

ANNEXE

au rapport à l'appui d'un projet de décret portant octroi d'un crédit de 16.800.000 francs pour l'entretien constructif des routes cantonales

PLANIFICATION DE L'ENTRETIEN DU RESEAU ROUTIER CANTONAL RAPPORT 2013



Contenu

Bibliographie et références	3
1. Généralités	4
a. Assurer la viabilité et la pérennité du réseau routier cantonal.....	4
b. Garantir et améliorer la sécurité	4
c. Maintenir et améliorer le confort des usagers, et des riverains	4
d. Minimiser les coûts et maximiser la durée de vie des chaussées	5
2. Le système de gestion de l'entretien routier	6
a. Définition et structure	6
b. Stratégie d'entretien pour les chaussées	6
c. Modèles de stratégie d'entretien.....	6
d. Objectifs d'un système de gestion (SGE) et activités du gestionnaire	8
e. Démarche d'utilisation d'un système de gestion	8
3. Stratégie d'entretien appliquée au réseau des routes cantonales neuchâteloises	9
a. Les données	9
b. Le logiciel Via-PMS : principes d'optimisation.....	13
c. Les résultats.....	13
4. Définition du réseau des routes cantonales	14
a. Réseau des routes	14
b. Les divisions d'entretien.....	15
c. Système de repérage, signalisation, marquage	15
d. Le TJM (trafic journalier moyen)	16
e. La BDR, banque de données routières	17
5. État des chaussées 2000-2010	18
a. Relevé d'état du réseau.....	18
b. Les indices d'état	18
c. Techniques et types de mesures, périodicité.....	19
d. Représentation de l'état des chaussées.....	20
6. Optimisation technique et économique de la gestion du réseau routier cantonal 2010-2019.	26
a. Concept et optimisation technico-économique selon l'analyse Via-PMS.....	26
b. Distribution de l'état du réseau.....	27
c. Évolution de l'état global du réseau.....	29
d. Coûts et longueurs des interventions de maintenance	30
e. Retard de maintenance	33
7. Conclusions / Recommandations	35
a. Préambule	35
b. Recommandations.....	35

Bibliographie et références

1. **Normes Suisses SN 640730B**, Entretien des chaussées: norme de base, concept des mesures (1999). Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS).
2. **Normes Suisses SN 640900A**, Gestion de l'entretien: norme de base (2004). Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS).
3. **Normes Suisses SN 640925B**, Gestion de l'entretien des chaussées: relevé d'état et appréciation en valeur d'indice, mode opératoire pour le relevé visuel d'état avec le catalogue des dégradations (2003). Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS).
4. **Normes Suisses SN 640926**, Gestion de l'entretien des chaussées: relevé d'état visuel, indices individuels (2005). Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS).
5. **Rapport PMS**, Canton de Neuchâtel, Optimisation technique et économique de la gestion de l'entretien structurel (2012). VIAGROUP GMBH, 8404 Winterthur.
6. **Gestion de la maintenance des infrastructures de transport.**
École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire des voies de circulation.

1. Généralités

Missions du service des ponts et chaussées

a. Assurer la viabilité et la pérennité du réseau routier cantonal

Dans un contexte où la mobilité en général s'est considérablement accrue, où les transports publics empruntant la route ne cessent d'accroître leurs offres, le canton a naturellement la responsabilité de mettre à disposition des habitants, des voyageurs ainsi que de tous les acteurs de l'économie, les entreprises, un réseau routier bien adapté, utilisable en tout temps et pérenne.

Le réseau des routes cantonales représente une part importante et précieuse des infrastructures de l'Etat. Sa valeur globale constitue une partie considérable de son inventaire qu'il convient de préserver, d'absolument maintenir au niveau actuel, dans la mesure des moyens à disposition.

Si ces constructions ne sont pas systématiquement entretenues de manière prévoyante et durable, les générations futures se verront confrontées à des problèmes financiers insurmontables.

b. Garantir et améliorer la sécurité

La lutte contre les défauts de sécurité routière constitue une priorité. L'objectif est de faire diminuer le nombre de victimes d'accident de la circulation. La sécurité routière sensibilise chacun des acteurs, qu'il soit utilisateur, conducteur de véhicule automobile ou encore ingénieur en charge des infrastructures.

Dans ce domaine, les mesures infrastructurelles ont un important rôle à jouer. Elles permettent des aménagements et des adaptations qui peuvent grandement contribuer à l'amélioration de la sécurité routière, notamment par la suppression des zones d'accident, des points noirs. Par un examen attentif des aspects sécuritaires liés aux projets, l'ingénieur peut déterminer le potentiel d'amélioration mobilisé par une réduction de la dangerosité sur et aux abords de la route. La normalisation et les connaissances en la matière ont progressé, mais leur mise en application reste souvent liée à des considérations de priorité budgétaire.

Différents types de mesures sont possibles sur les infrastructures, comme, par exemple, l'adaptation de la géométrie, l'amélioration de la visibilité et de la lisibilité du tracé, la séparation physique des sens de circulation ou l'augmentation de l'adhérence des revêtements routiers.

c. Maintenir et améliorer le confort des usagers, et des riverains

L'impression de confort de roulement et de conduite n'est pas seulement le fait des constructeurs de véhicules automobiles, mais également celui du constructeur et du gestionnaire de la route, garants de l'état de la chaussée. Le sentiment de confort est fortement influencé par les éléments géométriques tels que sinuosité, profil en long ou profil en travers (dévers). Le confort est également influencé par la qualité des revêtements, niveau sonore bas (enrobés phono absorbants), l'absence de défauts tels qu'orniérage, nids de poule et bourrelets.

d. Minimiser les coûts et maximiser la durée de vie des chaussées

Le maintien de la valeur du patrimoine routier proche de sa valeur de remplacement avec un effort financier minimum est devenu une tâche primordiale des administrations en charge des routes. Malgré un fort accroissement de la mobilité, de l'évolution du trafic, et les avancées de la technique automobile, il est toujours plus difficile de construire de nouvelles routes en raison des contraintes d'aménagement du territoire ou de protection de l'environnement. C'est pourquoi, l'entretien courant et constructif des réseaux existants est primordial. Il doit assurer une longévité maximum des infrastructures en évitant les reconstructions totales de chaussées.

Les moyens financiers affectés à l'entretien courant devraient se situer dans le budget de fonctionnement. En principe, un budget de fonctionnement doit être utilisé pour couvrir les frais annuels courants. Ces frais devraient correspondre à des opérations régulières de remise en état des couches superficielles des routes, ce qui représenterait une politique de maintenance préventive bien menée, et non pas à un entretien fait de mesures d'urgence.

Lorsque cet entretien préventif n'est pas mené scrupuleusement, les couches servant de protection de surface ne jouent plus le rôle pour lequel elles sont prévues. Cet état de fait génère l'apparition de dégradations plus profondes, structurelles, qui nécessitent alors des interventions plus lourdes et plus onéreuses.

Aujourd'hui, les interventions nécessaires à restaurer la valeur et la durabilité initiale du réseau routier cantonal sont sorties du strict cadre des opérations d'entretien courant pour rejoindre celui des travaux d'investissements, de reconstitution de la valeur du patrimoine. En effet, le fait de devoir assainir certaines chaussées en profondeur, voire en reconstruire totalement qui sont arrivées au terme de leur durée de vie, revient effectivement à reconstituer un bien durable, définition même d'un investissement.

Le canton de Neuchâtel possède environ 450 km de routes cantonales. La valeur de remplacement de ces routes est estimée à 1,5 milliard de francs. La législation et les normes en vigueur imposent aux propriétaires d'ouvrages d'effectuer les travaux d'entretien et de réparation nécessaires au maintien de leur aptitude au service, garante de la sécurité des usagers. Et le canton de Neuchâtel, en tant que propriétaire de routes et d'ouvrages accessibles au public, porte l'entière responsabilité d'assurer la sécurité des usagers des ses routes.

Par le retard accumulé dans l'entretien de ce patrimoine, la sécurité de certaines routes est devenue précaire. Leur coût de rénovation va augmenter au fil des reports d'entretien. Cela aura pour conséquence de léguer aux générations futures des dépenses qu'elles ne pourront vraisemblablement pas assumer tant l'ampleur en sera devenue grande. A terme, sans intervention notable, des limitations de charges pourraient être introduites, des fermetures pures et simples d'axes routiers rendues nécessaires par le déficit de sécurité par rapport aux normes en vigueur.

Compte tenu des moyens limités à disposition, il est nécessaire de gérer les finances attribuées aux routes avec parcimonie et de déterminer soigneusement le type d'intervention dont chaque route a besoin, ainsi que de prioriser ces interventions dans le temps.

2. Le système de gestion de l'entretien routier

a. Définition et structure

Un système d'aide à la gestion de l'entretien routier sert à définir un processus systématique d'entretien, de mise à niveau et d'exploitation du patrimoine routier, en combinant des principes techniques avec des pratiques de gestion et des théories économiques, fournissant ainsi aux gestionnaires les indispensables outils d'aide à la décision.

Couramment appelé SGE, il est composé de :

- bases de données comprenant toutes les informations sur les objets du réseau routier.
- système de suivi et d'optimisation permettant d'évaluer l'état du réseau et de planifier les interventions d'entretien.

La décision finale quant aux priorités d'intervention (stratégie d'entretien) reste toujours au gestionnaire. Le SGE n'est qu'un moyen permettant d'apporter certains éléments indispensables à l'atteinte de l'objectif essentiel : une gestion durable et économiquement supportable de l'entretien du réseau routier concerné. En sus des résultats fournis par le SGE, le gestionnaire apporte une vision globale du réseau, tenant par exemple compte du regroupement de tronçons ou de mise en œuvre de techniques d'entretien novatrices particulièrement bien adaptées à une situation très précise.

b. Stratégie d'entretien pour les chaussées

La stratégie d'entretien recouvre l'organisation dans le temps, ainsi que le choix et l'étendue des interventions d'entretien. Elle représente une succession de mesures réparties à différents moments, sur une longue période.

c. Modèles de stratégie d'entretien

Les courbes représentées ci-dessous ne sont qu'indicatives, schématiques. La forme des courbes résulte des relevés d'état. Ce point est développé ci-après.

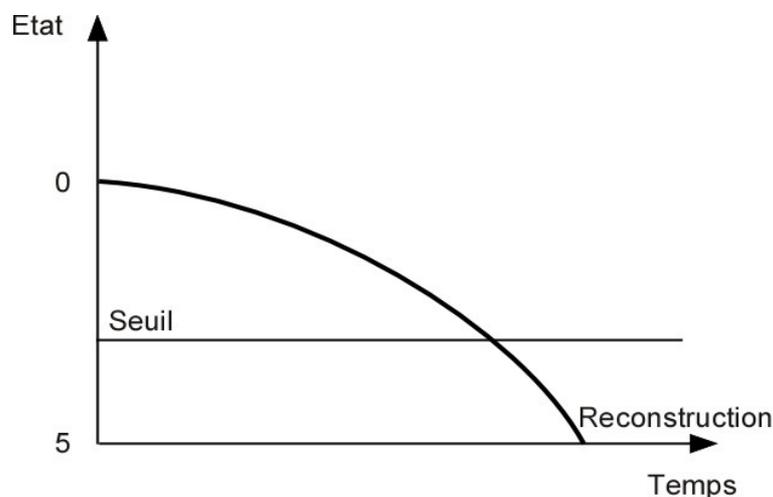


Figure 1 : Sans entretien

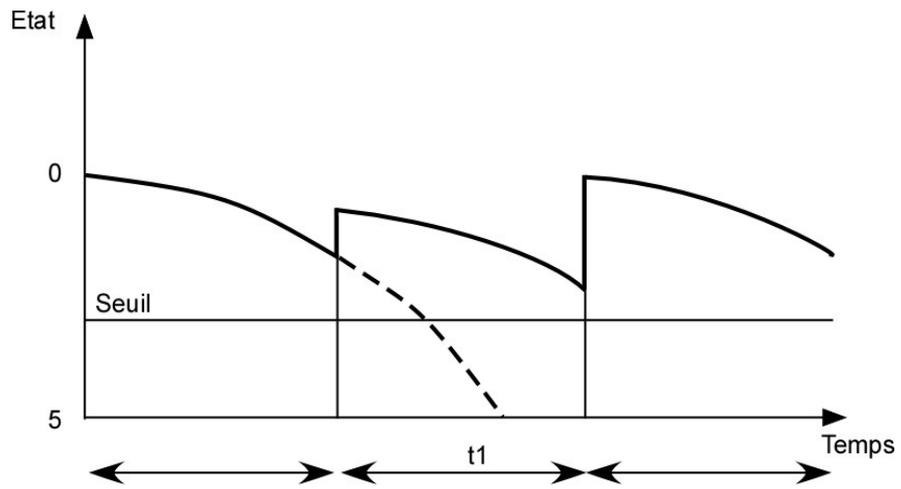


Figure 2 : Entretien à intervalles fixes t_1

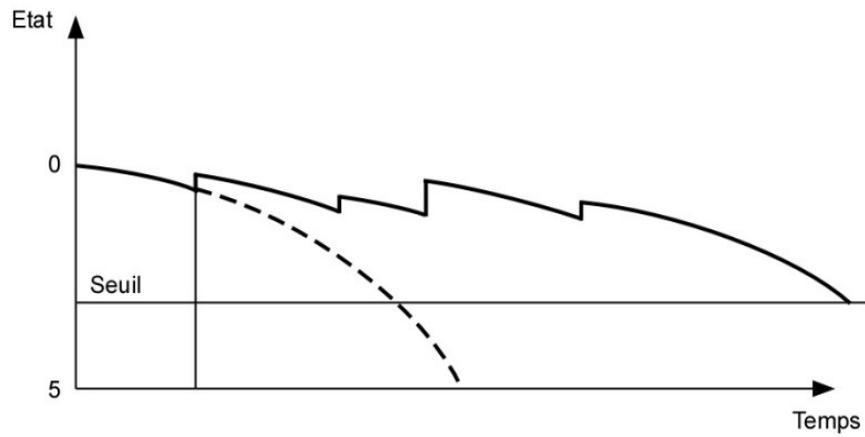


Figure 3 : Entretien par mesures immédiates visant à garder au plus haut niveau l'état de la chaussée

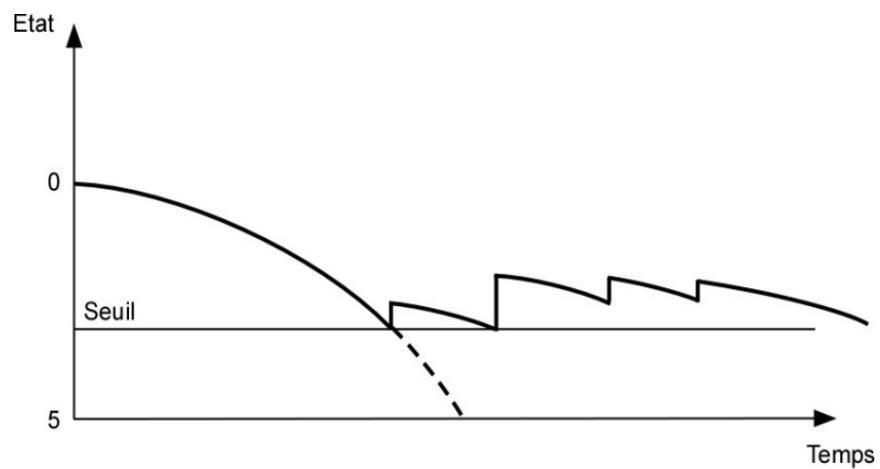


Figure 4 : Entretien par mesures coordonnées visant à stabiliser l'état de la chaussée en-dessus d'un seuil prédéfini

d. Objectifs d'un système de gestion (SGE) et activités du gestionnaire

Le SGE permet au gestionnaire du réseau routier de déterminer l'état du réseau et de programmer des activités de maintenance efficaces et efficientes en se référant à des critères tels que :

- La viabilité
- La capacité
- La sécurité du trafic
- La satisfaction de l'utilisateur
- La conservation
- Les coûts
- L'environnement

Le gestionnaire doit pouvoir répondre aux questions suivantes :

<u>Où</u> doit-on intervenir	Le système d'information géo référencé permet la localisation précise des tronçons d'entretien.
<u>Quand</u> doit-on intervenir	La planification de ressources, tant financières que celles relatives au personnel, requiert l'établissement d'un calendrier des interventions nécessaires qui soit en adéquation avec l'évolution de l'état du réseau.
<u>Que</u> doit-on faire	Les techniques requises doivent être choisies afin de corriger les dégradations constatées.
<u>Combien</u> cela coûte-t-il	Les aspects financiers sont prépondérants. Bien souvent les budgets restreints des collectivités publiques obligent le gestionnaire à choisir les travaux d'entretien qui permettent d'atteindre le niveau de qualité le plus haut possible, niveau qui reste malgré tout inférieur à celui qui serait nécessaire. Cette manière de faire conduit irrémédiablement à une perte de valeur du patrimoine et à l'augmentation des coûts de remise en état ultérieure.

e. Démarche d'utilisation d'un système de gestion

La démarche d'utilisation du système de gestion comprend cinq phases :

1. Le diagnostic L'état actuel et futur du réseau routier doit être connu. Cette phase s'appuie sur la définition des objets d'entretien, sur l'ensemble des données d'état et sur la prévision modélisée de l'évolution des dégradations.
2. La planification Cette phase prévoit la classification des objets d'entretien par degré d'urgence, après une analyse fonctionnelle et une définition du système d'objectifs.
3. La stratégie Les variantes de stratégie de maintenance sont mises en place en fonction des contraintes et des objectifs fixés.
4. L'optimisation L'aide à la décision est fournie au travers d'une analyse multicritère.
5. La réalisation Cette dernière phase consiste en la préparation des programmes des travaux, ainsi qu'en la planification financière.

3. Stratégie d'entretien appliquée au réseau des routes cantonales neuchâtelaises

L'application pratique de l'analyse sur le cycle de vie est menée en utilisant le logiciel d'optimisation commercial de gestion de chaussées Via-PMS. Une première modélisation a été menée en 2010, dont l'objectif principal était de fournir une base pour la définition d'un programme de maintenance de l'infrastructure routière du canton de Neuchâtel. La méthodologie pour la définition des traitements de maintenance recommandés était basée sur l'analyse du cycle de vie des chaussées, où la comparaison de différents types de traitement de maintenance possibles a été utilisée pour trouver une solution optimale.

a. Les données

Pour qu'une optimisation puisse être lancée, Via-PMS requiert que le réseau à analyser soit subdivisé en tronçons homogènes bien définis et que les informations suivantes soient disponibles :

Road	From	To	ElementID	Length_Of	Age	RC_ABONNEMENT	SITUATION	TJM	TRAV_WAY	YR_LSTWK	ZONE_ANALYSE _BRUIT
NE:1002	734	1523	NE DIV011002S01 30	789	18	0	1	5068	7	1992	0
NE:1002	1523	2170	NE DIV011002S01 40	647	43	0	1	2580	7	1967	1
NE:1002	2170	2432	NE DIV011002S01 50	262	1	0	1	2605	7	2009	0
NE:1002	2432	2830	NE DIV011002S01 60	398	1	0	0	2605	7	2009	0
NE:1002	2830	3100	NE DIV011002S01 70	270	6	0	0	3073	7	2004	0
NE:1003	0	700	NE DIV011003S01 2	700	-1	1	1	12889	7	-1	1
NE:1003	700	1418	NE DIV011003S01 4	718	-1	1	1	10266	7	-1	1
NE:1003	1418	2118	NE DIV011003S01 6	700	-1	1	1	8012	7	-1	1
NE:1003	2118	2948	NE DIV011003S01 8	830	-1	1	1	8816	7	-1	1
NE:1003	2948	3774	NE DIV011003S01 10	826	8	1	1	6096	7	2002	1
NE:1003	3774	4568	NE DIV011003S02 10	794	25	0	0	3706	7	1985	0
NE:1003	4568	5349	NE DIV011003S02 20	781	25	0	0	3706	7	1985	0
NE:1003	5349	6126	NE DIV011003S02 30	777	25	0	1	6024	7	1985	1

Road	Nom de la route
From	de (en m. depuis l'origine)
To	à (en m. depuis l'origine)
ElementID	Nom de l'objet (avec propriétaire, division, route, segment et numéro du segment/objet)
Length_Of	Longueur de l'objet
Age	Age du revêtement (2010-18= 1992)
RC_ABONNEMENT	Route à l'abonnement (0=non / 1=oui)
SITUATION	En localité (0=non / 1=oui)
TJM	Valeur du trafic journalier moyen
TRAV_WAY	Largeur moyenne de l'objet PMS
YR_LSTWK	Année de réalisation des derniers travaux
ZONE_ANALYSE_BF	0=non / 1=oui

Tableau 1 : Extrait du fichier utilisé lors d'une analyse PMS et sa légende

L'état du réseau doit être déterminé et quantifié à l'aide des indices d'état.

Indices d'état	Caractéristiques d'état
I1	Dégradations de surface
I2	Planéité longitudinale
I3	Planéité transversale
I4	Qualité antidérapante
I5	Portance

Tableau 2 : Indices d'état

Pour chaque indice d'état, il est nécessaire de renseigner le système en lui indiquant des lois d'évolution afin de pouvoir estimer l'état de la chaussée à futur.

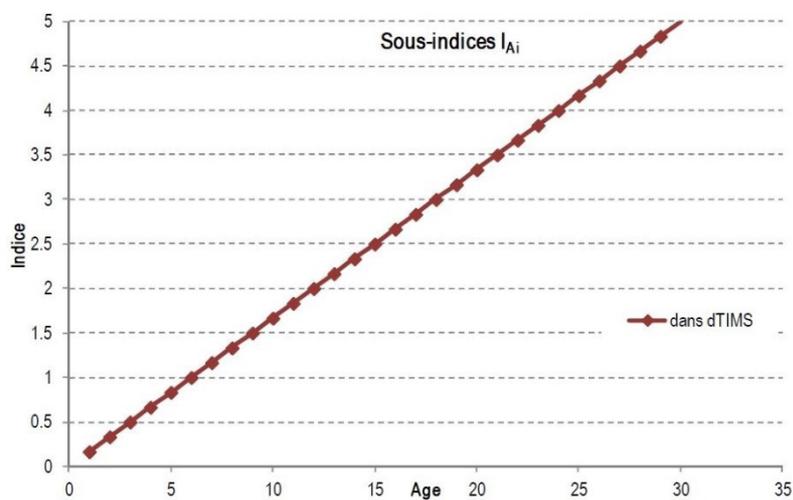


Figure 5 : Évolution des indices

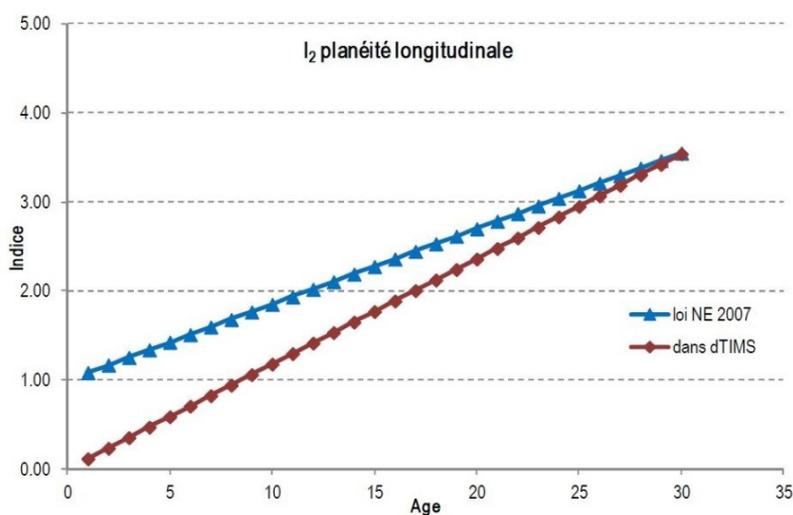


Figure 6 : Évolution de l'indice I_2 (planéité longitudinale)

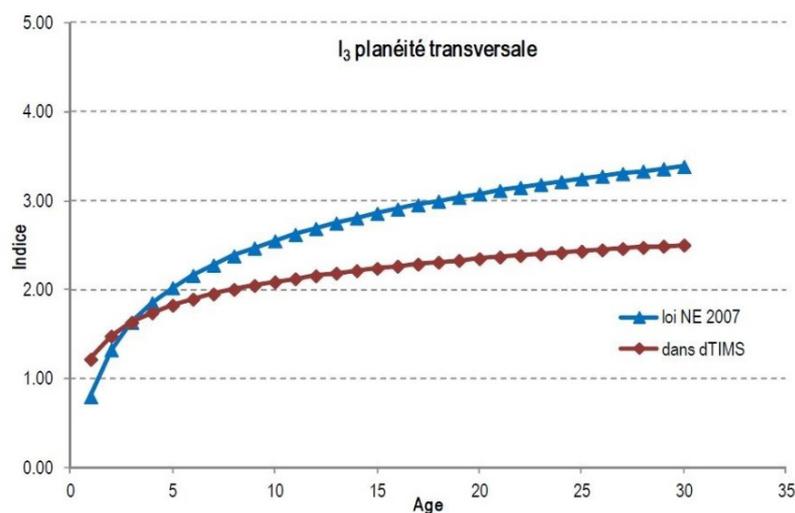


Figure 7 : Évolution de l'indice I₃ (planéité transversale)

Enfin, il est nécessaire de définir l'ensemble des mesures d'entretien avec leurs paramètres économiques et les effets qu'elles produisent sur les indices d'état.

Mesure	Description	Coût [CHF/m ²] en localité	Coût [CHF/m ²] hors localité
ES	enduit superficiel	-	12.-
ECF	enrobé coulé à froid	18.-	18.-
ACR	couche de roulement AC en surépaisseur	-	30.-
MRR	couche de roulement ACMR en surépaisseur	-	35.-
ACF	couche de roulement AC avec fraisage	40.-	35.-
MRF	couche de roulement ACMR avec fraisage	45.-	40.-
RF	Renforcement par addition nouvelle couche	-	50.-
RS	Reconstruction superstructure bitumineuse	90.-	80.-
RT	Reconstruction totale	200.-	180.-

Tableau 3 : Mesures d'entretien et coûts d'application

Chaque mesure d'entretien a son propre domaine d'application. Les valeurs limites des indicateurs doivent être déterminées. Le tableau ci-dessous fixe les domaines d'application des mesures.

Mesure	Description	I _{A1}	I _{A2}	I _{A3}	I _{A4}	I _{A5}	I ₂	I ₃	I ₅	Autres considérations
ACF	couche de roulement AC avec fraisage	>2	>2 <3.5	<3	-	-	-	-	<3	Pas dans zone analyse bruit
ACR	couche de roulement AC en surépaisseur	>2	>2 <3.5	<3	-	-	-	-	<3	Pas dans zone analyse bruit Hors localité
ECF	enrobé coulé à froid	>2	>2 <3	-	<2.5	-	<2.5	<3	<3	Pas dans zone analyse bruit
ES	enduit superficiel	>2	>2 <3	-	<2.5	-	<2.5	<2.5	<3	Hors localité Sur routes RC2000/3000
MRF	couche de roulement ACMR avec fraisage	>2	>2 <3.5	<3	-	-	-	-	<3	zone analyse bruit En localité
MRR	couche de roulement ACMR en surépaisseur	>2	>2 <3.5	<3	-	-	-	-	<3	zone analyse bruit Hors localité
RF	Renforcement par addition nouvelle couche	-	>2.5	>2.5	>2.5	-	>2.5	-	>2 <3.5	Hors localité
RS	Reconstruction superstructure bitumineuse	-	>2.5	>2.5	>2.5	-	>2.5	-	>2 <3.5	En localité
RT	Reconstruction totale	-	>2.5	>3	>3	-	>3	>3	>3.5	-

Tableau 4 : Domaines d'application des mesures (limites d'intervention)

Après l'application d'une mesure d'entretien, il est nécessaire de réinitialiser la valeur des différents indices d'état. Le tableau ci-dessous fixe les valeurs de réinitialisation prises en compte.

Mesure	Description	I _{A1}	I _{A2}	I _{A3}	I _{A4}	I _{A5}	I ₂	I ₃	I ₅
ACF	couche de roulement AC avec fraisage	0	0	0	0	0	0.6	0	I ₅
ACR	couche de roulement AC en surépaisseur	0	0	0	0	0	0.6	0	I ₅ -0.5
ECF	enrobé coulé à froid	0	0	I _{A3} -0.5	I _{A4} -0.5	0	I ₂ -1	I ₃ -1	I ₅
ES	enduit superficiel	0	0	I _{A3}	I _{A4}	0	I ₂	I ₃ -0.5	I ₅
MRF	couche de roulement ACMR avec fraisage	0	0	0	0	0	0.6	0	I ₅
MRR	couche de roulement ACMR en surépaisseur	0	0	0	0	0	0.6	0	I ₅ -0.5
RF	Renforcement par addition nouvelle couche	0	0	0	0	0	0.6	0	I ₅ -2
RS	Reconstruction superstructure bitumineuse	0	0	0	0	0	0.6	0	0
RT	Reconstruction totale	0	0	0	0	0	0.6	0	0

Tableau 5 : Valeurs de réinitialisation des indices après les mesures d'entretien

b. Le logiciel Via-PMS : principes d'optimisation

Lors de l'application d'une mesure d'entretien sur un tronçon détérioré, son état s'améliore. Le gain réalisé en est le bénéfice.

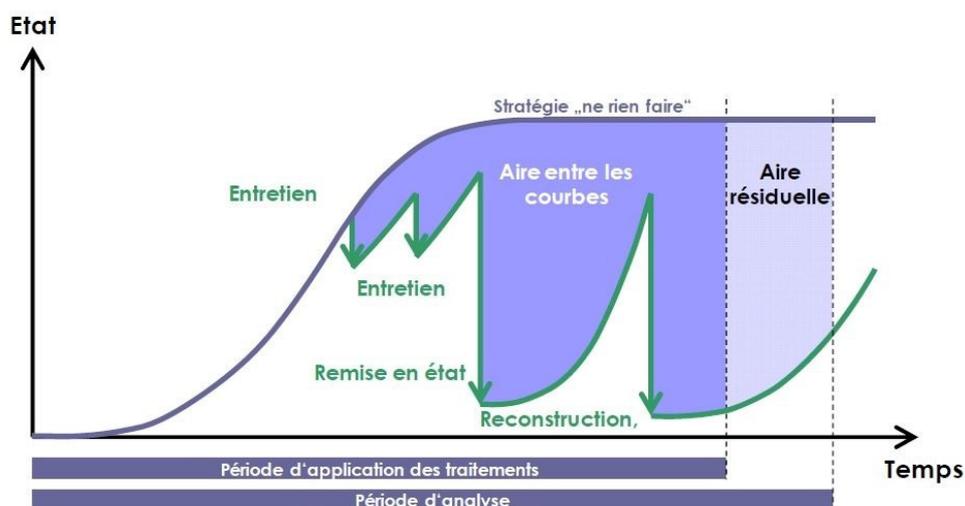


Figure 8 : Représentation du calcul du bénéfice

Plusieurs mesures d'entretien peuvent être appliquées avec des effets différents sur l'amélioration de l'état et également des bénéfices autres.

Le bénéfice d'une mesure diffère en fonction du moment où il est appliqué. Le programme d'optimisation Via-PMS détermine le programme des travaux apportant le plus grand bénéfice en fonction des moyens financiers mis à disposition.

c. Les résultats

Deux formes de présentation sont proposées, une liste ou un graphique. Le tableau ci-dessous présente un extrait de programme pluriannuel d'intervention sur une période d'analyse compte-tenu d'un budget défini sur l'ensemble du réseau.

2013	NE DIV03J20S04 110	512	NE:J20	13333	13845	ECF	79'806
2013	NE DIV03J20S04 20	893	NE:J20	8252	9145	ECF	121'793
2013	NE DIV03J20S04 30	717	NE:J20	9145	9862	ECF	97'789
2013	NE DIV03J20S04 60	411	NE:J20	10133	10544	ECF	56'055
2013	NE DIV03J20S04 70	500	NE:J20	10544	11044	ECF	68'193
2013	NE DIV03J20S04 80	802	NE:J20	11044	11846	ECF	109'382
2014	NE DIV015S03 2	721	NE:5	17545	18266	MRF	250'753
2014	NE DIV03J18S02 60	641	NE:J18	5837	6478	ACR	148'620
2014	NE DIV03J20S01 40	401	NE:J20	500	901	MRR	108'470
2014	NE DIV03J20-S01 110	772	NE:J20-	4785	5557	ACR	204'564
2014	NE DIV03J20S03 20	952	NE:J20	4332	5284	ACR	252'260
2014	NE DIV03J20S04 50	247	NE:J20	9886	10133	ECF	34'361
2015	NE DIV011003S01 2	700	NE:1003	0	700	MRF	248'319
2015	NE DIV01J10S03 10	38	NE:J10	40708	40746	ACF	11'982
2015	NE DIV031320S07 10	593	NE:1320	5340	5933	MRF	210'362
2015	NE DIV03J18S01 4	699	NE:J18	700	1399	MRF	247'964
2015	NE DIV03J18S01 6	733	NE:J18	1399	2132	MRF	260'025

Tableau 6 : Extrait de programme pluriannuel

Le tableau ci-dessous met en évidence les conséquences de l'application d'une planification. Diverses représentations sont possibles. Pour chacune des analyses, diverses stratégies de financement sont appliquées et mettent en évidence leur influence.

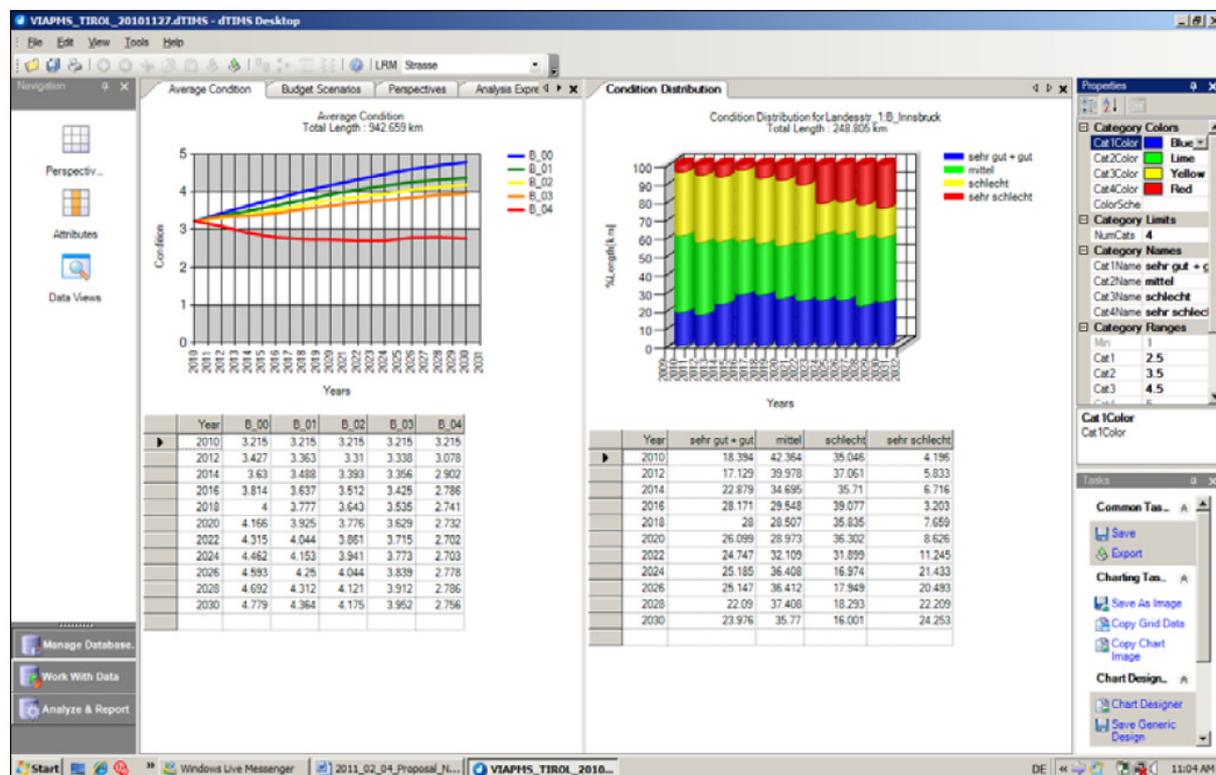


Tableau 7 : Exemple de résultat d'analyse

4. Définition du réseau des routes cantonales

a. Réseau des routes

Le réseau des routes entretenues par le canton est long de 447'990 m. divisé en 4 catégories :

- Les routes principales suisses : 104'471 m
- Les routes cantonales principales : 97'120 m
- Les routes cantonales secondaires : 230'620 m
- Les bretelles des routes principales suisses et cantonales : 12'468 m
- S'ajoutant 3 tronçons de routes communales totalisant : 3'311 m

Ce réseau routier parcourt un canton à 3 étages, avec :

- Le Littoral situé à des altitudes comprises entre 450 et 600 m
- Les Val-de-Travers et Val-de-Ruz situés à une altitude moyenne de 700 m
- Les Montagnes, La Chaux-de-Fonds, Le Locle, La Brévine, entre 900 m et 1000 m

La prise en compte de l'altitude a toute son importance en regard des dégâts causés par l'action du gel/dégel aux fondations et superstructures des chaussées.



Tableau 8 : Représentation du réseau des routes cantonales et des divisions d'entretien

b. Les divisions d'entretien

L'entretien des routes est réparti en 3 divisions conduites par des voyers-chefs. Leur situation figure sur le tableau 8 et peut être résumée comme suit :

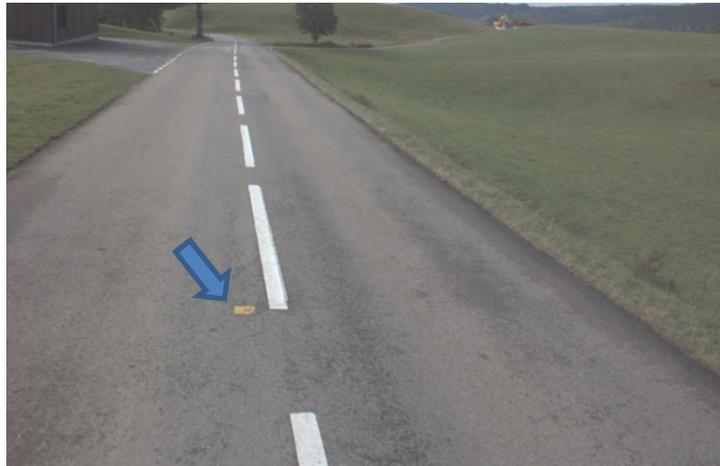
- La division d'entretien 1 comprend le Littoral et une partie du Val-de-Ruz
- La division d'entretien 2 s'étend du Val-de-Travers à la partie ouest du Val-de-Ruz, jusqu'à Boudevilliers.
- La division d'entretien 3 couvre les Montagnes neuchâteloises, de la Brévine à l'extrémité est du canton et déborde sur la moitié nord du Val-de-Ruz.

c. Système de repérage, signalisation, marquage

Le système de repérage spatial de base (SRB) constitue un système local de coordonnées linéaires, basé sur le tracé des routes, qui définit chaque point de façon univoque. Le début et la fin de chaque route sont définis par un point de repère (PR). L'écart entre les PR est généralement d'un kilomètre, mais peut varier en fonction des modifications ou corrections de tracé apportées après la définition faite initialement. Entre les PR, se trouvent les hectomètres tous les 100 mètres.

Les illustrations qui suivent permettent de comprendre comment le système de repérage est implanté dans le terrain.

Les PR sont repérés par une borne munie d'une plaquette indiquant essentiellement le nom de la route (149), le sens de l'axe et le kilométrage, et l'axe de chaussée par un carré jaune de 30 cm. Les hectomètres sont indiqués par un carré jaune de 10 cm situé à côté de la ligne médiane.



d. Le TJM (trafic journalier moyen)

La connaissance du TJM permet de classer les chaussées par importance en termes de charges de trafic. La connaissance de ces données est déterminante pour le dimensionnement de la superstructure des chaussées (grave et couches d'enrobé), mais aussi pour affiner la stratégie d'entretien en fonction des charges du trafic et de l'importance de l'usure qu'il occasionne.

Des campagnes de mesure sont organisées annuellement au moyen de 28 compteurs fixes répartis sur le territoire cantonal, dont les données sont transmises par modem et enregistrées dans la base de données.

S'ajoutent à ces compteurs fixes 37 compteurs mobiles temporairement installés sur les diverses routes dépourvues de compteurs fixes. Chacune des campagnes de comptage menée à l'aide de ces compteurs dure une semaine.

Les compteurs fixes permettent alors d'étalonner les compteurs mobiles.

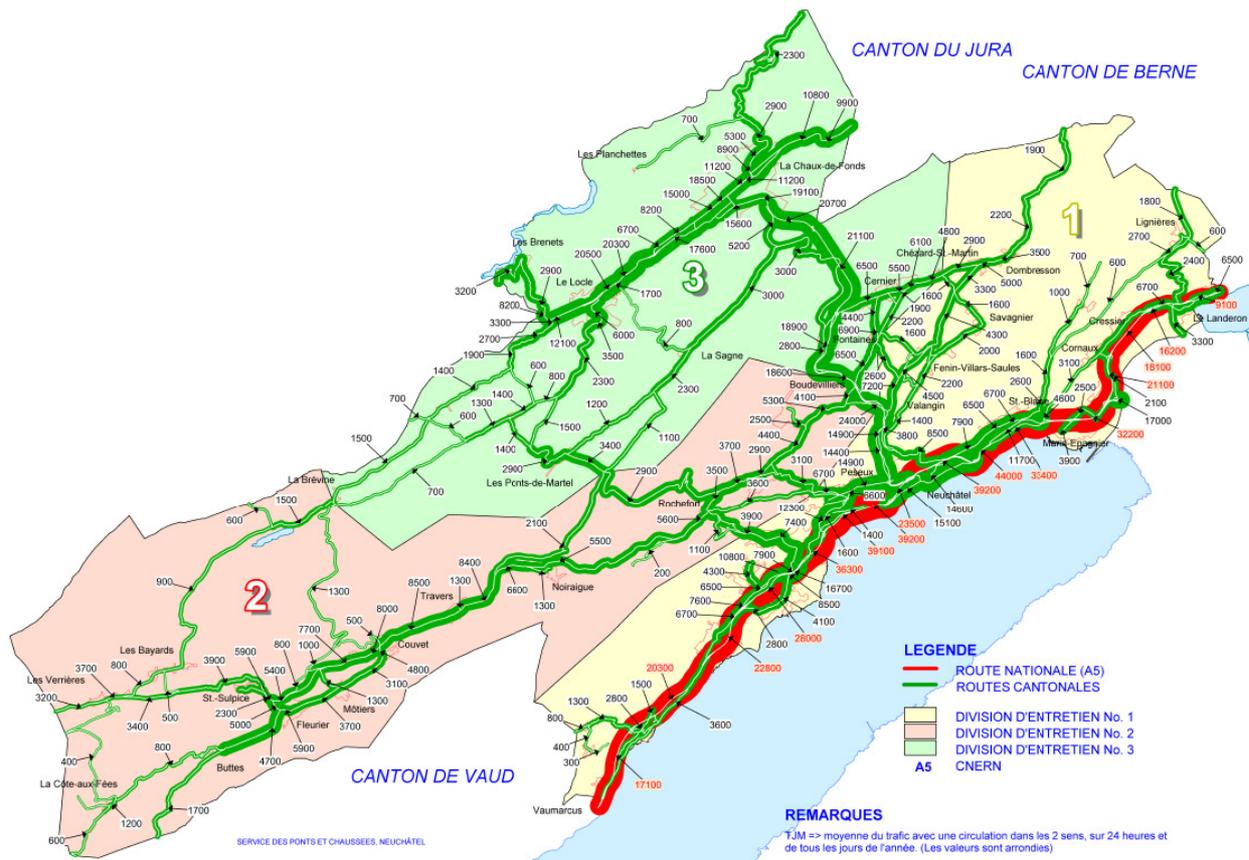


Tableau 9 : Carte représentant le TJM (trafic journalier moyen)

e. La BDR, banque de données routières

La première banque de données routières de Suisse a vu le jour dans le canton de Neuchâtel dans les années 1980, elle s'appelait alors la BDR. Celle-ci a rapidement été étendue au plan national, sur la base des normes de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS), et développée par l'OFROU pour devenir la base de données STRADA.

Sommairement expliqué, ce système regroupait en un seul "paquet" l'ensemble du repérage des données dans l'espace et les données de nature événementielle telles le trafic, les accidents, les entraves à la circulation et les années de réfections des chaussées. Dès le début des années 90, la technologie sur laquelle reposait ce système s'est avérée dépassée. L'OFROU a donc décidé de l'abandonner au profit du système MISTRA. Ce nouveau système regroupe, dans des modules différents, l'état des chaussées et des ouvrages d'art, la sécurité routière (accidents), la mobilité douce, le trafic, le bruit et le repérage routier. La nouveauté est essentiellement d'avoir plusieurs modules interconnectés et non plus un seul outil regroupant le tout.

MISTRA peut être utilisé gratuitement par les cantons, qui doivent uniquement en payer les coûts d'installation et éventuellement de diverses adaptations spécifiques. La Confédération offre les outils en échange de l'usage, pour ses projets, des données introduites par les cantons.

MISTRA est plus performant que l'ancien système et mieux adapté aux besoins des utilisateurs spécialisés comme des utilisateurs occasionnels.

5. État des chaussées 2000-2010

a. Relevé d'état du réseau

La connaissance de l'état du réseau est la condition préalable indispensable à la mise en place et à l'exploitation d'un système de gestion. Le relevé et l'évaluation systématique de l'état du réseau constituent les éléments de base de la gestion de l'entretien. Ils servent à définir :

- Les priorités
- Les indicateurs de performance
- Le suivi de l'évolution dans le temps
- Les comparaisons
- Le bilan d'état

b. Les indices d'état

Les résultats des relevés d'état (inspection des chaussées) effectués périodiquement sont répartis en 5 catégories, représentant les "indices d'état" conformément à la norme SN 640 925 b. Ils sont décrits ci-dessous :

Indice I ₁	Dégradation de surface	qualifie l'aspect visuel
Indice I ₂	Planéité longitudinale	est lié au confort routier
Indice I ₃	Planéité transversale	mesure de l'orniérage (lié à l'aquaplanage)
Indice I ₄	Qualité antidérapante	mesure la rugosité de la surface
Indice I ₅	Portance	mesure la qualité de la fondation

Les résultats de mesure par indice, s'échelonnent sur des valeurs allant de 0 à 5, 0 étant la meilleure cotation (bon), 5 la moins bonne (mauvais).

Il faut ajouter à ces indices spécifiques un indice global I_G issu d'une pondération des indices spécifiques selon l'équation suivante

$$I_G = 20\% \text{ de } I_1 + 45\% \text{ de } I_2 + 35\% \text{ de } I_3$$

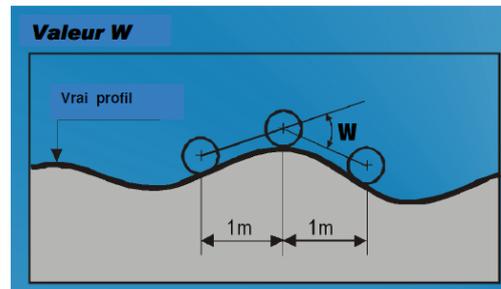
Cet indice est utile pour donner une idée générale de l'état d'une route en agrégeant les relevés les plus importants intervenant dans la planification et la priorisation des interventions.

c. Techniques et types de mesures, périodicité

Les relevés des indices I_1 , I_2 et I_3 , respectivement dégradation de surface, planéité longitudinale et planéité transversale, sont réalisés au moyen de l'appareil de mesure multifonctionnel "ARAN" (Automatique Road Analyseur). Pour l'indice I_1 , une caméra prend des images de haute définition. Celles-ci sont ensuite analysées pour identifier les dégradations de surface.



- W [‰] – Angle formé par deux cordes adjacentes de 1 m de longueur
- sW [‰] – Ecart type de 2500 valeur W pour un tronçon de 250m



Pour l'indice I_2 , un laser connecté à un accéléromètre situé au droit de chaque trace de roue, mesure les déplacements verticaux et génère une image tous les 12,5 mm. Cet opération permet de relever le profil longitudinal de la chaussée pour des longueurs d'onde comprises entre 0.3 et 91 m.

- Deux lasers mesurent 1280 points du profil transversal sur une largeur maximale de 4m

- Résultats :

- T [mm] – Profondeur d'ornière
- t [mm] – Profondeur d'eau



Pour l'indice I_3 , 2 lasers illuminent la chaussée en même temps qu'une image numérique est prise par 2 caméras, tous les 5 m. Le résultat obtenu permet de déterminer les profondeurs d'ornière, à partir desquelles on peut déterminer la "hauteur d'eau", qui pourrait provoquer de l'aquaplanage.

L'indice I_4 correspond à la rugosité de surface. Il n'est pas mesuré systématiquement, mais seulement sur des secteurs considérés comme dignes d'une attention particulière. La qualité antidérapante est mesurée par blocage d'une roue sur surface mouillée, qui détermine un coefficient de frottement.



La même année, 19 % du réseau était dans un état "critique et mauvais", 36 % "suffisant", 40 % "moyen" et 5 % "bon". La valeur moyenne de l'indice I_1 était de 2,3 et aboutissant à un état de réseau "suffisant".

L'analyse de l'indice I_5 (indice de portance), qui qualifie la capacité d'une infrastructure de chaussée à supporter les charges dues au trafic, met en évidence que 49 % du réseau peut être considéré comme "bon", 34 % comme "suffisant et moyen" et 17 % comme "critique et mauvais".

Les graphiques ci-après expriment les résultats obtenus pour l'ensemble des indices d'état.

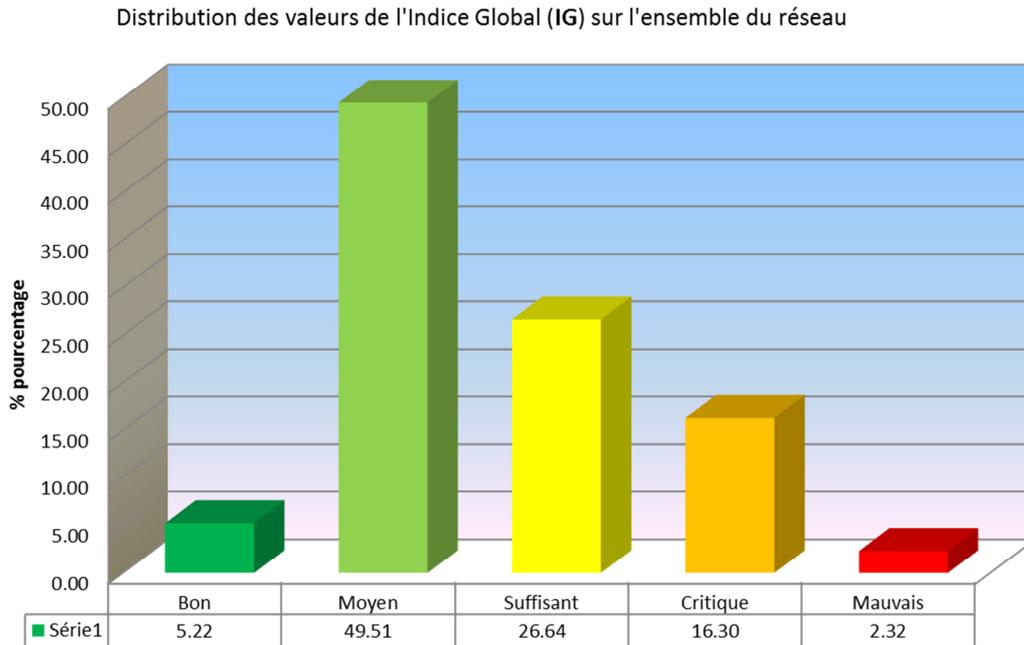


Figure 9 : Indice global I_G , 20% du I_1 + 45% du I_2 + 35% du I_3

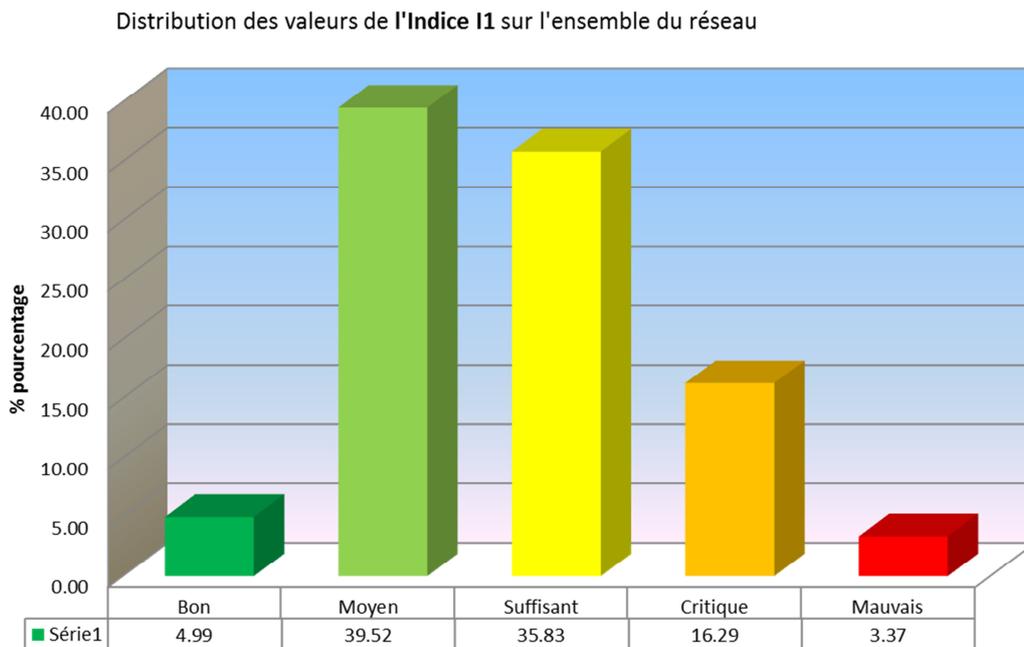


Figure 10 : Indice d'état I_1 , dégradations de surface

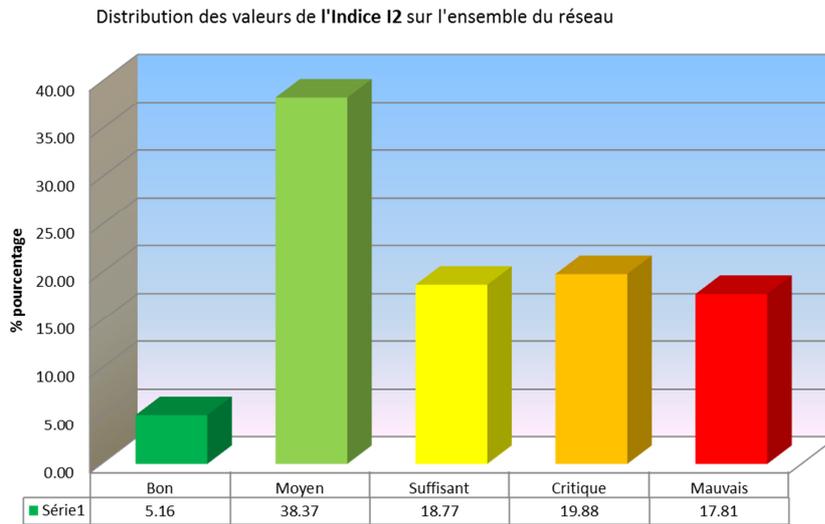


Figure 11 : Indice d'état I₂, planéité longitudinale

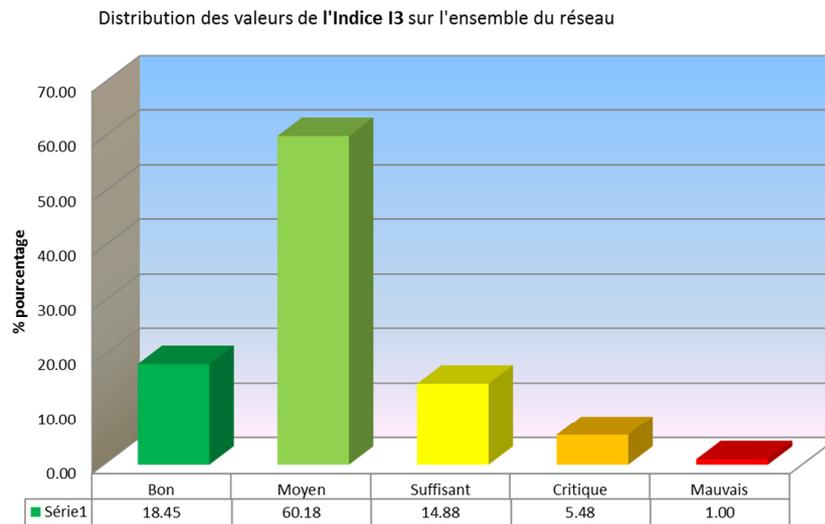


Figure 12 : Indice d'état I₃, planéité transversale (orniérage)

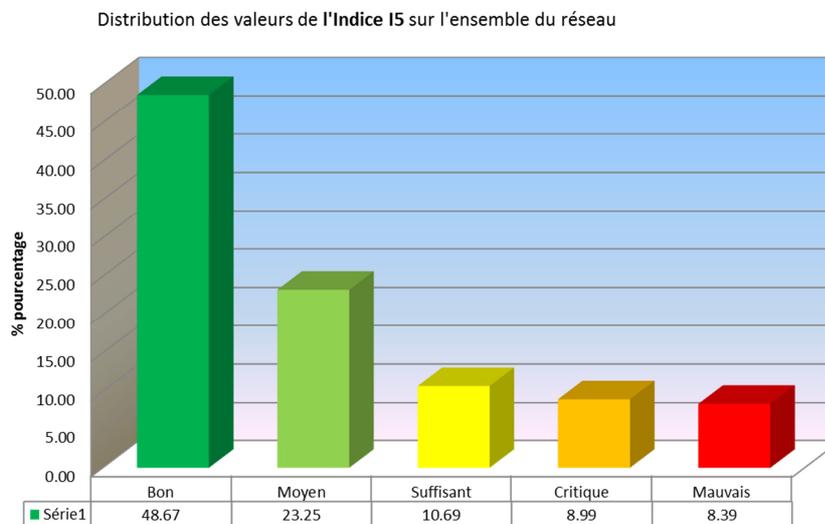


Figure 13 : Indice d'état I₅, capacité portante

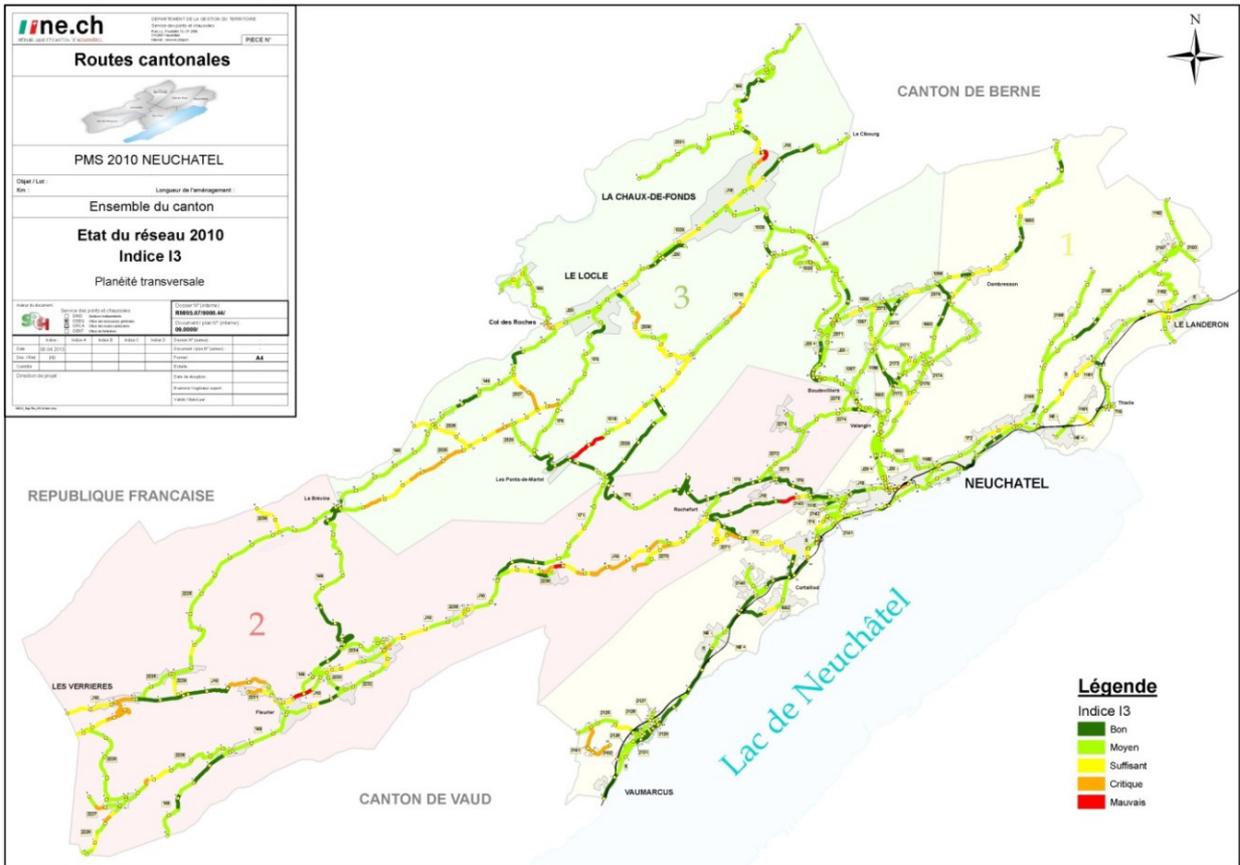


Tableau 14 : Indice d'état I3, planéité transversale (orniérage)

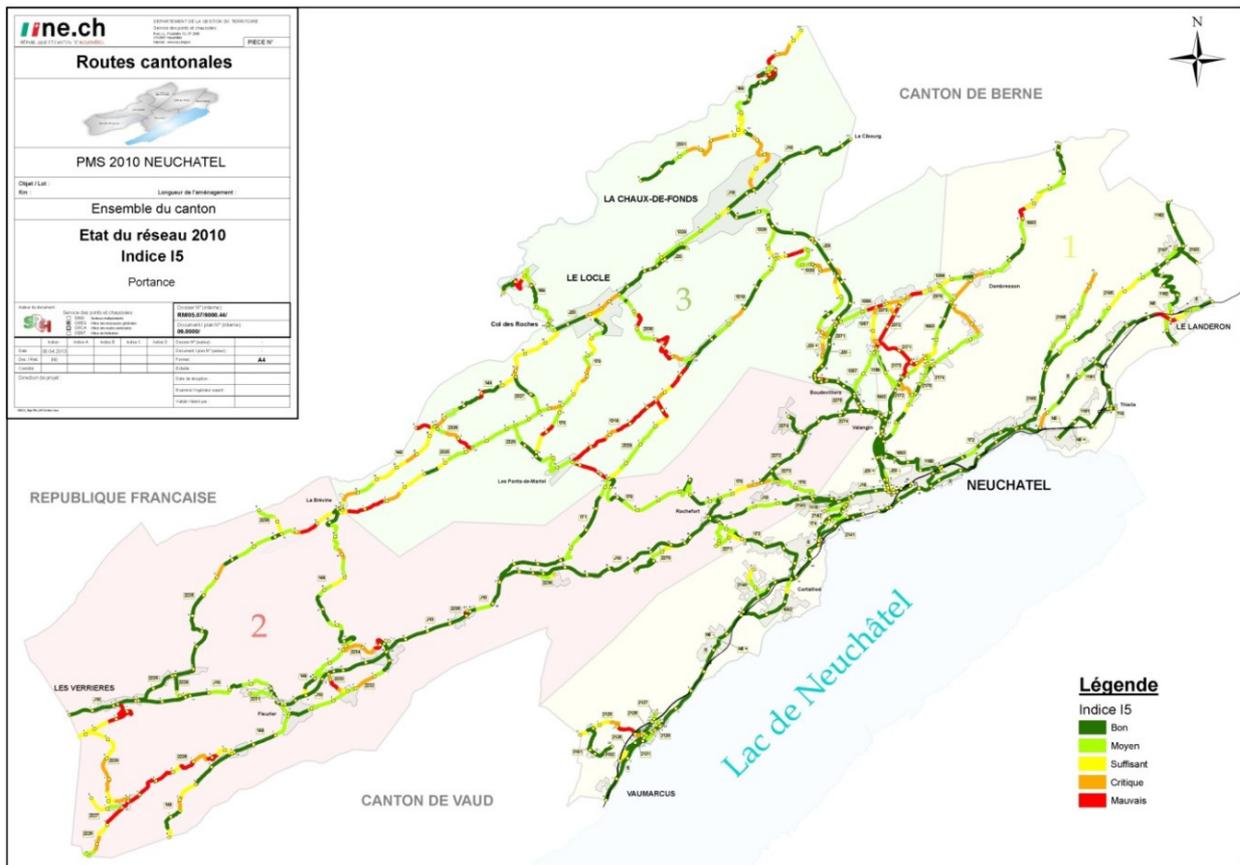


Tableau 15 : Indice d'état I5, capacité portante

6. Optimisation technique et économique de la gestion du réseau routier cantonal 2010-2019

a. Concept et optimisation technico-économique selon l'analyse Via-PMS

Basée sur des données et des informations objectives, l'analyse PMS (pavement management system) génère différentes alternatives de maintenance et compare les diverses solutions recommandées selon plusieurs contraintes financières et non financières. Les résultats résultant d'un tel outil d'aide à la décision peuvent être utilisés pour la définition d'un programme à court, moyen et long terme sur toute section de route faisant partie du réseau.

Le modèle PMS fonctionne sur la base des données suivantes :

- Découpage du réseau en segments d'entretien
- Mise en place d'un catalogue de mesures
- Définition de lois d'évolution
- Algorithmes de calcul, analyse sur le cycle de vie
- État du réseau routier établi sur la base des relevés périodiques

Il compare différentes stratégies en tenant compte du budget disponible, d'une part et d'autre part, de l'atteinte d'un certain état du réseau routier. Il est en effet nécessaire d'être en mesure de prévoir l'état futur du réseau, d'établir la liste des solutions (stratégies possibles), de décrire (calculer) les effets de la maintenance imaginée et, finalement, de sélectionner la solution la plus appropriée compte tenu du budget disponible.

L'indice global I_G , a été ajouté pour pouvoir définir les lois d'évolution. Celui-ci est calculé selon les proportions suivantes : $I_G = 20\%$ de $I_1 + 45\%$ de $I_2 + 35\%$ de I_3 .

Les résultats des mesures par indice, s'échelonnent sur des valeurs allant de 0 à 5, de "bon" à "mauvais", 0 étant la meilleure note et 5 la moins bonne. L'échelle d'appréciation suivante est appliquée pour la qualification des indices d'état :

État du réseau	Valeur min. indice	Valeur max. indice
Bon	0.0	0.6
Moyen	0.6	2.2
Suffisant	2.2	3.0
Critique	3.0	3.8
Mauvais	3.8	5.0

Tableau 16 : Classification de l'état du réseau selon leur valeur d'indice

Les résultats d'analyse rapportés au réseau routier représentent les recommandations de traitements de maintenance pour chaque section de route, et leurs effets sur les différents indicateurs de performance.

Pour avoir une vue d'ensemble des effets produits par les investissements financiers destinés à la maintenance d'un réseau routier, il est nécessaire de pouvoir lire les résultats sous une forme comparative et reproductible.

L'outil PMS permet d'imaginer différents scénarios, tenant compte de budgets différents comparés à l'évolution de l'état du réseau. Ces scénarios sont les suivants :

- **Distribution de l'état du réseau pour les indices I₁, I₂, I₃, I₄, I₅ et I₆**
Distribution de l'état du réseau pour les indices choisis, avec des budgets différents.
- **Évolution de l'état global du réseau en fonction des indices I₁, I₂, I₃, I₄, I₅ et I₆**
État global du réseau en fonction de tous les scénarios de budget et pour tous les indices.
- **Coûts et longueurs des traitements de maintenance**
Investissements annuels par catégorie d'intervention, ainsi que longueurs de maintenance pour chaque scénario de budget considéré.
- **Retard de maintenance**
Retard de maintenance induit par chacun des scénarios de budget étudié, en fonction des indices d'état I₆, I₁, I₂, I₃ et I₅. Ce paramètre illustre une simulation du réseau atteignant les valeurs "critique" et "mauvais" dans le temps, en fonction d'un budget annuel déterminé.

b. Distribution de l'état du réseau

La simulation représentée par le tableau ci-dessous n'illustre que l'évolution des indices I₆ (indice global) et I₁ (indice de dégradation de surface), l'analyse de l'indice global I₆ agrégeant l'ensemble des paramètres. Il est également possible d'éditer des tableaux représentant les autres indices.

Dans cette simulation, plusieurs budgets annuels sont évalués, soit 0 francs/an, 1 million de francs/an, puis 4, 5, 7 et 10 millions de francs/an, ainsi qu'un cas de figure d'investissement illimité.

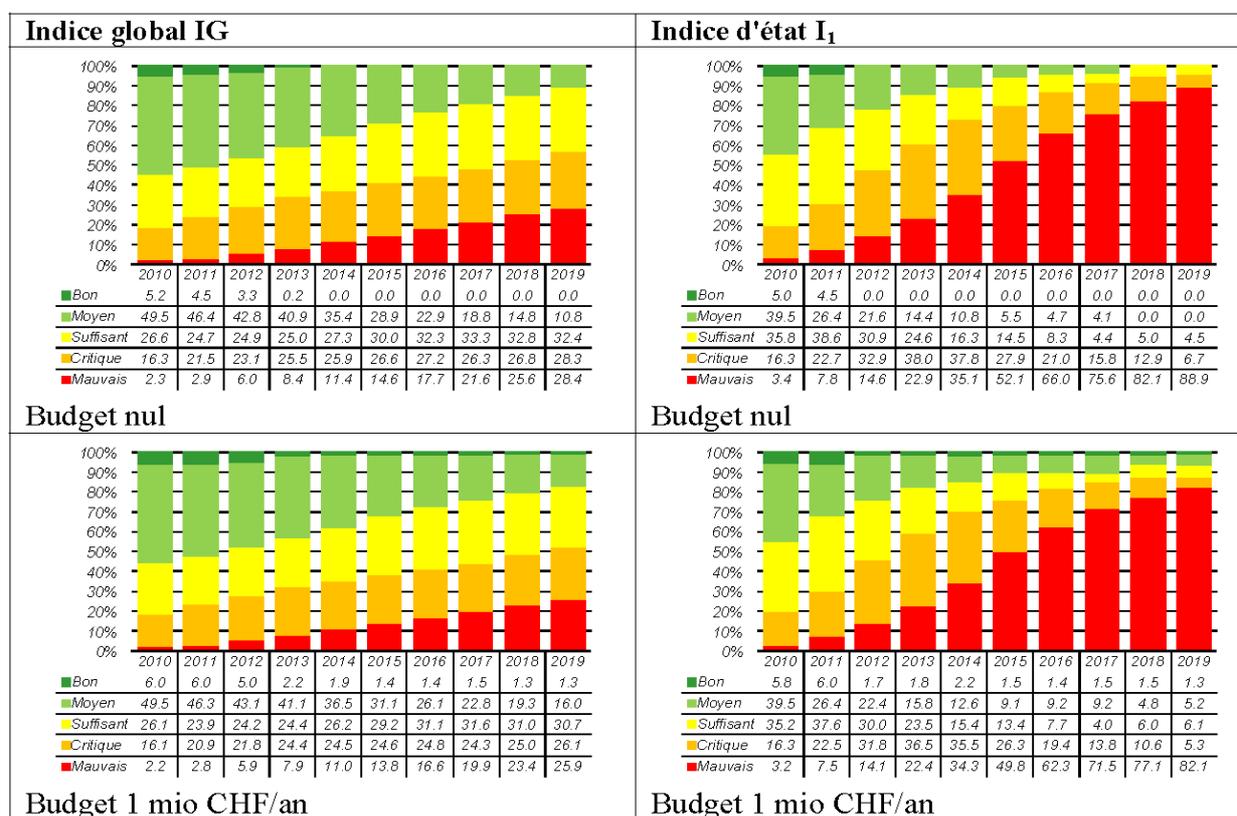


Tableau 17 : Distribution de l'état du réseau par rapport aux indices I₆ et I₁ (suite page suivante)

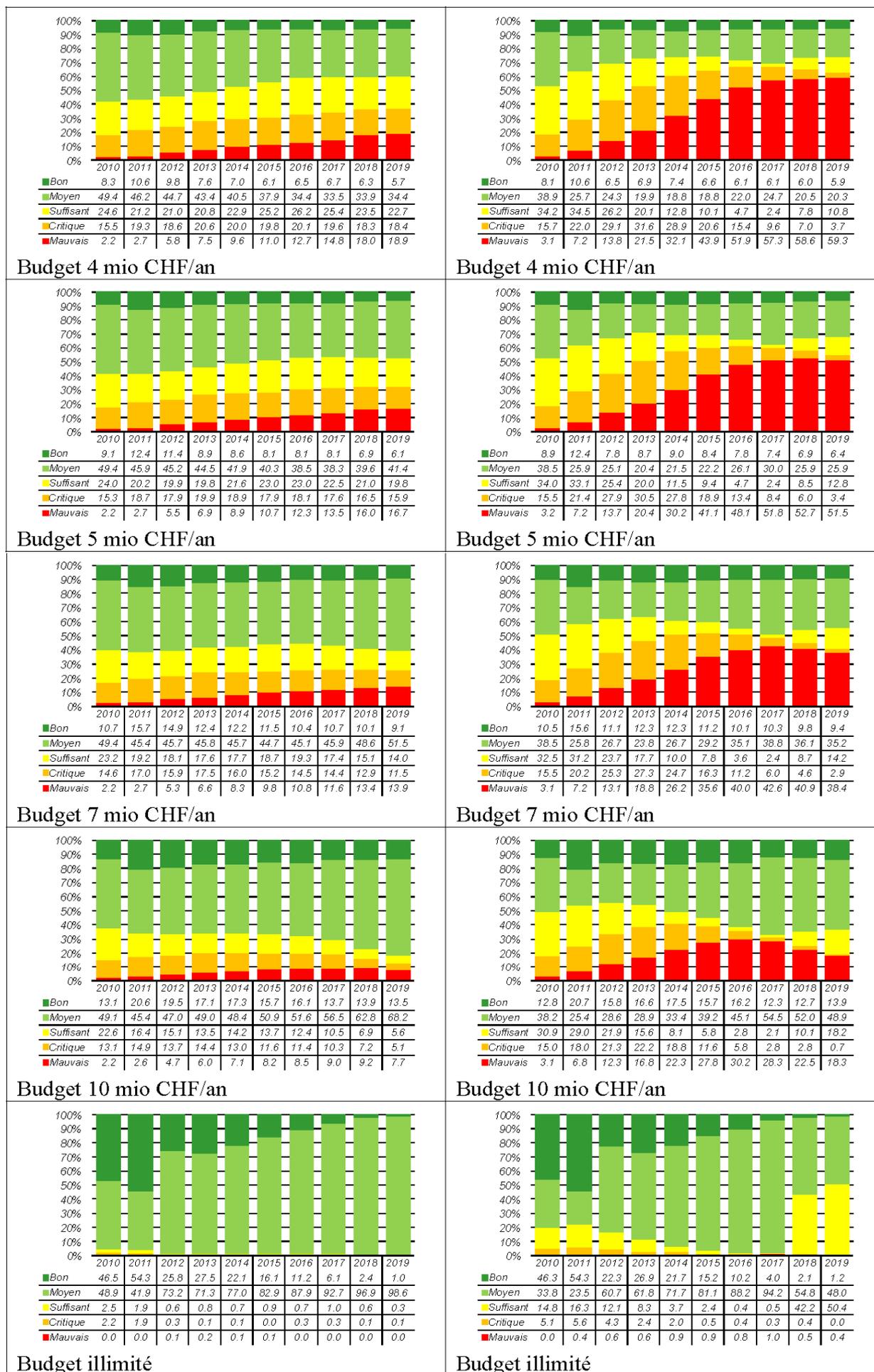


Tableau 18 : Distribution de l'état du réseau par rapport aux indices I_0 et I_1 (suite)

Pour l'indice global I_G , l'analyse démontre qu'avec un budget nul ou de 1 million de francs/an, la valeur diminue fortement durant les 10 ans de la simulation, alors qu'elle situait initialement l'état du réseau dans la catégorie "bon" ou "moyen".

Avec des budgets annuels de 4 ou 5 millions de francs, les indices "bon" et "moyen" vont en se stabilisant, alors que l'indice "mauvais" augmente. C'est à partir d'un budget de 7 millions de francs que les indices restent stables avec toutefois une lente aggravation de l'indice "mauvais".

Un budget de 10 millions de francs/an permet d'atteindre des valeurs d'indices "bon" et "moyen" de 81.7%, décrivant un excellent état global du réseau routier. Le budget illimité est forcément très favorable, mais totalement irréaliste. L'évolution de l'indice dégradation de surface (I_1) met en évidence une péjoration de l'état du réseau jusqu'à un budget de 7 millions de francs/an.

c. Évolution de l'état global du réseau

Cette simulation représente l'évolution de la totalité du réseau en fonction de budgets différents.

Crédits	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
10 millions	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.80	1.80	1.80	1.70	1.70
7 millions	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
5 millions	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.30	2.30	2.30	2.40	2.40
4 millions	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.40	2.40	2.50	2.50	2.50
1 million	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.70	2.80	2.90	3.00	3.00
nul	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.80	2.90	3.00	3.10	3.20

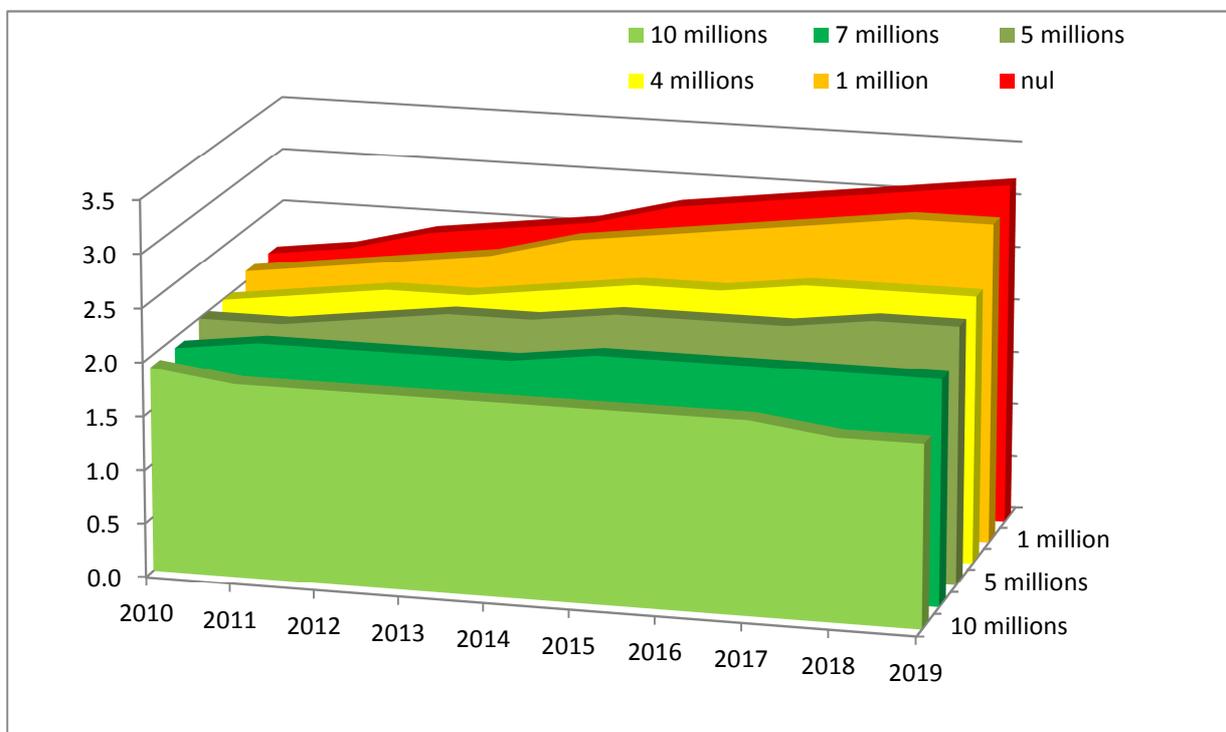


Figure 14 : Évolution de l'état global du réseau, indice global I_G

Crédits	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
10 millions	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2	2.30	2.20	2.20	2.20	2.10
7 millions	2.1	2.3	2.4	2.5	2.6	2.70	2.80	2.80	2.80	2.90
5 millions	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9	3.00	3.10	3.20	3.30	3.30
4 millions	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.20	3.30	3.40	3.50	3.60
1 million	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.60	3.80	4.00	4.20	4.40
nul	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.70	4.00	4.20	4.50	4.60

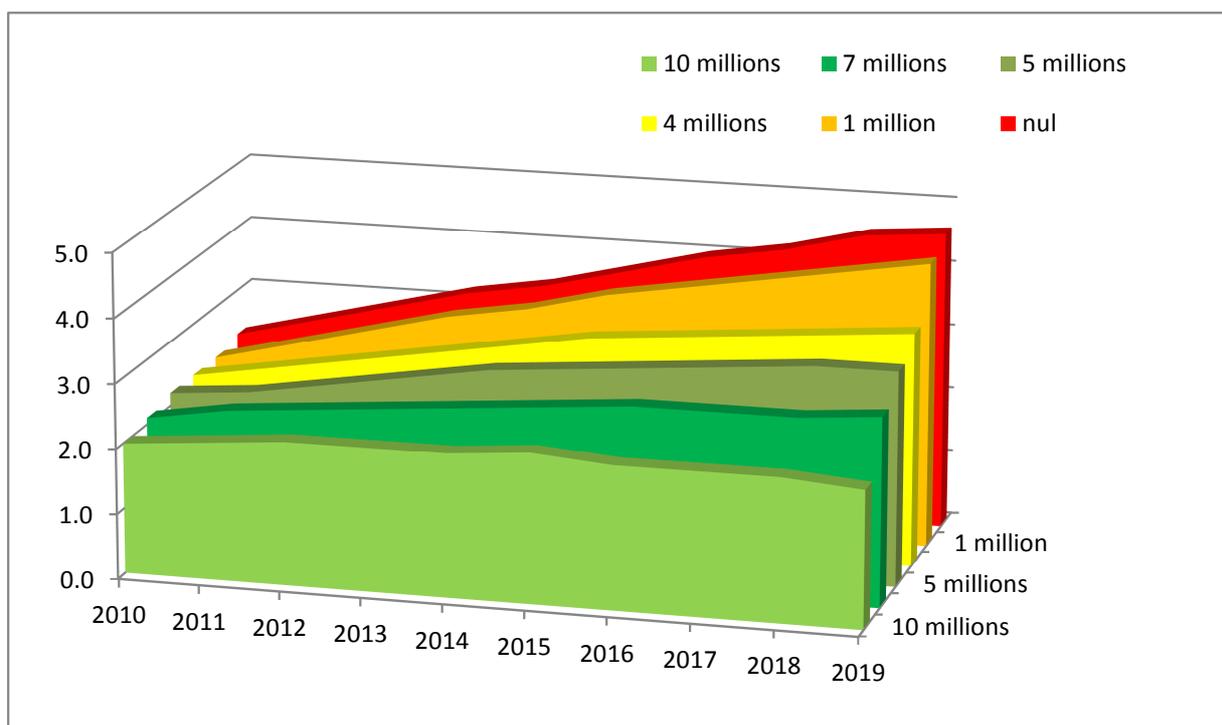


Figure 15 : Évolution de l'état global du réseau, indice I_1

Cette simulation de l'état global du réseau sur 10 ans montre, au travers de l'indice global I_G (figure 14), une amélioration sensible à partir d'un investissement annuel de 7 millions de francs. En dessous de ce budget, l'état du réseau se péjore. Pour l'indice I_1 (figure 15), seul un budget minimum de 10 millions de francs/an permet de conserver la qualité existante.

d. Coûts et longueurs des interventions de maintenance

La simulation découlant de l'outil PMS propose une somme de travaux à réaliser en fonction d'un budget déterminé, sur les segments d'entretien les plus endommagés, soit le choix de réparations prioritaires en fonction d'un budget donné. Plus la somme consacrée à l'entretien est faible, moins les réfections coûteuses peuvent être envisagées et plus l'aspect général se dégrade.

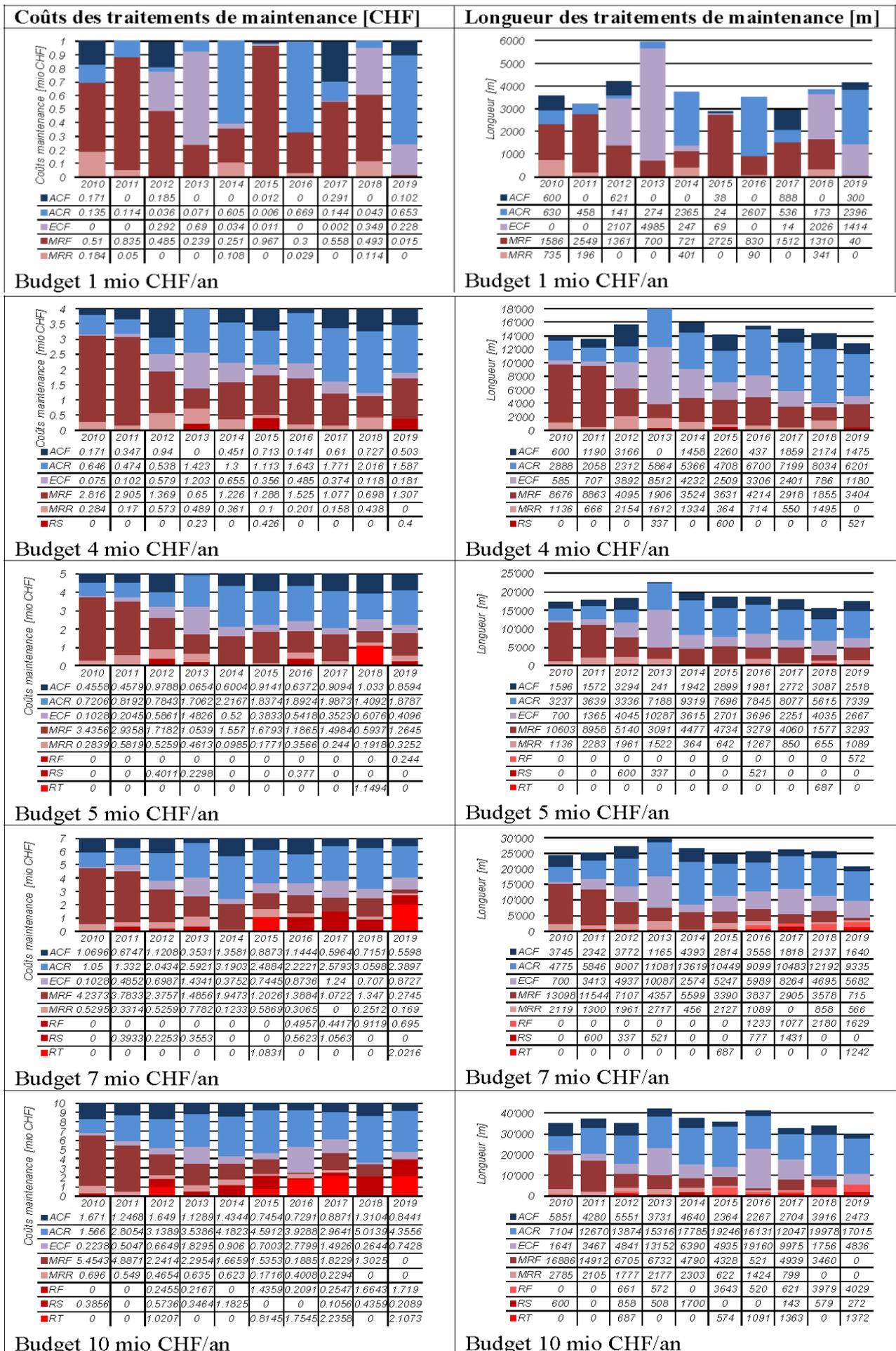


Figure 16 : Coûts et longueurs des traitements de maintenance

Traitement	Type	Description
ACF	majeur	Couche de roulement AC avec fraisage (RCP,RPS)
ACR	majeur	Couche de roulement en surépaisseur (hors localité, RCP,RPS)
ECF	majeur	Enrobé coulé à froid (en/hors localité, sauf RC 2000)
ES	majeur	Enduit superficiel (hors localité, RC 2000)
MRF	majeur	Couche de roulement ACMR avec fraisage (en localité ou indice de bruit)
MRR	majeur	Couche de roulement ACMR en surépaisseur (hors localité, RCP, RPS, indice de bruit)
RF	majeur	Renforcement par addition nouvelle couche
RS	majeur	Reconstruction superstructure bitumineuse
RT	majeur	Reconstruction totale

Tableau 19 : Types de traitements possibles

Aucune réparation importante n'est proposée lorsqu'on investit entre 1 et 4 millions de francs/an. Il est paré au plus pressé sans prendre de mesures suffisantes. Seuls des renouvellements de couches de roulement sont retenus, négligeant totalement les autres parties de l'ouvrage routier, c'est-à-dire les couches en enrobé de base et la fondation.

A relever qu'en 2013, quand, avec 18 km, la plus grande longueur d'intervention est planifiée, 8,5 km sont consacrés à la pose de tapis à froid, ce qui ne constitue pas une réparation d'importance, mais permet de repousser une réparation plus sérieuse pendant une courte période. Dans un tel cas de figure, les moyens de vraiment traiter les problèmes ne sont pas mis à disposition.

Avec un budget de 5 millions de francs, 15 à 22 km de réparations sont proposés annuellement et comprennent 5 renforcements ou reconstructions de chaussée, de longueurs variant entre 350 m et 690 m, ce qui est vraiment très peu.

Pour 7 millions de francs/an, le système propose des interventions allant de 21 à 30 km. Les longueurs des renforcements et reconstructions pris en compte varient de 340 m à 2'180 m, ce qui, en ayant choisi des moyens d'assainissement durables, permet une réelle amélioration de l'état des chaussées.

Le budget de 10 millions de francs/an comprend des réparations de surface sur des longueurs comprises entre 30 et 40 km. Les renforcements et reconstructions conduisent à retenir des tronçons de longueurs variant entre 600 et 6'000 m, exception faite de l'année 2011, où seules des réparations de couches d'usure sont prévues, sur 33 km.

e. Retard de maintenance

Le tableau montre le retard de maintenance induit par chacun des scénarios de budget étudié en fonction des indices d'état IG et I1. Le retard de maintenance peut se définir comme étant l'évolution de la longueur du réseau classé "critique" ou "mauvais".

Crédits	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
10 millions	67'684	78'067	81'885	90'757	89'021	87'742	88'749	85'444	73'022	56'706
7 millions	74'333	87'526	94'378	107'387	107'959	111'160	112'056	115'151	116'615	112'587
5 millions	78'008	95'369	104'053	119'063	123'634	127'063	135'123	138'120	144'354	145'023
4 millions	78'617	97'922	108'521	125'024	131'606	136'774	145'663	152'533	161'441	165'599
1 million	81'450	105'555	123'182	143'566	157'522	170'424	183'826	196'323	215'034	230'930
nul	82'757	108'383	128'985	150'619	165'710	182'930	199'284	212'694	232'773	252'231

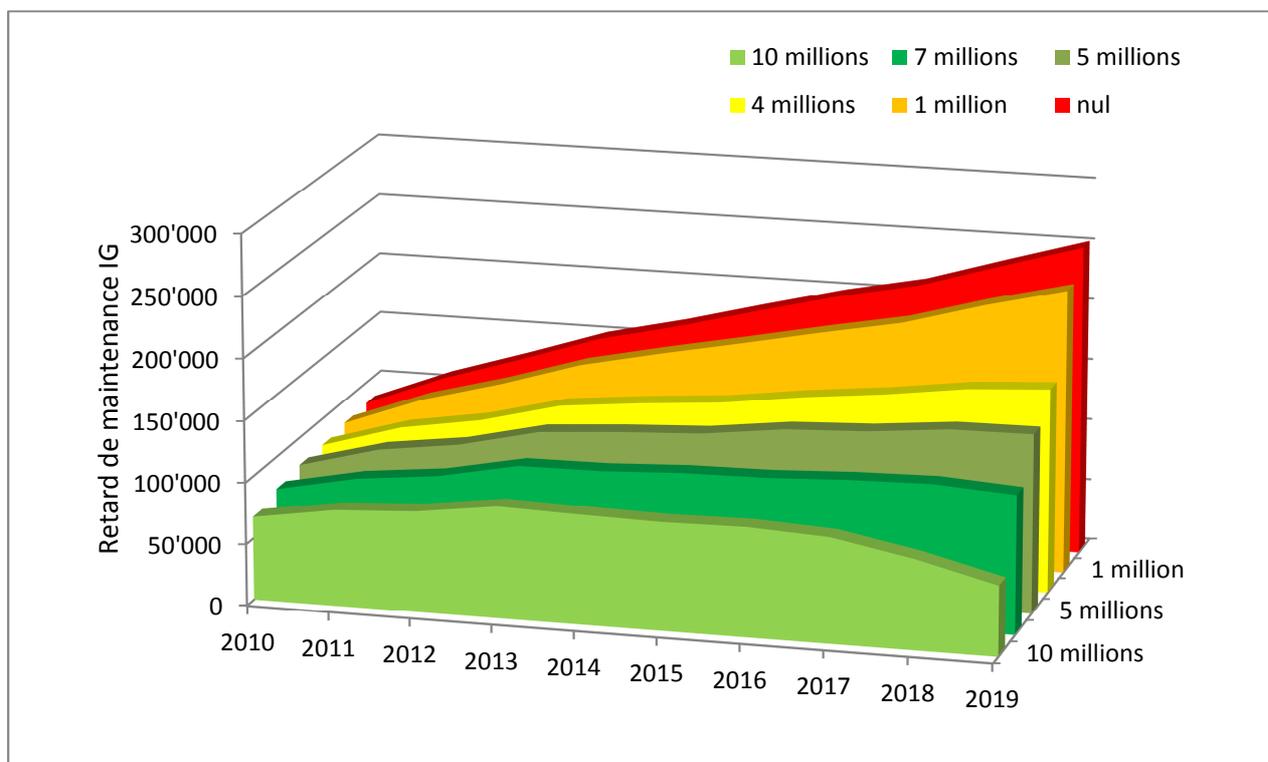


Figure 17 : Retard de maintenance, I_G

Cette simulation fait ressortir qu'en 10 ans, même avec un investissement de 7 millions de francs/an, une péjoration de l'état du réseau apparaît sur une distance de 38 km.

Seul un budget de 10 millions de francs/an permet d'améliorer la qualité du réseau avec une diminution des valeurs "critique" ou "mauvais" de 11 km sur la même période de 10 ans.

Crédits	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
10 millions	80'506	110'063	149'174	173'324	182'472	174'950	159'541	138'256	112'146	84'211
7 millions	82'474	121'864	170'702	205'103	226'371	230'241	227'342	215'811	201'817	183'353
5 millions	82'904	127'355	185'000	226'185	257'384	266'683	273'127	267'465	260'816	244'218
4 millions	83'582	129'684	190'861	235'843	270'927	286'517	298'629	297'081	291'744	279'977
1 million	86'482	133'380	204'055	261'644	310'081	337'982	363'067	378'972	389'235	388'153
nul	87'371	135'659	210'956	270'833	323'899	355'772	386'506	406'274	422'124	424'475

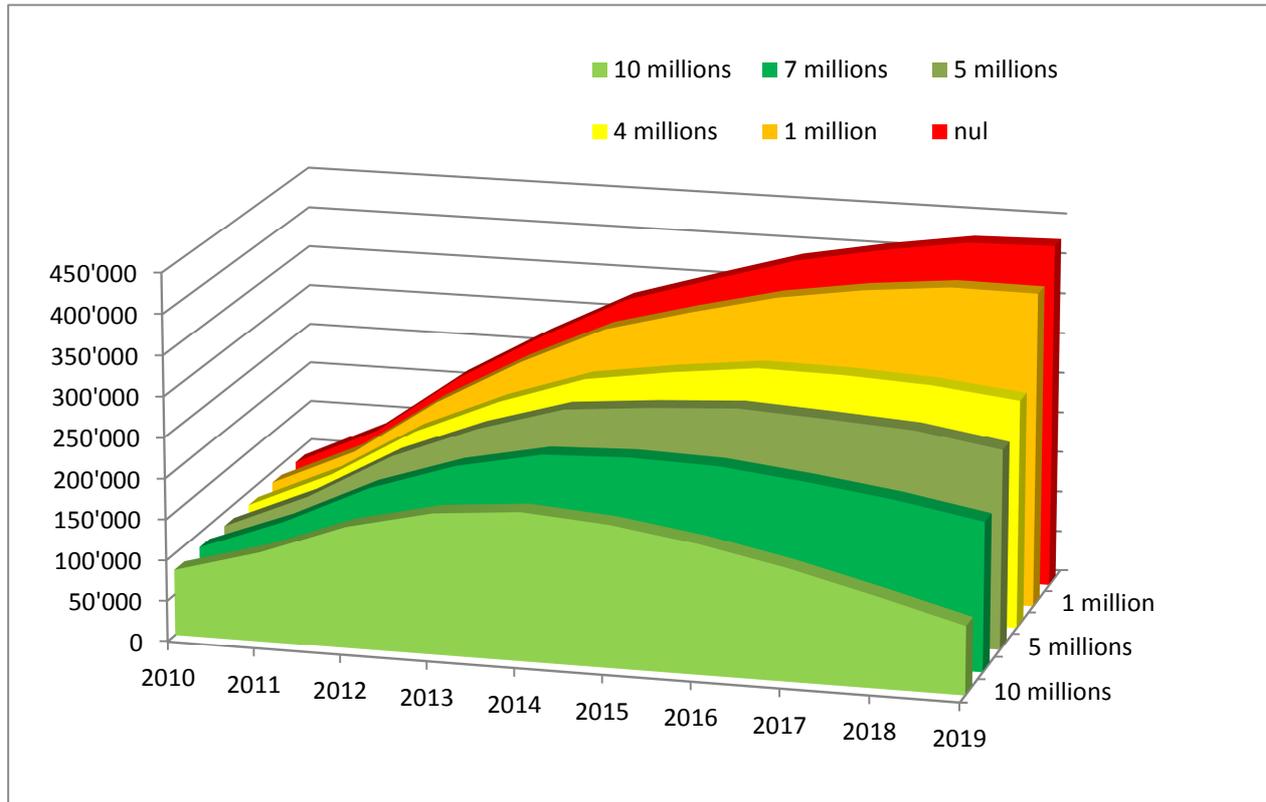


Figure 18 : Retard de maintenance, I_1

Il en va de même dans le cas de l'indice I_1 pour ce qui est du montant du budget annuel à consacrer jusqu'à obtenir une amélioration de l'état du réseau.

7. Conclusions / Recommandations

a. Préambule

Les conclusions et recommandations qui suivent sont basées sur les résultats d'une analyse PMS pour laquelle toutes les données nécessaires ont été fournies à partir de la base de données STRADA du canton de Neuchâtel. Les modèles utilisés dans cette analyse proviennent également de nos propres observations et expériences, ou découlent de la documentation généralement utilisée en Suisse et plus spécifiquement dans les cantons romands. Il est important de préciser que les modèles de comportement peuvent présenter des évolutions plus rapides que celles observées dans la réalité.

Les prochaines analyses PMS prendront en compte les observations répertoriées depuis 2010.

b. Recommandations

A l'heure actuelle aucun niveau de qualité à atteindre pour le réseau routier cantonal n'a encore été fixé. Pour définir une telle exigence, l'appréciation des résultats de l'analyse PMS devrait être faite en commençant par l'évaluation de l'impact des différents scénarios d'entretien sur l'évolution à long terme des indices d'état, en particulier pour ce qui concerne les indices combinés tels I_1 et I_G . Ces évolutions devraient être comparées avec la situation initiale tout en admettant que celle-ci puisse représenter un état considéré comme acceptable.

L'analyse PMS 2010-2019 montre que, pour maintenir le niveau d'état actuel sur la durée de la période d'analyse, **les dépenses annuelles doivent être comprises entre 8 et 9 millions de francs.**

L'analyse de la répartition des coûts et des longueurs selon le type de mesure d'entretien montre aussi qu'en augmentant les ressources disponibles, il devient possible de choisir des mesures d'entretien plus durables, telles les mesures d'assainissements structurels.

Des dépenses un peu plus élevées, de **10 millions** de francs par année, doivent être consenties pour empêcher un accroissement du retard de maintenance.

A partir de 10 millions de francs de budget annuel, une légère amélioration de l'état global du réseau peut être constatée en observant l'évolution de l'indice globale I_G .

Table des figures :

Figure 1 : Sans entretien.....	6
Figure 2 : Entretien à intervalles fixes t_1	7
Figure 3 : Entretien par mesures immédiates visant à garder au plus haut niveau l'état de la chaussée	7
Figure 4 : Entretien par mesures coordonnées visant à stabiliser l'état de la chaussée en-dessus d'un seuil prédéfini.....	7
Figure 5 : Évolution des indices	10
Figure 6 : Évolution de l'indice I_2 (planéité longitudinale).....	10
Figure 7 : Évolution de l'indice I_3 (planéité transversale).....	11
Figure 8 : Représentation du calcul du bénéfice	13
Figure 9 : Indice global I_G , 20% du I_1 + 45% du I_2 + 35% du I_3	21
Figure 10 : Indice d'état I_1 , dégradations de surface.....	21
Figure 11 : Indice d'état I_2 , planéité longitudinale	22
Figure 12 : Indice d'état I_3 , planéité transversale (orniérage).....	22
Figure 13 : Indice d'état I_5 , capacité portante	22
Figure 14 : Évolution de l'état global du réseau, indice global I_G	29
Figure 15 : Évolution de l'état global du réseau, indice I_1	30
Figure 16 : Coûts et longueurs des traitements de maintenance	31
Figure 17 : Retard de maintenance, I_G	33
Figure 18 : Retard de maintenance, I_1	34

Table des tableaux :

Tableau 1 : Extrait du fichier utilisé lors d'une analyse PMS et sa légende	9
Tableau 2 : Indices d'état.....	10
Tableau 3 : Mesures d'entretien et coûts d'application.....	11
Tableau 4 : Domaines d'application des mesures (limites d'intervention).....	12
Tableau 5 : Valeurs de réinitialisation des indices après les mesures d'entretien.....	12
Tableau 6 : Extrait de programme pluriannuel	13
Tableau 7 : Exemple de résultat d'analyse	14
Tableau 8 : Représentation du réseau des routes cantonales et des divisions d'entretien	15
Tableau 9 : Carte représentant le TJM (trafic journalier moyen).....	17
Tableau 10 : Représentation de l'état des chaussées	20
Tableau 11 : Année de pose des revêtements	23
Tableau 13 : Indice d'état I_1 , dégradations de surface	24
Tableau 14 : Indice d'état I_2 , planéité longitudinale.....	24
Tableau 15 : Indice d'état I_3 , planéité transversale (orniérage).....	25
Tableau 16 : Indice d'état I_5 , capacité portante	25
Tableau 17 : Classification de l'état du réseau selon leur valeur d'indice.....	26
Tableau 18 : Distribution de l'état du réseau par rapport aux indices I_G et I_1 (suite page suivante) ...	27
Tableau 19 : Distribution de l'état du réseau par rapport aux indices I_G et I_1 (suite).....	28
Tableau 20 : Types de traitements possibles	32

