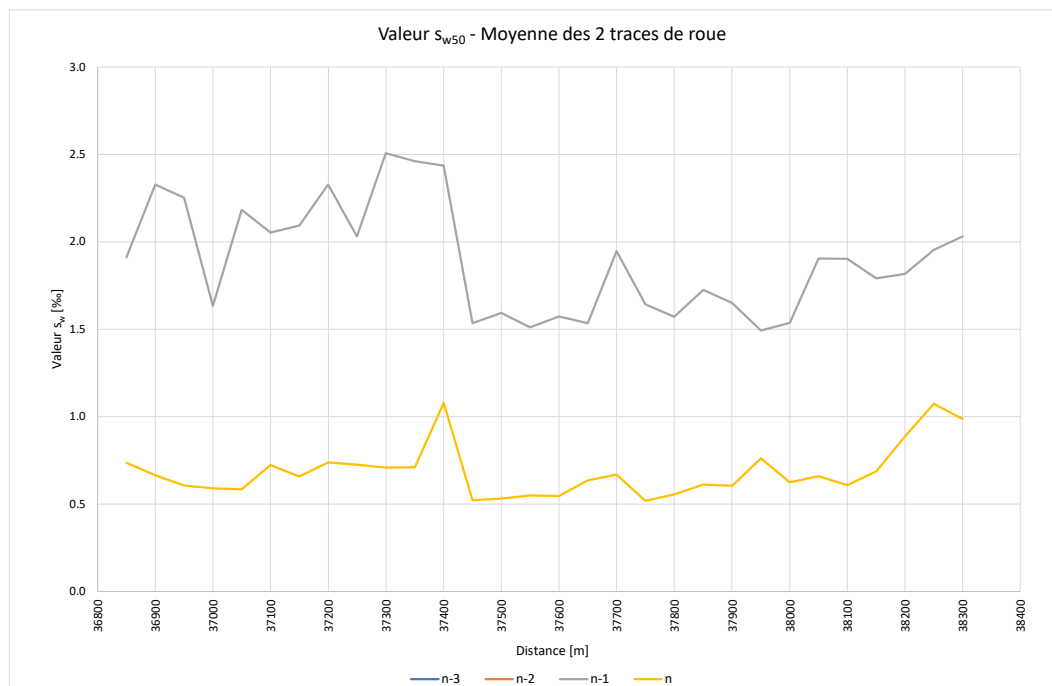
**Fig. 29 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



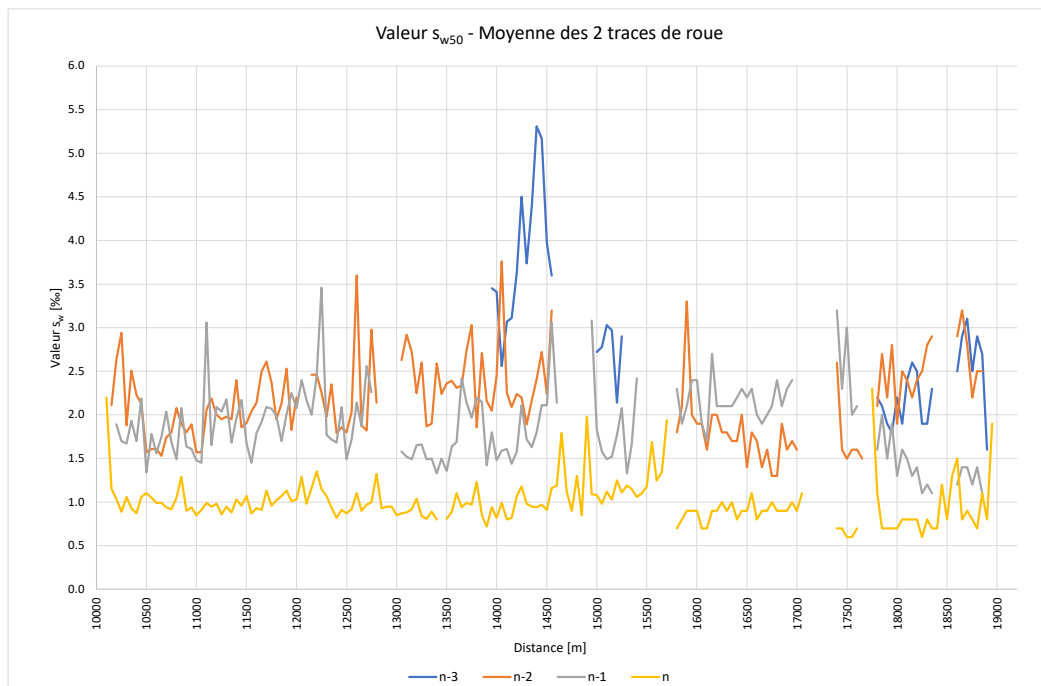
**Fig. 30 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



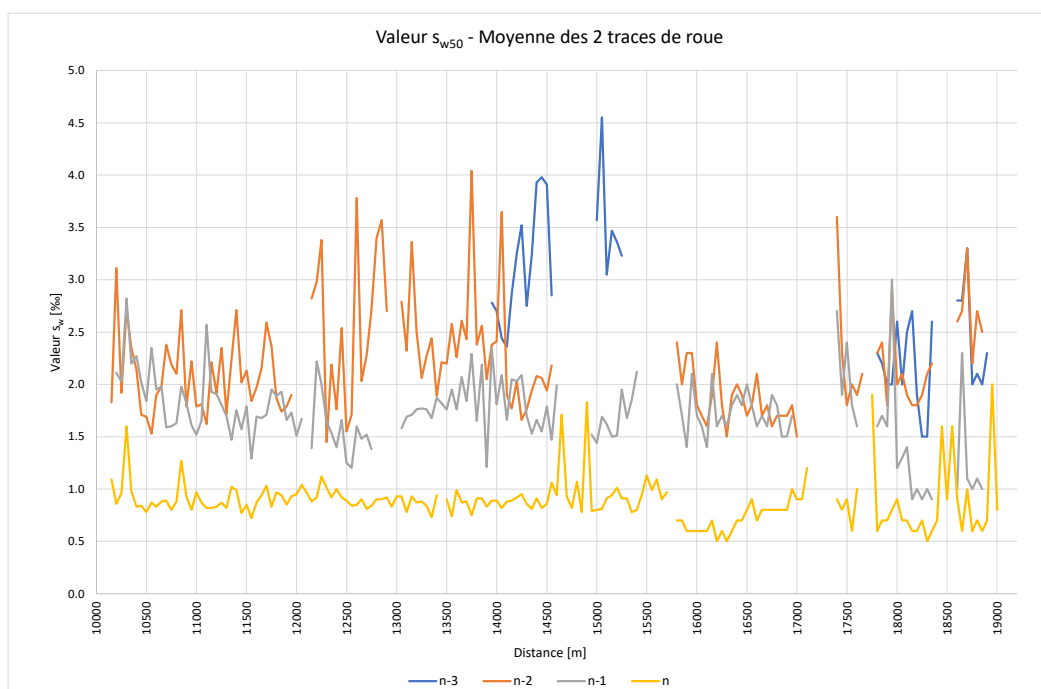
**Fig. 31 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



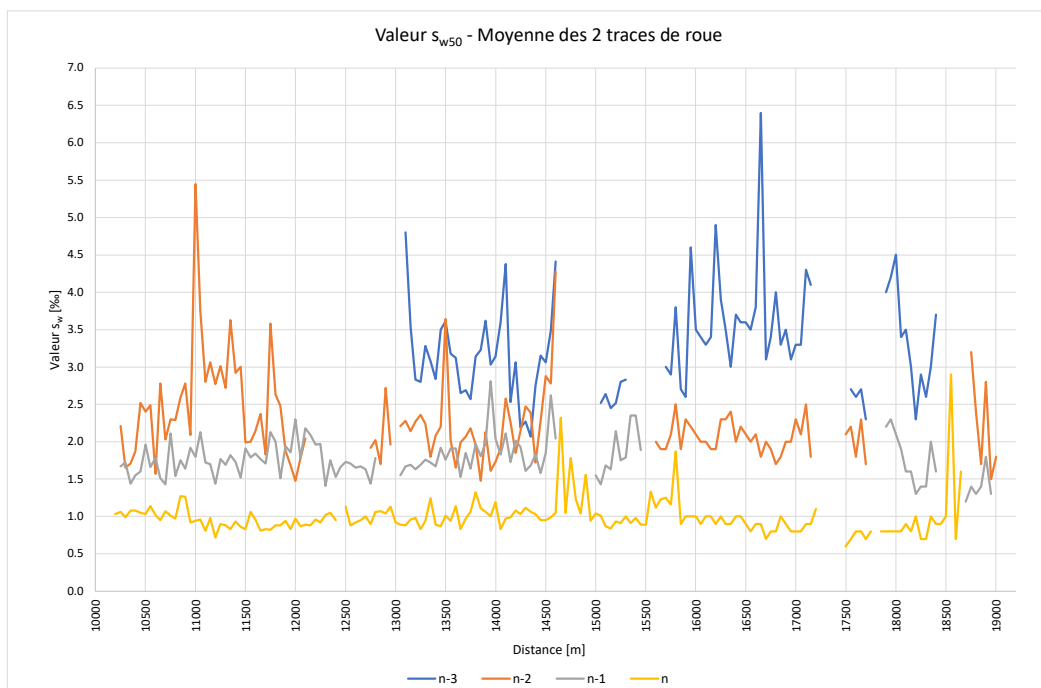
**Fig. 32 – N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**



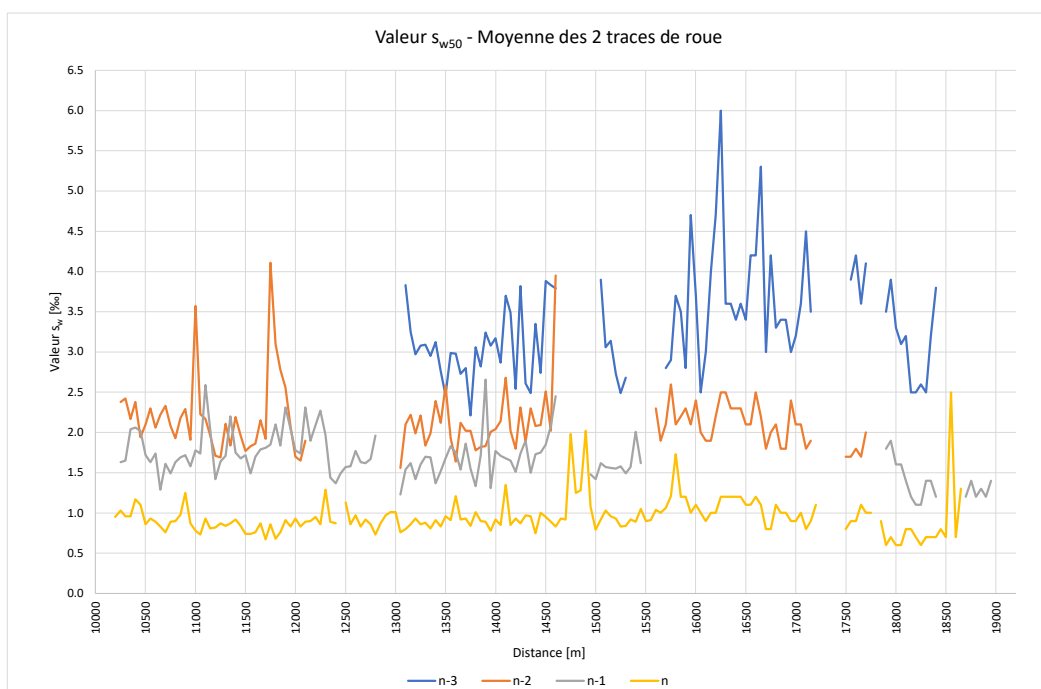
**Fig. 33 – N5 – Sens Positif – Voie Normale**



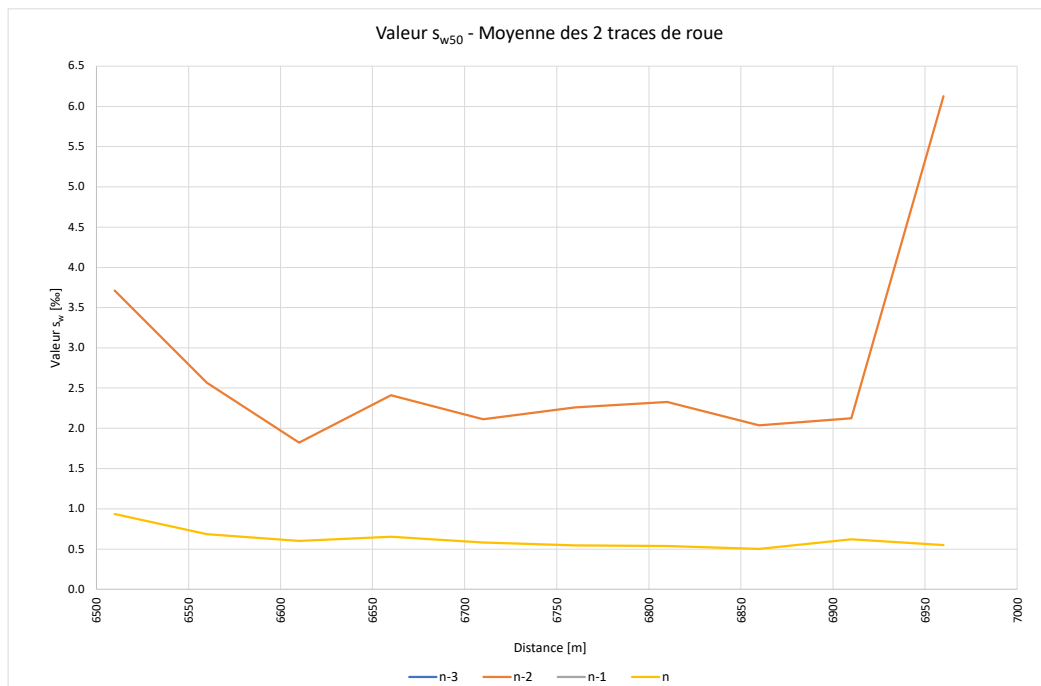
**Fig. 34 – N5 – Sens Positif – Voie Rapide**



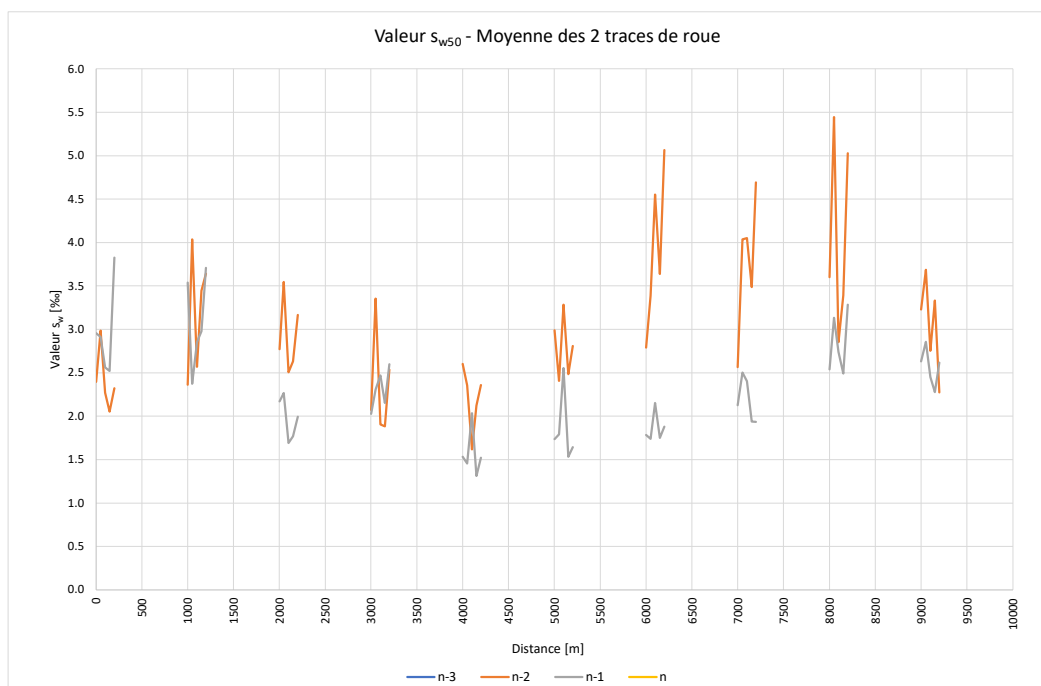
**Fig. 35 – N5 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 36 – N5 – Sens Négatif – Voie Rapide**



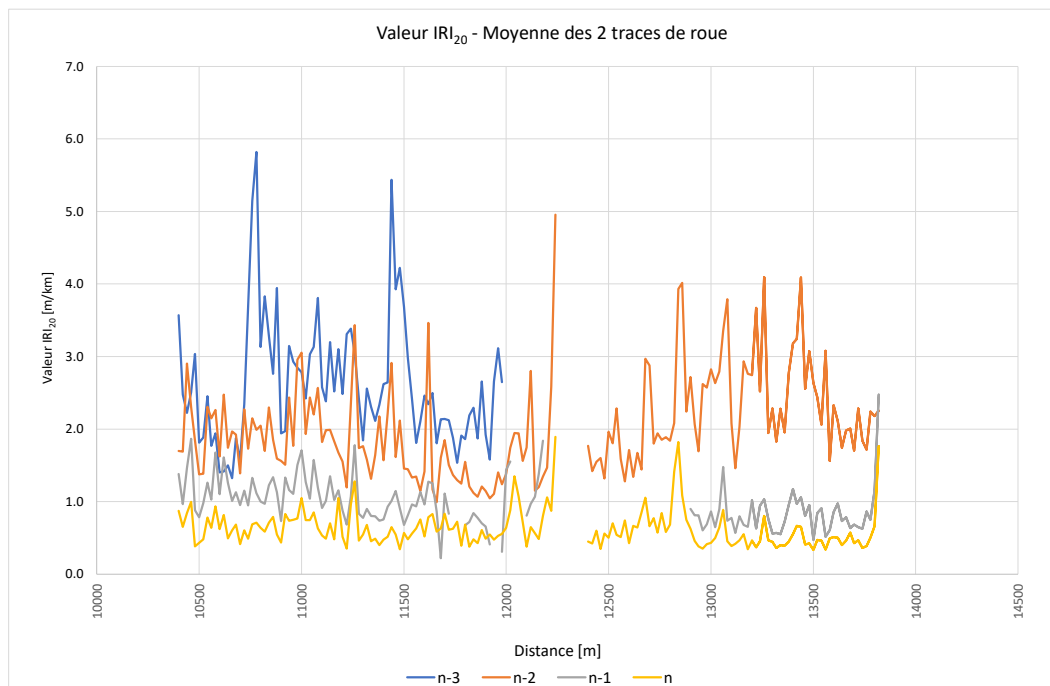
**Fig. 37 – H10 – Sens Positif**



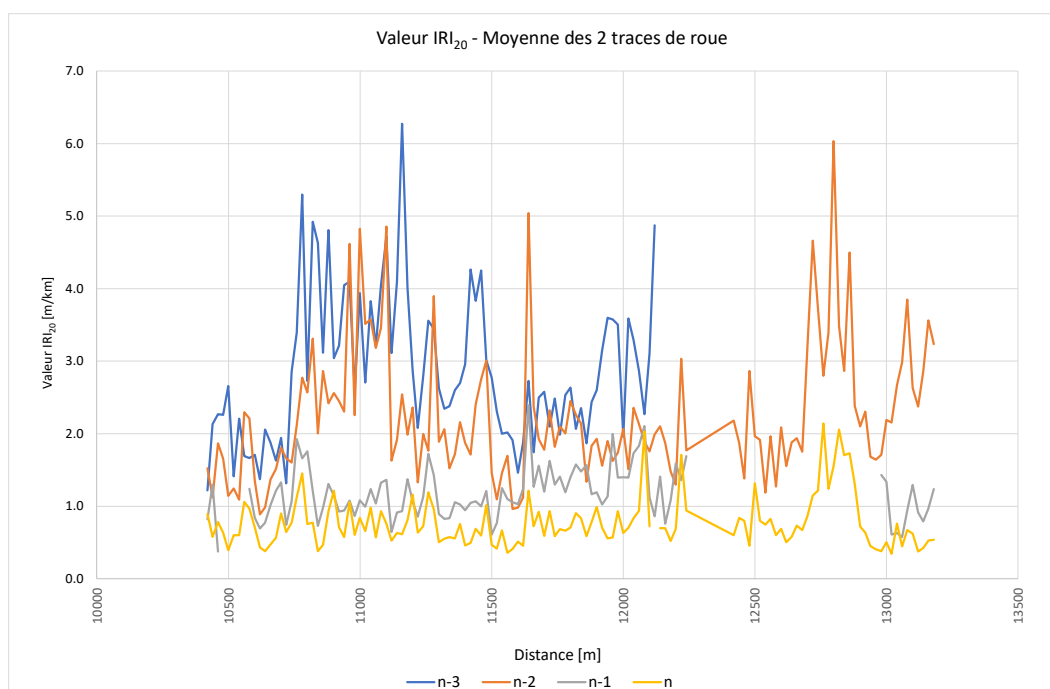
**Fig. 38 – Piste Sion**

Pour une représentation des 10 traces de mesures de la piste de Sion en un seul graphique, le linéaire a été défini de la manière suivante : 1<sup>ère</sup> trace de mesure entre 0 et 250m, 2<sup>ème</sup> trace entre 1000 et 1250m, et ainsi de suite.

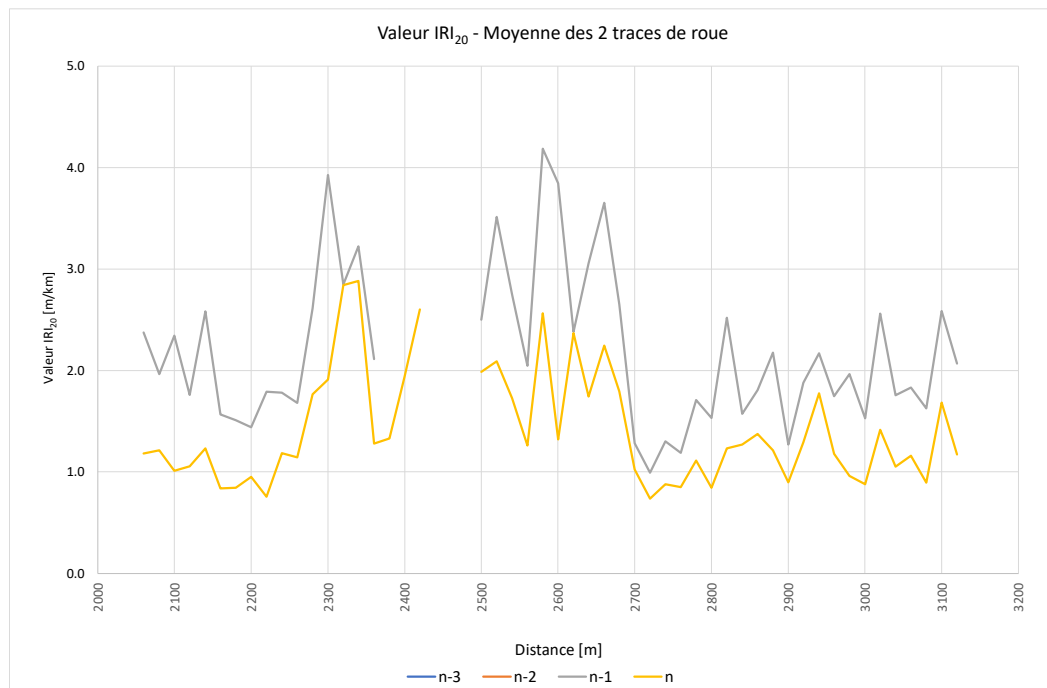
## II.2 Valeur d'état $IRI_{20}$



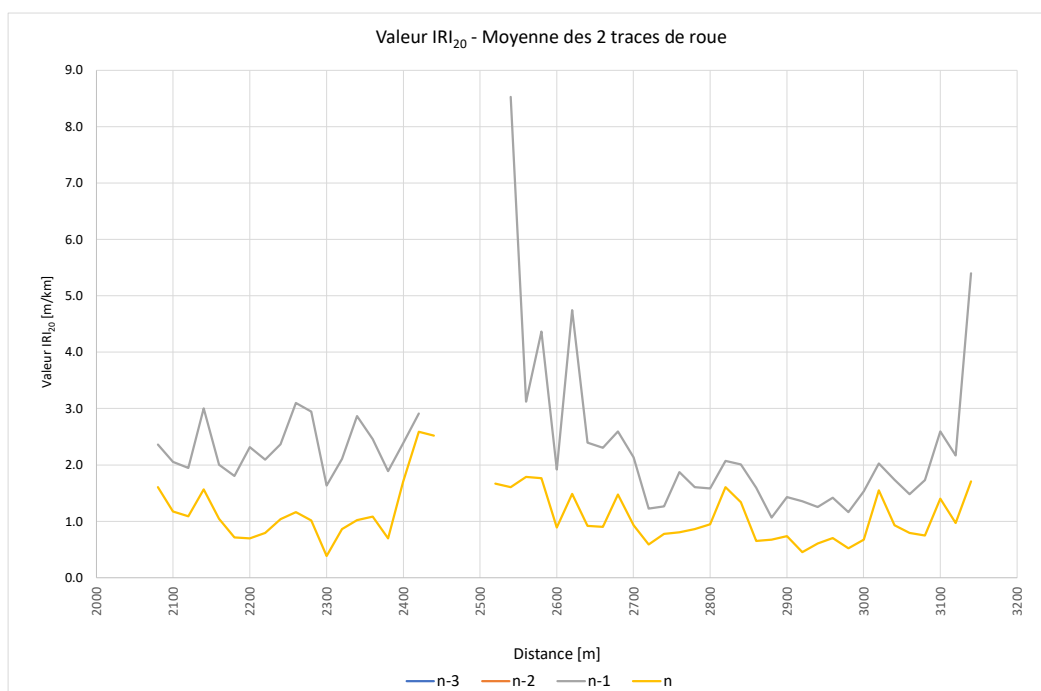
**Fig. 39 – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif**



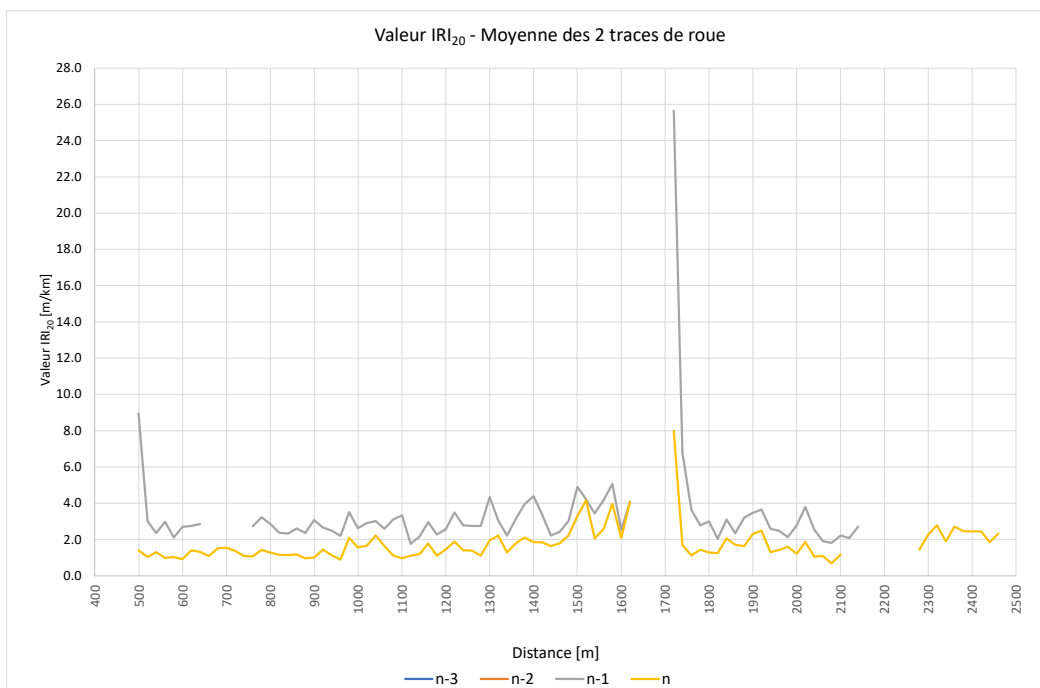
**Fig. 40 – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif**



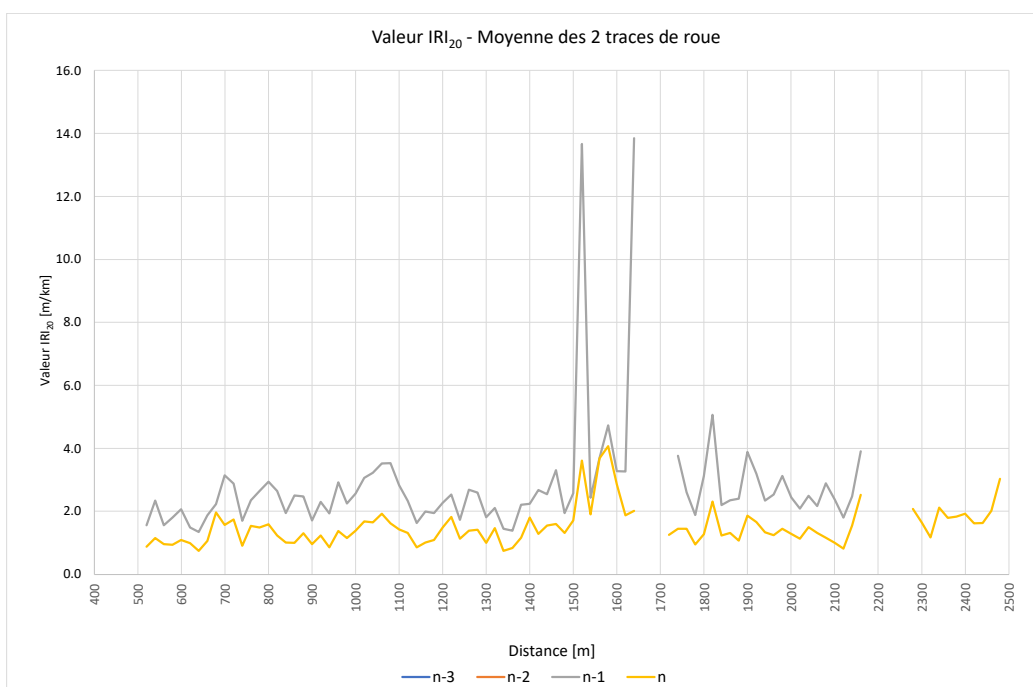
**Fig. 41 – RC2220 – Sens Positif**



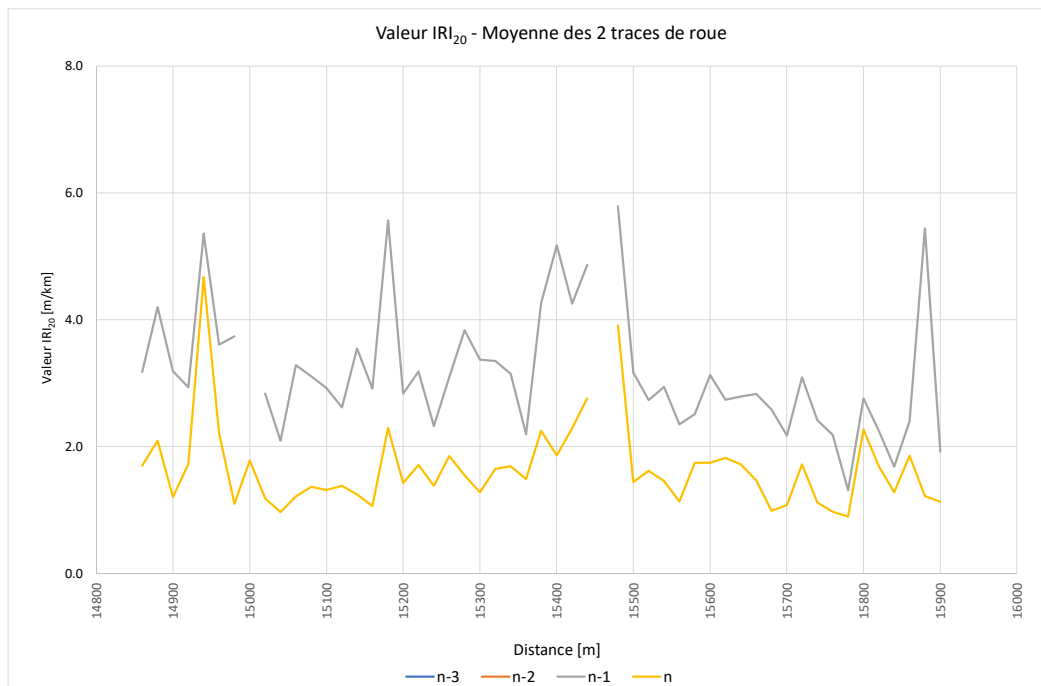
**Fig. 42 – RC2220 – Sens Négatif**



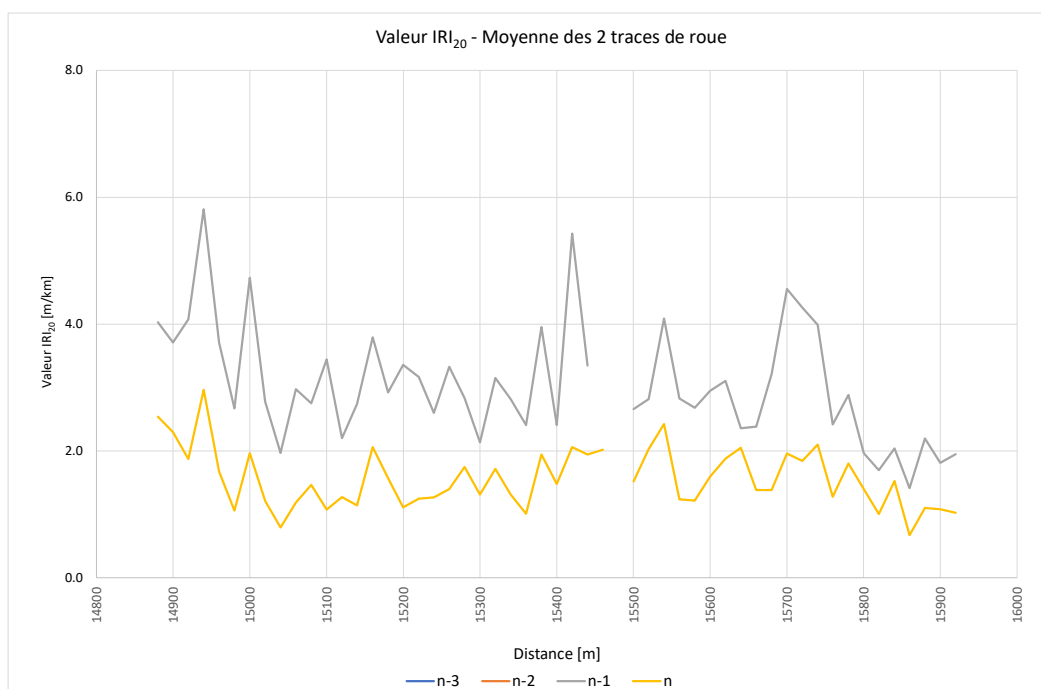
**Fig. 43 – RC2500 – Sens Positif**



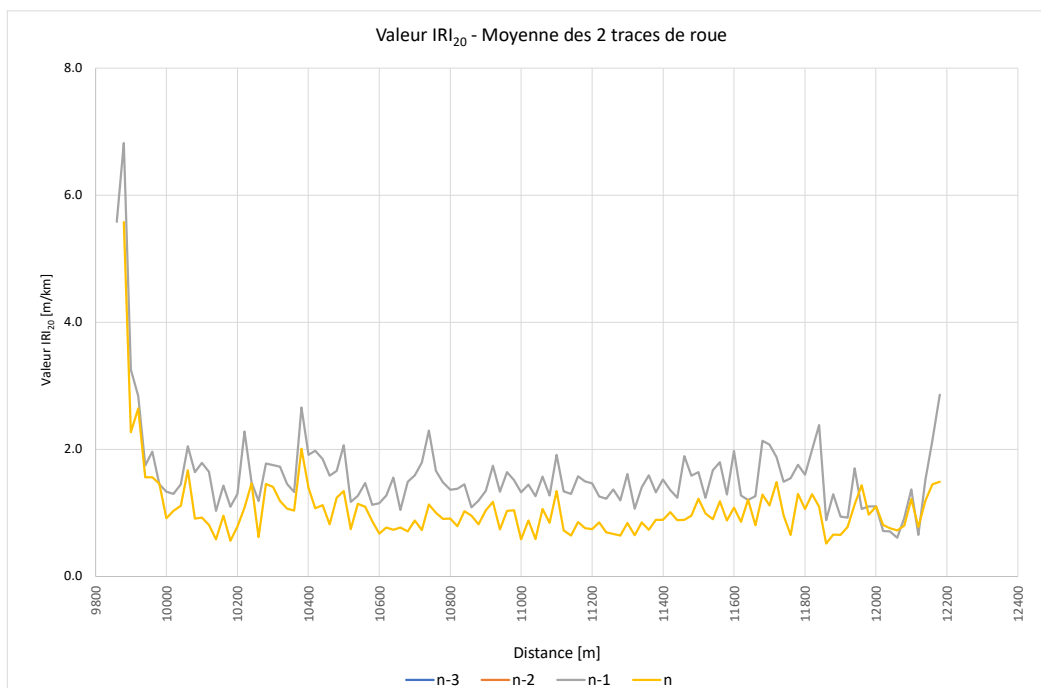
**Fig. 44 – RC2500 – Sens Négatif**



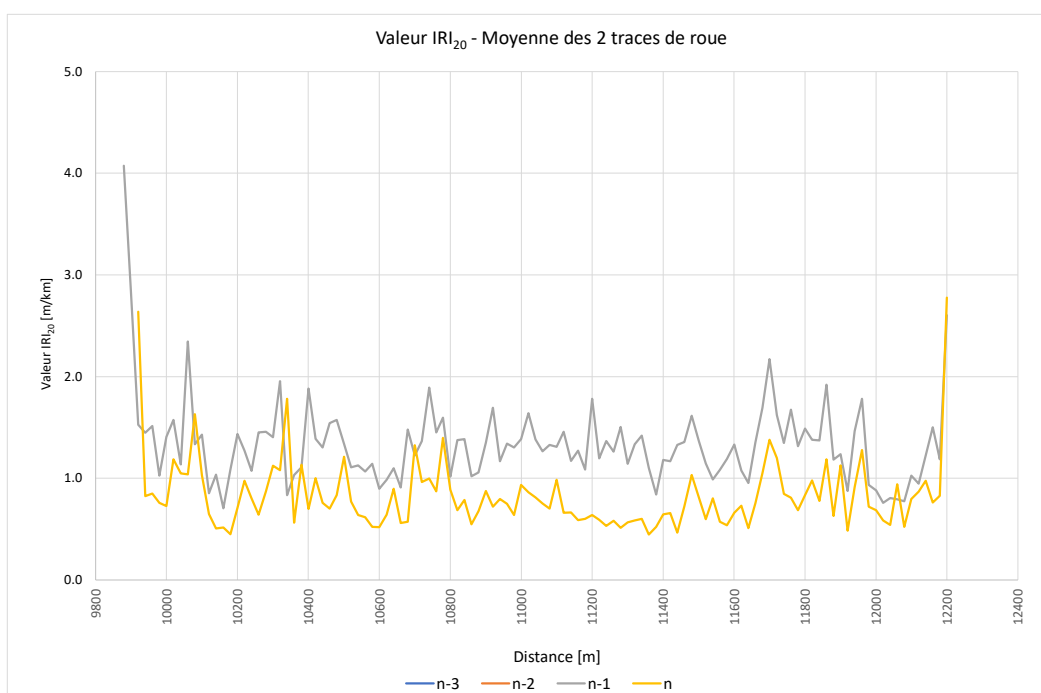
**Fig. 45 – RC1400 – Sens Positif**



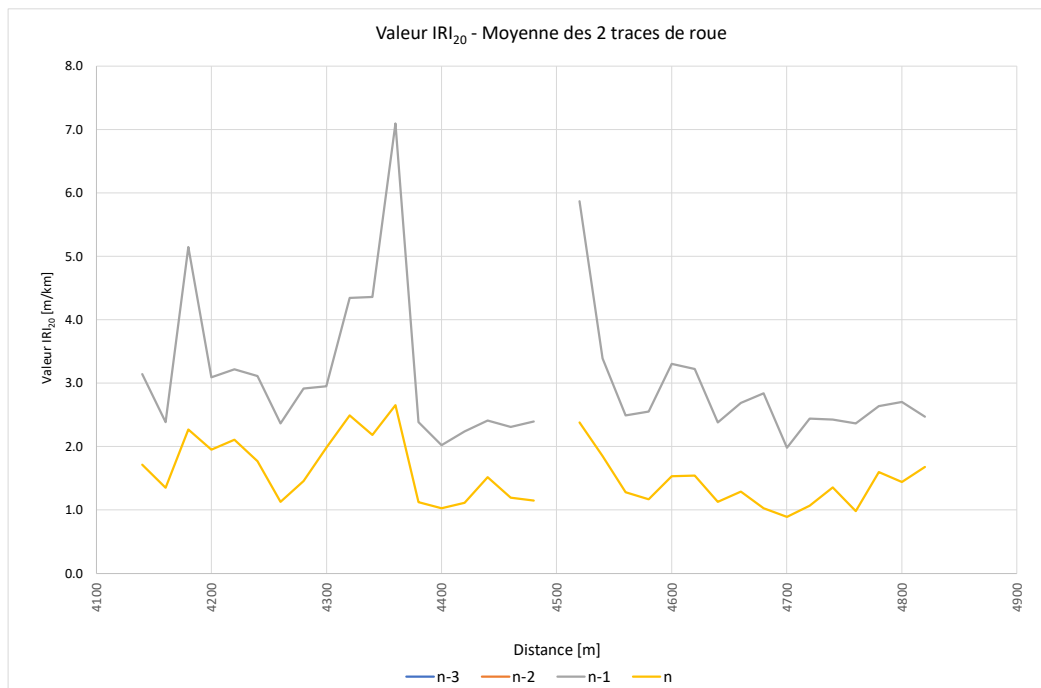
**Fig. 46 – RC1400 – Sens Négatif**



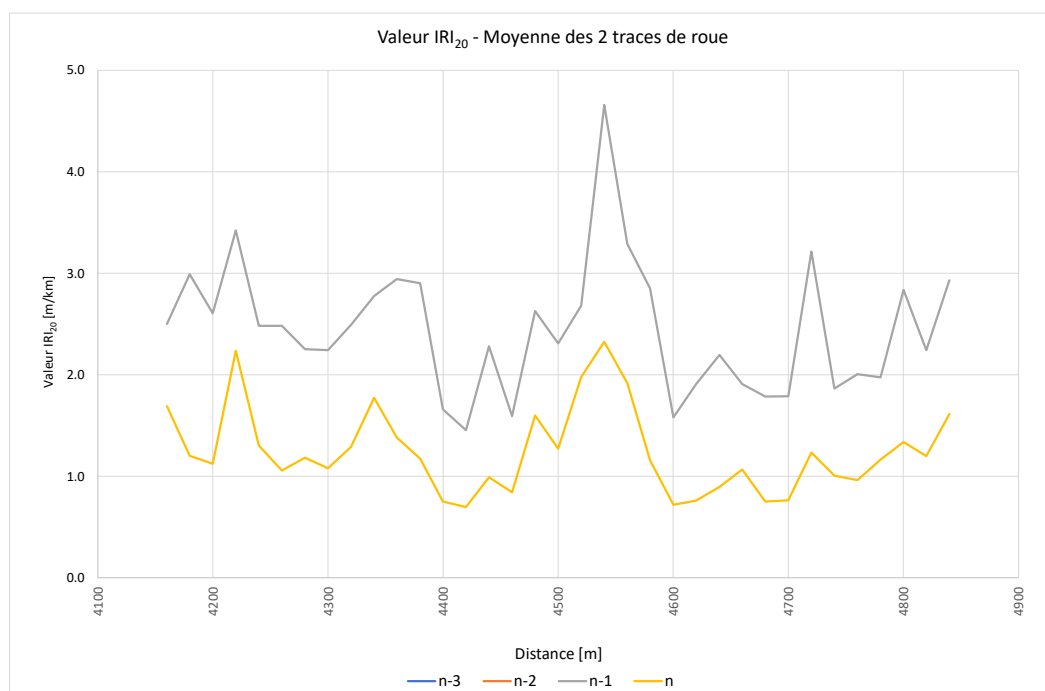
**Fig. 47 – RC701 – Savigny – Forel - Sens Positif**



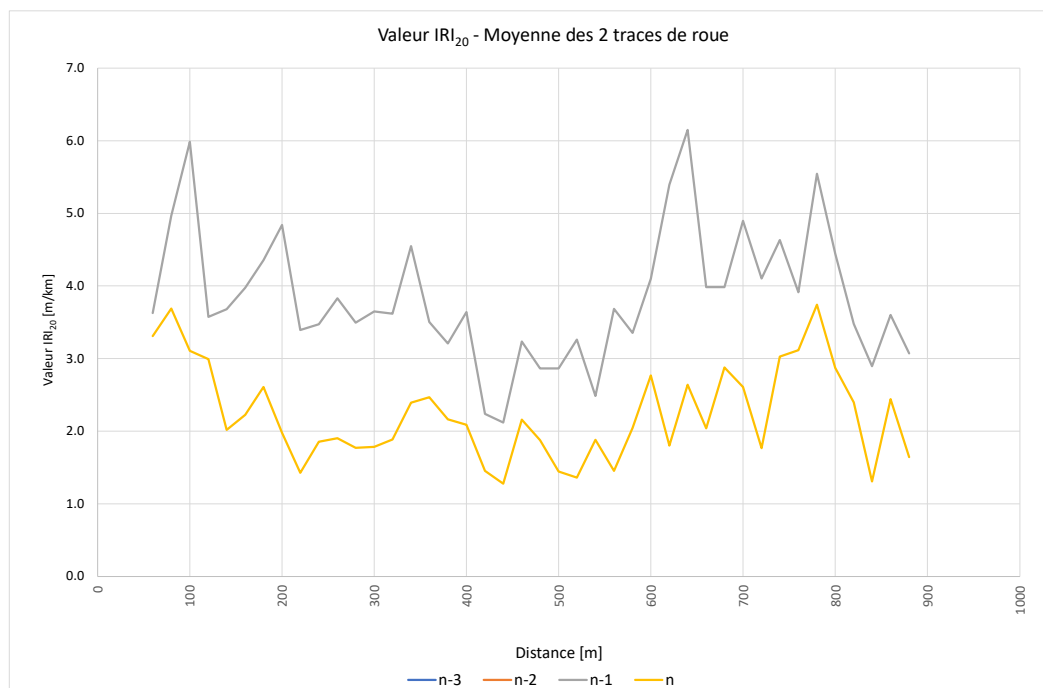
**Fig. 48 – RC701 – Savigny – Forel - Sens Négatif**



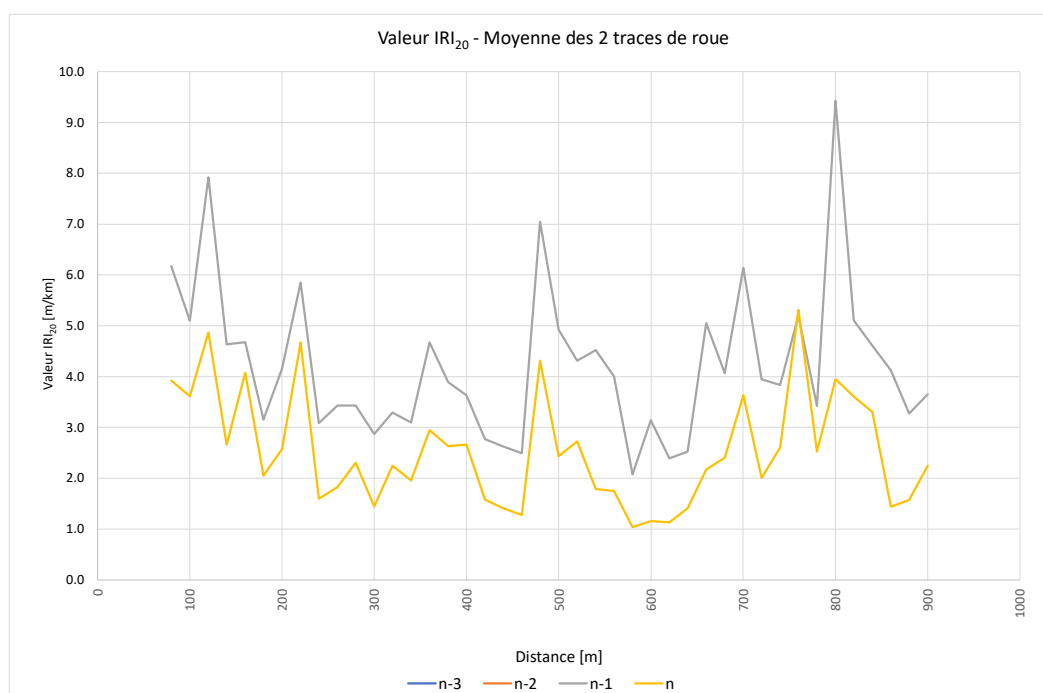
**Fig. 49 – RC1500 – Sens Positif**



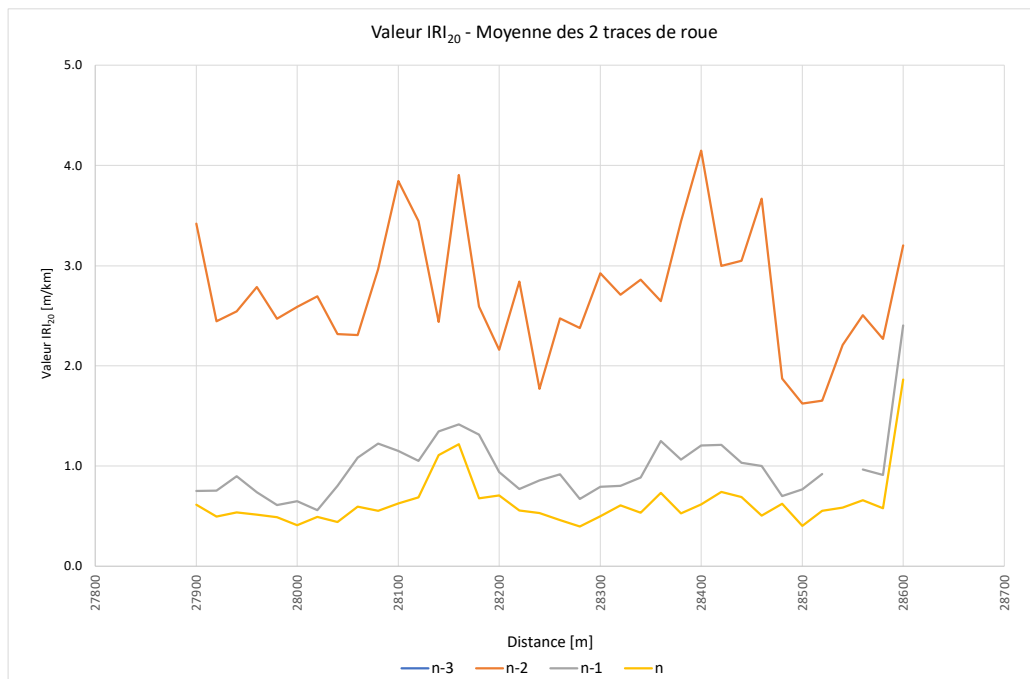
**Fig. 50 – RC1500 – Sens Négatif**



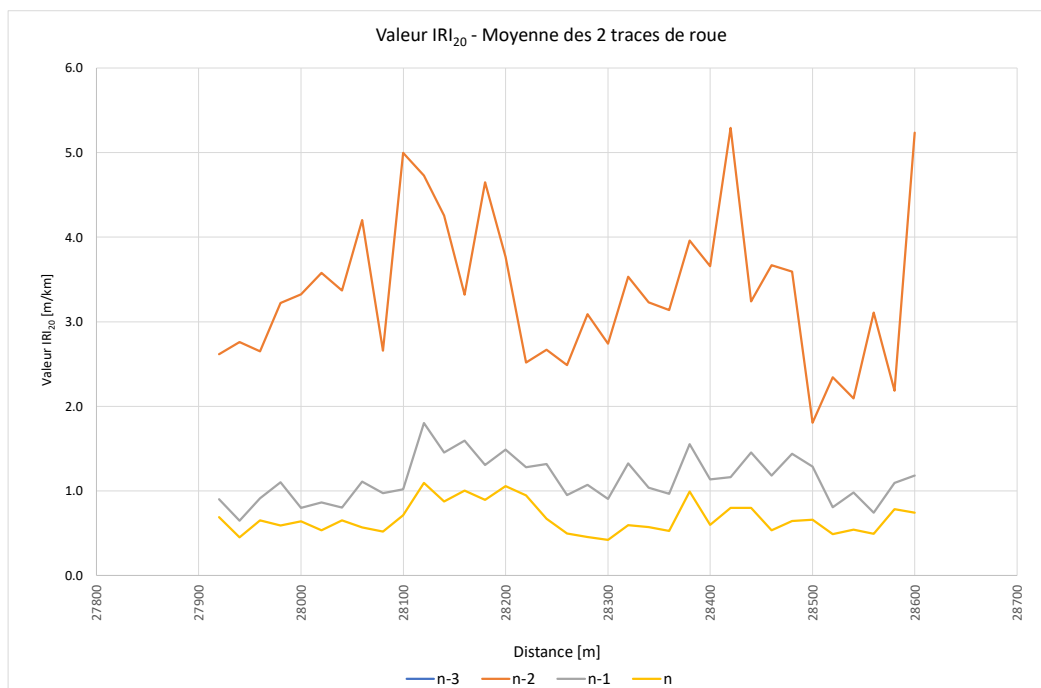
**Fig. 51 – RC726 – Sens Positif**



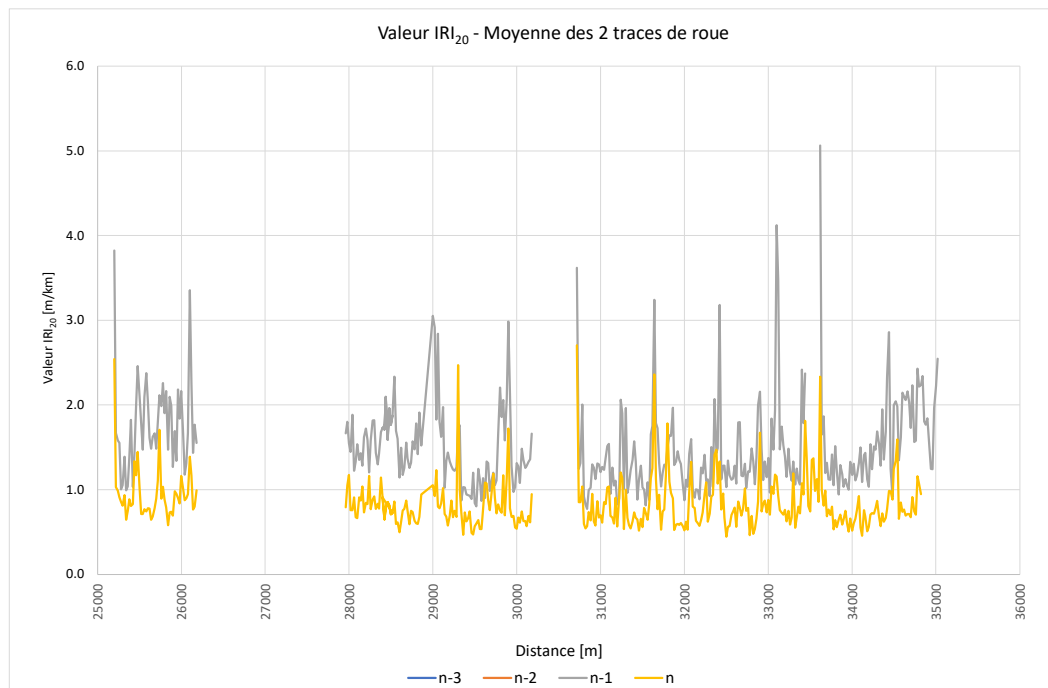
**Fig. 52 – RC726 – Sens Négatif**



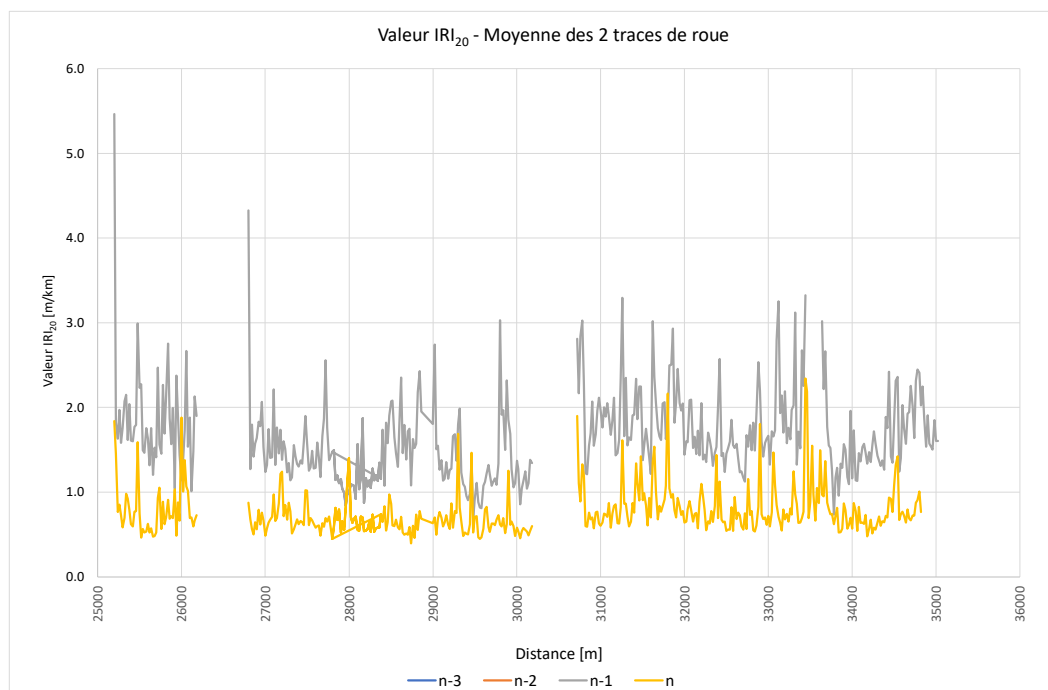
**Fig. 53** – RC251 – Sens Positif



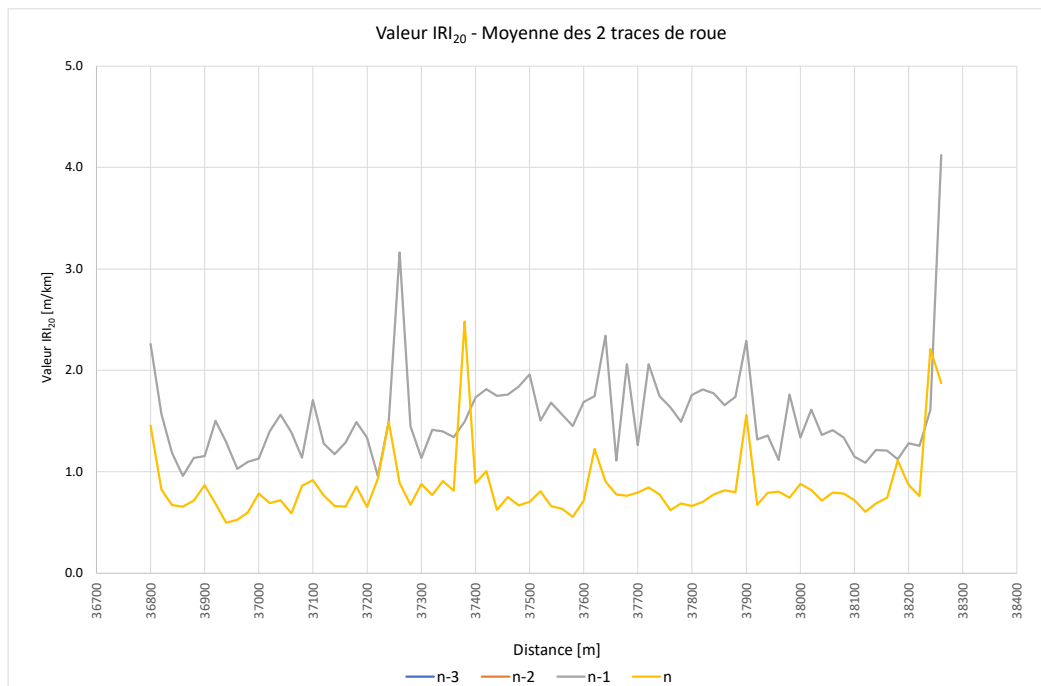
**Fig. 54** – RC251 – Sens Négatif



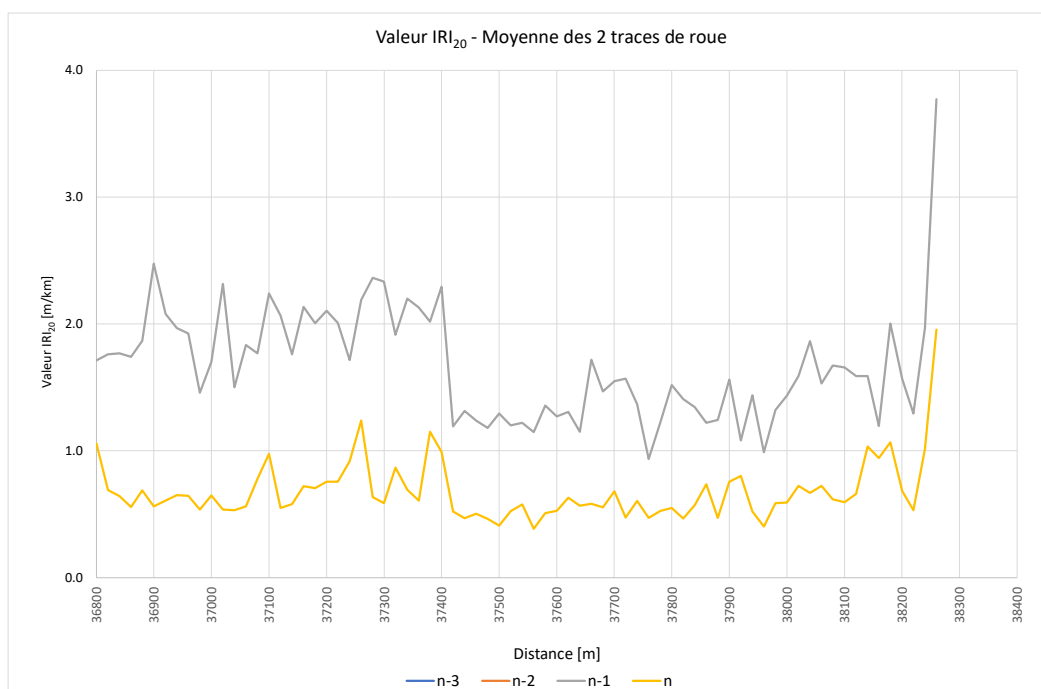
**Fig. 55 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



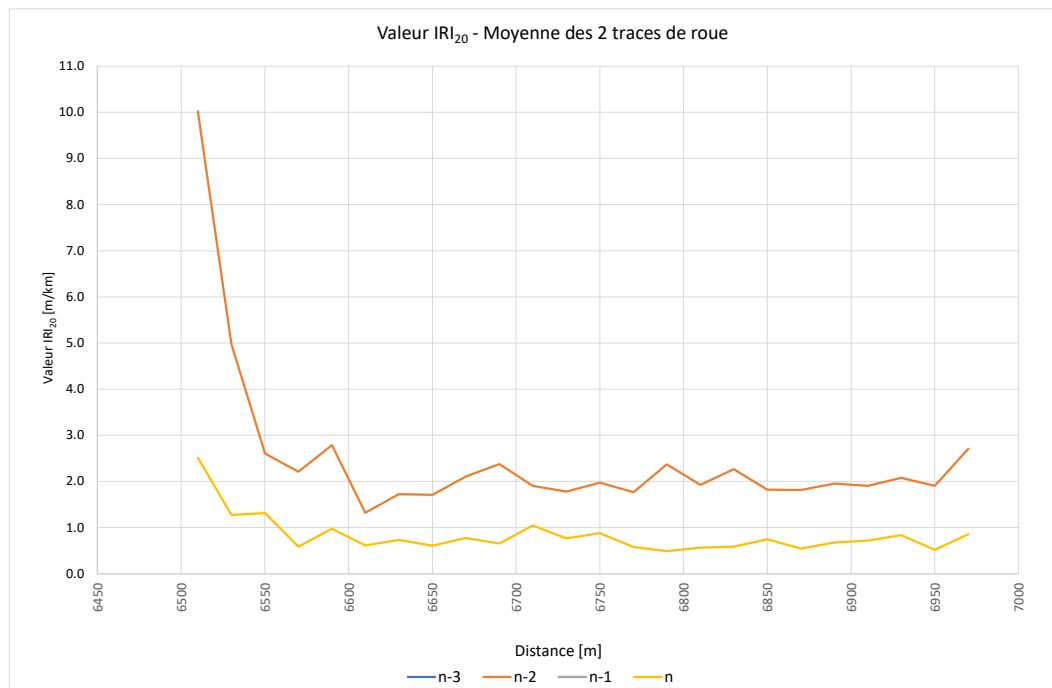
**Fig. 56 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



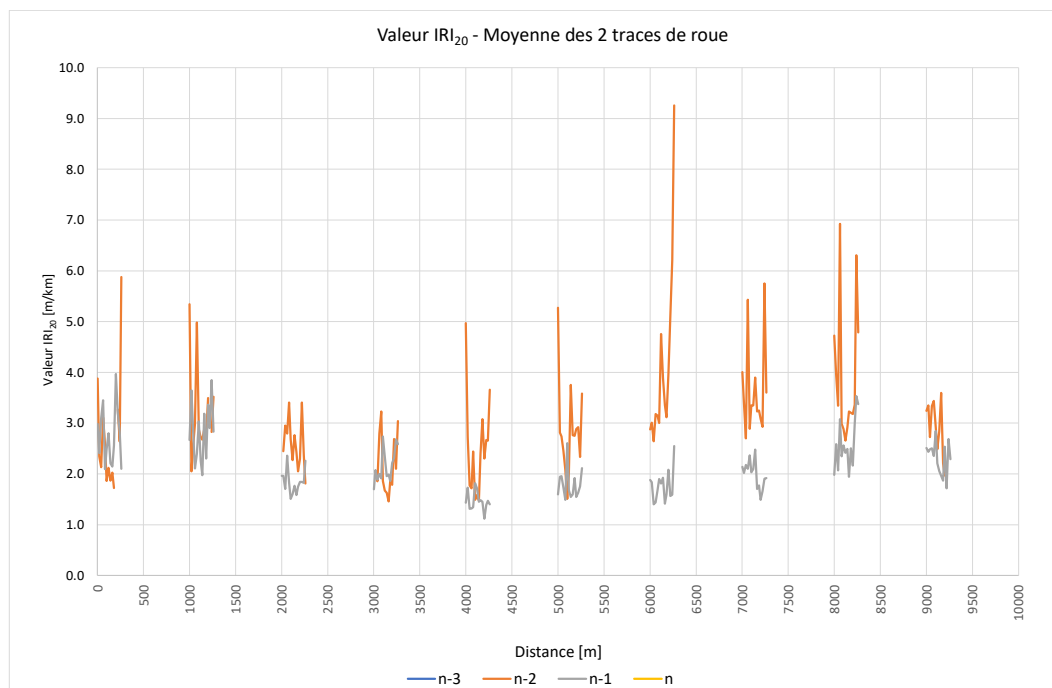
**Fig. 57 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 58 - N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**

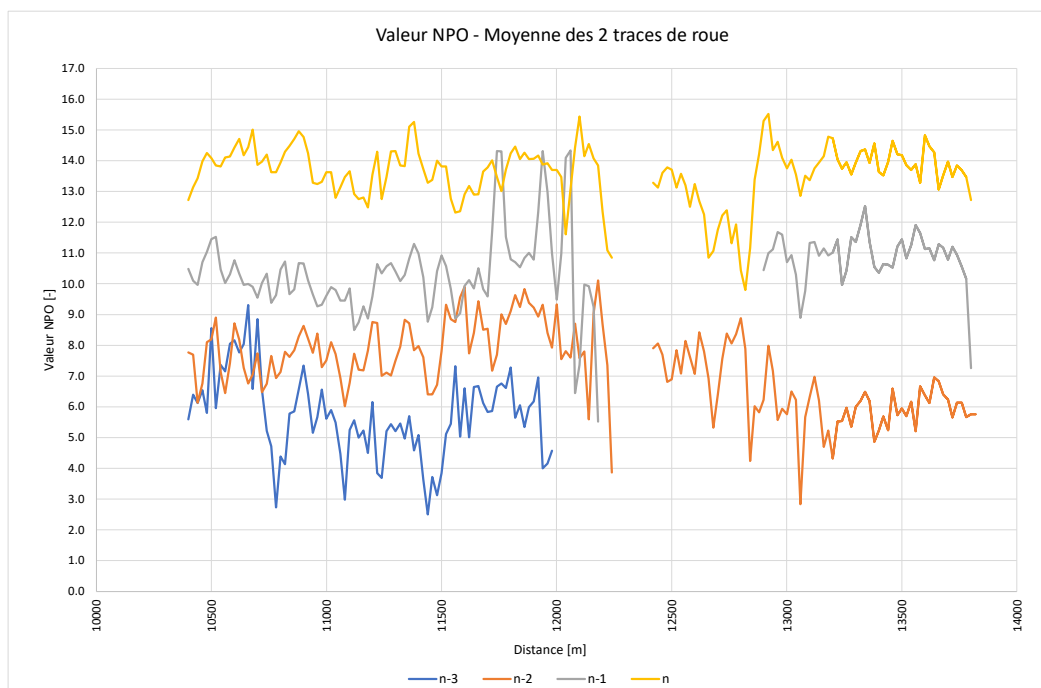


**Fig. 59 – H10 – Sens Positif**

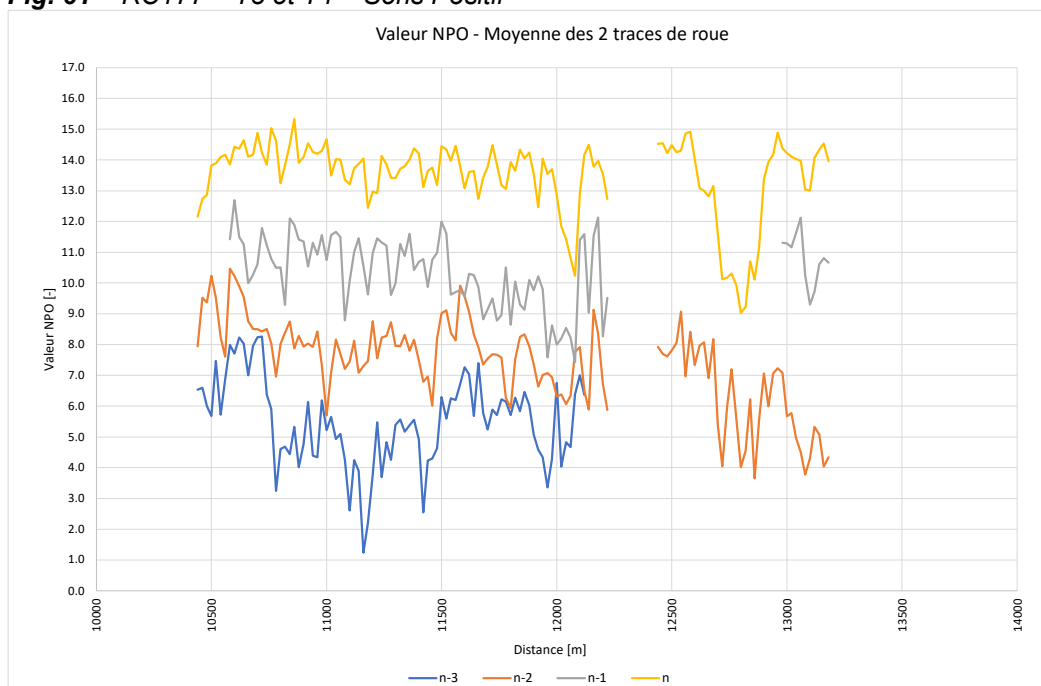


**Fig. 60 – Piste Sion**

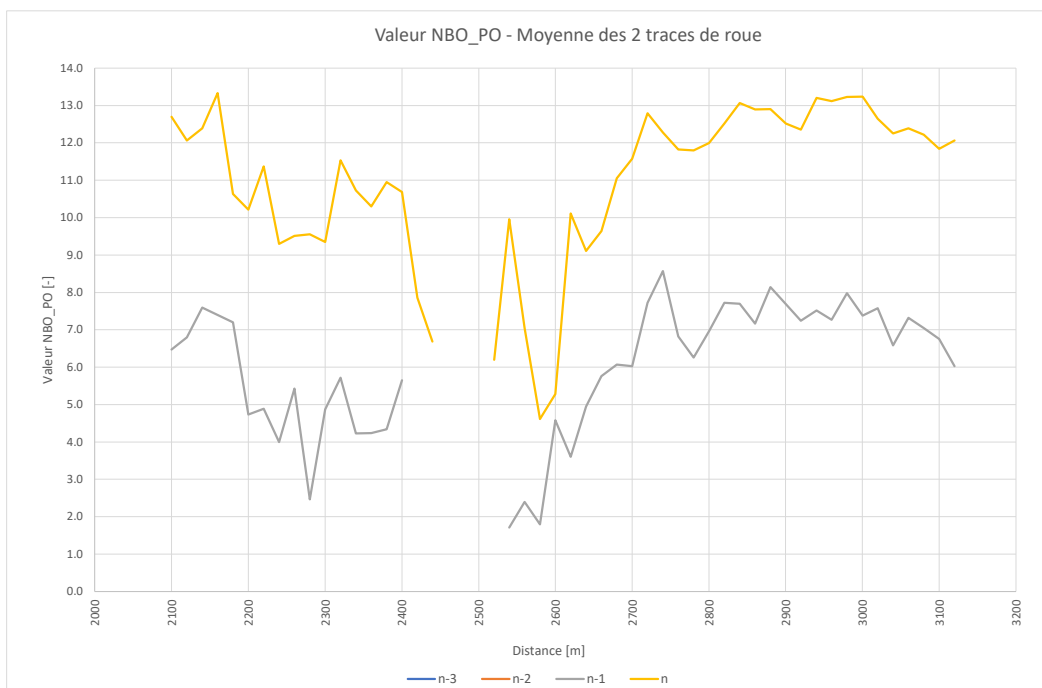
## II.3 Valeur d'état NPO



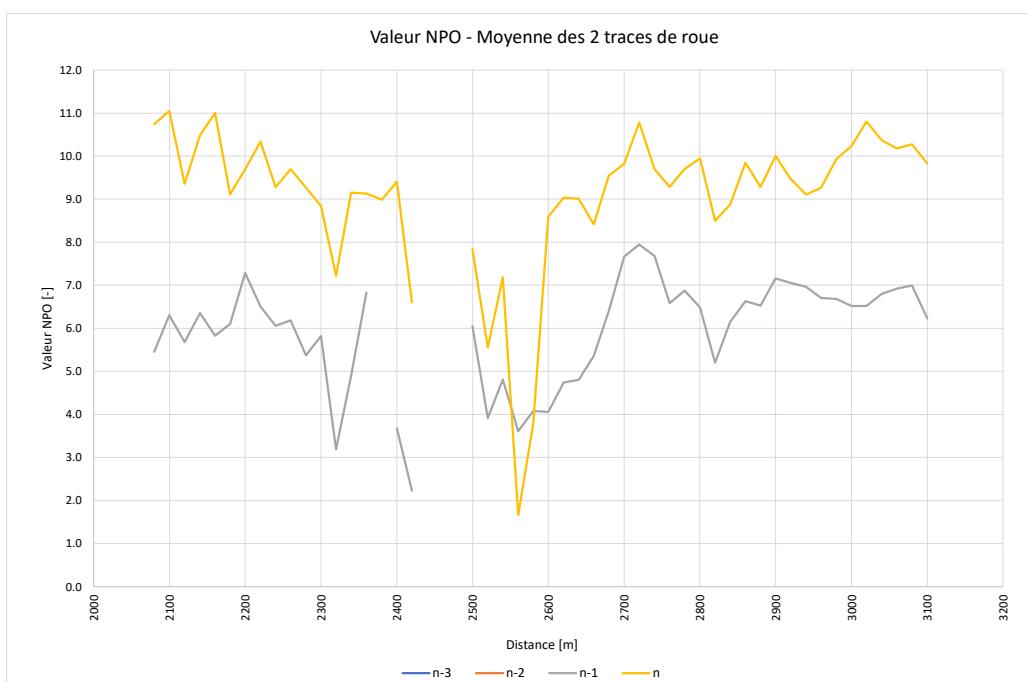
**Fig. 61** – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif



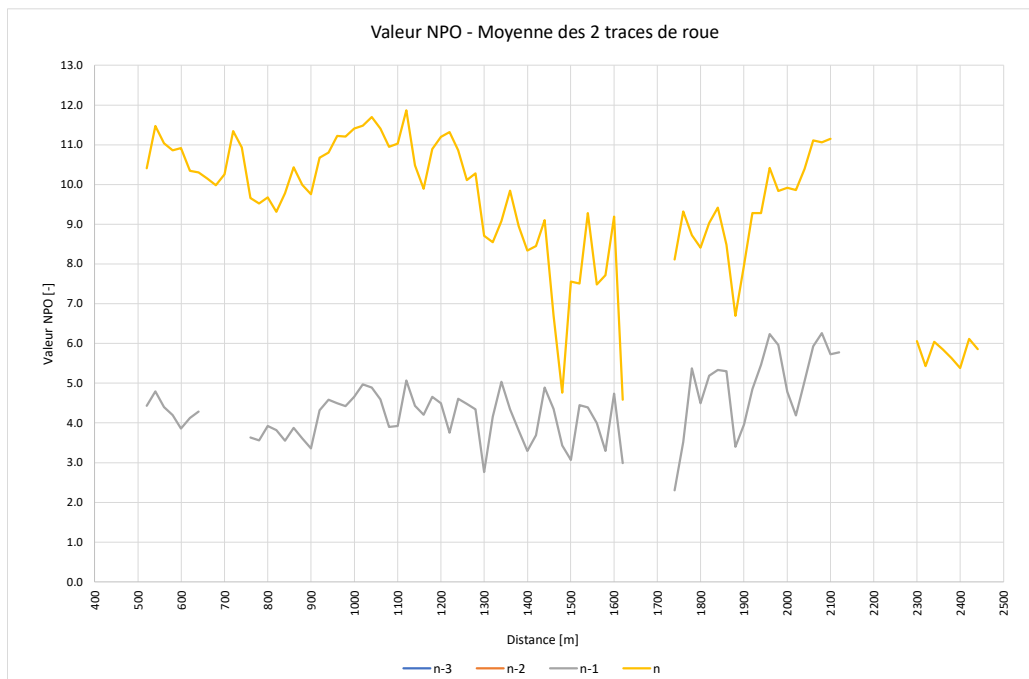
**Fig. 62** – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif



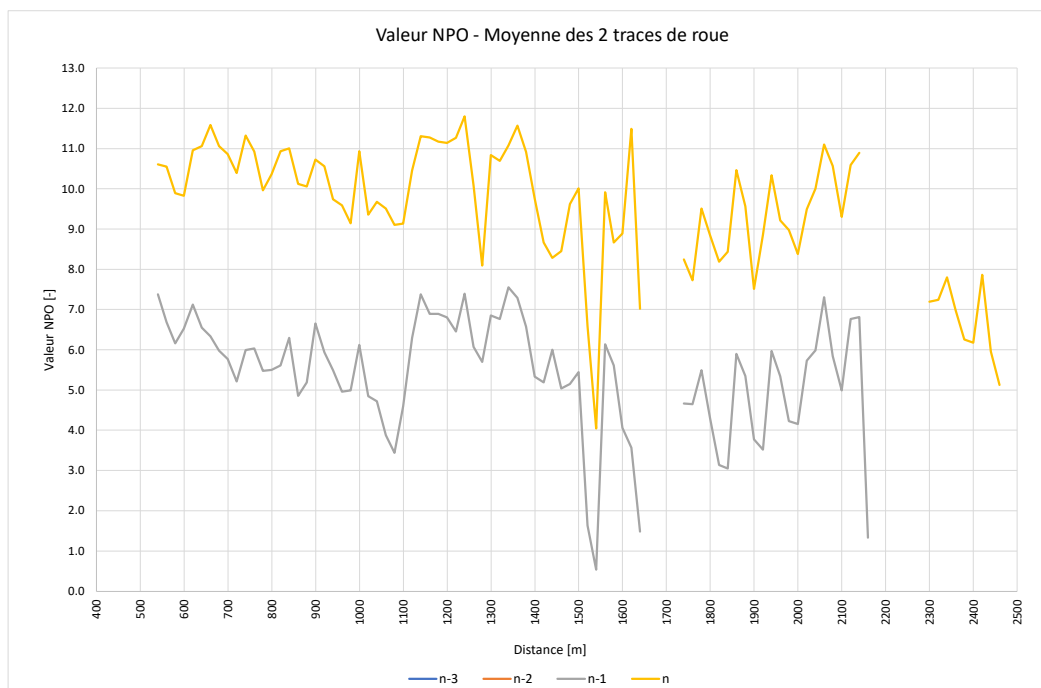
**Fig. 63 – RC2220 – Sens Positif**



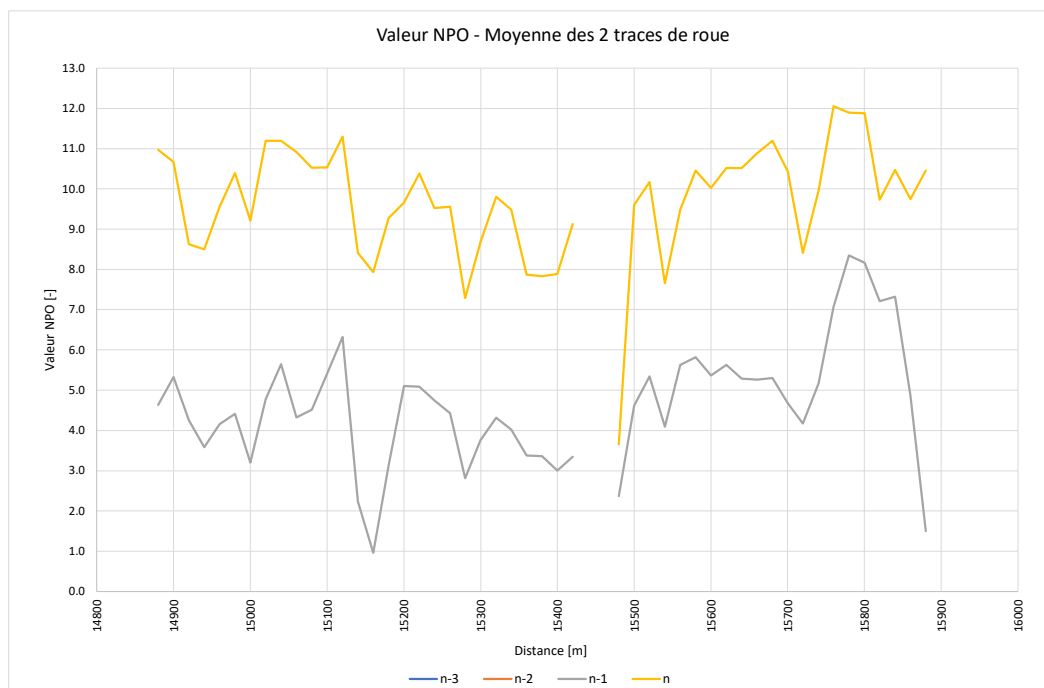
**Fig. 64 – RC2220 – Sens Négatif**



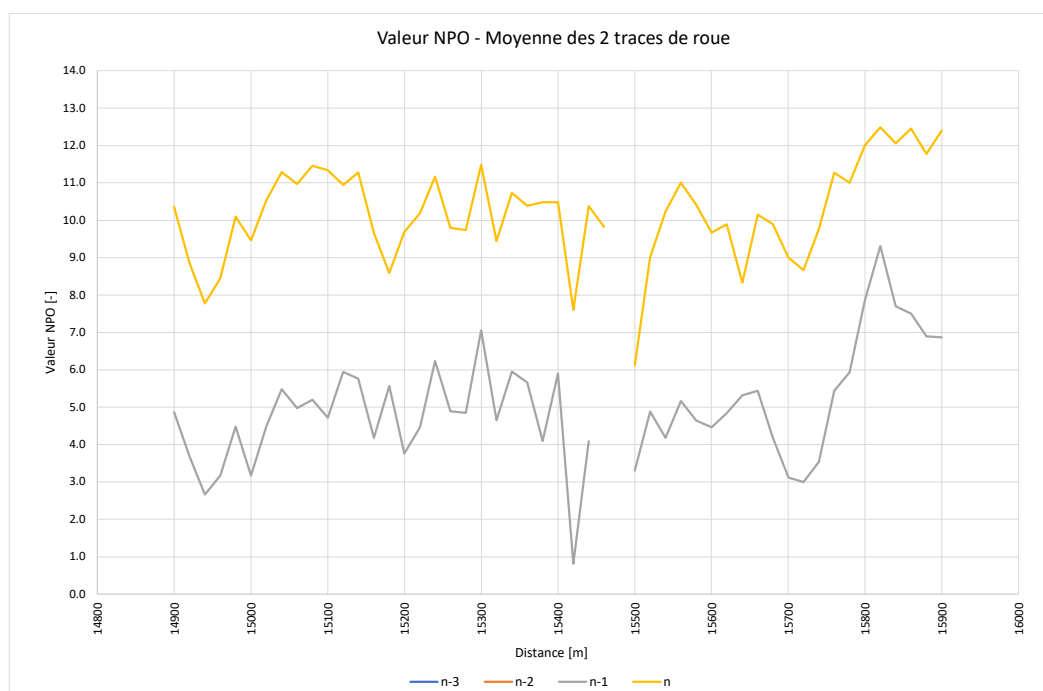
**Fig. 65** – RC2500 – Sens Positif



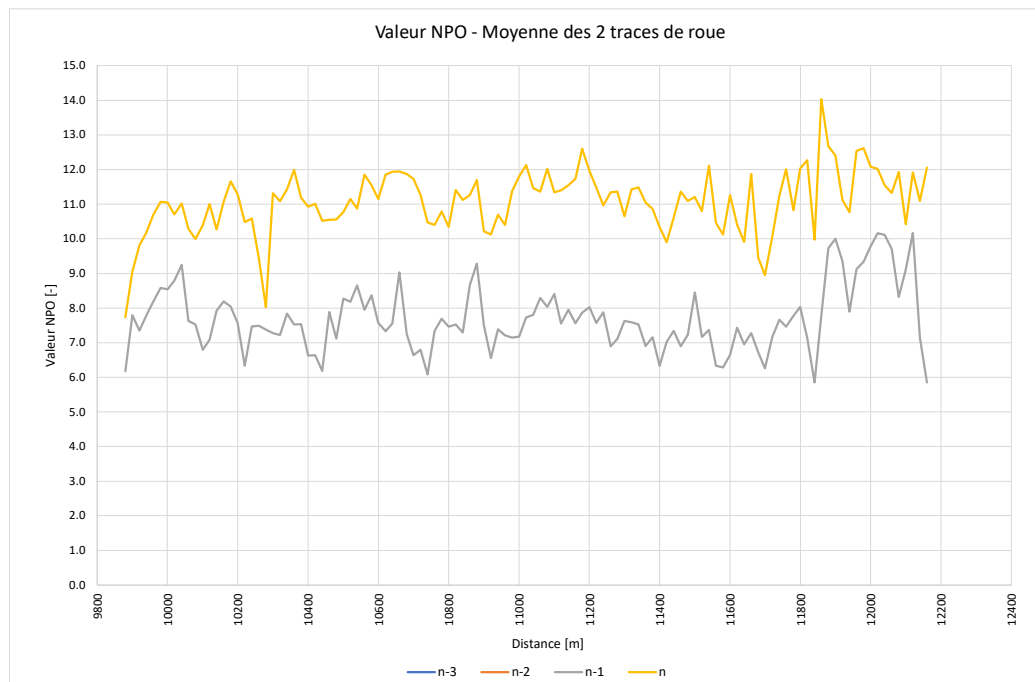
**Fig. 66** – RC2500 – Sens Négatif



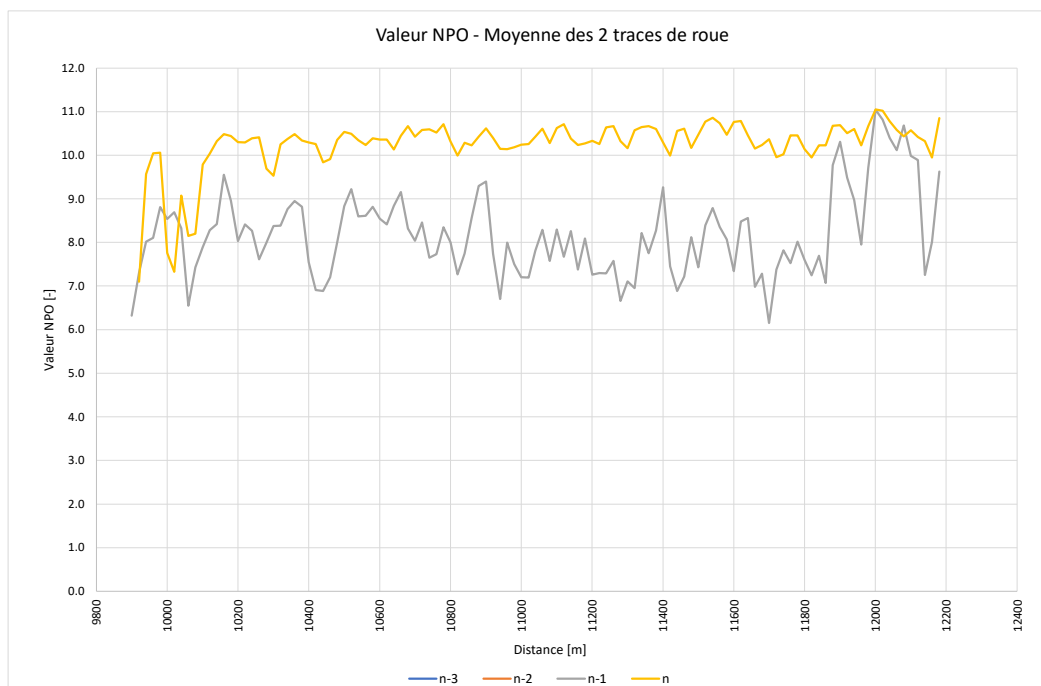
**Fig. 67 – RC1400 – Sens Positif**



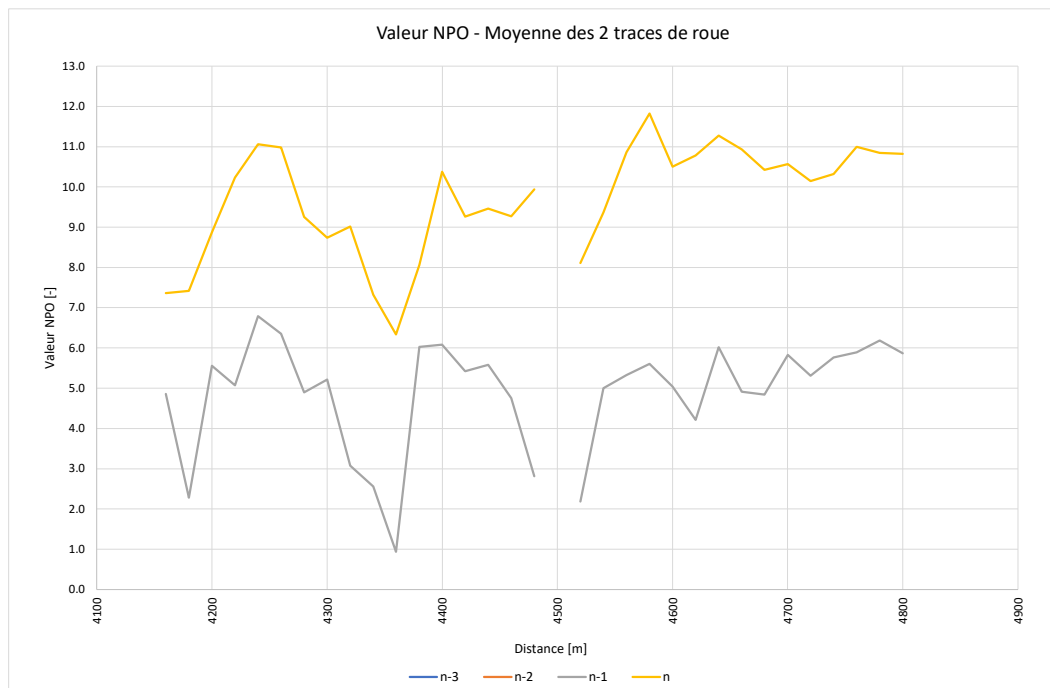
**Fig. 68 – RC1400 – Sens Négatif**



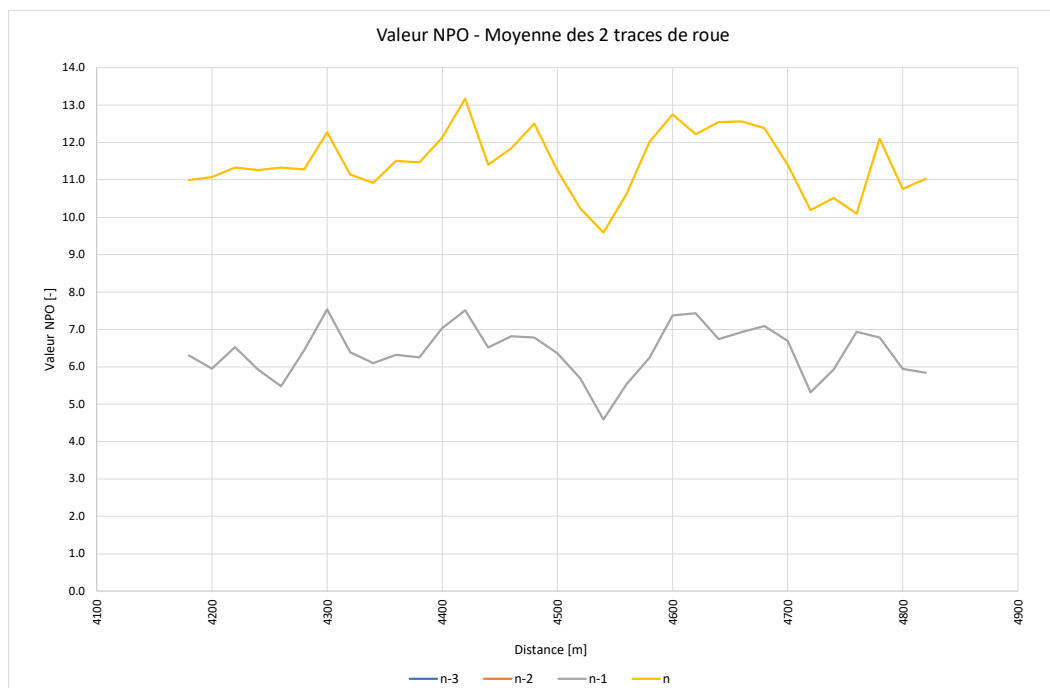
**Fig. 69** – RC701 – Savigny – Forel - Sens Positif



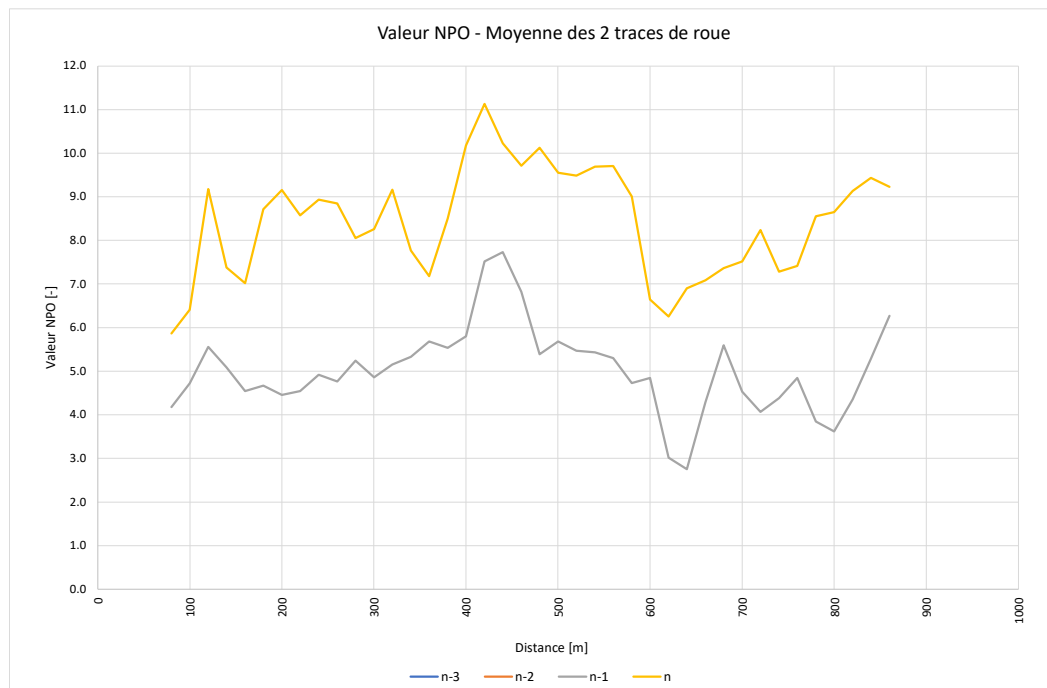
**Fig. 70** – RC701 – Savigny – Forel - Sens Négatif



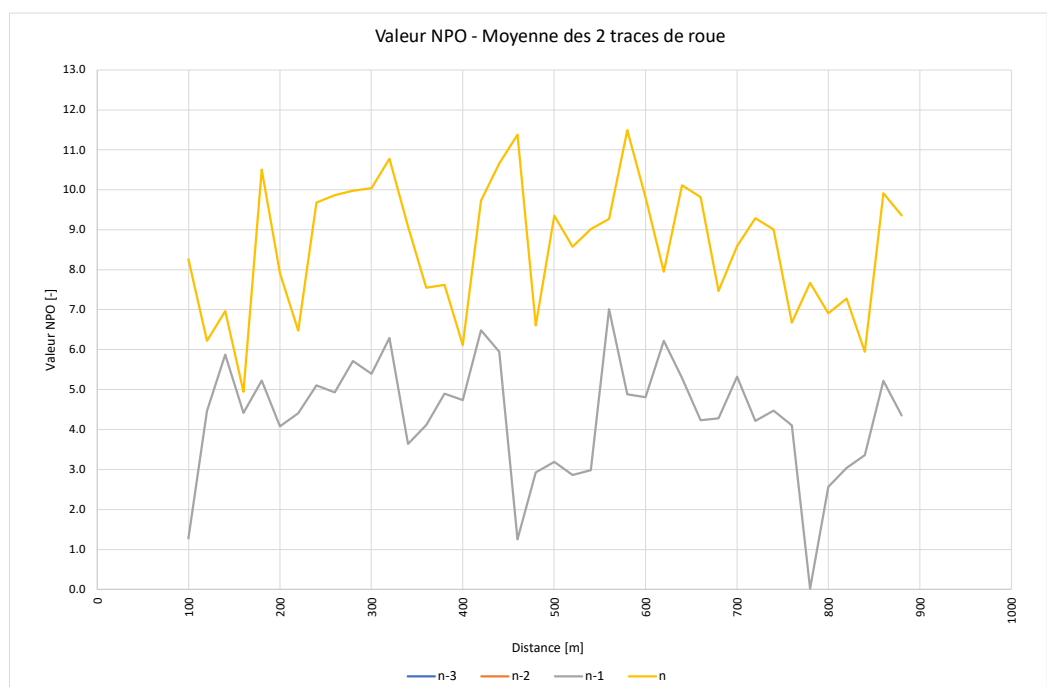
**Fig. 71 – RC1500 – Sens Positif**



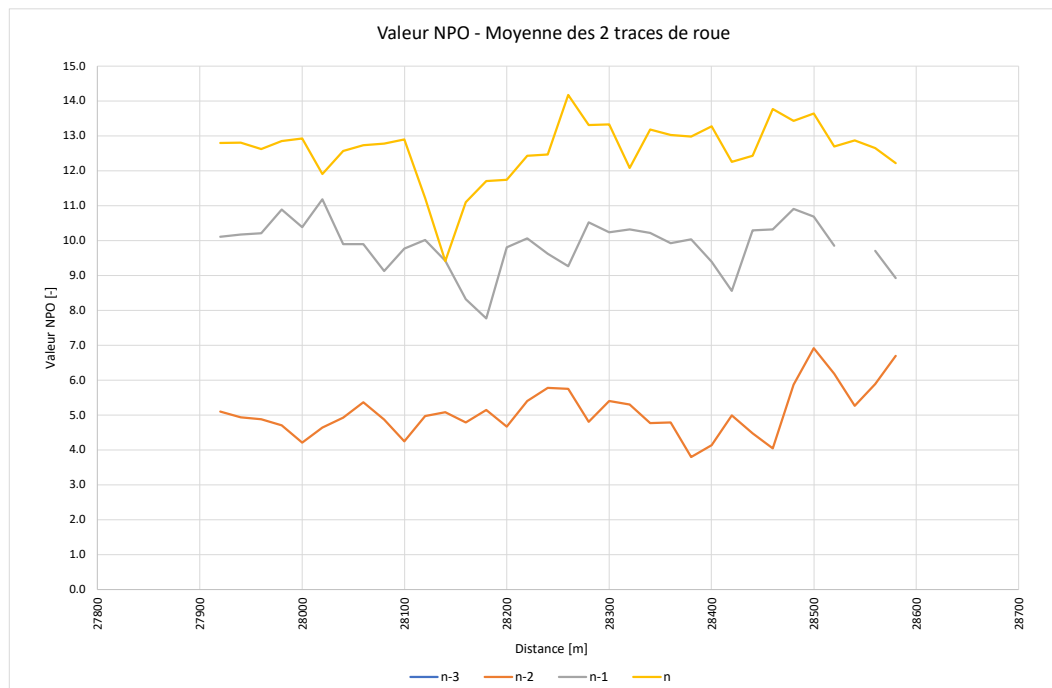
**Fig. 72 – RC1500 – Sens Négatif**



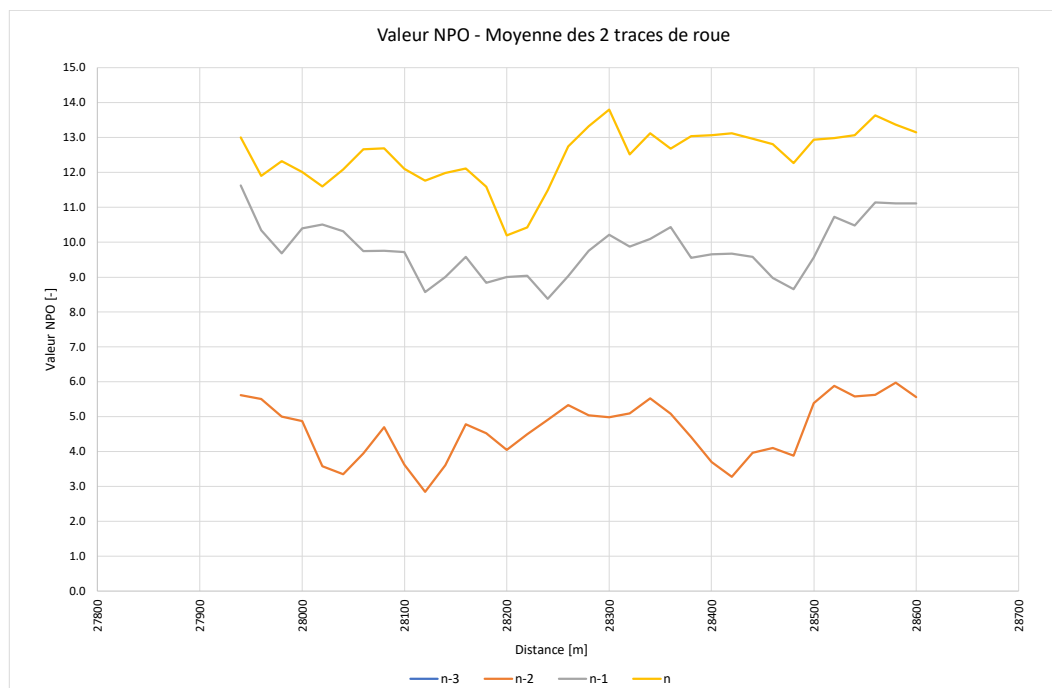
**Fig. 73 – RC726 – Sens Positif**



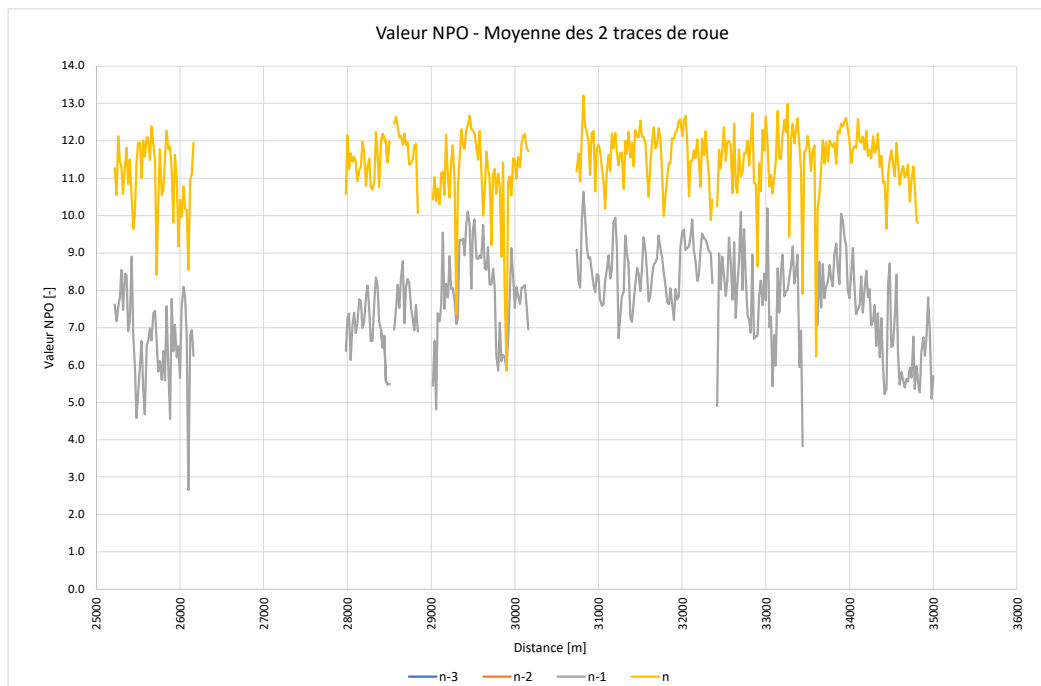
**Fig. 74 – RC726 – Sens Négatif**



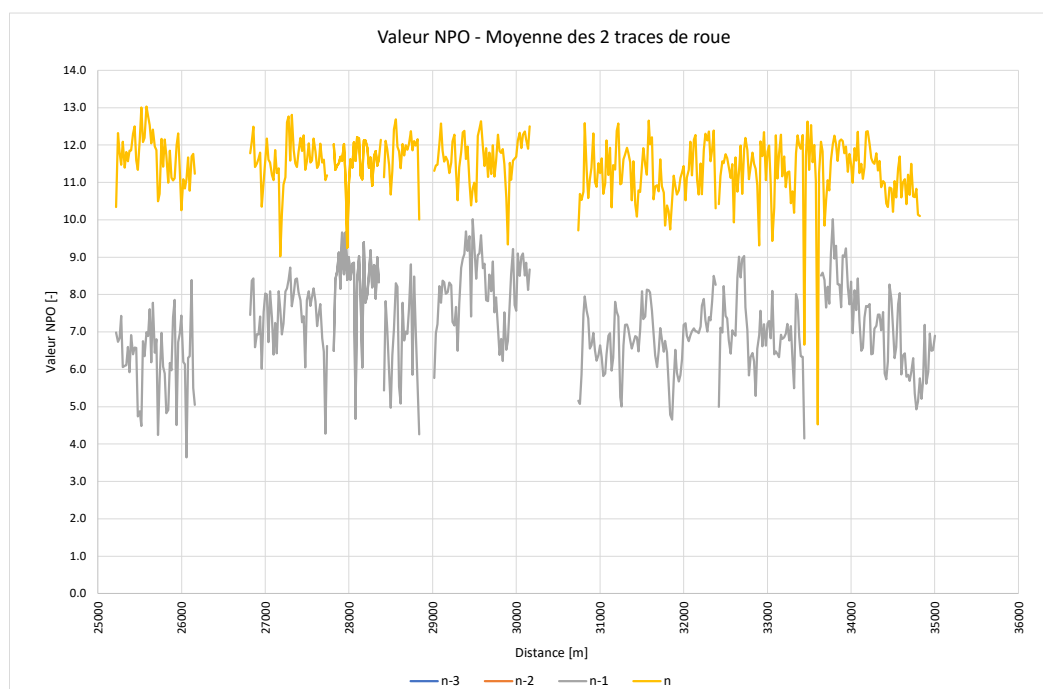
**Fig. 75 – RC251 – Sens Positif**



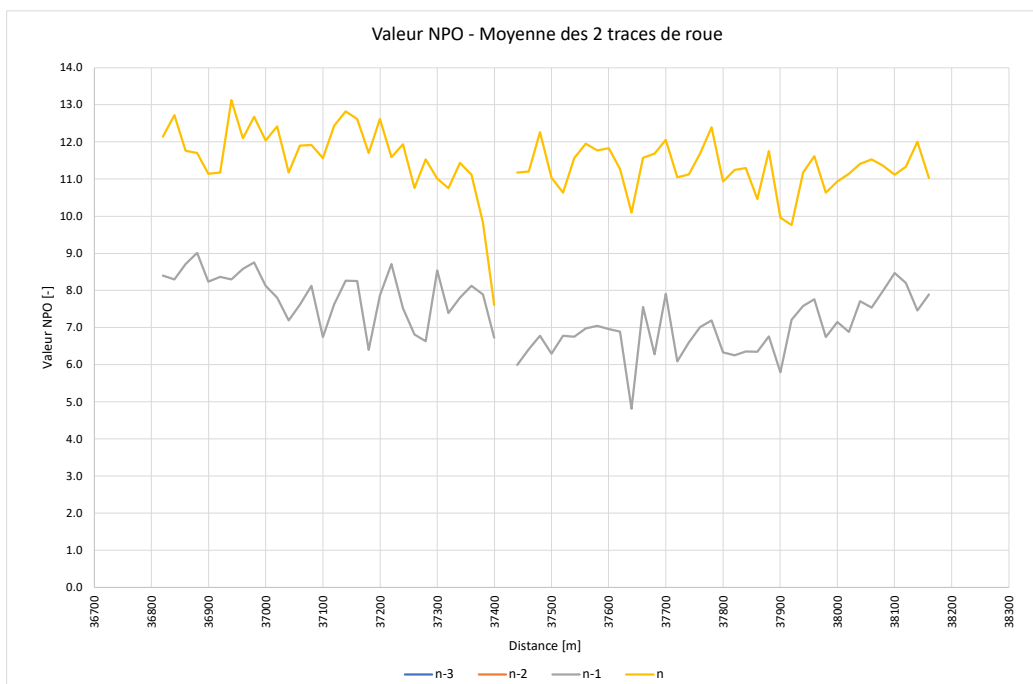
**Fig. 76 – RC251 – Sens Négatif**



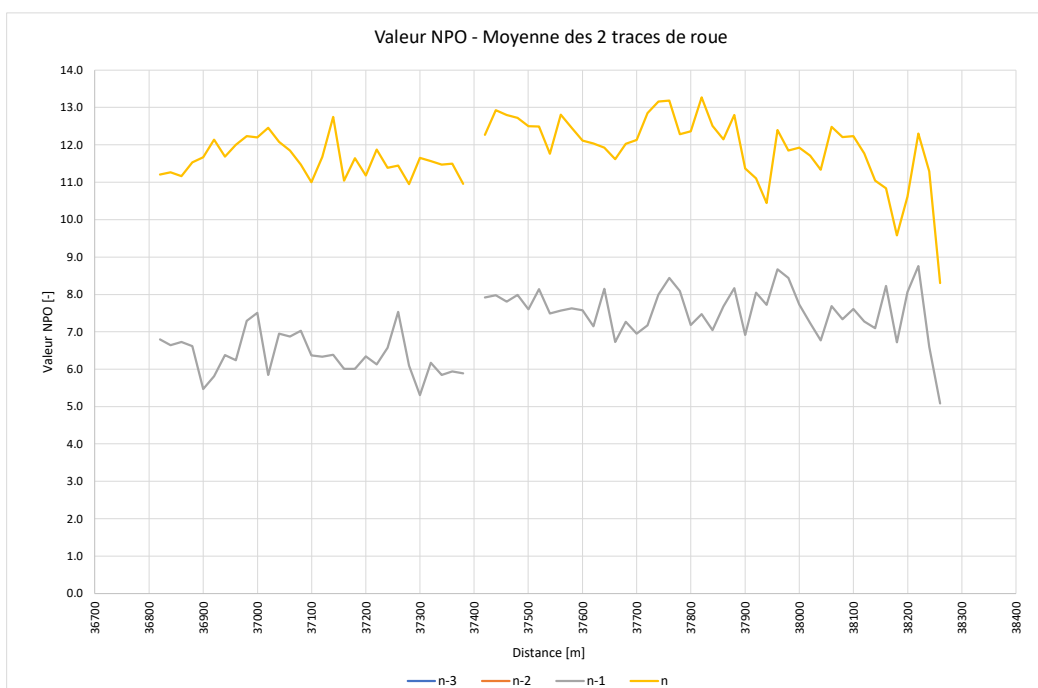
**Fig. 77 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



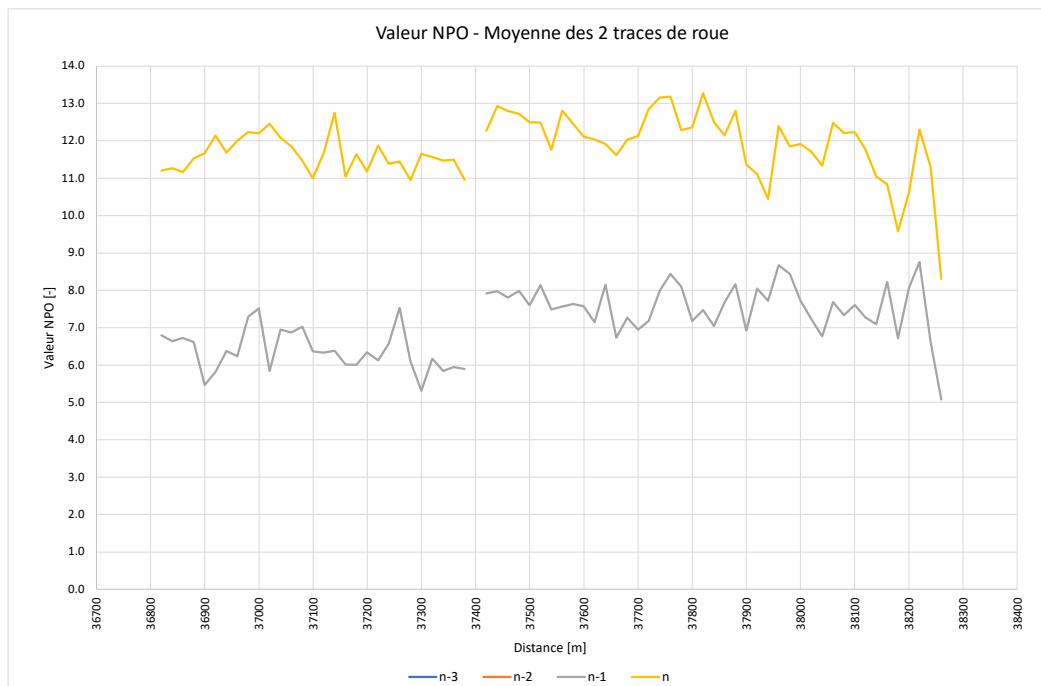
**Fig. 78 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



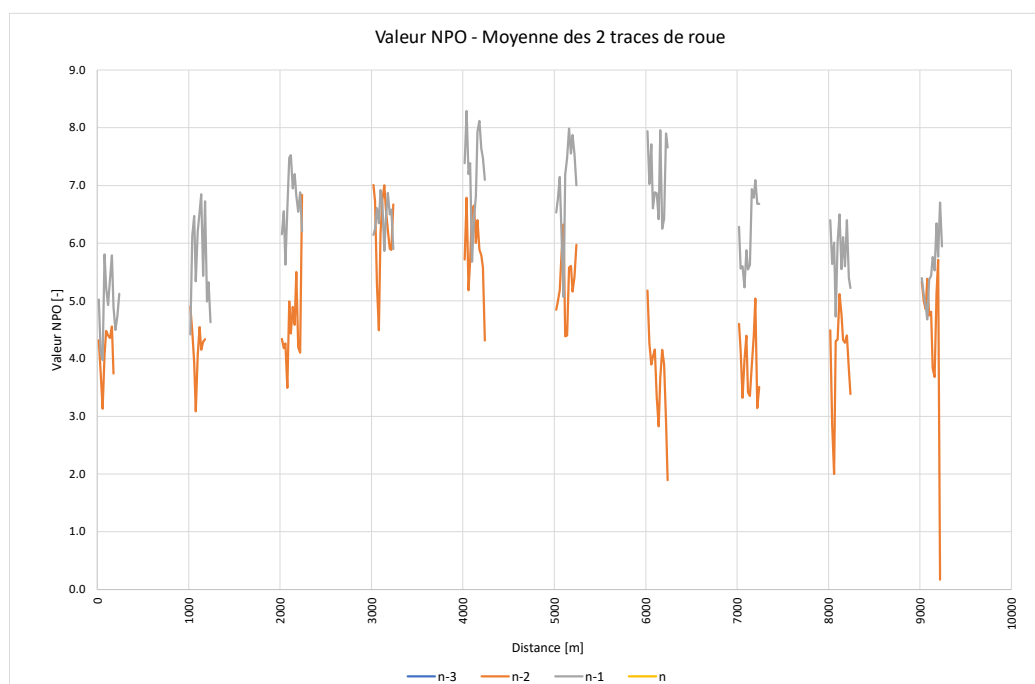
**Fig. 79 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 80 – N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**



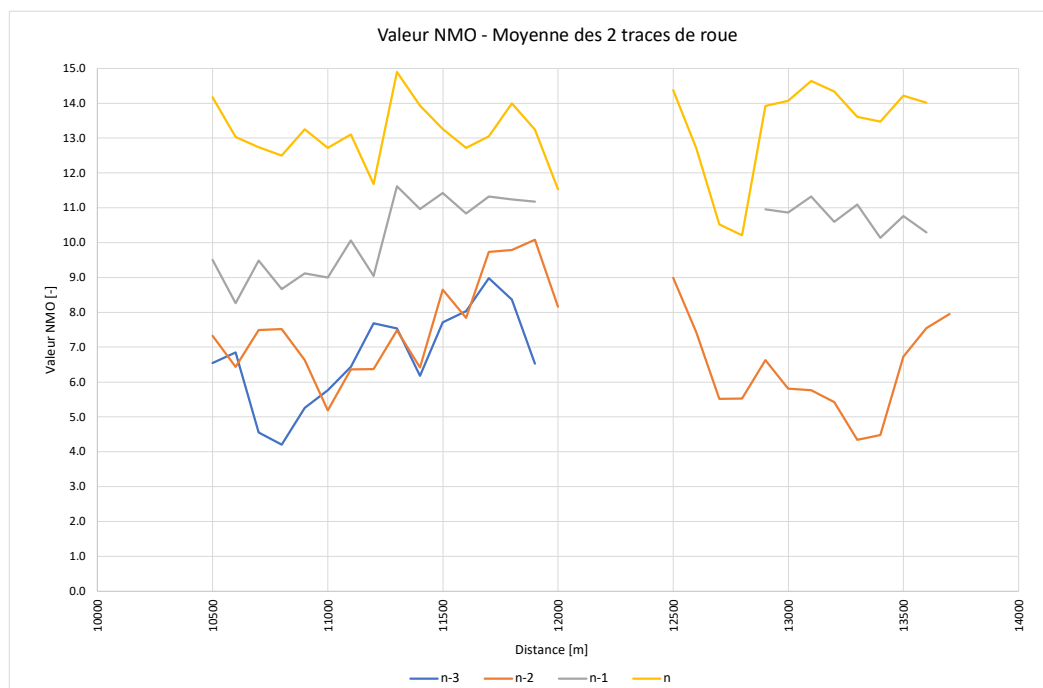
**Fig. 81 – H10 – Sens Positif**



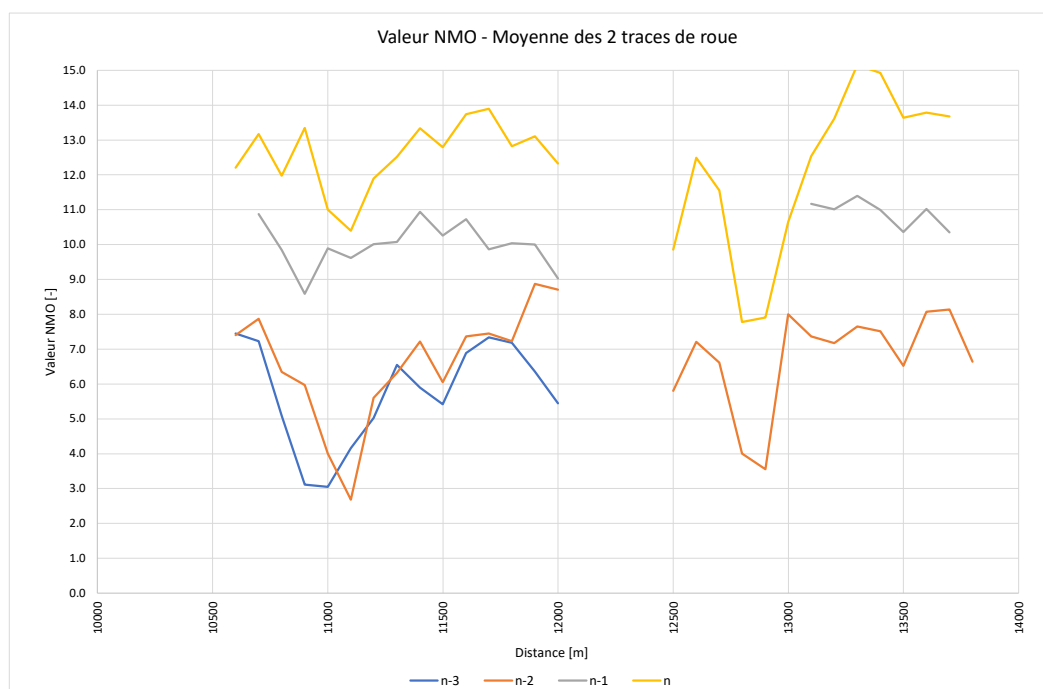
**Fig. 82 – Piste Sion**

Pour une représentation des 10 traces de mesures de la piste de Sion en un seul graphique, le linéaire a été défini de la manière suivante : 1<sup>ère</sup> trace de mesure entre 0 et 250m, 2<sup>ème</sup> trace entre 1000 et 1250m, et ainsi de suite.

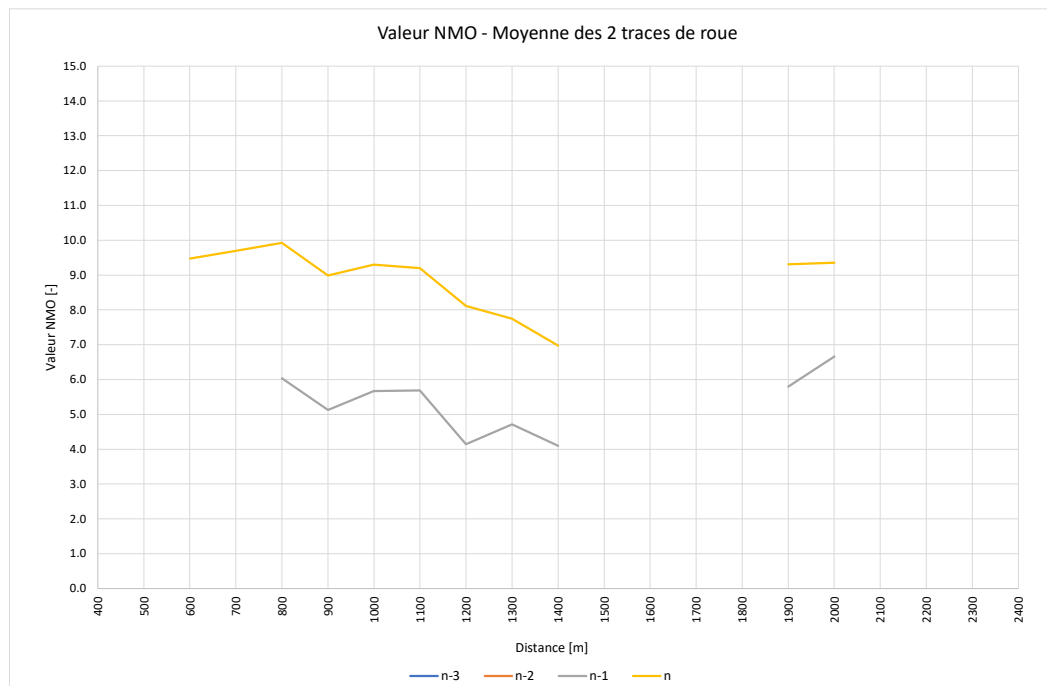
## II.4 Valeur d'état NMO



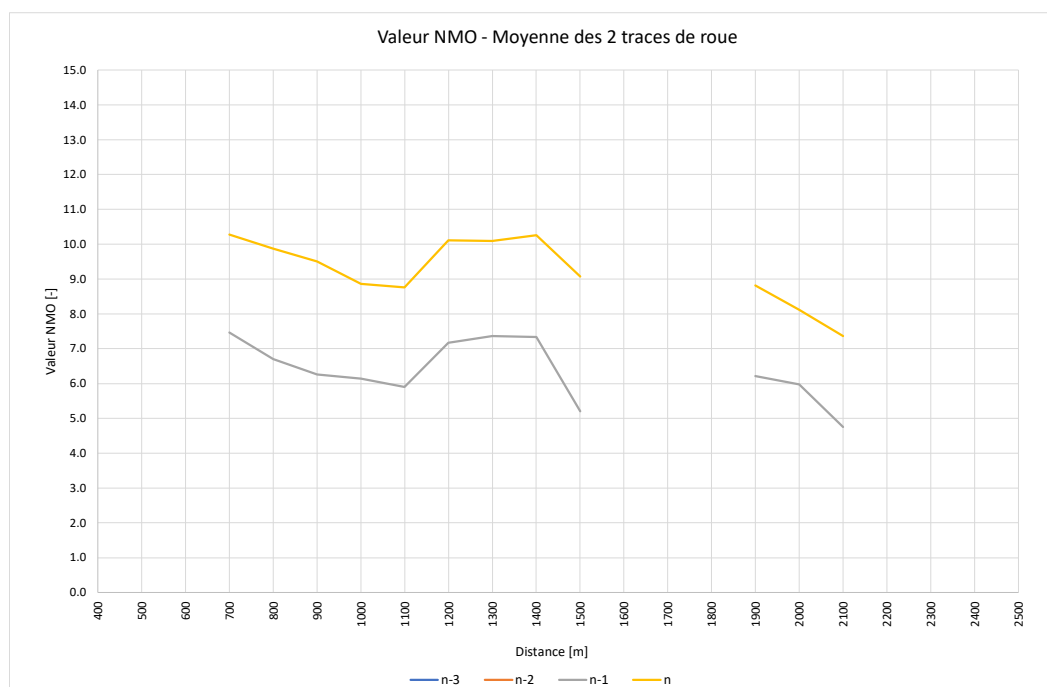
**Fig. 83 – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif**



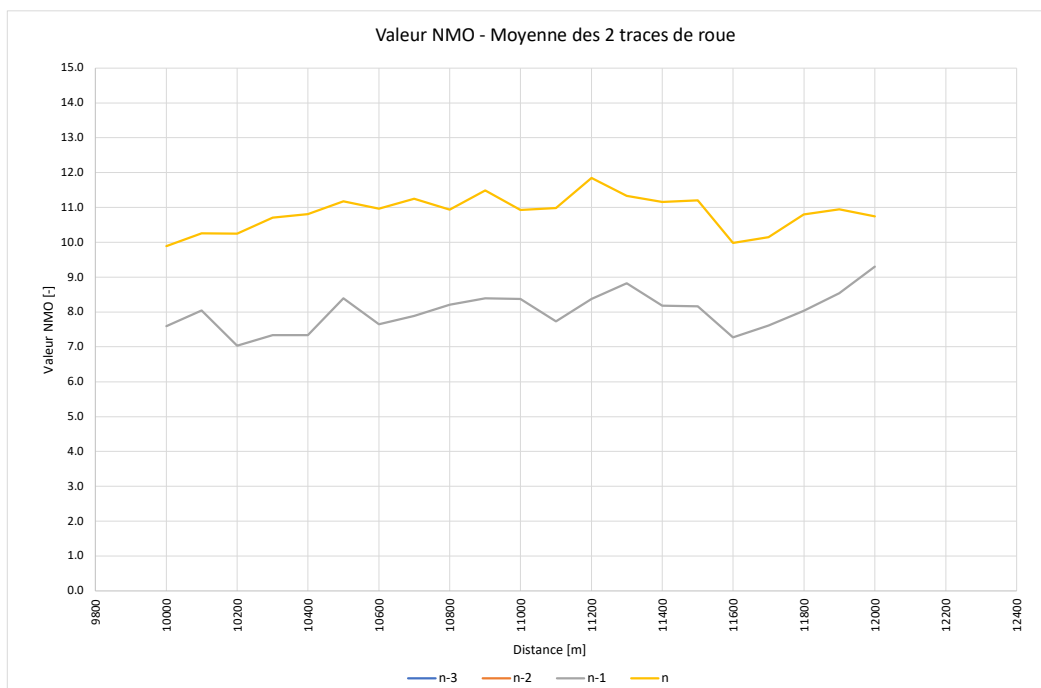
**Fig. 84 – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif**



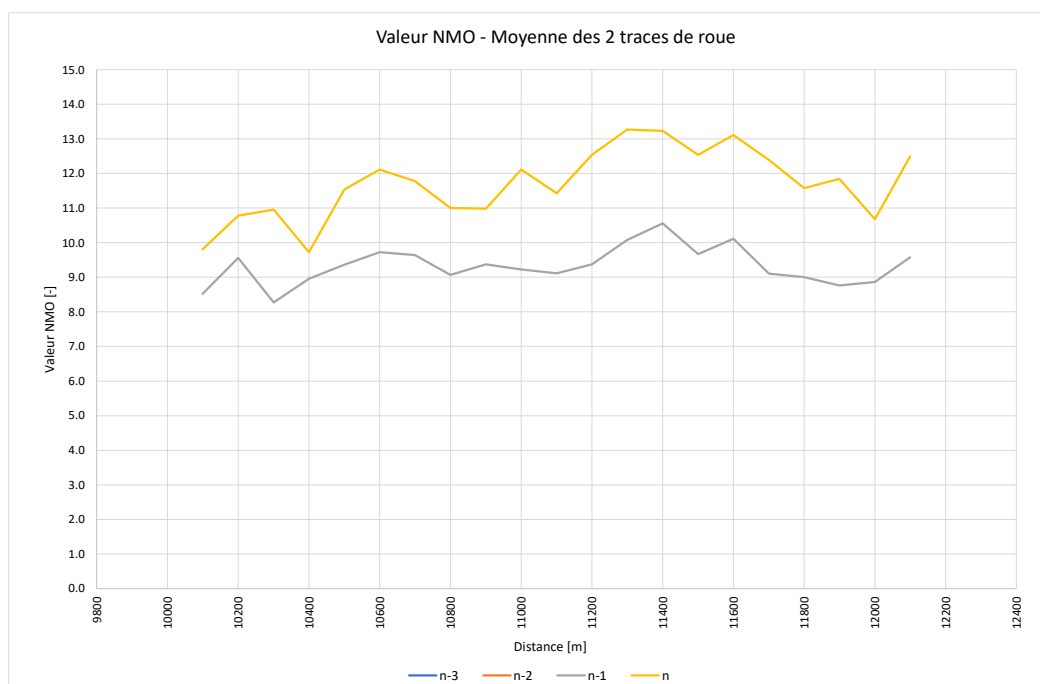
**Fig. 85 – RC2500 – Sens Positif**



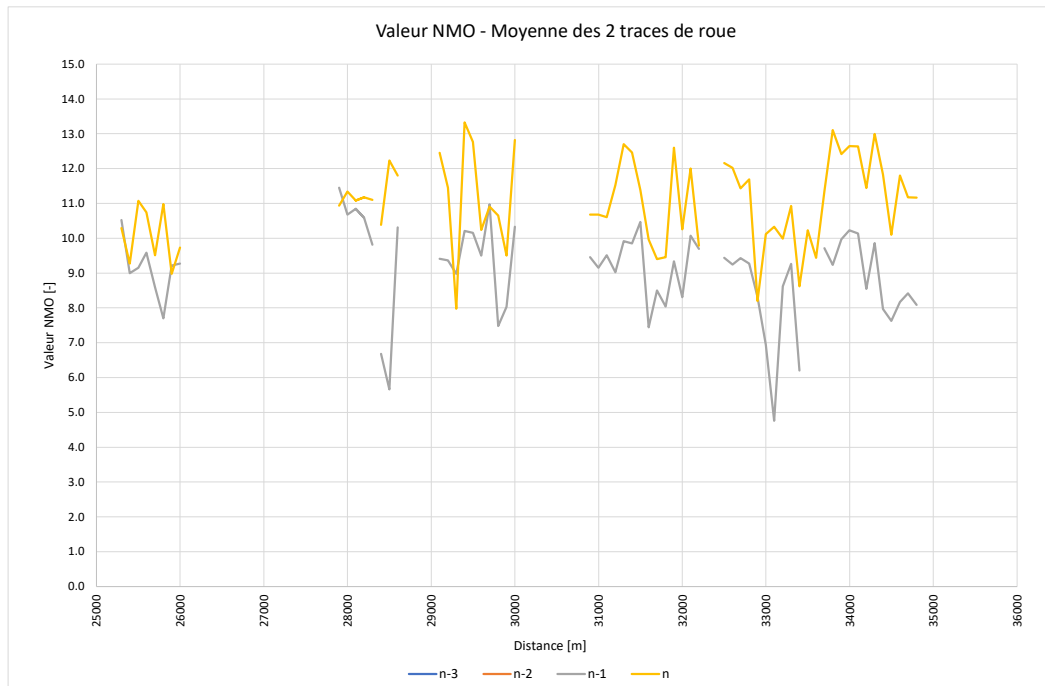
**Fig. 86 – RC2500 – Sens Négatif**



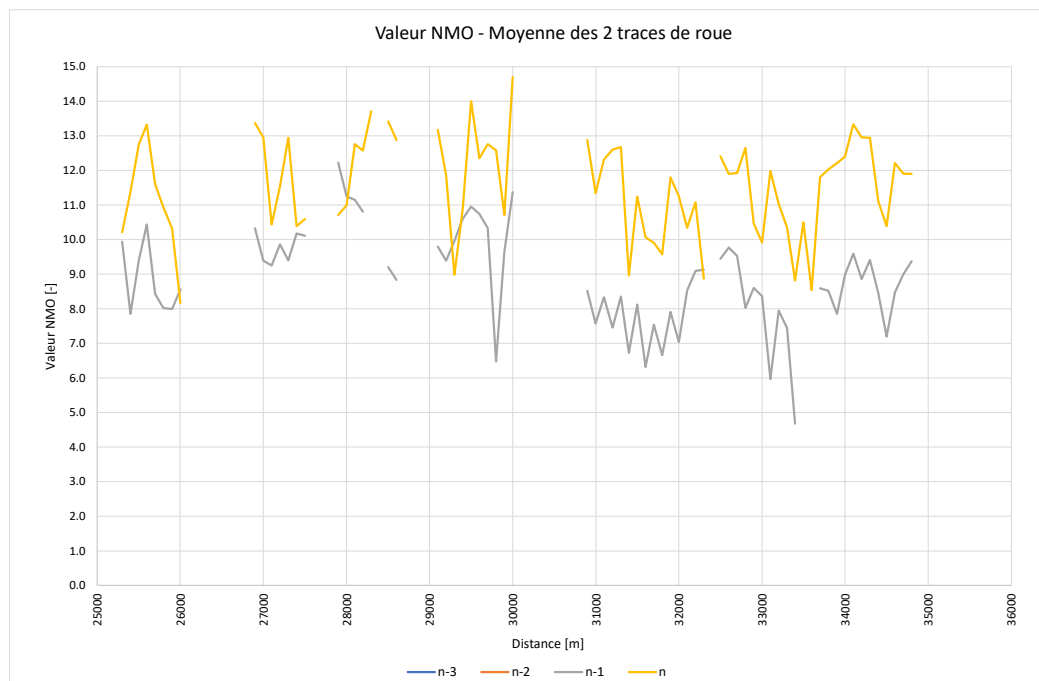
**Fig. 87 – RC701 – Savigny – Forel - Sens Positif**



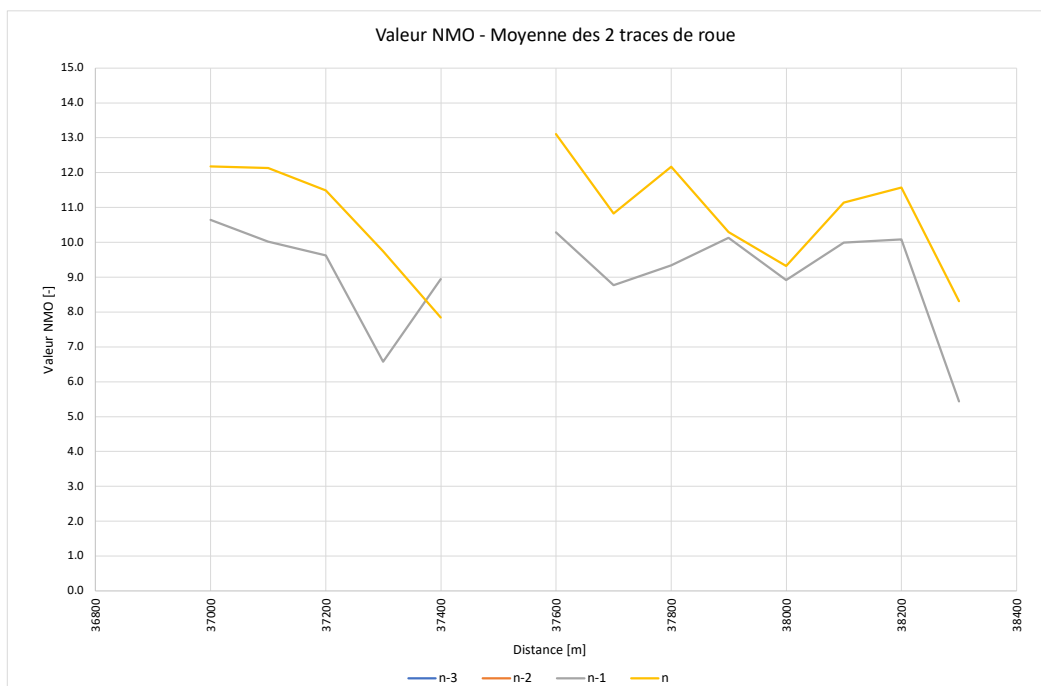
**Fig. 88 – RC701 – Savigny – Forel - Sens Négatif**



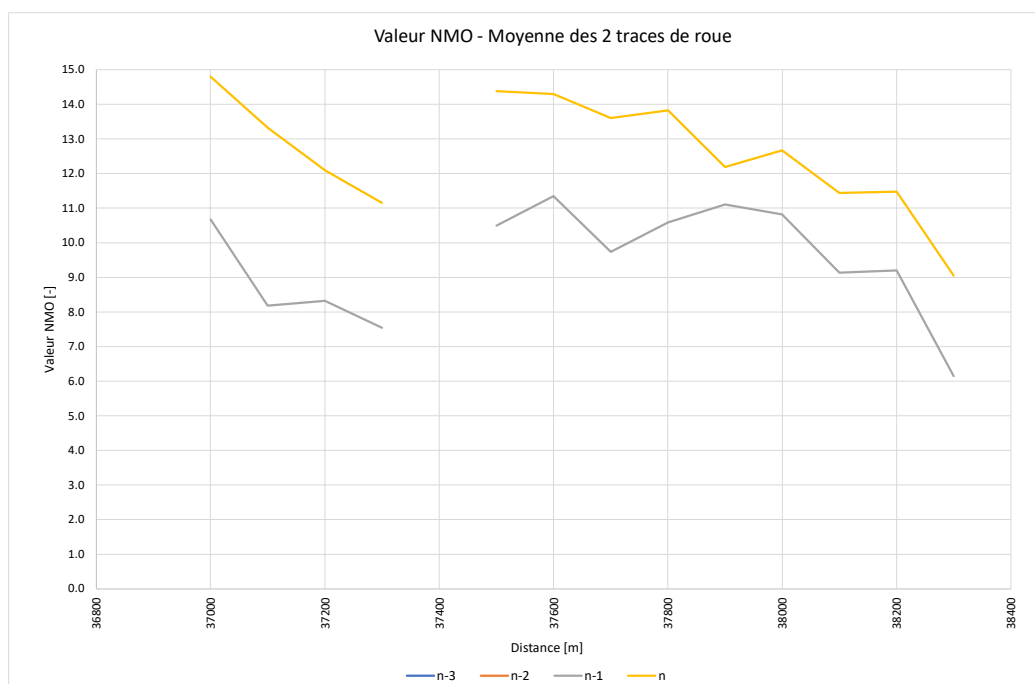
**Fig. 89 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



**Fig. 90 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



**Fig. 91 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 92 – N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**

**RC1400 – RC2220 – RC1500 – RC726 – RC251 – H10**

Compte tenu de faibles échantillons de valeurs, les résultats de l'ensemble de ces tronçons sont présentés dans le tableau suivant :

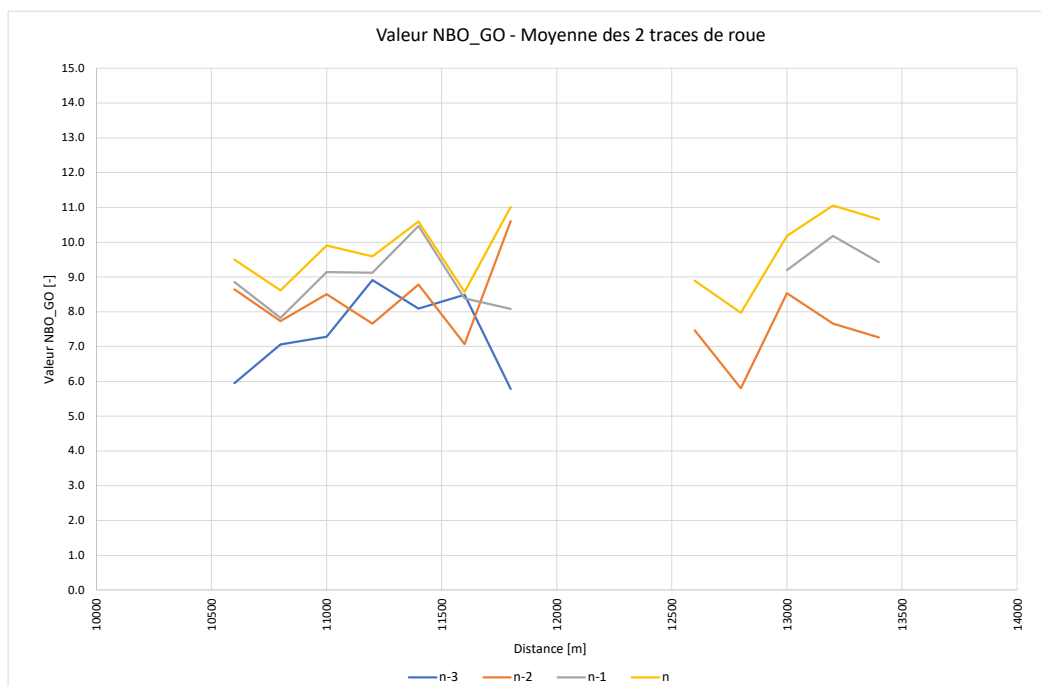
**Tab. 58 Résultats NMO sur RC1400 – RC2220 – RC1500 – RC726 – RC251 – H10**

| Axe   | Sens | Début | Fin   | NMO sur<br>couche n-2 | NMO sur<br>couche n-1 | NMO sur<br>couche n |
|-------|------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| [-]   | [-]  | [m]   | [m]   | [-]                   | [-]                   | [-]                 |
| 2220  | +    | 2200  | 2300  |                       | 6.0                   | 6.7                 |
| 2220  | +    | 2600  | 2700  |                       | 5.5                   | 7.9                 |
| 2220  | +    | 2700  | 2800  |                       | 7.8                   | 9.6                 |
| 2220  | +    | 2800  | 2900  |                       | 9.1                   | 11.4                |
| 2220  | +    | 2900  | 3000  |                       | 7.9                   | 11.1                |
| 2220  | -    | 3000  | 2900  |                       | 9.1                   | 13.0                |
| 2220  | -    | 2900  | 2800  |                       | 9.5                   | 12.6                |
| 2220  | -    | 2800  | 2700  |                       | 8.0                   | 11.0                |
| 2220  | -    | 2700  | 2600  |                       |                       | 9.5                 |
| 2220  | -    | 2400  | 2300  |                       | 5.4                   | 8.1                 |
| 2220  | -    | 2300  | 2200  |                       | 6.2                   | 10.3                |
| 1400  | +    | 15000 | 15100 |                       | 5.4                   | 7.7                 |
| 1400  | +    | 15100 | 15200 |                       | 5.0                   | 8.6                 |
| 1400  | +    | 15200 | 15300 |                       | 5.0                   | 8.9                 |
| 1400  | +    | 15300 | 15400 |                       | 4.9                   | 7.7                 |
| 1400  | +    | 15600 | 15700 |                       | 5.9                   | 8.8                 |
| 1400  | +    | 15700 | 15800 |                       | 6.2                   | 8.7                 |
| 1400  | -    | 15800 | 15700 |                       | 5.4                   | 9.0                 |
| 1400  | -    | 15700 | 15600 |                       | 4.5                   | 7.3                 |
| 1400  | -    | 15600 | 15500 |                       | 3.6                   | 6.1                 |
| 1400  | -    | 15400 | 15300 |                       | 5.1                   | 7.9                 |
| 1400  | -    | 15300 | 15200 |                       | 5.9                   | 8.6                 |
| 1400  | -    | 15200 | 15100 |                       | 5.3                   | 8.6                 |
| 1400  | -    | 15100 | 15000 |                       | 5.3                   | 9.0                 |
| 1500  | +    | 4300  | 4400  |                       | 2.7                   | 7.9                 |
| 1500  | +    | 4400  | 4500  |                       | 6.7                   | 9.3                 |
| 1500  | +    | 4600  | 4700  |                       | 5.5                   | 9.0                 |
| 1500  | -    | 4700  | 4600  |                       | 6.6                   | 10.1                |
| 1500  | -    | 4600  | 4500  |                       | 5.5                   | 9.3                 |
| 1500  | -    | 4500  | 4400  |                       | 6.2                   | 9.5                 |
| 1500  | -    | 4400  | 4300  |                       | 5.9                   | 9.9                 |
| RC726 | -    | 800   | 700   |                       | 3.3                   | 4.2                 |
| RC726 | -    | 700   | 600   |                       | 2.4                   | 5.2                 |
| RC726 | -    | 600   | 500   |                       | 5.1                   | 7.0                 |
| RC726 | -    | 500   | 400   |                       | 3.8                   | 5.8                 |
| RC726 | -    | 400   | 300   |                       | 3.7                   | 5.4                 |

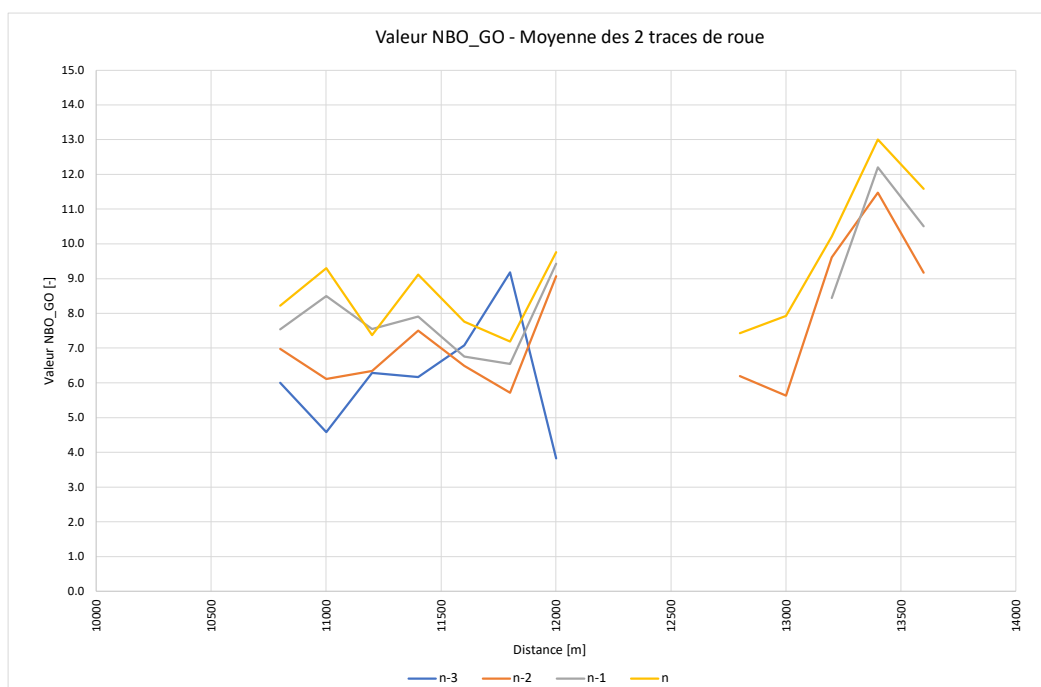
**1710 | Mesures de réception : influence de l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale**

| Axe   | Sens | Début | Fin   | NMO sur<br>couche n-2 | NMO sur<br>couche n-1 | NMO sur<br>couche n |
|-------|------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| [-]   | [-]  | [m]   | [m]   | [-]                   | [-]                   | [-]                 |
| RC726 | -    | 300   | 200   |                       | 4.8                   | 4.4                 |
| RC726 | +    | 200   | 300   |                       | 3.6                   | 6.6                 |
| RC726 | +    | 300   | 400   |                       | 3.8                   | 6.2                 |
| RC726 | +    | 400   | 500   |                       | 4.6                   | 6.5                 |
| RC726 | +    | 500   | 600   |                       | 4.1                   | 6.9                 |
| RC726 | +    | 600   | 700   |                       | 3.3                   | 5.9                 |
| RC726 | +    | 700   | 800   |                       | 3.6                   | 5.8                 |
| RC251 | +    | 28000 | 28100 | 5.7                   | 9.8                   | 13.2                |
| RC251 | +    | 28100 | 28200 | 4.1                   | 9.1                   | 10.5                |
| RC251 | +    | 28200 | 28300 | 6.3                   | 9.7                   | 11.2                |
| RC251 | +    | 28300 | 28400 | 4.9                   | 9.3                   | 12.9                |
| RC251 | +    | 28400 | 28500 | 4.5                   | 9.3                   | 13.1                |
| RC251 | -    | 28500 | 28400 | 4.5                   | 9.4                   | 12.3                |
| RC251 | -    | 28400 | 28300 | 4.2                   | 9.1                   | 12.2                |
| RC251 | -    | 28300 | 28200 | 4.7                   | 9.3                   | 12.6                |
| RC251 | -    | 28200 | 28100 | 3.9                   | 8.7                   | 11.2                |
| RC251 | -    | 28100 | 28000 | 4.0                   | 10.0                  | 12.6                |
| H10   | +    | 6610  | 6710  | 7.6                   |                       | 10.1                |
| H10   | +    | 6710  | 6810  | 7.5                   |                       | 10.4                |
| H10   | +    | 6810  | 6910  | 7.0                   |                       | 11.5                |

## II.5 Valeur d'état NGO



**Fig. 93 – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif**



**Fig. 94 – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif**

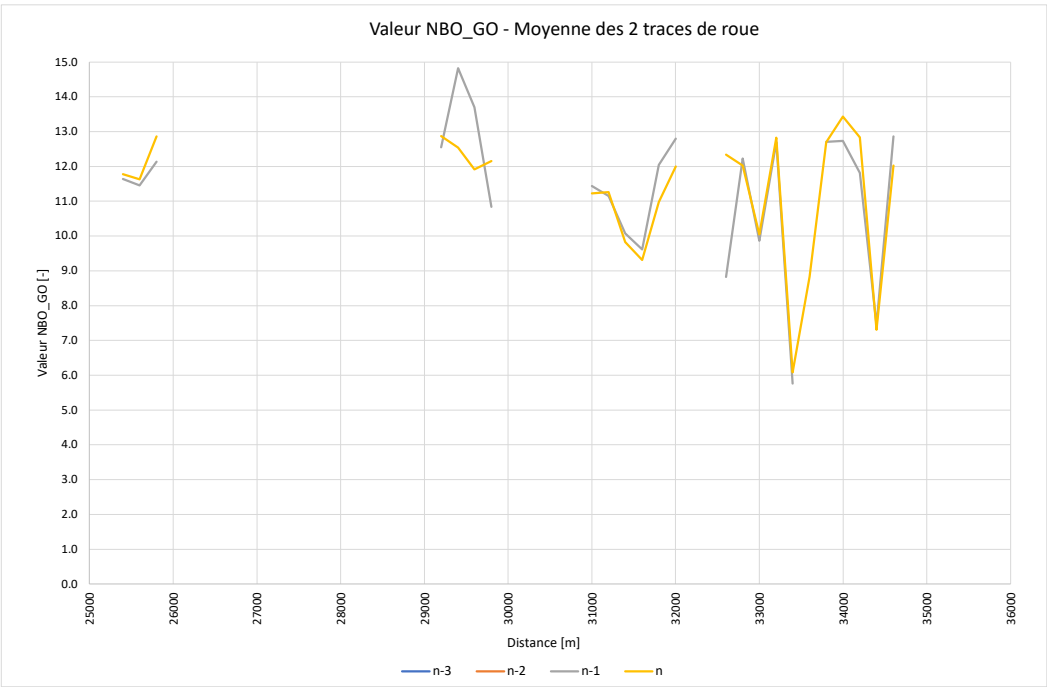


Fig. 95 – N1 – Sens Positif – Voie Normale

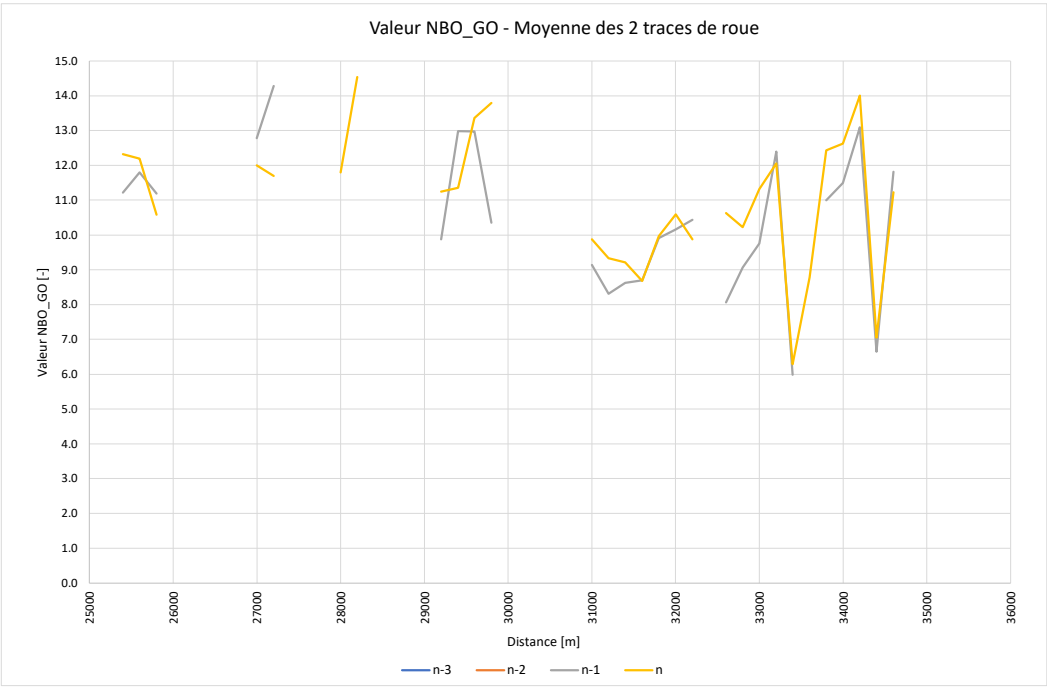


Fig. 96 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide

RC1400 – RC2220 – RC1500 – RC2500 – RC701 - RC726 – RC251 – N1 (sens négatif)

Compte tenu de faibles échantillons de valeurs, les résultats de l'ensemble de ces tronçons sont présentés dans le tableau suivant :

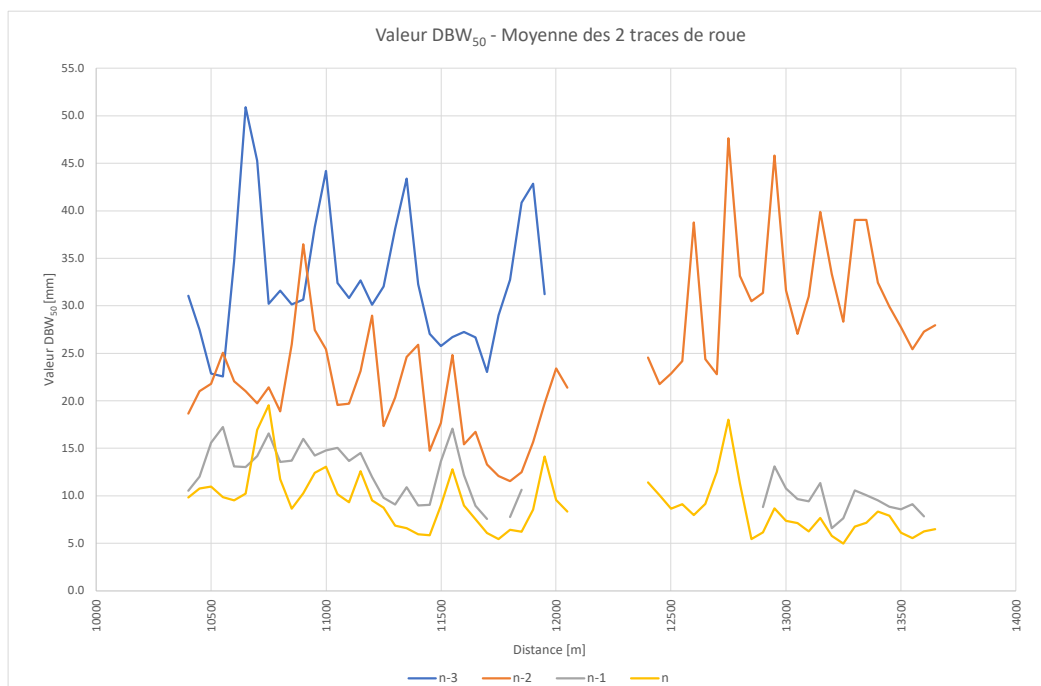
**Tab. 2 Résultats NGO sur RC1400 – RC2220 – RC1500 – RC2500 – RC701 - RC726 – RC251 – N1 (sens négatif)**

| Axe   | Sens | Début | Fin   | NGO sur<br>couche n-2 | NGO sur<br>couche n-1 | NGO sur<br>couche n |
|-------|------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| [-]   | [-]  | [m]   | [m]   | [-]                   | [-]                   | [-]                 |
| 2500  | +    | 800   | 1000  |                       | 4.5                   | 5.7                 |
| 2500  | +    | 1000  | 1200  |                       | 4.5                   | 5.4                 |
| 2500  | +    | 1200  | 1400  |                       | 3.9                   | 4.8                 |
| 2500  | -    | 1400  | 1200  |                       | 4.7                   | 4.8                 |
| 2500  | -    | 1200  | 1000  |                       | 5.0                   | 5.8                 |
| 2500  | -    | 1000  | 800   |                       | 5.8                   | 6.1                 |
| 1400  | +    | 15200 | 15400 |                       | 5.7                   | 7.0                 |
| 1400  | -    | 15400 | 15200 |                       | 5.5                   | 5.9                 |
| RC701 | +    | 10200 | 10400 |                       | 6.4                   | 8.2                 |
| RC701 | +    | 10400 | 10600 |                       | 6.7                   | 7.3                 |
| RC701 | +    | 10600 | 10800 |                       | 6.2                   | 8.3                 |
| RC701 | +    | 10800 | 11000 |                       | 7.3                   | 8.4                 |
| RC701 | +    | 11000 | 11200 |                       | 7.5                   | 9.7                 |
| RC701 | +    | 11200 | 11400 |                       | 7.9                   | 11.1                |
| RC701 | +    | 11400 | 11600 |                       | 7.8                   | 10.4                |
| RC701 | +    | 11600 | 11800 |                       | 6.8                   | 8.5                 |
| RC701 | +    | 11800 | 12000 |                       | 6.8                   | 7.7                 |
| RC701 | -    | 12000 | 11800 |                       | 7.6                   | 7.6                 |
| RC701 | -    | 11800 | 11600 |                       | 7.9                   | 7.5                 |
| RC701 | -    | 11600 | 11400 |                       | 10.4                  | 9.5                 |
| RC701 | -    | 11400 | 11200 |                       | 11.1                  | 10.1                |
| RC701 | -    | 11200 | 11000 |                       | 9.0                   | 8.4                 |
| RC701 | -    | 11000 | 10800 |                       | 8.0                   | 7.2                 |
| RC701 | -    | 10800 | 10600 |                       | 8.0                   | 7.2                 |
| RC701 | -    | 10600 | 10400 |                       | 9.7                   | 7.8                 |
| RC701 | -    | 10400 | 10200 |                       | 7.5                   | 6.8                 |
| 1500  | -    | 4600  | 4400  |                       | 5.0                   | 5.5                 |
| RC726 | -    | 600   | 400   |                       | 3.7                   | 4.1                 |
| RC726 | +    | 400   | 600   |                       | 5.2                   | 6.0                 |
| RC251 | +    | 28200 | 28400 | 8.1                   | 9.2                   | 9.0                 |
| RC251 | -    | 28400 | 28200 | 6.9                   | 8.6                   | 8.7                 |
| N1    | -    | 28600 | 28400 |                       | 12.4                  |                     |
| N1    | -    | 28400 | 28200 |                       | 13.1                  |                     |
| N1    | -    | 38600 | 38400 |                       | 11.7                  | 11.7                |
| N1    | -    | 38400 | 38200 |                       | 8.7                   | 11.7                |

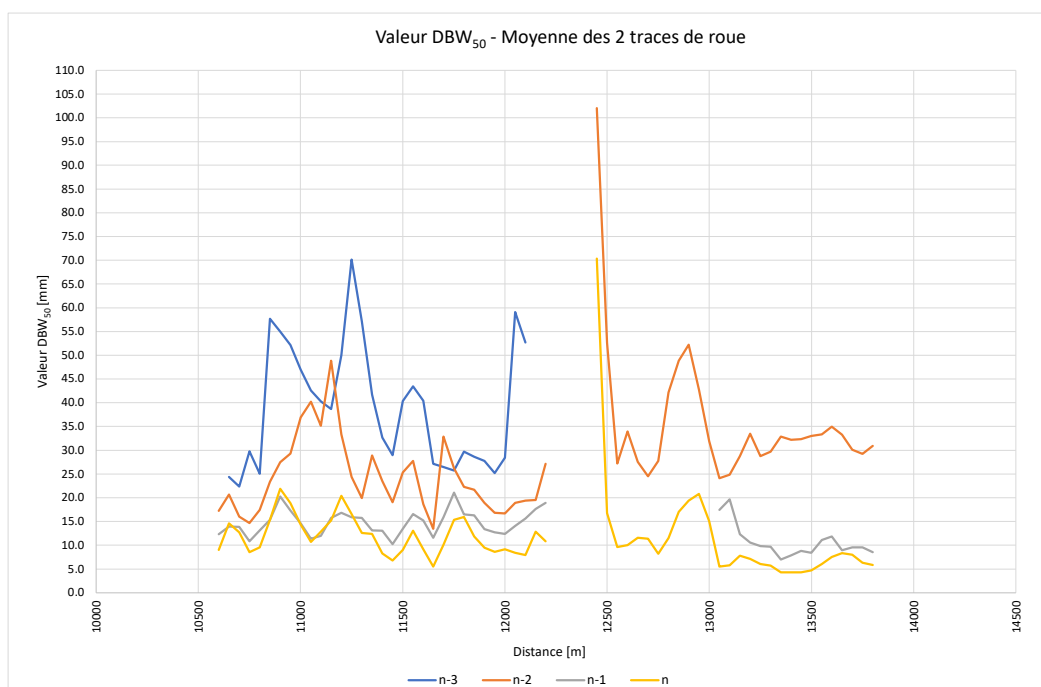
**1710 | Mesures de réception : influence de l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale**

| Axe | Sens | Début | Fin   | NGO sur<br>couche n-2 | NGO sur<br>couche n-1 | NGO sur<br>couche n |
|-----|------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| N1  | -    | 38200 | 38000 |                       | 13.3                  | 11.6                |
| N1  | -    | 38000 | 37800 |                       | 12.9                  | 12.4                |
| N1  | -    | 37800 | 37600 |                       | 11.2                  | 11.5                |
| N1  | -    | 38200 | 38000 |                       | 13.5                  | 12.2                |
| N1  | -    | 38000 | 37800 |                       | 14.2                  | 13.4                |
| N1  | -    | 37800 | 37600 |                       | 11.2                  | 12.4                |
| N1  | -    | 37600 | 37400 |                       | 12.0                  | 12.4                |
| N1  | -    | 37200 | 37000 |                       | 12.9                  | 13.7                |
| N1  | -    | 37000 | 36800 |                       | 11.9                  | 14.1                |

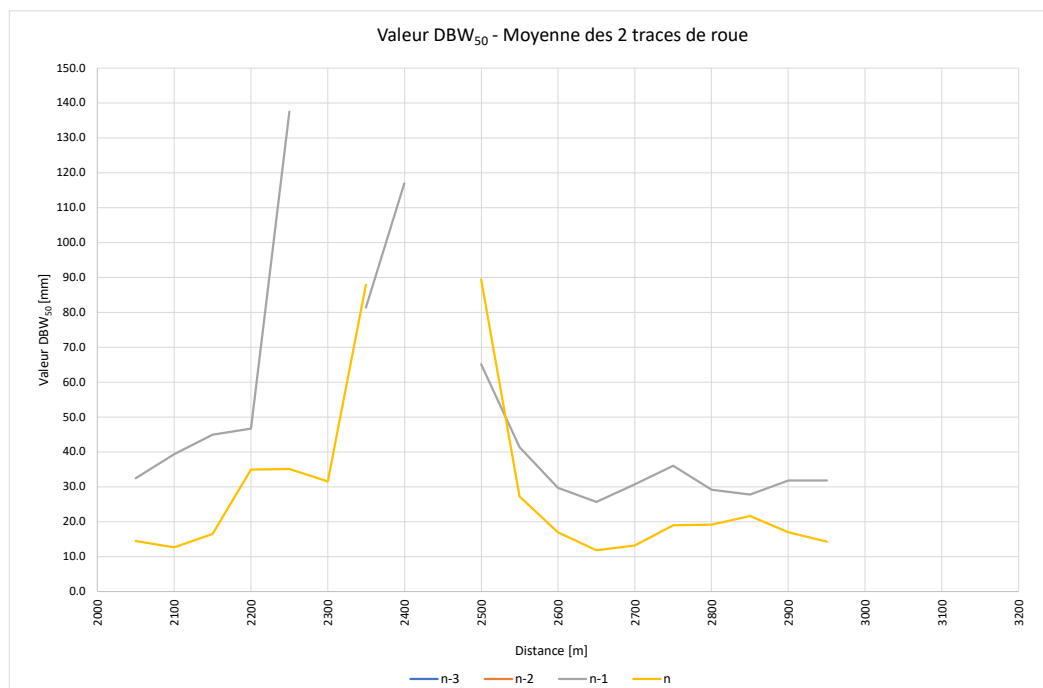
## II.6 Valeur d'état DBW<sub>50</sub>



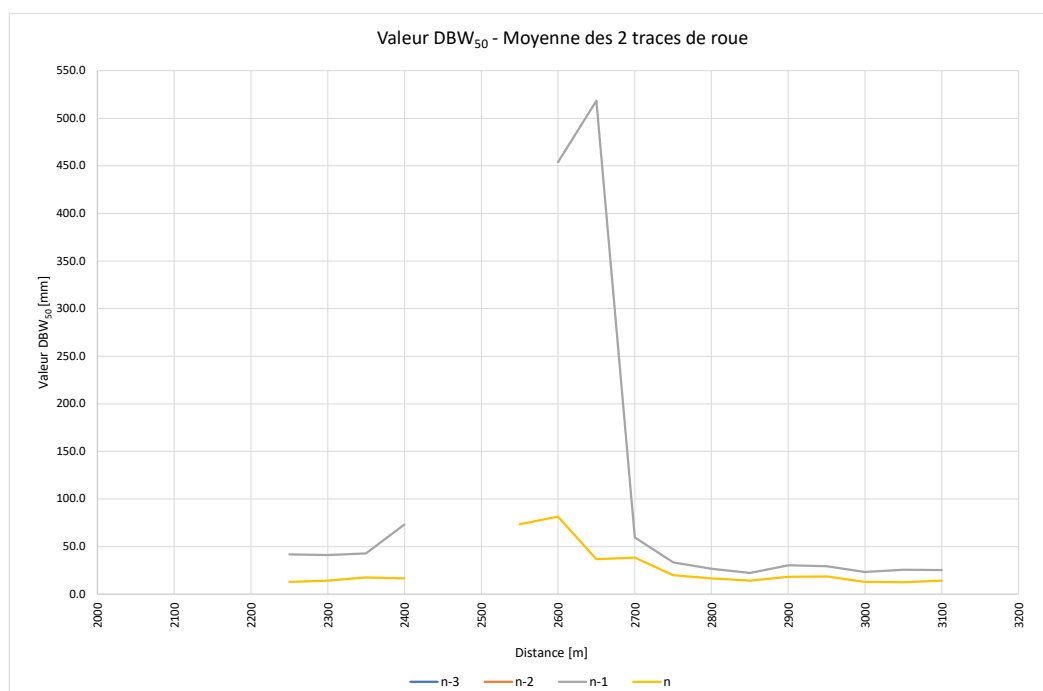
**Fig. 97** – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif



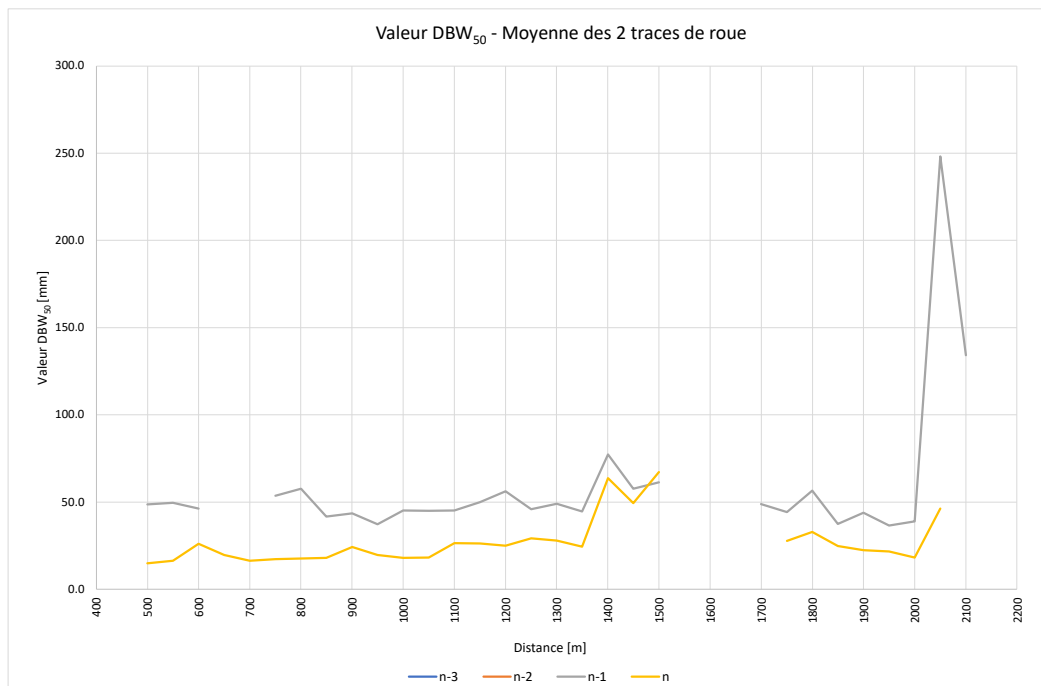
**Fig. 98** – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif



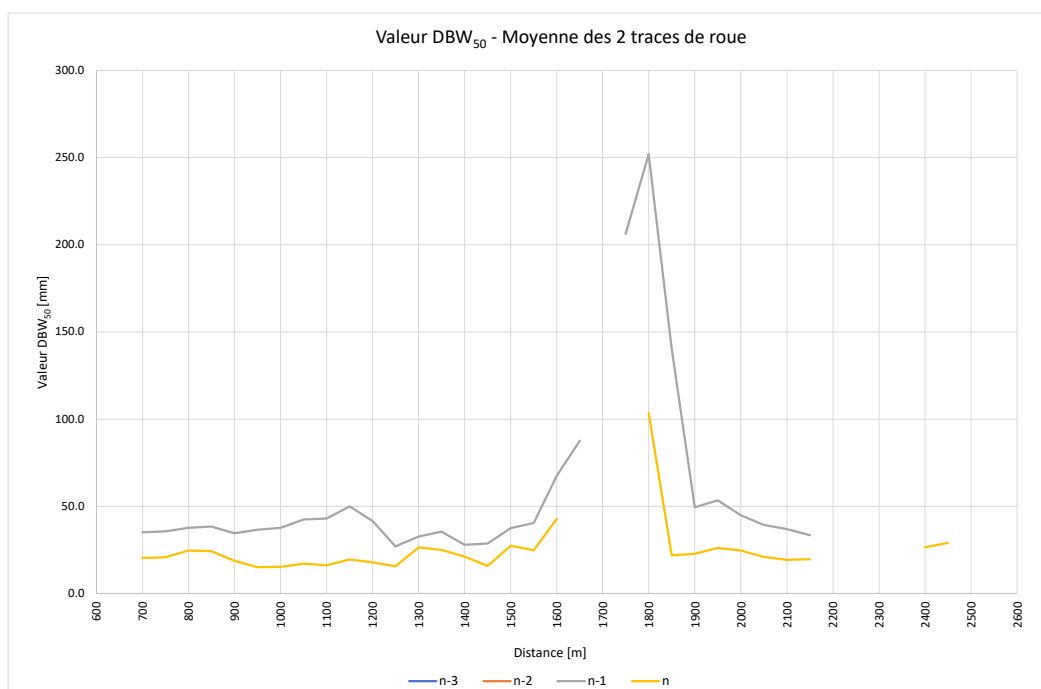
**Fig. 99 – RC2220 – Sens Positif**



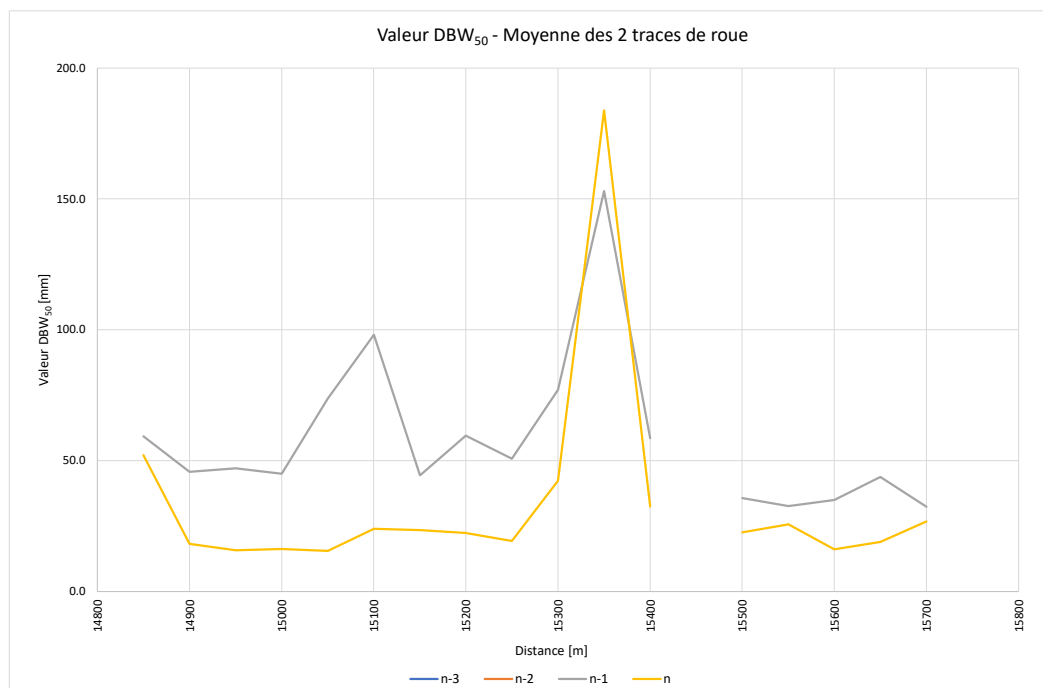
**Fig. 100 – RC2220 – Sens Négatif**



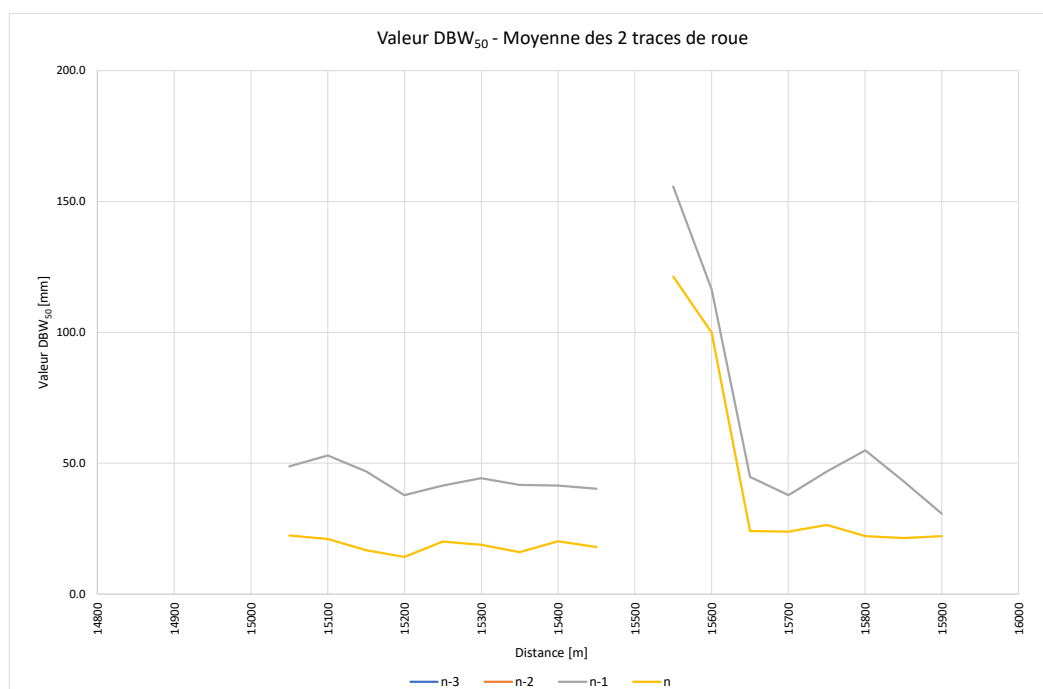
**Fig. 101 – RC2500 – Sens Positif**



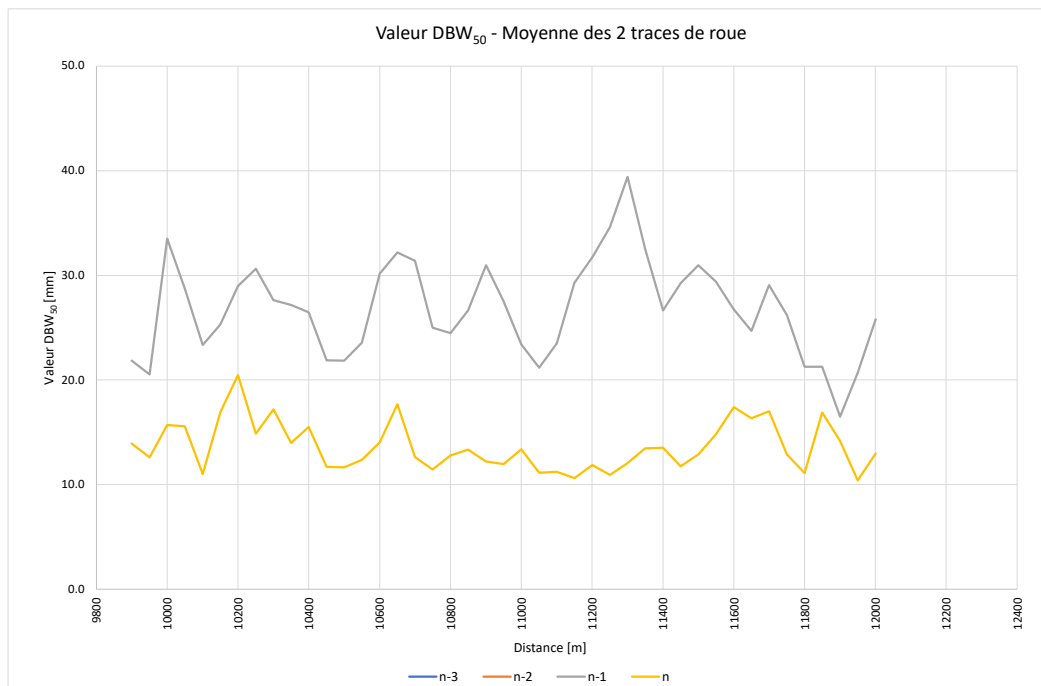
**Fig. 102 – RC2500 – Sens Négatif**



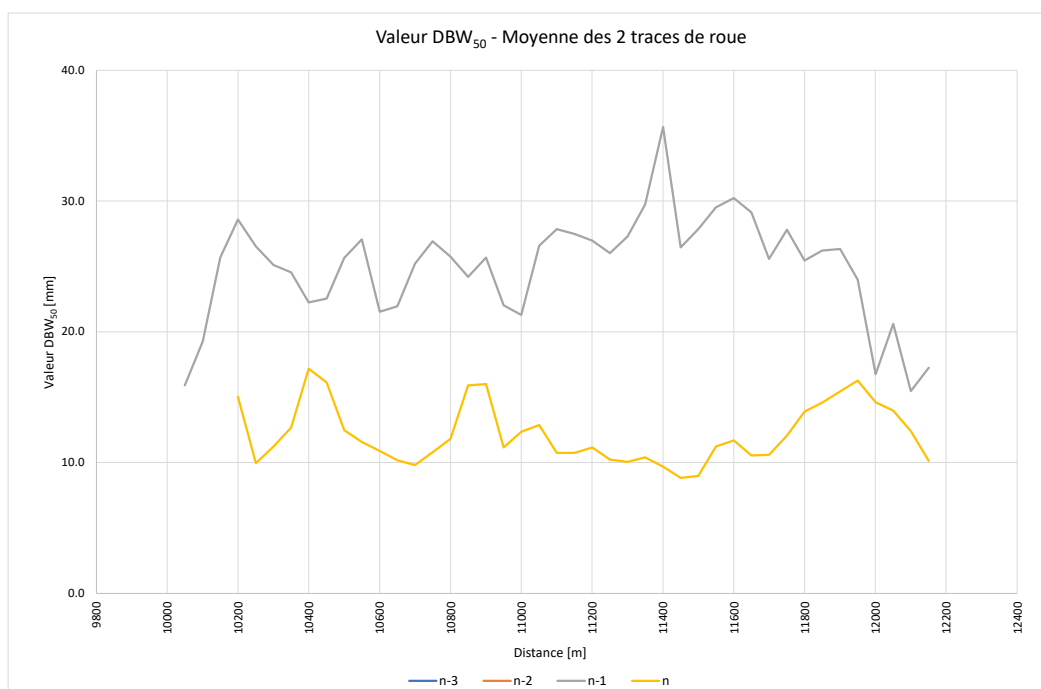
**Fig. 103 – RC1400 – Sens Positif**



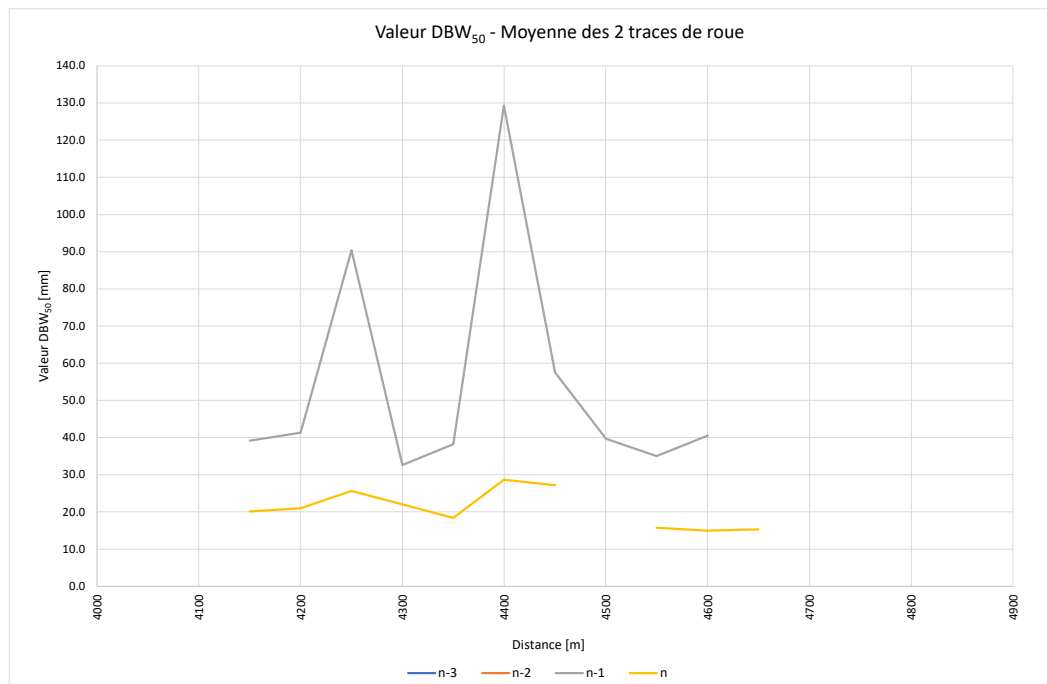
**Fig. 104 – RC1400 – Sens Négatif**



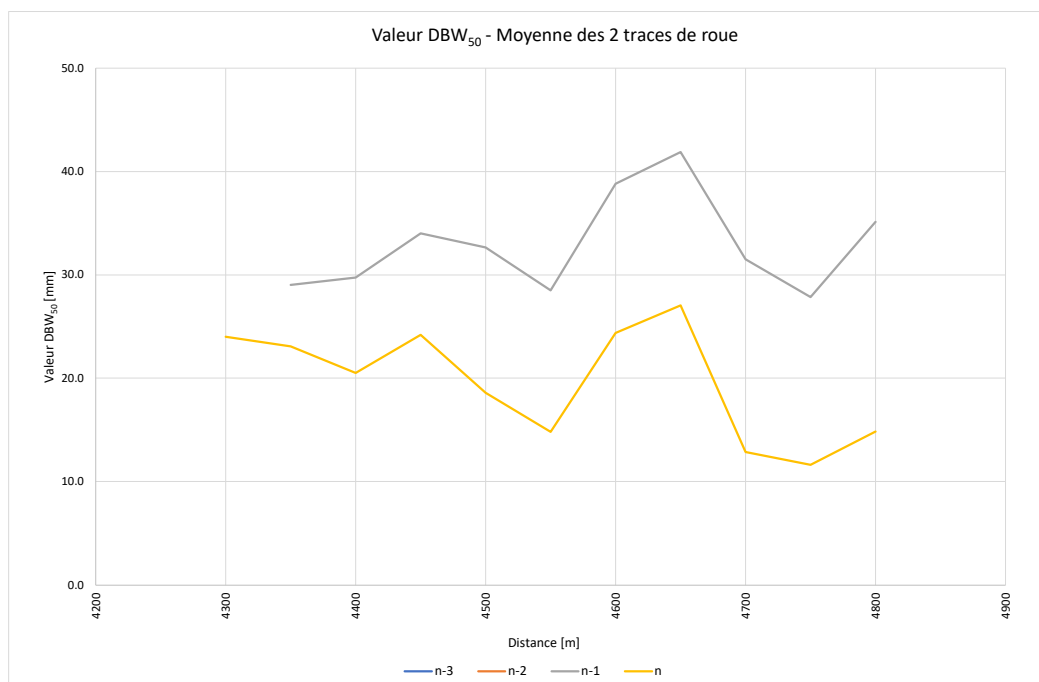
**Fig. 105 – RC701 – Savigny - Forel – Sens Positif**



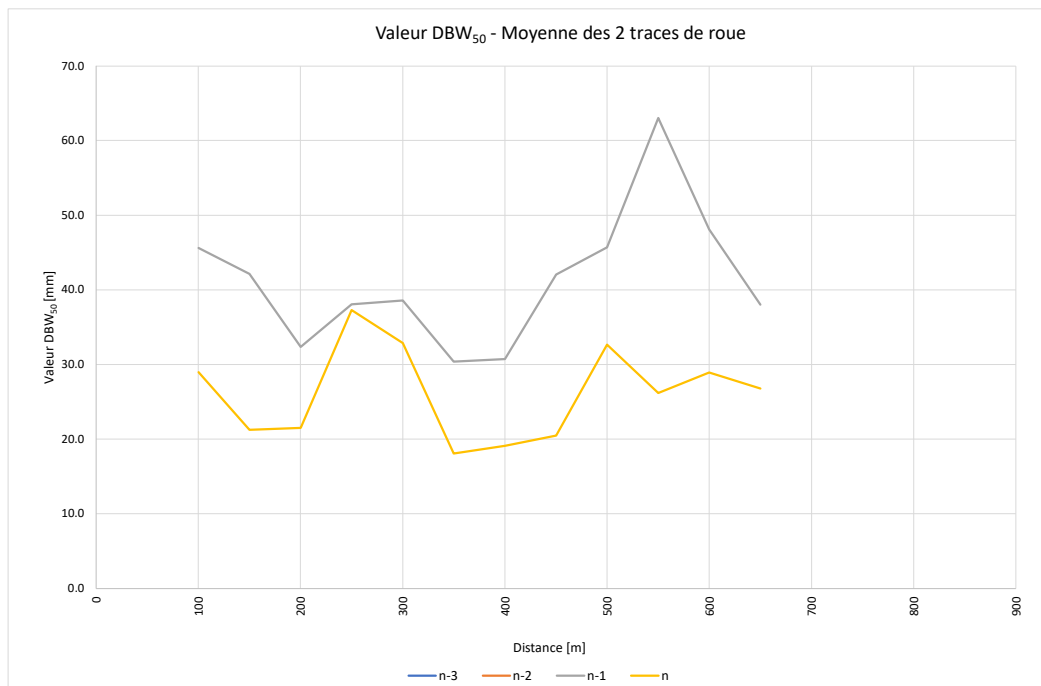
**Fig. 106 – RC701 – Savigny - Forel – Sens Positif**



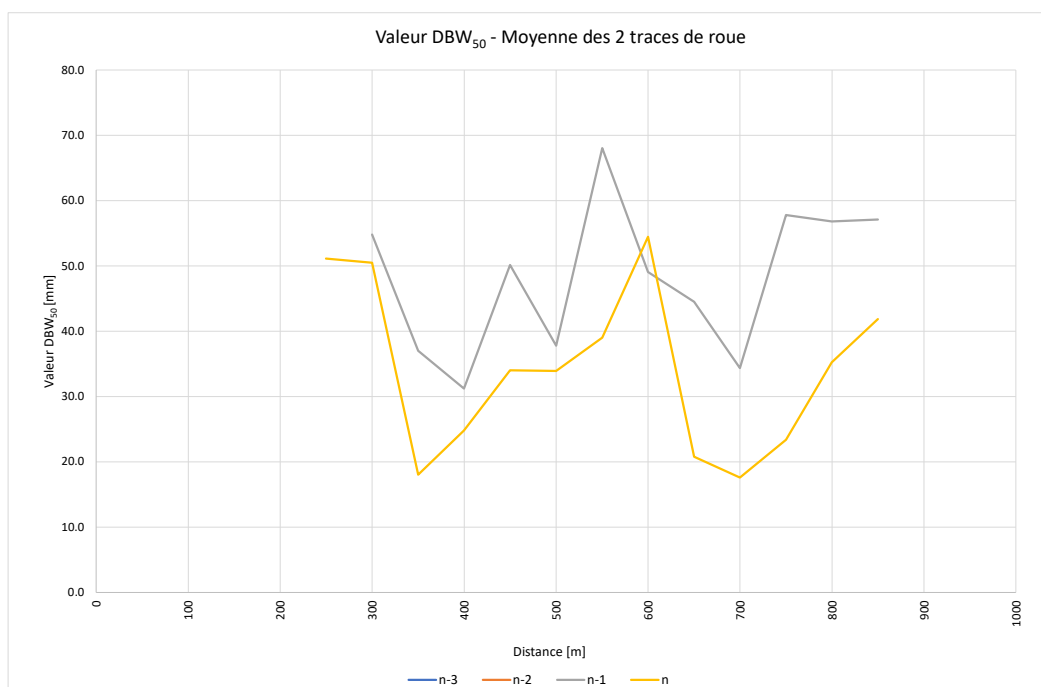
**Fig. 107 – RC1500 – Savigny - Forel – Sens Positif**



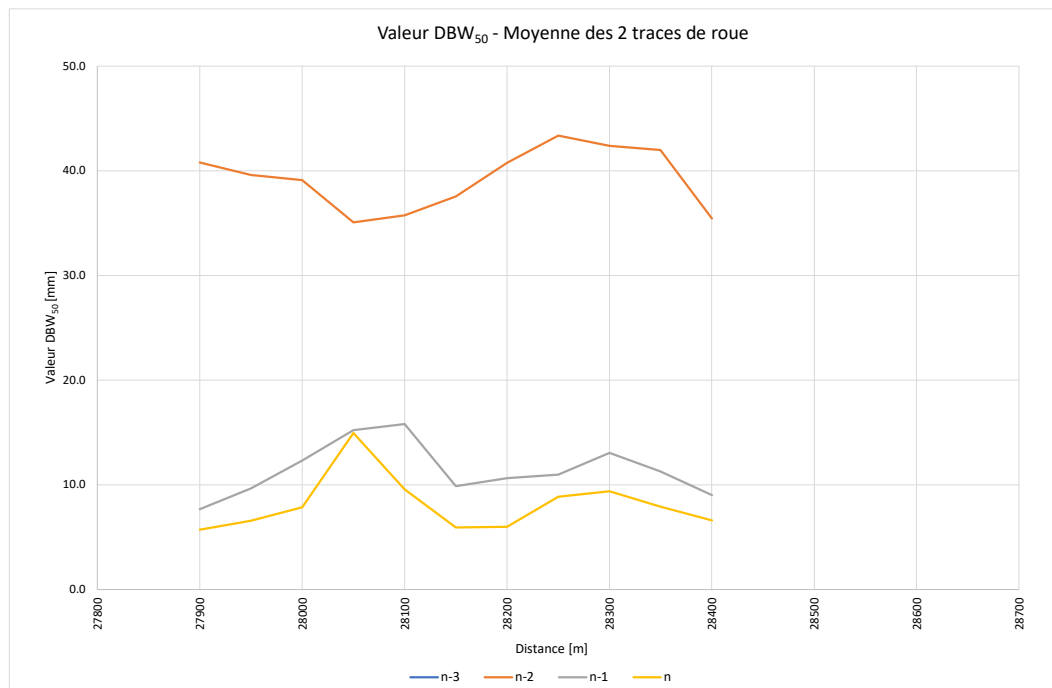
**Fig. 108 – RC1500 – Sens Négatif**



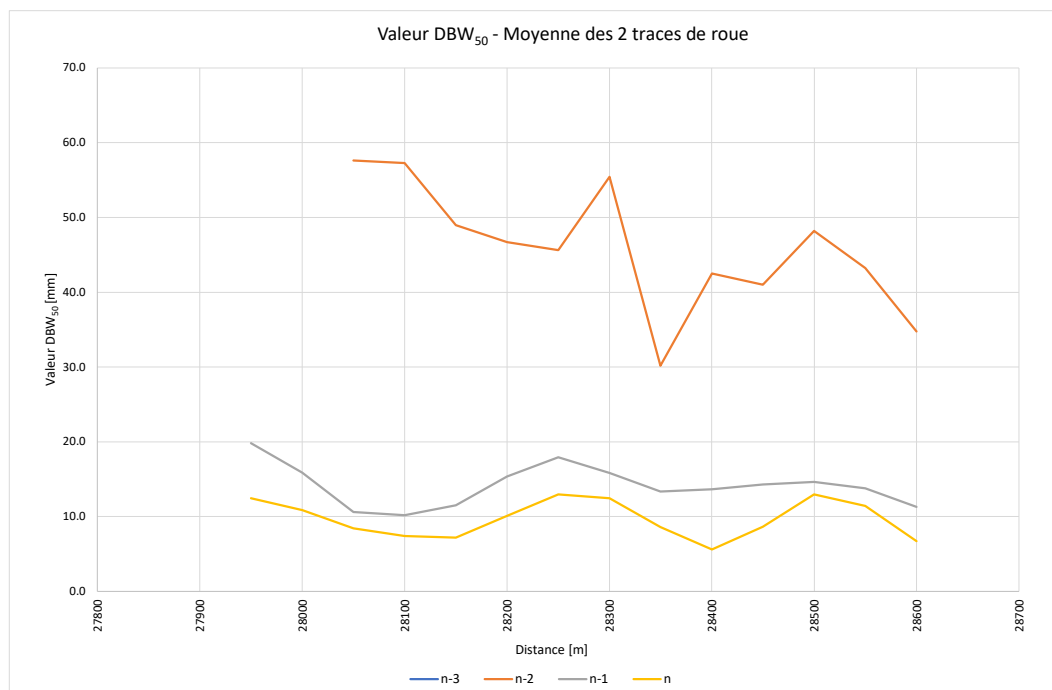
**Fig. 109 – RC726 – Sens Positif**



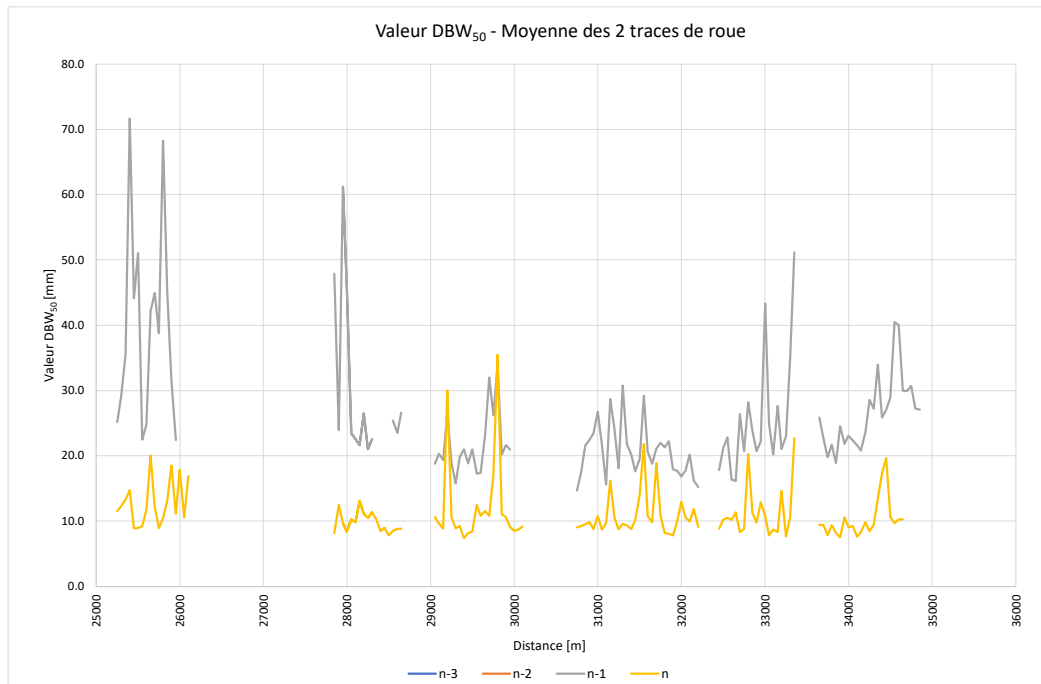
**Fig. 110 – RC726 – Sens Négatif**



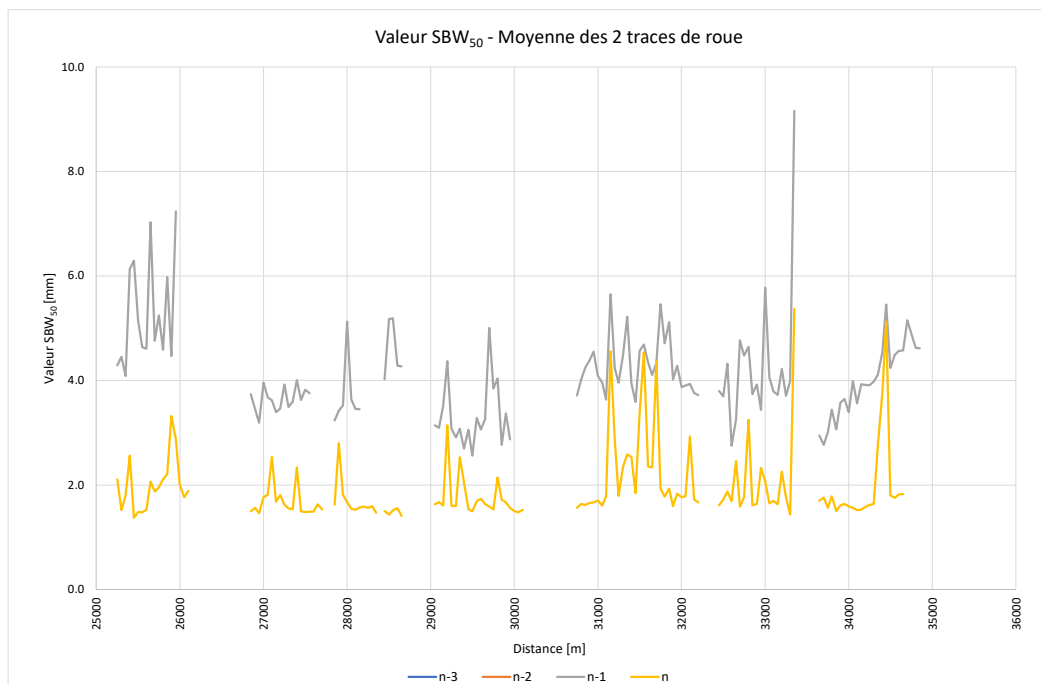
**Fig. 111 – RC251 – Sens Positif**



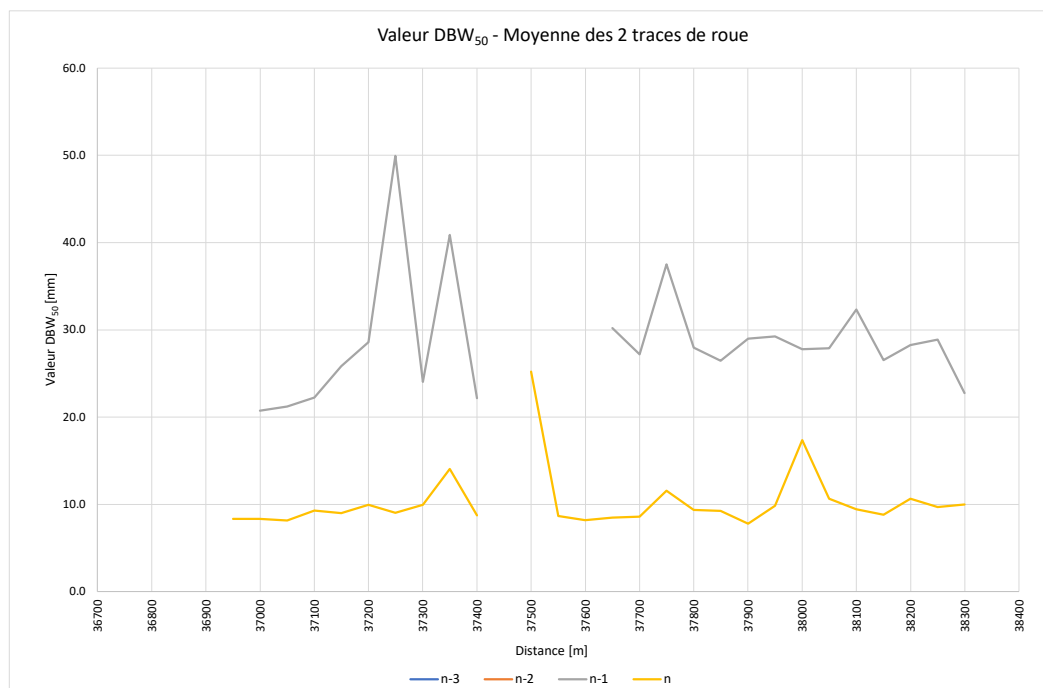
**Fig. 112 – RC251 – Sens Négatif**



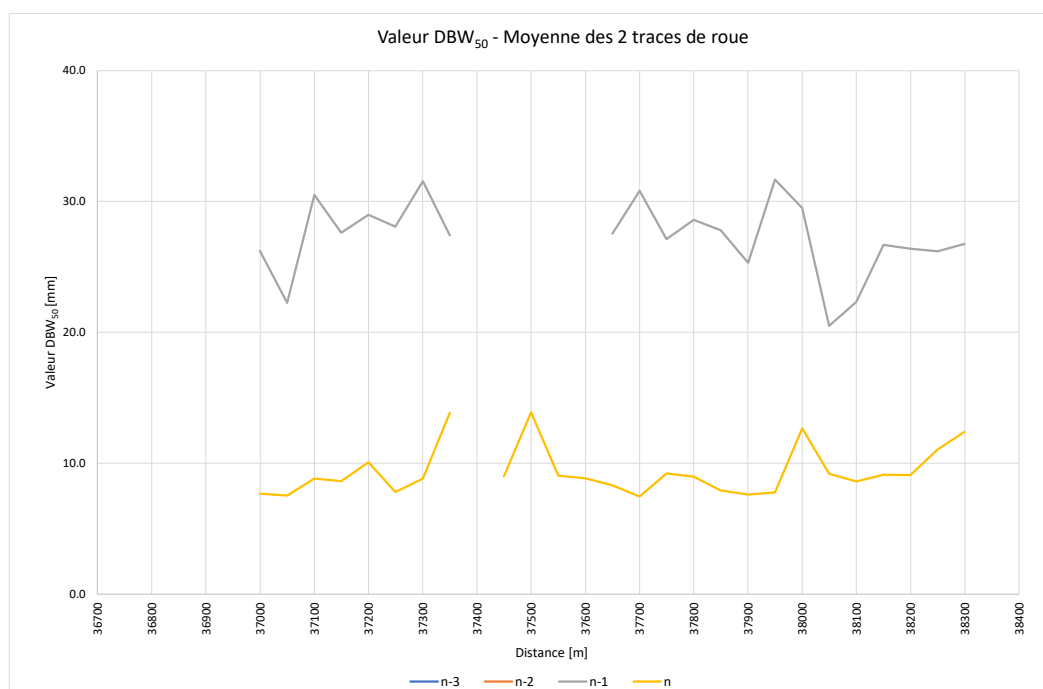
**Fig. 113 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



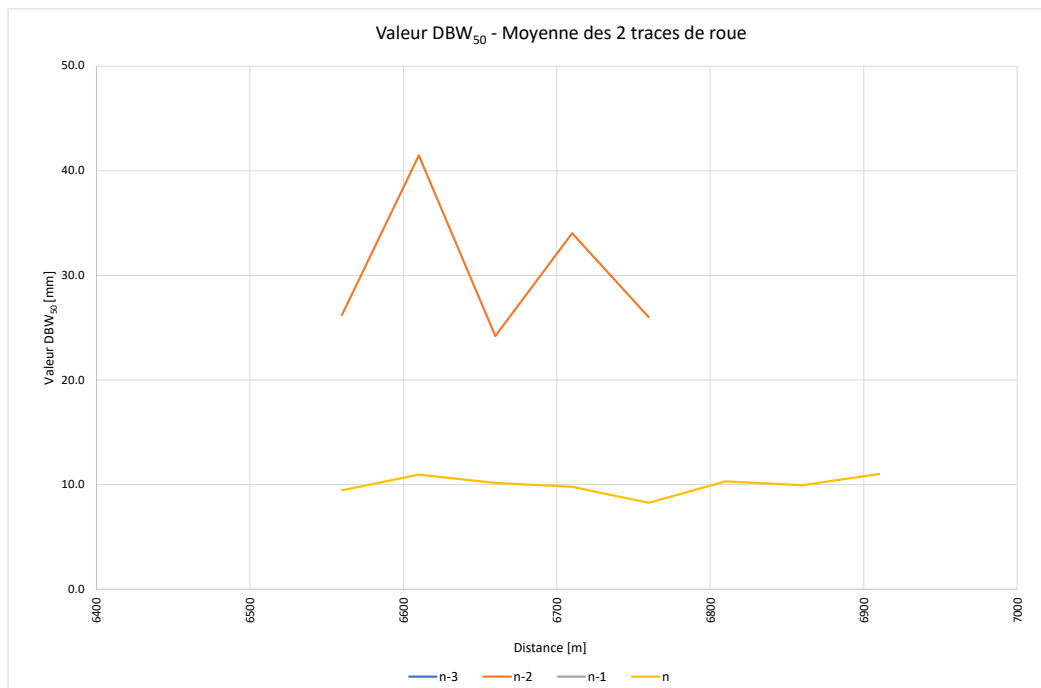
**Fig. 114 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



**Fig. 115 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 116 – N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**



**Fig. 117 – H10 – Sens Positif**

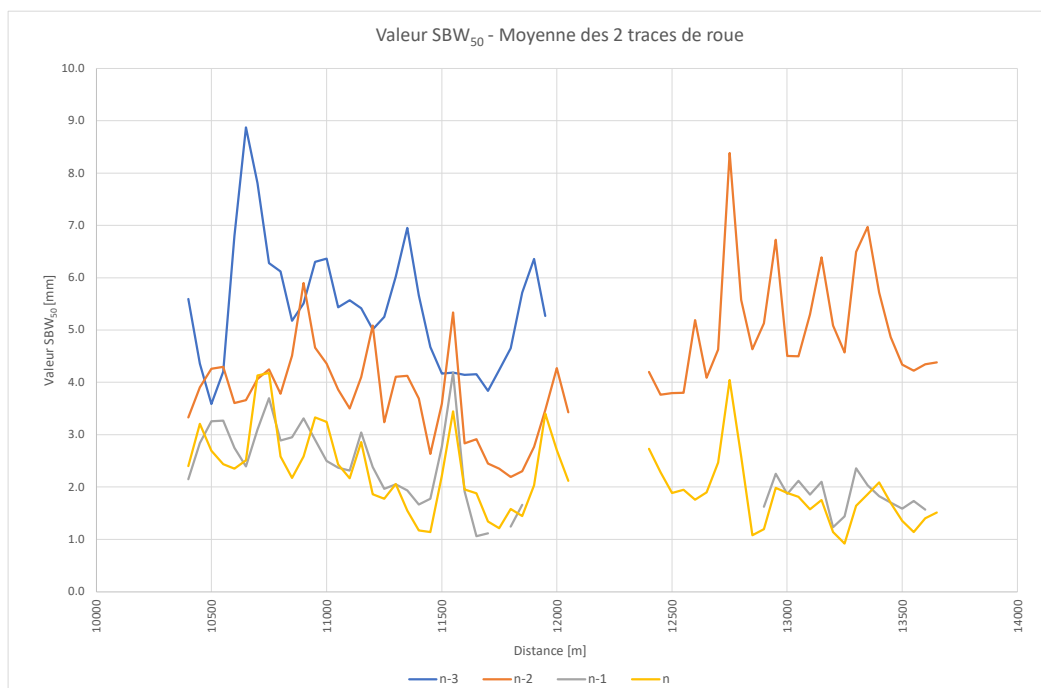
### Piste Sion

Compte tenu du faible échantillon de valeurs par trace de mesure, les résultats de la piste de Sion sont présentés dans le tableau suivant :

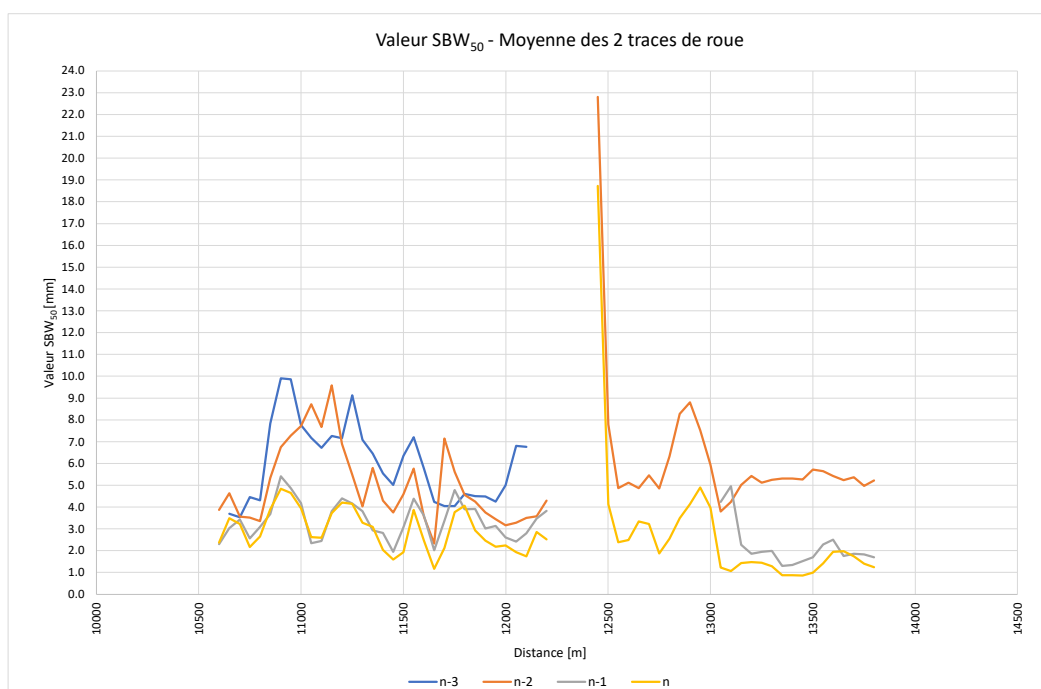
**Tab. 3 Résultats  $DBW_{50}$  sur la piste de Sion**

| Trace de mesure | Début | Fin | $DBW_{50}$ sur couche n-2 | $DBW_{50}$ sur couche n-1 |
|-----------------|-------|-----|---------------------------|---------------------------|
| [-]             | [m]   | [m] | [mm]                      | [mm]                      |
| 1               | 50    | 100 | 28.9                      | 26.6                      |
| 1               | 100   | 150 | 26.7                      |                           |
| 2               | 1050  | 100 | 49.5                      | 25.6                      |
| 3               | 2050  | 100 | 41.5                      | 19.7                      |
| 3               | 2100  | 150 | 41.3                      |                           |
| 4               | 3050  | 100 | 22.5                      | 24.7                      |
| 4               | 3100  | 150 | 22.9                      |                           |
| 5               | 4050  | 100 | 30.7                      | 18.8                      |
| 5               | 4100  | 150 | 30.9                      |                           |
| 6               | 5050  | 100 | 52.4                      | 28.4                      |
| 6               | 5100  | 150 |                           | 20.0                      |
| 7               | 6050  | 100 | 49.8                      | 23.4                      |
| 7               | 6100  | 150 | 46.4                      |                           |
| 8               | 7050  | 100 | 43.3                      | 31.8                      |
| 8               | 7100  | 150 | 37.6                      |                           |
| 9               | 8050  | 100 | 32.4                      | 27.8                      |
| 9               | 8100  | 150 | 31.9                      |                           |
| 10              | 9050  | 100 | 43.3                      | 35.2                      |
| 10              | 9100  | 150 | 45.6                      |                           |

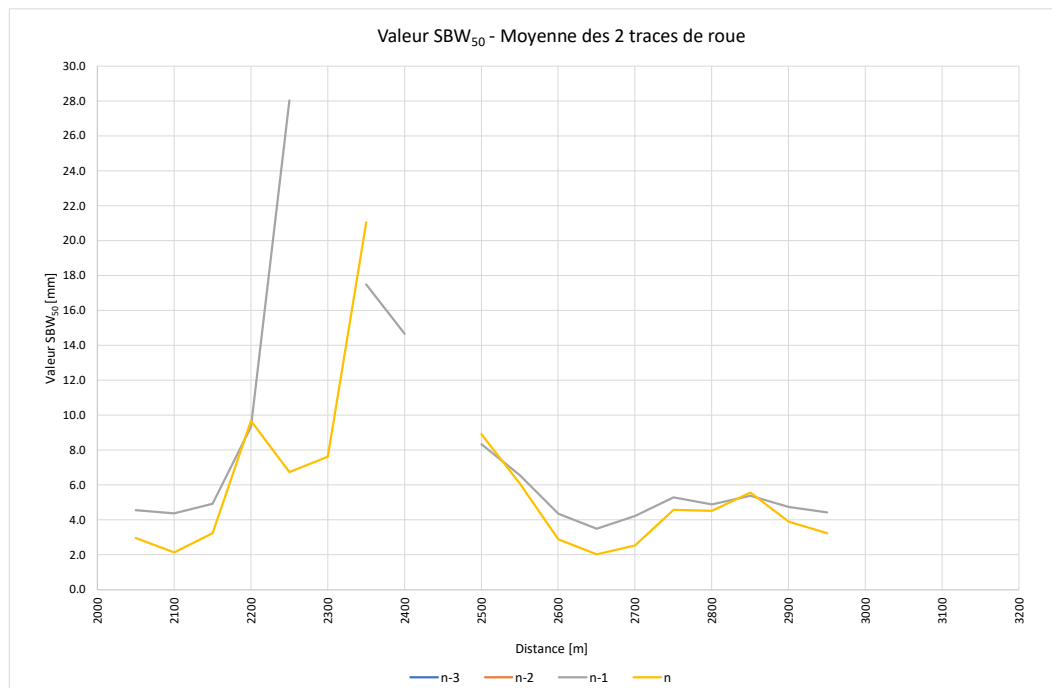
## II.7 Valeur d'état SBW<sub>50</sub>



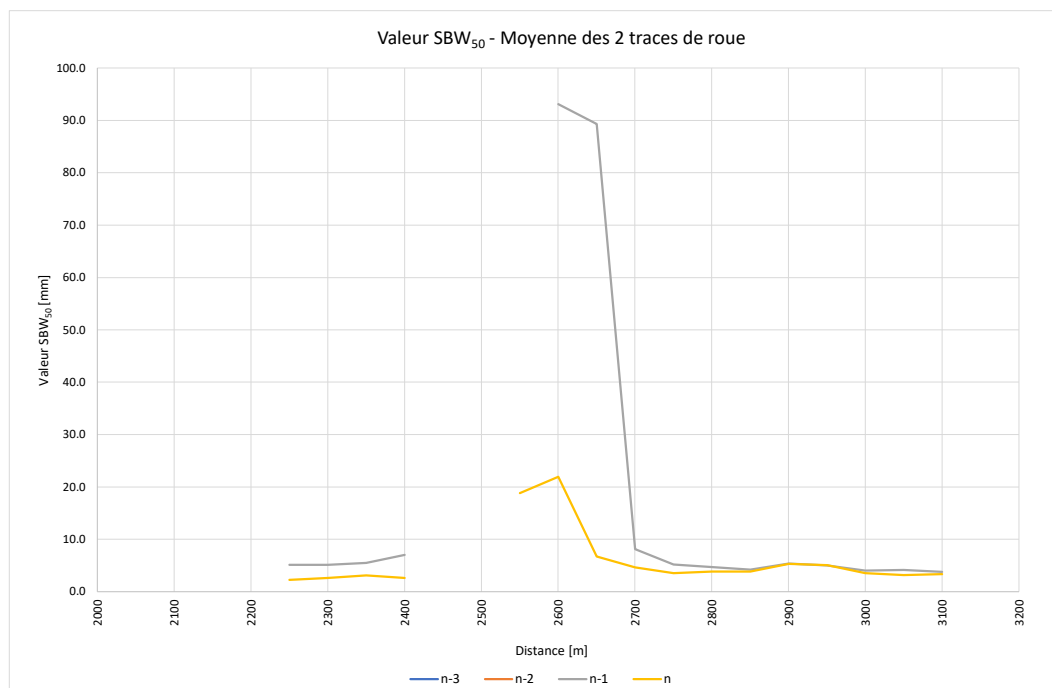
**Fig. 118 – RC177 – T3 et T4 – Sens Positif**



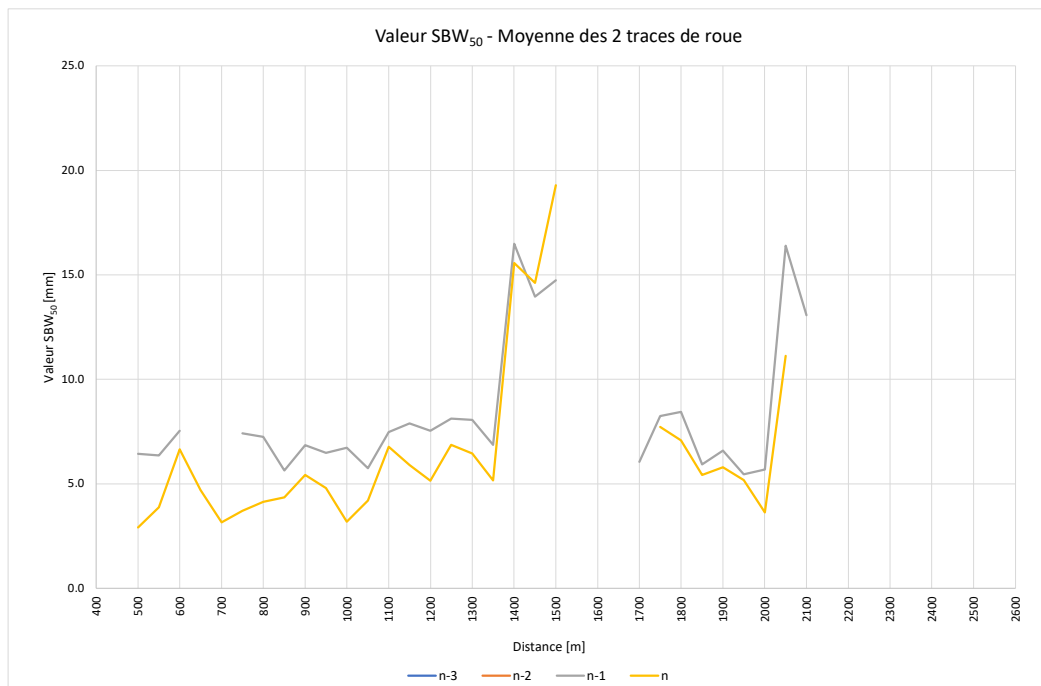
**Fig. 119 – RC177 – T3 et T4 – Sens Négatif**



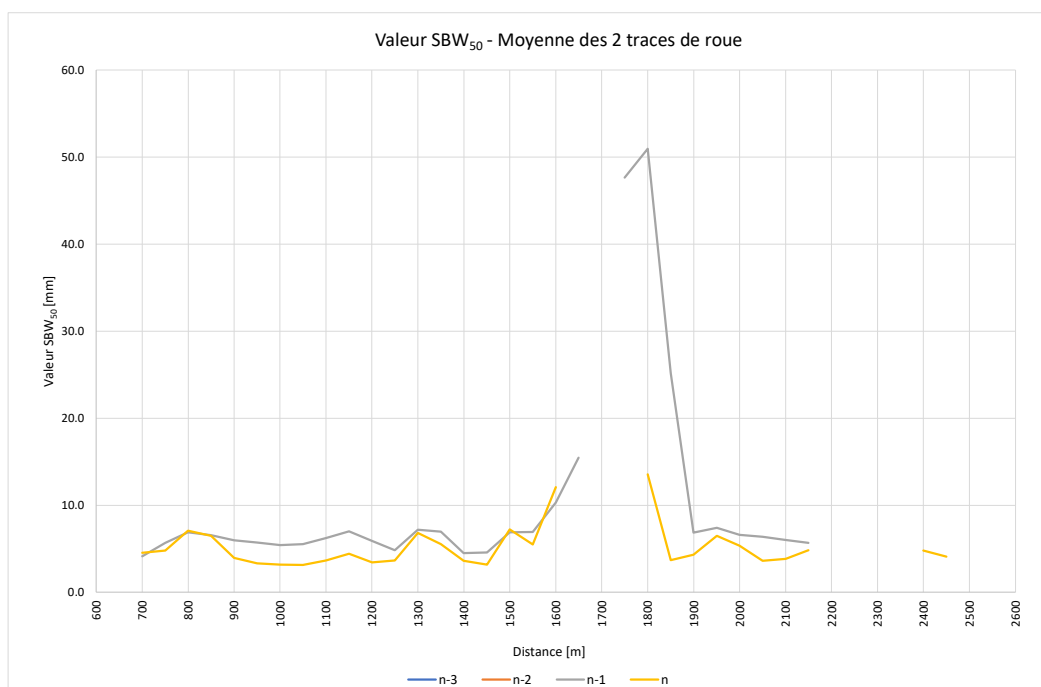
**Fig. 120 – RC2220 – Sens Positif**



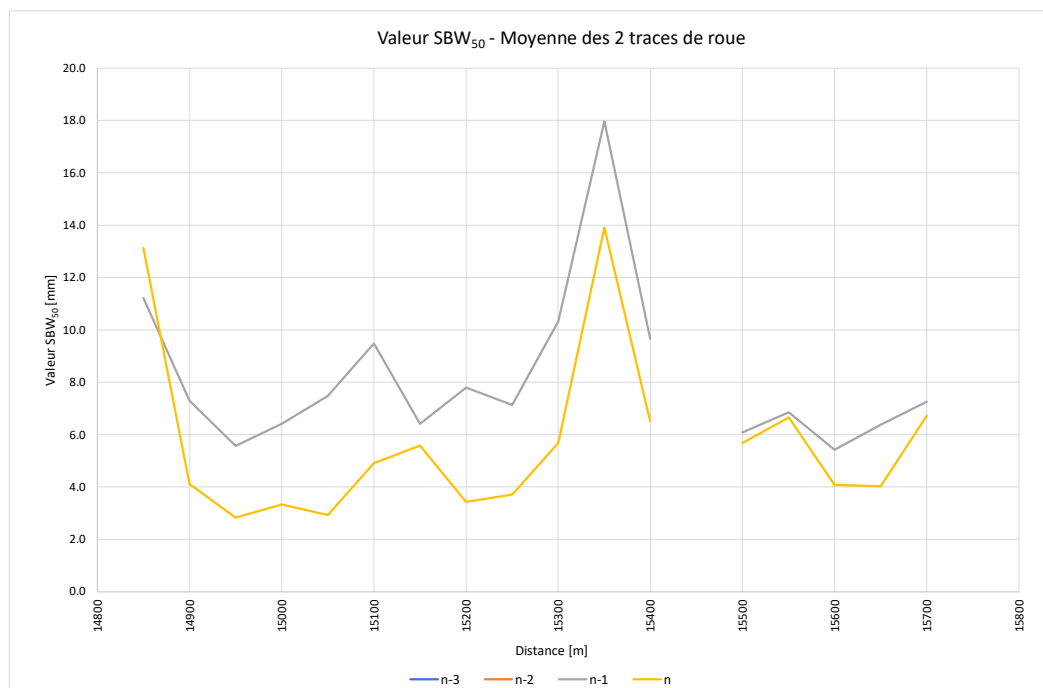
**Fig. 121 – RC2220 – Sens Positif**



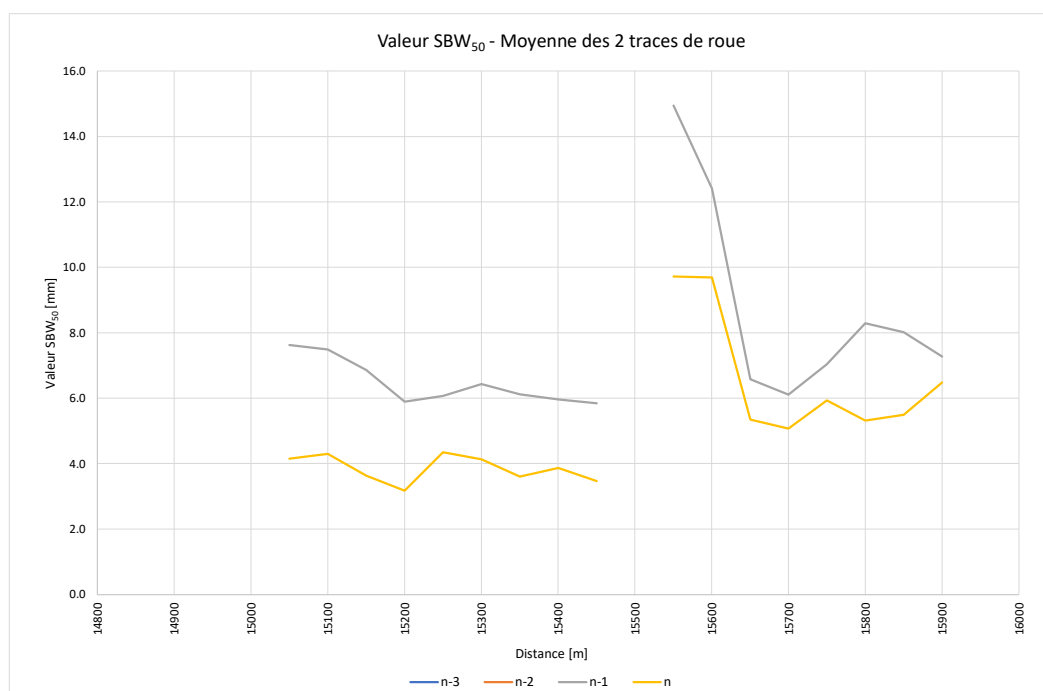
**Fig. 122 – RC2500 – Sens Positif**



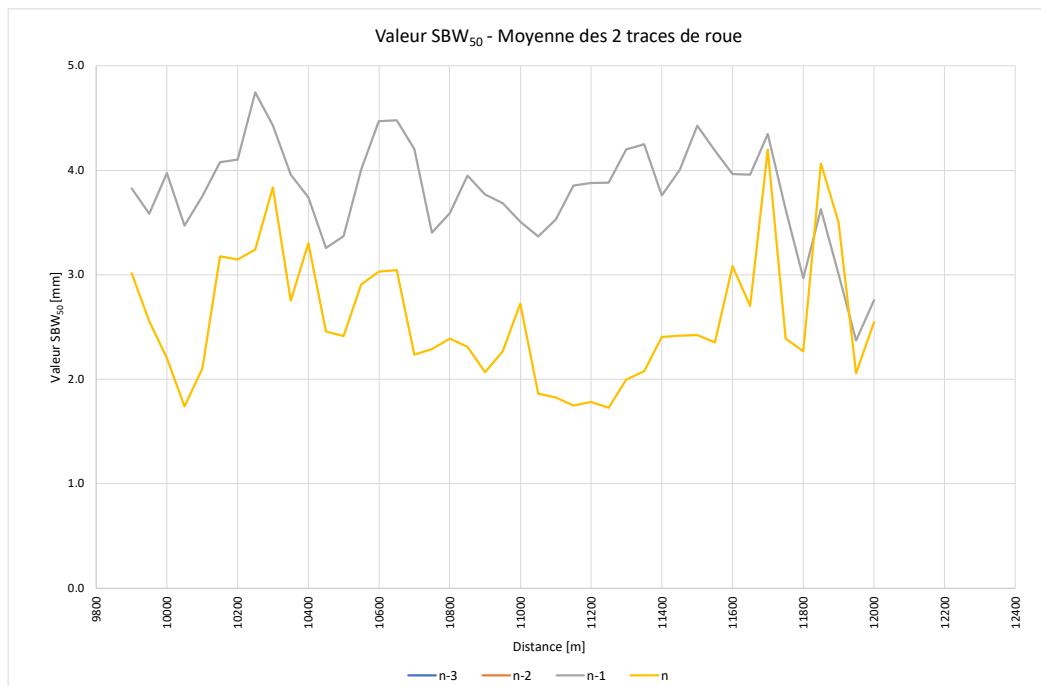
**Fig. 123 – RC2500 – Sens Positif**



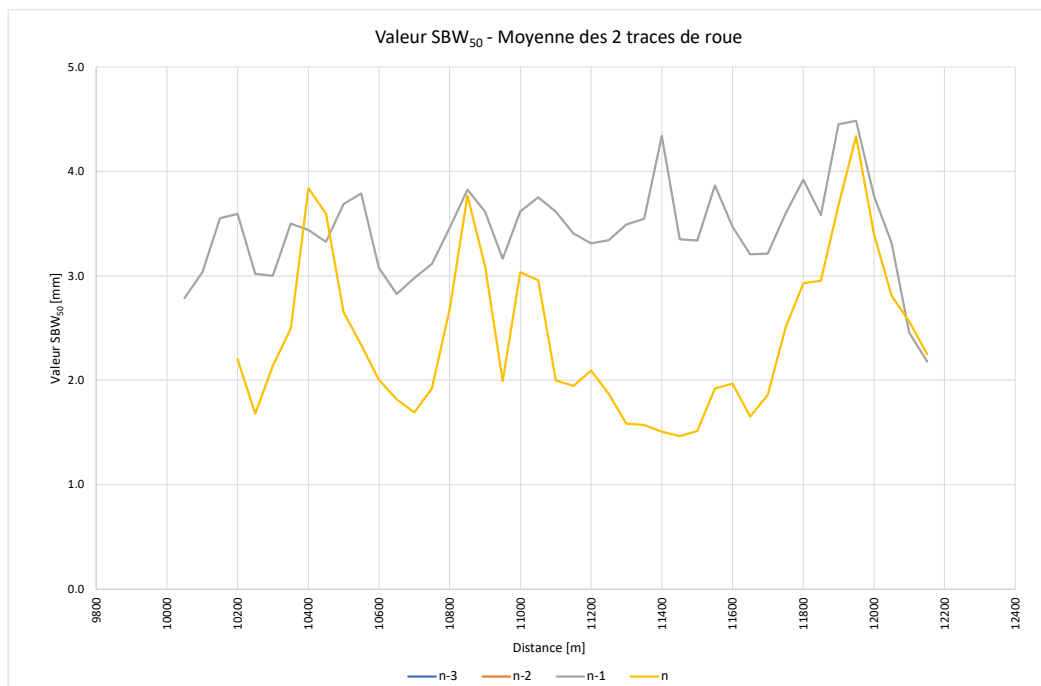
**Fig. 124 – RC1400 – Sens Positif**



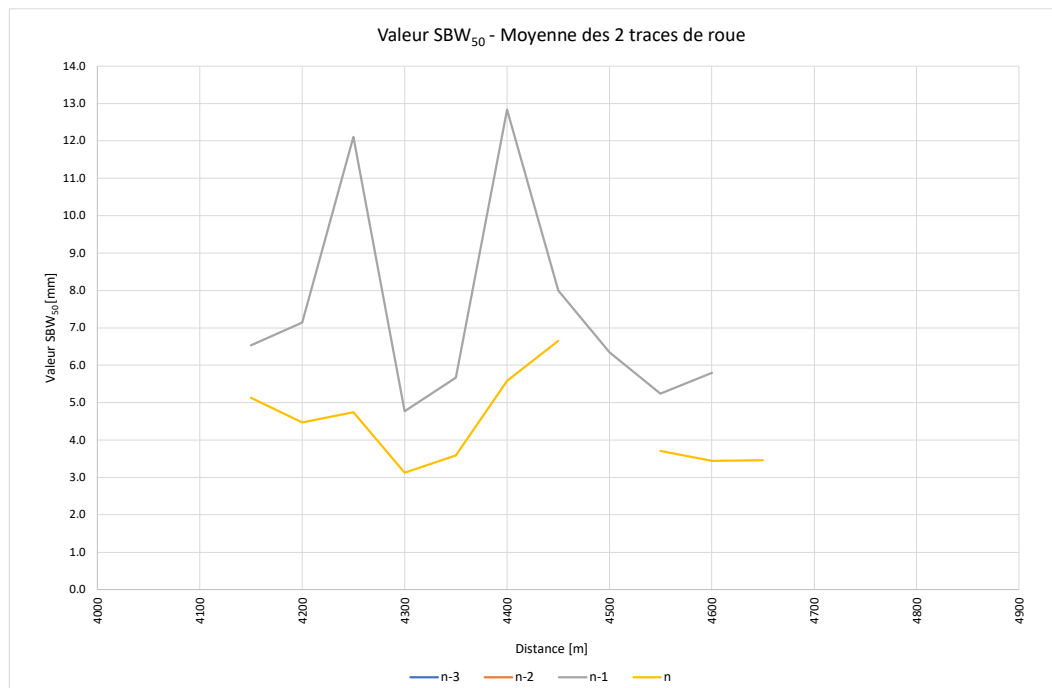
**Fig. 125 – RC1400 – Sens Négatif**



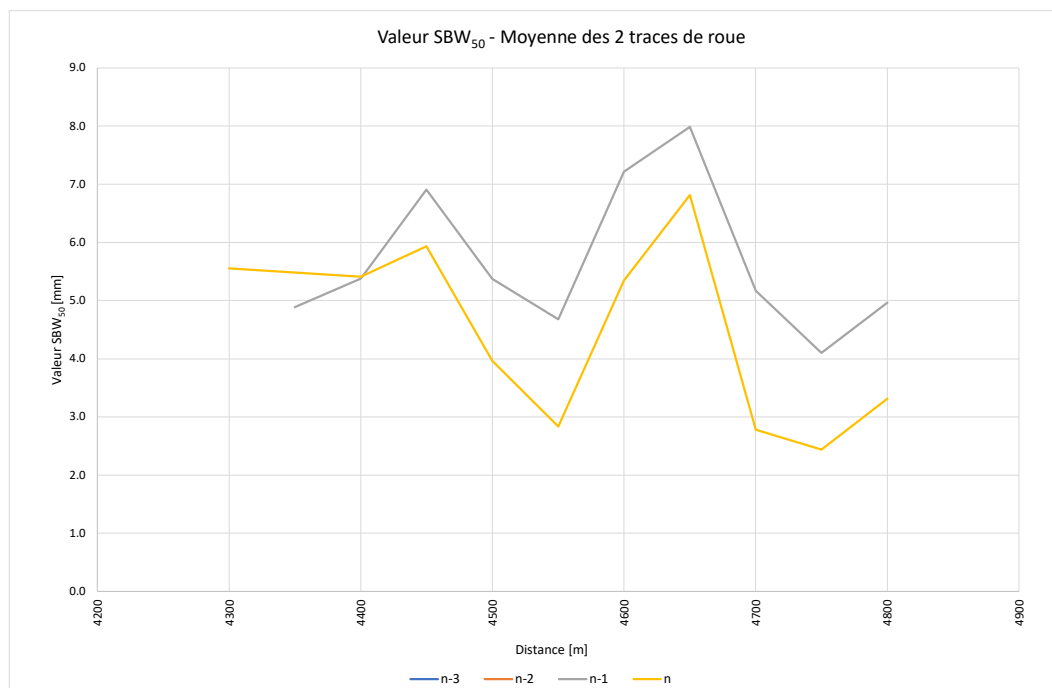
**Fig. 126 – RC701 – Savigny - Forel – Sens Positif**



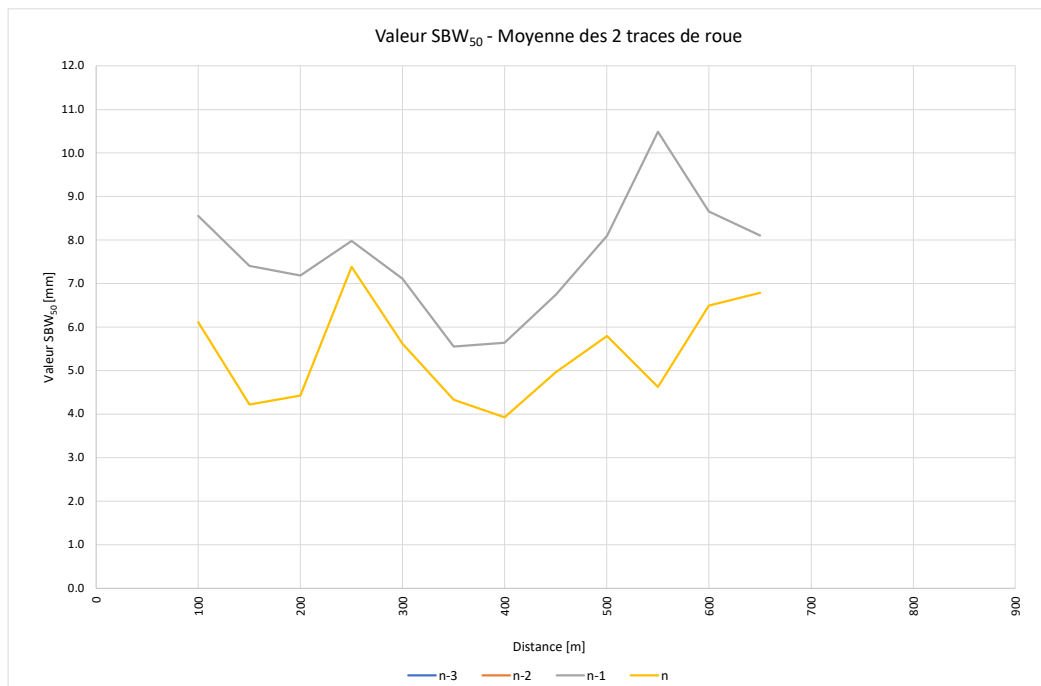
**Fig. 127 – RC701 – Savigny - Forel – Sens Négatif**



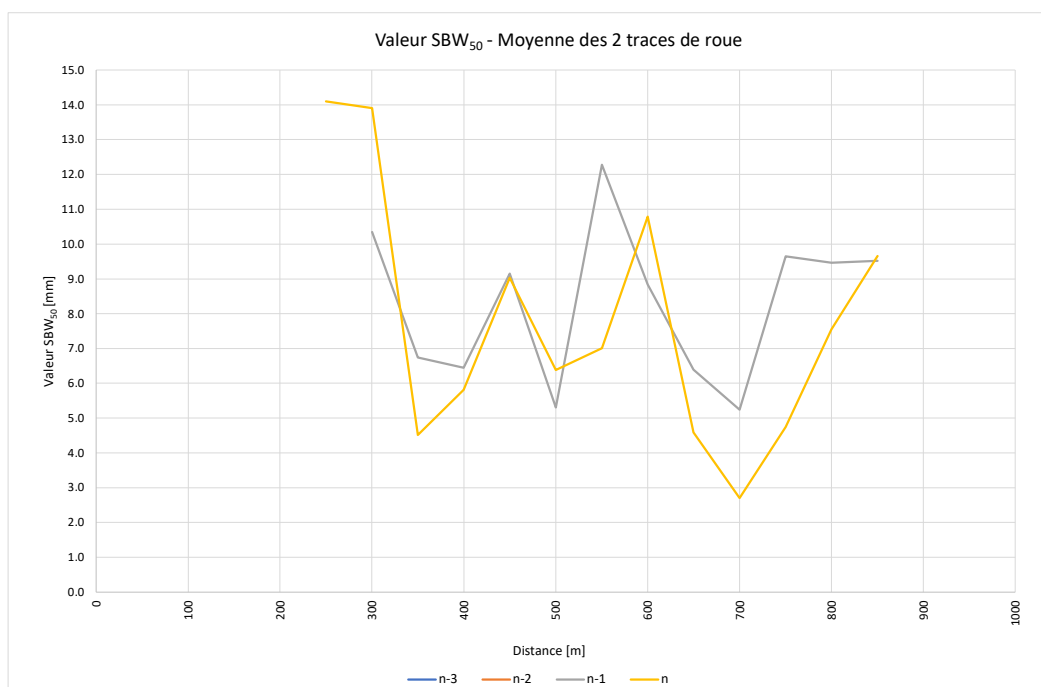
**Fig. 128 – RC1500 – Sens Positif**



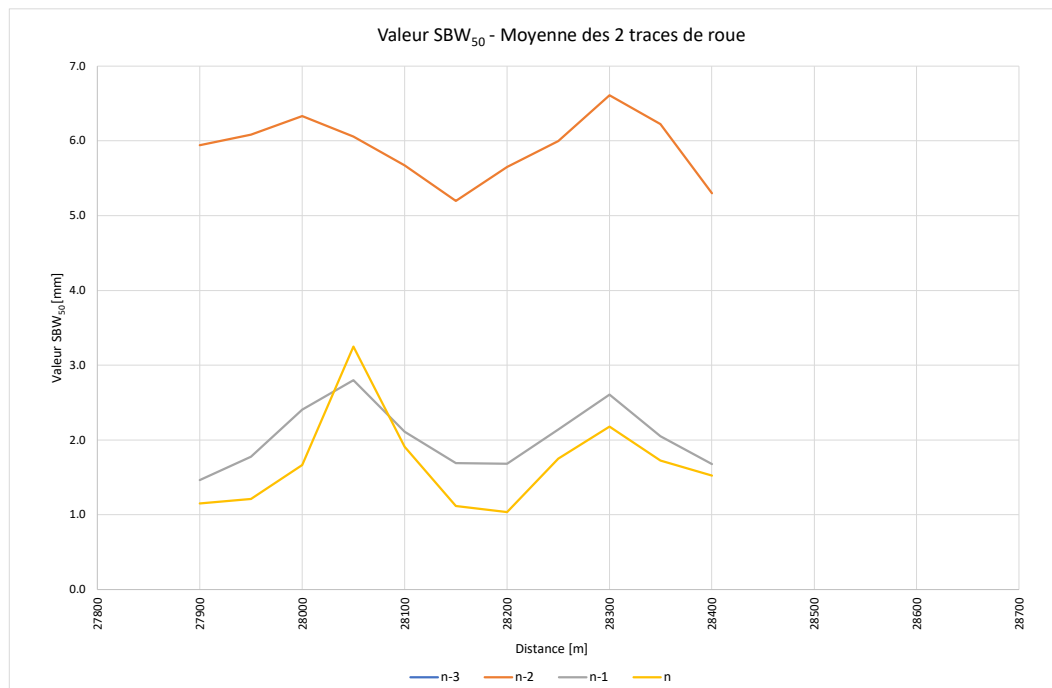
**Fig. 129 – RC1500 – Sens Négatif**



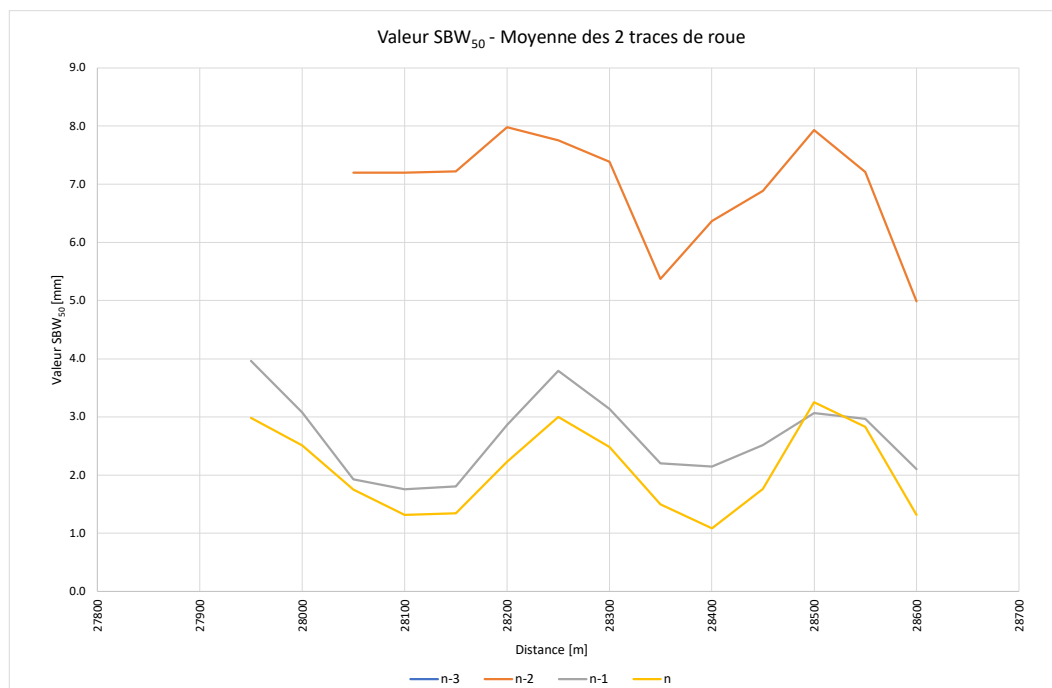
**Fig. 130 – RC726 – Sens Positif**



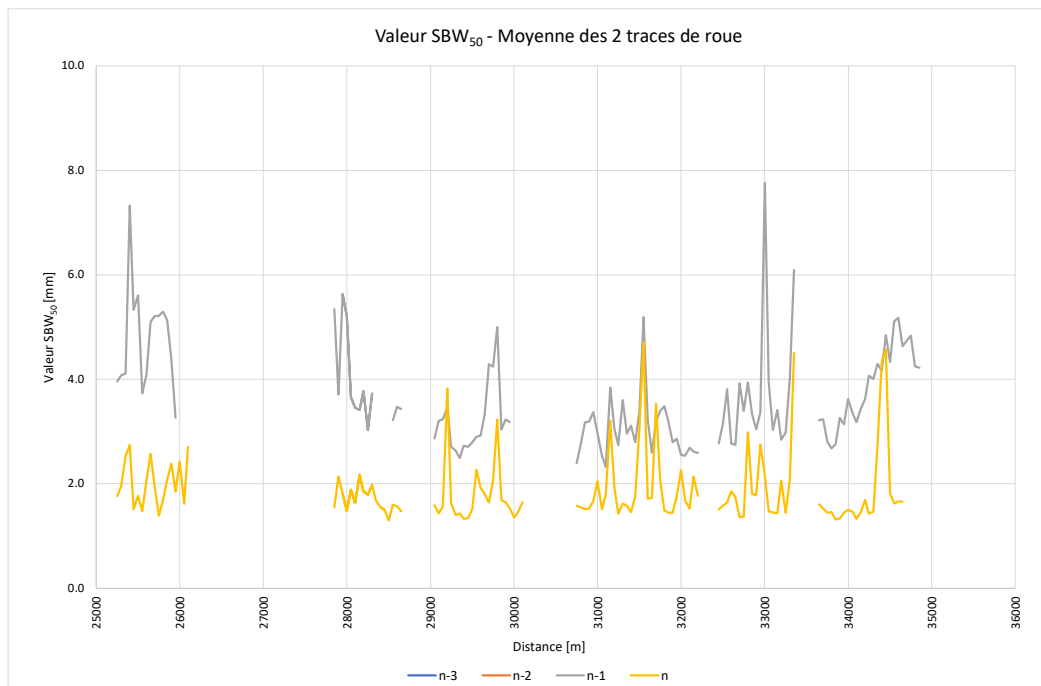
**Fig. 131 – RC726 – Sens Négatif**



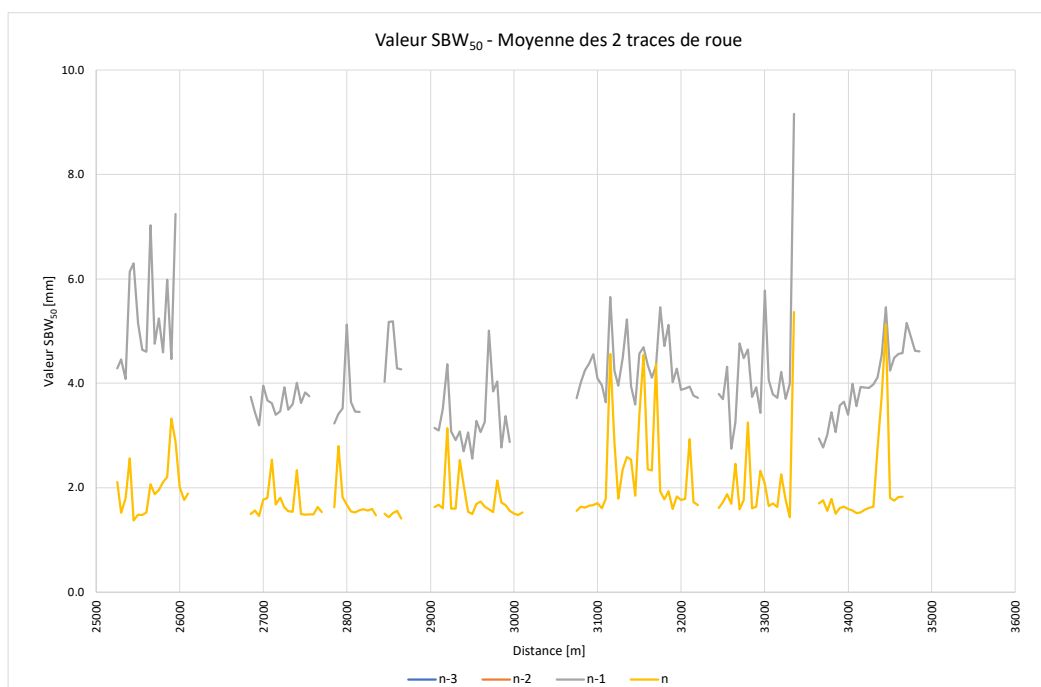
**Fig. 132 – RC251 – Sens Positif**



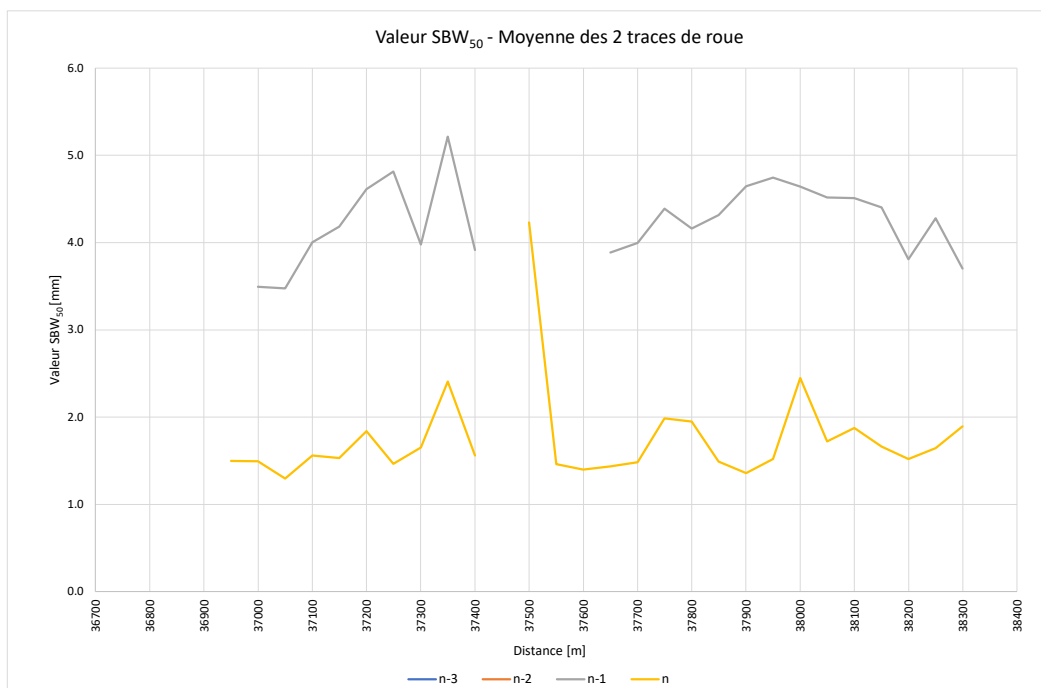
**Fig. 133 – RC251 – Sens Négatif**



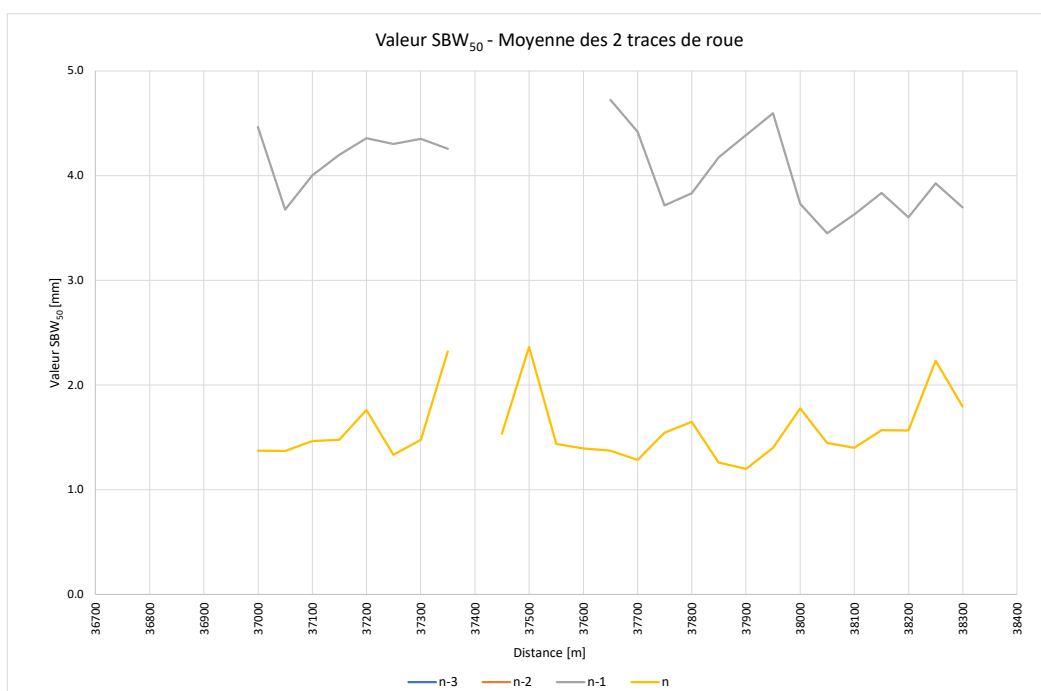
**Fig. 134 – N1 – Sens Positif – Voie Normale**



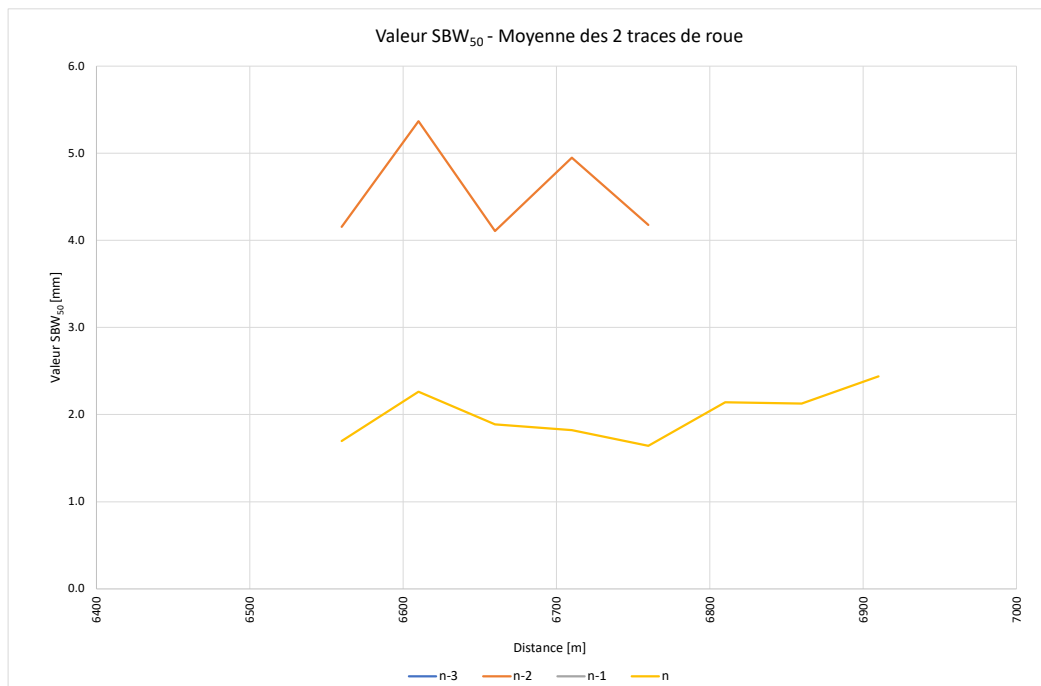
**Fig. 135 – N1 – Sens Positif – Voie Rapide**



**Fig. 136 – N1 – Sens Négatif – Voie Normale**



**Fig. 137 – N1 – Sens Négatif – Voie Rapide**



**Fig. 138 – H10 – Sens Positif**

### Piste Sion

Compte tenu du faible échantillon de valeurs par trace de mesure, les résultats de la piste de Sion sont présentés dans le tableau suivant :

**Tab. 4 Résultats  $SBW_{50}$  sur la piste de Sion**

| Trace de mesure | Début | Fin | $SBW_{50}$ sur couche n-2 | $SBW_{50}$ sur couche n-1 |
|-----------------|-------|-----|---------------------------|---------------------------|
| [-]             | [m]   | [m] | [mm]                      | [mm]                      |
| 1               | 50    | 100 | 4.82                      | 4.37                      |
| 1               | 100   | 150 | 4.65                      |                           |
| 2               | 1050  | 100 | 7.12                      | 4.67                      |
| 3               | 2050  | 100 | 5.97                      | 3.32                      |
| 3               | 2100  | 150 | 5.96                      |                           |
| 4               | 3050  | 100 | 3.53                      | 3.72                      |
| 4               | 3100  | 150 | 3.47                      |                           |
| 5               | 4050  | 100 | 5.04                      | 3.32                      |
| 5               | 4100  | 150 | 5.11                      |                           |
| 6               | 5050  | 100 | 6.03                      | 4.08                      |
| 6               | 5100  | 150 |                           | 3.79                      |
| 7               | 6050  | 100 | 7.42                      | 3.44                      |
| 7               | 6100  | 150 | 6.84                      |                           |
| 8               | 7050  | 100 | 6.68                      | 4.29                      |
| 8               | 7100  | 150 | 5.91                      |                           |
| 9               | 8050  | 100 | 5.72                      | 4.27                      |
| 9               | 8100  | 150 | 5.77                      |                           |
| 10              | 9050  | 100 | 6.44                      | 4.44                      |
| 10              | 9100  | 150 | 6.62                      |                           |

### III Tableaux de synthèse des valeurs d'état par tronçon et par couche testée

Les tableaux de synthèse contiennent des valeurs d'état et par tronçon et pour chacune des couches testées, après exclusion des données sur la couche n de la piste de Sion et sur la couche n-4 de la N5.

#### Remarque sur les résultats

Le gain de planéité longitudinale se traduit par une baisse des valeurs d'état et correspond donc à la différence entre la valeur sur couche n-(i-1) et celle sur la couche n-i, à l'exception des notes par bandes d'ondes : dans ce cas, une augmentation de la note traduit une amélioration de la planéité longitudinale et donc le gain calculé correspond à la différence entre la note sur la couche n-i et celle de la couche n-(i-1).

Les gains absolus moyens calculés pour une couche donnée ne correspondent pas strictement à la différence des valeurs moyennes calculées avant et après cette couche : en effet, le gain pour un intervalle donné est calculé uniquement si les valeurs avant et après pose sont disponibles. Pour certains intervalles (voir chapitre 4.4), on dispose de valeurs uniquement sur l'une ou l'autre couche : ces valeurs sont alors incluses dans les valeurs moyennes des couches mais pas dans les valeurs moyennes des gains.

#### Note dans tableaux de valeurs

<sup>(1)</sup> Valeur  $s_w$  moyenne avant rabotage partiel de la couche n-2

<sup>(2)</sup> Valeur  $s_w$  moyenne avant rabotage de la couche n-2 sur toute sa longueur

<sup>(3)</sup> Gain de la couche n-1 en excluant les zones rabotées de la couche n-2

<sup>(4)</sup> Gain de la couche n-1 non calculé car mesures sur n-2 effectuées après rabotage de la couche n-2 sur toute sa longueur.

**Tab. 5** Valeur d'état  $s_{w50}$

| Type de résultats   | Valeur d'état $s_{w50}$ (‰) sur couche : |      |                     |      | Gain absolu (‰) de valeur $s_{w50}$ pour la couche : |      |                     | Gain relatifs (%) de valeur $s_{w50}$ pour la couche : |                |                   |
|---------------------|------------------------------------------|------|---------------------|------|------------------------------------------------------|------|---------------------|--------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
|                     | n-3                                      | n-2  | n-1                 | n    | n-2                                                  | n-1  | n                   | n-2                                                    | n-1            | n                 |
| Moyenne totale      | 3.08                                     | 2.29 | 1.86                | 0.98 | 0.97                                                 | 0.56 | 0.94                | 27                                                     | 20             | 47                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                                   |      | 2.16                | 1.13 |                                                      |      | 1.11                |                                                        |                | 52                |
|                     | RC2500                                   |      | 2.94                | 1.31 |                                                      |      | 1.72                |                                                        |                | 57                |
|                     | RC1400                                   |      | 3.23                | 1.24 |                                                      |      | 2.01                |                                                        |                | 61                |
|                     | RC1500                                   |      | 2.82                | 1.08 |                                                      |      | 1.74                |                                                        |                | 62                |
|                     | RC177-T3                                 | 2.77 | 1.84 <sup>(1)</sup> | 1.00 | 0.52                                                 | 0.93 | 0.61 <sup>(3)</sup> | 0.49                                                   | 31             | 35 <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                                 |      | 2.54 <sup>(2)</sup> | 0.86 | 0.55                                                 |      | <sup>(4)</sup>      | 0.42                                                   | <sup>(4)</sup> | 48                |
|                     | RC701                                    |      |                     | 1.45 | 0.80                                                 |      |                     | 0.64                                                   |                | 44                |
|                     | RC726z                                   |      |                     | 3.94 | 1.99                                                 |      |                     | 1.94                                                   |                | 48                |
|                     | RC251                                    |      | 3.31                | 1.08 | 0.61                                                 |      | 2.23                | 0.47                                                   |                | 67                |
|                     | H10                                      |      | 2.75                |      | 0.62                                                 |      |                     |                                                        |                |                   |
|                     | N1                                       |      |                     | 1.74 | 0.78                                                 |      |                     | 1.00                                                   |                | 52                |
|                     | N5                                       | 3.16 | 2.19                | 1.77 | 0.95                                                 | 0.98 | 0.42                | 0.88                                                   | 26             | 15                |
|                     | Piste Sion                               |      | 3.07                | 2.32 | 2.29                                                 |      | 0.75                | 0.03                                                   |                | 19                |

**Tab. 6** Valeur d'état  $IRI_{20}$

| Type de résultats   | Valeur d'état $IRI_{20}$ sur couche |      |                     |      | Gain absolu (‰) de valeur $IRI_{20}$ pour la couche |      |                     | Gain relatifs (%) de valeur $IRI_{20}$ pour la couche |                |                    |
|---------------------|-------------------------------------|------|---------------------|------|-----------------------------------------------------|------|---------------------|-------------------------------------------------------|----------------|--------------------|
|                     | n-3                                 | n-2  | n-1                 | n    | n-2                                                 | n-1  | n                   | n-2                                                   | n-1            | n                  |
| Moyenne totale      | 2.74                                | 2.55 | 1.82                | 0.99 | 0.78                                                | 1.17 | 0.83                | 24%                                                   | 35%            | 43%                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                              |      | 2.26                | 1.26 |                                                     |      | 1.04                |                                                       |                | 44%                |
|                     | RC2500                              |      | 3.07                | 1.63 |                                                     |      | 1.50                |                                                       |                | 45%                |
|                     | RC1400                              |      | 3.11                | 1.61 |                                                     |      | 1.51                |                                                       |                | 48%                |
|                     | RC1500                              |      | 2.75                | 1.39 |                                                     |      | 1.36                |                                                       |                | 49%                |
|                     | RC177-T3                            | 2.74 | 1.97 <sup>(1)</sup> | 1.13 | 0.70                                                | 0.78 | 0.59 <sup>(3)</sup> | 0.44                                                  | 24%            | 30% <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                            |      | 2.42 <sup>(2)</sup> | 0.84 | 0.63                                                |      | <sup>(4)</sup>      | 0.34                                                  | <sup>(4)</sup> | 39%                |
|                     | RC701                               |      |                     | 1.47 | 0.94                                                |      |                     | 0.50                                                  |                | 34%                |
|                     | RC726z                              |      |                     | 4.04 | 2.39                                                |      |                     | 1.65                                                  |                | 41%                |
|                     | RC251                               |      | 3.37                | 1.06 | 0.66                                                |      | 2.32                | 0.40                                                  |                | 64%                |
|                     | H10                                 |      | 2.50                |      | 0.83                                                |      |                     |                                                       |                |                    |
|                     | N1                                  |      |                     | 1.54 | 0.79                                                |      |                     | 0.76                                                  |                | 46%                |
|                     | Piste Sion                          |      | 3.06                | 2.14 |                                                     |      | 0.94                |                                                       | 23%            |                    |

**Tab. 7 Valeur d'état NPO**

| Type de résultats   | Valeur d'état NPO sur couche |     |                    |      | Gain absolu (‰) de valeur NPO pour la couche |     |                    |
|---------------------|------------------------------|-----|--------------------|------|----------------------------------------------|-----|--------------------|
|                     | n-3                          | n-2 | n-1                | n    | n-2                                          | n-1 | n                  |
| Moyenne totale      | 5.6                          | 6.3 | 7.4                | 11.3 | 2.3                                          | 2.7 | 3.8                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                       |     | 6.0                | 10.0 |                                              |     | 4.2                |
|                     | RC2500                       |     | 4.9                | 9.4  |                                              |     | 4.8                |
|                     | RC1400                       |     | 4.8                | 10.0 |                                              |     | 5.1                |
|                     | RC1500                       |     | 5.7                | 10.6 |                                              |     | 4.9                |
|                     | RC177-T3                     | 5.6 | 7.9 <sup>(1)</sup> | 10.3 | 13.7                                         | 2.3 | 2.2 <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                     |     | 6.2 <sup>(2)</sup> | 10.9 | 13.4                                         |     | (4)                |
|                     | RC701                        |     | 7.9                | 10.7 |                                              |     | 2.7                |
|                     | RC726z                       |     | 4.7                | 8.5  |                                              |     | 3.8                |
|                     | RC251                        |     | 4.9                | 9.9  | 12.5                                         |     | 5.0                |
|                     | H10                          |     | 5.9                |      | 12.9                                         |     |                    |
|                     | N1                           |     | 7.6                | 11.5 |                                              |     | 3.8                |
|                     | Piste Sion                   |     | 4.7                | 6.3  |                                              | 1.7 |                    |

**Tab. 8 Valeur d'état NMO**

| Type de résultats   | Valeur d'état NMO sur couche |     |                    |      | Gain absolu (‰) de valeur NMO pour la couche |     |                    |
|---------------------|------------------------------|-----|--------------------|------|----------------------------------------------|-----|--------------------|
|                     | n-3                          | n-2 | n-1                | n    | n-2                                          | n-1 | n                  |
| Moyenne totale      | 6.2                          | 6.6 | 8.7                | 11.1 | 0.9                                          | 3.2 | 2.5                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                       |     | 7.5                | 10.1 |                                              |     | 2.7                |
|                     | RC2500                       |     | 5.9                | 9.1  |                                              |     | 3.1                |
|                     | RC1400                       |     | 5.2                | 8.2  |                                              |     | 3.0                |
|                     | RC1500                       |     | 5.6                | 9.3  |                                              |     | 3.7                |
|                     | RC177-T3                     | 6.2 | 7.1 <sup>(1)</sup> | 10.1 | 12.8                                         | 0.9 | 1.9 <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                     |     | 6.5 <sup>(2)</sup> | 10.8 | 12.7                                         |     | (4)                |
|                     | RC701                        |     | 8.7                | 11.3 |                                              |     | 2.6                |
|                     | RC726z                       |     | 3.8                | 5.8  |                                              |     | 2.0                |
|                     | RC251                        |     | 4.7                | 9.4  | 12.2                                         |     | 4.7                |
|                     | H10                          |     | 7.3                |      | 10.7                                         |     |                    |
|                     | N1                           |     | 9.3                | 11.4 |                                              |     | 2.2                |

**Tab. 9 Valeur d'état NGO**

| Type de résultats   | Valeur d'état NGO sur couche |     |                    |      | Gain absolu (‰) de valeur NGO pour la couche |     |                    |
|---------------------|------------------------------|-----|--------------------|------|----------------------------------------------|-----|--------------------|
|                     | n-3                          | n-2 | n-1                | n    | n-2                                          | n-1 | n                  |
| Moyenne totale      | 6.8                          | 7.7 | 9.8                | 10.0 | 0.9                                          | 0.5 | 0.4                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                       |     |                    |      |                                              |     |                    |
|                     | RC2500                       |     | 4.7                | 5.4  |                                              |     | 0.7                |
|                     | RC1400                       |     | 5.6                | 6.5  |                                              |     | 0.8                |
|                     | RC1500                       |     | 5.0                | 5.5  |                                              |     | 0.5                |
|                     | RC177-T3                     | 6.8 | 7.7 <sup>(1)</sup> | 8.3  | 9.0                                          | 0.9 | 0.0 <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                     |     | 7.9 <sup>(2)</sup> | 10.0 | 9.9                                          |     | (4)                |
|                     | RC701                        |     | 7.9                | 8.4  |                                              |     | 0.5                |
|                     | RC726z                       |     | 4.5                | 5.0  |                                              |     | 0.6                |
|                     | RC251                        |     | 7.5                | 8.9  | 8.9                                          | 1.4 | 0.0                |
|                     | N1                           |     | 11.3               | 11.4 |                                              |     | 0.3                |

**Tab. 10 Valeur d'état DBW<sub>50</sub>**

| Type de résultats   | Valeur d'état DBW <sub>50</sub> sur couche |      |                     |      | Gain absolu (‰) de valeur DBW <sub>50</sub> pour la couche |      |                    | Gain relatifs (%) de valeur DBW <sub>50</sub> pour la couche |     |                    |
|---------------------|--------------------------------------------|------|---------------------|------|------------------------------------------------------------|------|--------------------|--------------------------------------------------------------|-----|--------------------|
|                     | n-3                                        | n-2  | n-1                 | n    | n-2                                                        | n-1  | n                  | n-2                                                          | n-1 | n                  |
| Moyenne totale      | 35.7                                       | 30.7 | 31.3                | 14.7 | 13.2                                                       | 15.9 | 16.2               | 34%                                                          | 44% | 47%                |
| Moyenne par tronçon | RC2220                                     |      | 71.7                | 27.3 |                                                            |      | 44.6               |                                                              |     | 47%                |
|                     | RC2500                                     |      | 58.2                | 26.0 |                                                            |      | 27.3               |                                                              |     | 47%                |
|                     | RC1400                                     |      | 56.4                | 32.5 |                                                            |      | 23.9               |                                                              |     | 47%                |
|                     | RC1500                                     |      | 43.6                | 20.2 |                                                            |      | 23.5               |                                                              |     | 48%                |
|                     | RC177-T3                                   | 35.7 | 22.5 <sup>(1)</sup> | 13.7 | 10.9                                                       | 13.2 | 5.8 <sup>(3)</sup> | 2.7                                                          | 34% | 29% <sup>(3)</sup> |
|                     | RC177-T4                                   |      | 33.6 <sup>(2)</sup> | 10.1 | 9.8                                                        |      | (4)                | 3.7                                                          | (4) | 34%                |
|                     | RC701                                      |      | 25.9                | 12.9 |                                                            |      | 13.2               |                                                              |     | 49%                |
|                     | RC726z                                     |      | 44.7                | 30.4 |                                                            |      | 15.2               |                                                              |     | 33%                |
|                     | RC251                                      |      | 42.8                | 13.0 | 9.0                                                        |      | 30.2               | 3.9                                                          | 70% | 31%                |
|                     | H10                                        |      | 30.4                |      | 10.0                                                       |      |                    |                                                              |     |                    |
|                     | N1                                         |      | 26.9                | 10.9 |                                                            |      | 16.0               |                                                              |     | 55%                |
|                     | Piste Sion                                 |      | 37.6                | 25.6 |                                                            | 13.2 |                    |                                                              | 30% |                    |

**Tab. 11 Valeur d'état SBW<sub>50</sub>**

| Type de résultats   | Valeur d'état SBW <sub>50</sub> sur couche |      |                     |       | Gain absolu (‰) de valeur SBW <sub>50</sub> pour la couche |      |                     | Gain relatifs (%) de valeur SBW <sub>50</sub> pour la couche |     |                    |     |
|---------------------|--------------------------------------------|------|---------------------|-------|------------------------------------------------------------|------|---------------------|--------------------------------------------------------------|-----|--------------------|-----|
|                     | n-3                                        | n-2  | n-1                 | n     | n-2                                                        | n-1  | n                   | n-2                                                          | n-1 | n                  |     |
| Moyenne totale      | 5.72                                       | 5.23 | 4.79                | 2.89  | 1.33                                                       | 2.27 | 1.85                | 21%                                                          | 40% | 35%                |     |
| Moyenne par tronçon | RC2220                                     |      |                     | 12.03 | 5.81                                                       |      |                     | 6.60                                                         |     |                    | 28% |
|                     | RC2500                                     |      |                     | 9.28  | 5.84                                                       |      |                     | 2.46                                                         |     |                    | 24% |
|                     | RC1400                                     |      |                     | 7.87  | 5.44                                                       |      |                     | 2.43                                                         |     |                    | 32% |
|                     | RC1500                                     |      |                     | 6.56  | 4.46                                                       |      |                     | 2.11                                                         |     |                    | 30% |
|                     | RC177-T3                                   | 5.72 | 4.36 <sup>(1)</sup> | 2.95  | 2.64                                                       | 1.33 | 0.94 <sup>(3)</sup> | 0.28                                                         | 21% | 25% <sup>(3)</sup> | 8%  |
|                     | RC177-T4                                   |      | 5.68 <sup>(2)</sup> | 2.01  | 2.30                                                       | (4)  |                     | 0.57                                                         | (4) |                    | 24% |
|                     | RC701                                      |      |                     | 3.61  | 2.49                                                       |      |                     | 1.14                                                         |     |                    | 31% |
|                     | RC726z                                     |      |                     | 7.95  | 6.62                                                       |      |                     | 1.65                                                         |     |                    | 21% |
|                     | RC251                                      |      | 6.46                | 2.39  | 1.91                                                       |      | 4.17                | 0.48                                                         |     | 65%                | 21% |
|                     | H10                                        |      | 4.55                |       | 2.00                                                       |      |                     |                                                              |     |                    |     |
|                     | N1                                         |      |                     | 3.84  | 1.86                                                       |      |                     | 1.94                                                         |     |                    | 48% |
|                     | Piste Sion                                 |      | 5.73                | 3.97  |                                                            |      | 1.88                |                                                              |     | 29%                |     |

## Glossaire

| Terme | Signification                                      |
|-------|----------------------------------------------------|
| ARAN  | Automatic Road Analyser                            |
| LCMS  | Laser Crack Measurement System                     |
| SDP   | South Dakota Profilometer                          |
| HRM   | High speed Road Monitor                            |
| IRI   | International Roughness Index                      |
| NBO   | Notes par Bandes d'Ondes                           |
| PO    | Petites Ondes                                      |
| MO    | Moyennes Ondes                                     |
| GO    | Grandes Ondes                                      |
| BLP   | Bewertes Längsprofil (Profil longitudinal pondéré) |
| SBW   | Ecart-type du BLP                                  |
| DBW   | Amplitude maximale du BLP                          |



## Bibliographie

### Normes

- [1] Ancienne norme Suisse SN 640 520a – Planéité – Contrôle de la géométrie – 1977
- [2] Norme suisse VSS 40 510 – Caractéristiques de surface des chaussées – Norme de base - 2017
- [3] Norme suisse VSS 40 517 - Caractéristiques de surface des chaussées – Planéité longitudinale - 2017
- [4] Norme française NF P98-218-3 – Essais relatifs aux chaussées – Essais liés à l'uni – Partie 3 : Détermination de quantificateurs d'uni longitudinal à partir de relevés profilométriques - 1995
- [5] EN 13036-5 - Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 5 : Determination of longitudinal unevenness indices - 2017
- [6] Norme suisse VSS 40 525 - Caractéristiques de surface des chaussées – Exigences - 2017
- [7] Ancienne norme Suisse SN 640 521c – Planéité – Exigences de qualité – 2002
- [8] Norme suisse VSS 40 925b – Gestion de l'entretien des chaussées – Relevé d'état et appréciation en valeur d'indice - 2003
- [9] ISO 8608 : 2016 – Mechanical Vibration-Road Surface Profiles – Reporting of measured Data - 2016
- [10] ISO 9000 :2015 – Système de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire - 2015
- [11] ISO/CEI 17025 : 2017 - Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais - 2017

### Documentation

- [12] Jacot, Braber, von Loeben - Rapport de recherche VSS 2004/703 – Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées - 2012
- [13] Perret, Rossel, Ould-Henia, Delaby, Braber, Gautier, Frey - Rapport de recherche VSS 2016/322 – Planéité longitudinale : exigences et indices d'état à partir des méthodes d'exploitation européennes - 2020
- [14] Sayers, Karamihas – Little book of profiling – Basic information about measuring and interpreting road profiles - 1998
- [15] Sayers, Gillespie, Paterson – World bank technical paper 46 – Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements - 1986
- [16] LCPC – Méthode d'essai des lpc n°46 Version 2.0 - Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques - 2009
- [17] Andreas Ueckermann, Das Bewertete Längsprofil, Strasse und Autobahn 1, Seite 18 – 2005
- [18] Günther Maerschalk, Andreas Ueckermann und Slawomir Heller - Längsebenenheitsauswerteverfahren Bewertetes Längsprofil, Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung — Bast, Strassenbau Heft S73 – 2011
- [19] CEREMA / IDRRIM – uni longitudinal – Etat de l'art et des recommandations - 2014
- [20] Ministère de l'Equipement, des Transports et du logement – Contrôle de l'uni longitudinal des couches de roulement neuves – Circulaire N°2000-36 du 22 mai 2000
- [21] République et canton du Jura – Cahier des charges pour travaux de revêtements en béton bitumineux - 2012
- [23] David L. Huft, South Dakota Profilometer, Transportation Research Record N° 1000 - 1984
- [24] Guide pour la surveillance d'un organisme accrédité, document 709f, SAS
- [25] LCPC – L'emploi des finisseurs pour le répandage des matériaux de couches de chaussées – Guide technique - 2002



## Clôture du projet



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

### FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

#### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 7.7.21 / 22.7.21

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2016/325  
Projekttitel: Mesures de réception : influence de l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre sur la planéité longitudinale  
Enddatum: 31.7.2021

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Schweizer Norm VSS 40 525 definiert die Akzeptanzwerte für die Längsebenheit der Deckschicht (n). Die Längsebenheit der darunter liegenden Schichten (n-1; n-2 und n-3) wird in der Regel nicht überprüft. Mit der Überprüfung der Längsebenheit der unteren Schichten würde ermöglicht, Probleme mit der Ebenheit der Deckschicht vorzubeugen und Streitigkeiten zwischen dem Auftragnehmer und dem Auftraggeber zum Zeitpunkt des Baus zu vermeiden.

In der Vorliegenden Studie wurde auf mehreren Abschnitten die Entwicklung der Längsebenheit im Strassenoberbau mittels Messungen der Längsebenheit nach Einbau der einzelnen Asphaltsschichten untersucht. In den Analysen wurden die Längsebenheitswerte der VSS 40 517, d. h. sw, IRI, NBO und BLP, näher untersucht. Die folgenden Schlussfolgerungen können aus dem Projekt gezogen werden:

- Die für die Schicht n beobachteten Längsebenheitsgewinne sind aufgrund der Homogenität der erzielten Ergebnisse und der Menge der verfügbaren Daten (11 Abschnitte, 64,5 km) robust. Eine Analyse dieser Gewinne mit Hilfe der Perzentil-Methode ermöglicht es, das Risiko der Nichteinhaltung von Anforderungen auf der Verschleisssschicht n in Abhängigkeit von den auf der Verschleisssschicht n-1 erhaltenen Werten zu ermitteln.

- Ausgehend von einem Risiko von 10 % werden Zielwerte für die n-1-Schicht vorgeschlagen, diese könnten zusätzlich zu den bestehenden Anforderungswerten in VSS 40 525 für die Deckschicht eingeführt werden könnten.

- In Anbetracht der Streuungen und der geringen Datenmenge, die zur Auswertung der unteren Schichten zur Verfügung steht, konnten zum jetzigen Zeitpunkt keine Zielwerte für die Schichten n-2- und n-3 ermittelt werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

**Zielerreichung:**

Das ursprüngliches Ziel dieses Forschungsauftrags war es, Korrelationen zwischen der Dicke der verlegten Schichten und der Verbesserung der Längsebenheitswerte herzustellen. Die Analysen zeigten jedoch keinen Zusammenhang zwischen den Längsebenheitsgewinnen und der Dicke der eingebauten Schicht.

Die Forschung konzentrierte sich dann auf die Art der eingebauten Schicht und nicht auf die Dicke der Schicht (Kapitel 5.3). Es wurden die relativen Längsebenheitsgewinne (Werte sw, IRI und BLP) pro eingebaute Schicht bestimmt, um so mögliche Anforderungswerte an die Längsebenheiten der unterliegenden Schichten zu eruieren.

**Folgerungen und Empfehlungen:**

- Es werden Anforderungswerte für die Längsebeneheit der Schicht (n-1) vorgeschlagen. Es wird empfohlen diese zusätzlich zu den bestehenden Anforderungswerten für die Deckschicht in der VSS 40 525 aufzunehmen. Dies würde es erlauben Probleme mit der Ebenheit der Deckschicht vorzubeugen und Streitigkeiten zwischen dem Auftragnehmer und dem Auftraggeber zum Zeitpunkt des Baus zu vermeiden.

**Publikationen:**

Neben dem Forschungsbericht ist vorgesehen, die Forschungsergebnisse in einem Beitrag in der Zeitschrift "Strasse und Verkehr" zu publizieren.

**Der Projektleiter/die Projektleiterin:**

Name: Braber

Vorname: Robert

Amt, Firma, Institut: Leiter der Abteilung Zustandserfassung, Infralab SA

**Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Die Ziele des Forschungsprojekts wurden erreicht. Dank der erstellten Risikoabschätzung können die Bauherrin und der Auftragnehmer, das Risiko der Nichteinhaltung der Längsebenenheitsanforderungen der Deckschicht basierend auf Längsebenenheitsmessungen der darunterliegenden Schicht n-1 zuverlässig ermitteln um darauf basierend gezielt Massnahmen zu treffen.

##### Umsetzung:

Es ist zu prüfen, ob in der VSS 40 525 zusätzlich zu den Längsebenenheitsanforderung der Deckschicht auch Zielwerte für die darunterliegende Schicht (n-1) aufgenommen werden sollen, damit das Risiko für Nichteinhaltung bei der Deckschicht weiter reduziert werden kann.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

Weiterer Forschungsbedarf besteht zu möglichen Zielwerten für die unteren Schichten n-2 und n-3, sowie zu allfälligen Zusammenhängen zwischen Längsebenenheitsgewinnen und der Dicke/Art der eingebauten Schicht oder der verwendeten Fräs- bzw. Einbautechnik.

##### Einfluss auf Normenwerk:

Eine Überarbeitung / Ergänzung der VSS 40 525 ist zu prüfen.

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Bühlmann

Vorname: Erik

Amt, Firma, Institut: Leiter Forschung & Entwicklung, Grolimund + Partner AG; Präsident der NFK 3.5

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: