



**Sur mandat de l'office fédéral de l'environnement  
(OFEV)**

**Modélisation des flux du bitume  
en Suisse**

**Rapport final**

**Août 2020**

**Energie- und Ressourcen-Management GmbH**

Mandant	Office fédéral de l'environnement OFEV 3003 Berne
Accompagnement OFEV	Clara-Marine Pellet et Dr. David Hiltbrunner
Mandataire	Energie- und Ressourcen-Management GmbH Wolleraustrasse 15g 8807 Freienbach Tel. +41 44 371 40 90 Fax +41 44 371 40 04 info@energie-ressourcen.ch www.energie-ressourcen.ch
Auteur	Dr. Stefan Rubli
Période	Mai 2020 jusqu'à août 2020
Remarques	La présente étude a été réalisée sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.

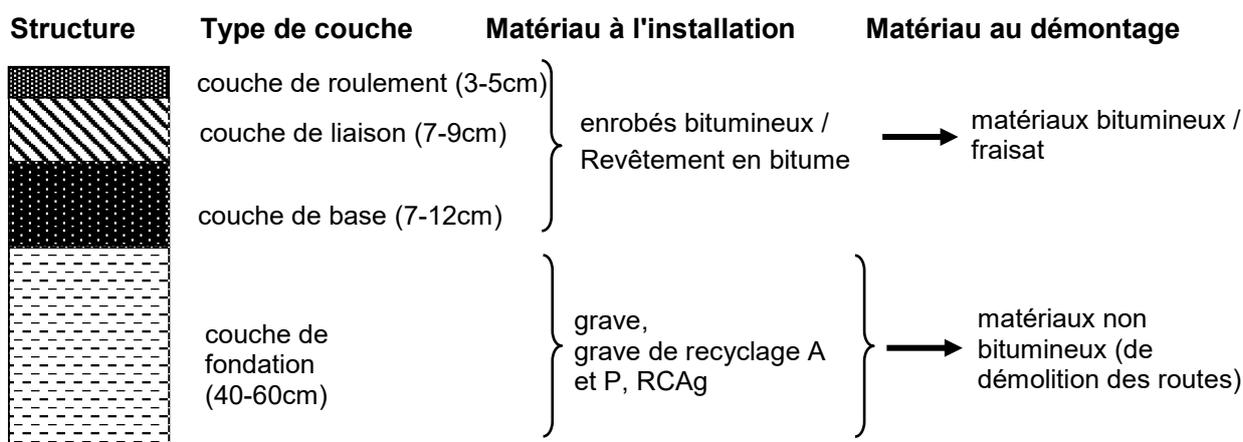
## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Situation initiale et objectifs .....</b>	<b>7</b>
1.1	<i>Situation initiale.....</i>	7
1.2	<i>Objectif et question .....</i>	8
<b>2</b>	<b>Voies d'élimination et flux des matériaux dans l'année de référence 2018 .....</b>	<b>9</b>
2.1	<i>Situation des matériaux bitumineux de démolition recyclés ayant une teneur en HAP &lt;250 ppm .....</i>	9
2.2	<i>Quantités des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP &gt;250 ppm selon les statistiques de l'OFEV sur les déchets spéciaux .....</i>	10
2.3	<i>Domaines d'application de RCAg.....</i>	10
2.4	<i>Bilan matières et voies d'élimination des déchets année de référence 2018 .....</i>	11
<b>3</b>	<b>Bases du modèle et structure .....</b>	<b>13</b>
3.1	<i>Description du système.....</i>	13
3.2	<i>Modélisation du magasin de matériel dans le processus « ROUTES » .....</i>	14
3.3	<i>Paramétrage du modèle en ce qui concerne l'évolution des flux des matériaux.....</i>	16
3.3.1	<i>Évolution des flux du bitume contenant des HAP .....</i>	16
3.3.2	<i>Évolution du contenu des matériaux bitumineux RC dans les enrobés .....</i>	16
3.3.3	<i>Définition des critères de distribution dans le processus « TRIAGE ».....</i>	17
3.4	<i>Calibrage du modèle à l'aide du scénario « RÉFÉRENCE ».....</i>	17
3.5	<i>Définition et description de quatre scénarios .....</i>	19
3.5.1	<i>Paramètres importants du scénario de base SC Référence .....</i>	20
3.5.2	<i>Changements de paramètres entre les quatre scénarios .....</i>	21
<b>4</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>23</b>
4.1	<i>Résultats du scénario « SC Référence » .....</i>	23
4.2	<i>Évolution du revêtement bitumineux .....</i>	25
4.3	<i>Évolution des flux de production des routes .....</i>	26
4.4	<i>Flux des matériaux vers la préparation / le traitement / les décharges dans le scénario « SC Référence » .....</i>	27
4.5	<i>Comparaison des résultats des calculs des scénarios .....</i>	30
<b>5</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>32</b>
5.1	<i>Évolution de modèles, possibilités d'application et compréhension du système .....</i>	32
5.2	<i>Résultats de la modélisation des quatre scénarios.....</i>	32
<b>4</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Annexe .....</b>	<b>36</b>

## Abréviations/définitions importantes

ACF	Couche de fondation posée à chaud – l'ACF est un enrobé bitumineux qui est appliqué directement sur le sol support. On distingue deux granulométries différentes (22 et 32 mm).
AFM	Analyse des flux de matière
Corps de chaussée	Comprend l'ensemble des matériaux utilisés dans la construction routière (voir figure ci-dessous).
Grave de recyclage A	RC grave A
Grave imprégnée	Couche de grave imprégnée avec un liant bitumineux (dans le passé souvent avec une forte teneur en goudron), utilisé comme couche de base dans les anciennes routes.
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HAP <250 ppm	teneur en HAP inférieure à 250 ppm (ou mg/kg)
HAP >250 ppm	teneur en HAP supérieure à 250 ppm (ou mg/kg)
KMF	Couche de fondation posée à froid – le KMF est un enrobé bitumineux utilisé comme substitut du coffre de chaussée.
Matériaux bitumineux RC	Matériaux bitumineux recyclé
Mio.	Millions
m <sup>3</sup>	Mètres cubes : Toutes les données en m <sup>3</sup> se réfèrent au volume non foisonné
OLED	Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets
OFROU	Office fédéral des routes
OFEV	Office fédéral de l'environnement
ppm	parts per million ; correspond à une teneur de 1 mg/kg
Préparation	Traitement mécanique
RCAg	Granulats bitumineux de recyclage
Traitement	Traitement thermique ou physico-chimique

## Structure schématique de la superstructure routière



Remarque : Dans la construction et la rénovation des routes, une partie de la couche de fondation peut être remplacée par une fondation à froid (KMF) ou une fondation à chaud (ACF), qui peut être constituée de différentes proportions de granulats bitumineux recyclé (RCAg). Lors du renouvellement suivant, cette couche sera considérée comme du matériel bitumineux de démolition.

## RÉSUMÉ

Les matériaux bitumineux et le fraisât sont des éléments de haute qualité qui n'ont pas leur place dans les décharges. Cependant, en raison des liants contenant du goudron utilisés dans le passé, il y a encore des quantités considérables de bitume sur nos routes qui sont contaminées aux HAP. Selon l'art. 20, OLEF, les matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP supérieure à 250 ppm ne peuvent être ni recyclés ni mis en décharge. Toutefois, il existe des dispositions transitoires qui autorisent le recyclage jusqu'au 31.12.2025 sous certaines conditions et permettent leur stockage dans les décharges de type E. Il est par ailleurs également envisagé d'interdire la mise en décharge de tous les matériaux bitumineux, quelle que soit leur teneur en HAP. L'utilisation de RC Grave A pourrait également ne plus être autorisée à l'avenir, car des graves primaires sont aujourd'hui souvent ajoutées dans la fabrication de ce produit.

Les interdictions de mise en décharge et les restrictions sur le recyclage ont un impact majeur sur la gestion des matériaux bitumineux. La question se pose donc de savoir si, et dans quelles conditions, un cycle des matériaux durable peut être réalisé pour les matériaux bitumineux. Afin de répondre à cette question, un modèle existant de flux des matériaux, développé par les cantons de Saint-Gall, de Thurgovie, de Zurich et de la Principauté du Liechtenstein (Rubli 2013), a été étendu pour être utilisé au niveau suisse. En collaboration avec l'OFEV, quatre scénarios ont été définis et modélisés jusqu'à l'année 2035. Ils sont utilisés pour examiner les effets de mesures telles que les interdictions de mise en décharge, les interdictions d'utilisation de graves de recyclage A, etc. Ils analysent également l'influence que la mise en œuvre de procédés de traitement thermique ou physico-chimique en Suisse ou à l'étranger pourrait avoir sur le cycle des matériaux. La dynamique temporelle du stockage et des flux de matériaux joue un rôle décisif dans la gestion des matériaux bitumineux issus de la démolition des routes. C'est d'autant plus vrai que le revêtement bitumineux bitume reste dans le corps de chaussée pendant des décennies (30 à 60 ans selon la couche). Les stocks et les flux des matériaux sont donc modélisés pour la période 1960 - 2035.

La modélisation des quatre scénarios a donné les résultats suivants :

1. L'évolution du stockage du matériel bitumineux (asphalte) dans les routes détermine l'évolution des flux de sortie

Entre 1960 et 2020, la quantité d'asphalte sur les routes a augmenté de 230 Mio. de tonnes, ce qui correspond à une croissance annuelle moyenne de 3,8 Mio. de tonnes. Les flux de production continueront donc à augmenter dans les prochaines décennies.

2. La demande en matériaux bitumineux reste constante ou diminue légèrement

La demande pour la période 2010 - 2019 a varié entre 4,7 et 5,3 Mio. t/an. Dans le modèle, le besoin est légèrement réduit à 4,8 Mio. t/an d'ici 2035. En effet, la densification urbaine se fera à l'avenir vers l'intérieur des agglomérations lors de l'évolution des communes et il faudra donc construire moins de routes et de chemins de desserte.

La diminution de la demande en matériaux bitumineux et l'augmentation simultanée du flux de matériaux produit signifient que davantage de ces matériaux devront être déposés dans des décharges à l'avenir si aucune autre mesure n'est prise. Le scénario « RÉFÉRENCE » se traduit par une augmentation du flux de matériaux vers les décharges d'environ 540 000 t/a d'ici 2035.

### 3. Utilisation de RCAg liés et non liés dans la couche de fondation

La stratégie d'élimination consistant à utiliser des RCAg liés ou non liés dans la couche de fondation n'est pas durable. Bien qu'il apporte un répit immédiat, le problème est transmis aux générations futures. Le recyclage de RCAg sous forme liée à froid (KMF) ou à chaud (ACF) a lieu principalement lors de la réfection des routes nationales et cantonales et atteint aujourd'hui un volume estimé à 600 000 t/an. Dans le prochain cycle de réfection, cependant, une quantité correspondante plus importante de matériaux bitumineux de démolition sera produite. Si l'on empêche l'utilisation de RCAg liés ou non liés dans la couche de fondation, le flux de matériaux vers la décharge augmentera pour atteindre près de 1,47 million t/an d'ici 2035. Si seule l'utilisation sous forme non liée était interdite, le flux de matériaux vers les sites de décharge serait légèrement inférieur à 1,0 million t/an en 2035.

### 4. Des proportions de matériaux bitumineux RC plus élevées dans la production des enrobés

Des pourcentages de matériaux RC plus élevés dans la production des enrobés que ceux spécifiés dans les normes entraîneraient une amélioration significative de la situation du recyclage des matériaux bitumineux. Même ainsi, près de 500 000 t/an de matériaux bitumineux devraient être stockés en décharge d'ici 2035. Toutefois, ceci est valable à condition qu'aucun RCAg ne soit utilisé dans la couche de fondation. Si l'utilisation liée y était encore autorisée, il ne serait probablement pas nécessaire d'éliminer des matériaux bitumineux.

### 5. Mise en œuvre de processus de traitement

Avec la mise en œuvre de processus de traitement, un cycle des matériaux durable est possible. Si une interdiction de mise en décharge des matériaux bitumineux et une interdiction simultanée de l'utilisation de RCAg dans la couche de fondation étaient introduites, des capacités de traitement totalisant environ 1,2 million t/an devraient être disponibles d'ici 2035. Si l'utilisation liée de RCAg dans la couche de fondation continue à être autorisée, la capacité de traitement nécessaire sera réduite de moitié environ, pour atteindre un volume estimé à 0,6 million t/an.

Les différents scénarios montrent qu'un cycle des matériaux bitumineux durable ne peut être atteint qu'en augmentant la teneur en matériaux RC dans la production de l'enrobé, combinée à la mise en œuvre de procédés de traitement thermique ou chimique-physique. Avec l'interdiction de mise en décharge à partir de 2026, les critères économiques pour les stations de traitement devraient s'améliorer dans un sens positif. S'il est possible de traiter les matériaux bitumineux de démolition de manière à ce qu'il puisse être recyclé, le traitement des matériaux RC ayant une teneur en HAP <250ppm deviendra même intéressant.

La construction et l'entretien des routes sont essentiellement une tâche du secteur public. L'OFEV doit donc élaborer une stratégie pour une gestion durable du cycle des matériaux bitumineux en collaboration avec l'OFROU et les bureaux d'ingénieurs civils. Le présent modèle fournit un outil permettant de revoir et d'optimiser les concepts stratégiques. Le modèle peut être utilisé, avec certaines adaptations, au niveau cantonal ou régional, ce qui permettrait de prendre en compte les aspects régionaux d'un concept stratégique.

## 1 Situation initiale et objectifs

L'urgence imminente en matière de gestion des matériaux bitumineux de démolition en Suisse incite l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) à procéder à un examen économique et technique des pratiques actuelles d'élimination et de recyclage en Suisse et à l'étranger. Dans un premier temps, l'évolution des flux des matériaux bitumineux doit être estimée à l'aide d'un modèle et différents scénarios de recyclage doivent être calculés. Les flux de matériaux seront différenciés en fonction de leur pollution aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### 1.1 Situation initiale

Aujourd'hui, une grande partie des matériaux bitumineux utilisés pour la construction du bâtiment est recyclée selon les règles de l'art. Les matériaux bitumineux non valorisés sont déposés dans des décharges de type B (teneur en HAP <250 ppm) ou E (teneur en HAP >250 ppm) ou traité thermiquement à l'étranger. Selon l'art. 20 de l'ordonnance sur la prévention et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED), les matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP allant jusqu'à 250 ppm doivent être recyclés aussi complètement que possible comme matière première pour la production de matériaux de construction. Les matériaux bitumineux avec une teneur en HAP supérieure à 250 ppm ne peuvent pas être recyclés. Toutefois, les dispositions transitoires suivantes s'appliquent conformément à l'article 52 :

Les matériaux bitumineux de démolition dont la teneur en HAP dépasse 250 mg par kg peuvent être valorisés dans le cadre de travaux de construction jusqu'au 31 décembre 2025 :

- a) si les matériaux bitumineux contiennent au maximum 1000 mg de HAP par kg et sont mélangés à d'autres matériaux dans des installations appropriées de manière à ce qu'ils contiennent au plus 250 mg de HAP par kg dans les matériaux valorisés, ou
- b) si les matériaux bitumineux sont utilisés avec l'accord de l'autorité cantonale de façon à empêcher les émissions de HAP. L'autorité cantonale saisit la teneur exacte en HAP dans les matériaux bitumineux de démolition ainsi que les coordonnées du site de valorisation; elle conserve ces informations pendant au moins 25 ans.

Les matériaux bitumineux de démolition dont la teneur en HAP dépasse 250 mg par kg peuvent être éliminés dans une décharge du type E jusqu'au 31 décembre 2025. Divers cantons et l'OFEV envisagent une interdiction générale de la mise en décharge des enrobés bitumineux récupérés à l'avenir, quelle que soit leur teneur en HAP. L'utilisation de grave de recyclage A pourrait également être interdite. La question se pose maintenant de savoir quelles sont les conséquences de ces restrictions sur la gestion des matériaux bitumineux de démolition. Les capacités d'absorption dans la filière de production d'enrobé sont-elles suffisantes ? Dans quelles conditions (normes, concepts de traitement, technologies de traitement, etc.) une interdiction de mise en décharge pourrait-elle être introduite, tout en ayant le moins d'effets négatifs possibles sur l'industrie de l'élimination et du recyclage ? Comment les conditions cadres devraient-elles être fixées pour fermer le cycle des matières à long terme, c'est-à-dire sans créer de stocks indésirables ? La modélisation de divers scénarios doit fournir des résultats utiles permettant de répondre à ces questions.

## 1.2 Objectif et question

Les cantons de Saint-Gall, de Thurgovie, de Zurich et la Principauté du Liechtenstein ont fait élaborer un modèle en 2013 pour décrire l'évolution des flux d'HAP et du bitume (Rubli 2013). L'objectif du projet est de poursuivre l'évolution du modèle des cantons susmentionnés afin de pouvoir modéliser les flux des matériaux bitumineux de démolition au niveau suisse et d'établir plusieurs scénarios prévisionnels allant jusqu'en 2035. Les résultats serviront de base à l'élaboration d'une stratégie de valorisation des matériaux bitumineux.

Les étapes de travail suivantes ont été effectuées :

- Collecte de données sur les quantités des matériaux bitumineux de démolition provenant d'enquêtes menées par la Confédération, les cantons et les associations pour l'année de référence 2018.
- Différenciation des quantités des matériaux bitumineux selon deux catégories : teneurs en HAP <250 ppm et >250 ppm.
- Enquête sur les voies d'élimination et de recyclage actuellement disponibles pour les matériaux bitumineux et les RCAg de démolition, c'est-à-dire la collecte des données quantitatives et qualitatives concernant le dépôt de matériaux bitumineux mis en décharge, leur recyclage dans des applications liées ou non liées, leur exportation et recyclage à l'étranger.

L'étape suivante a consisté au développement du modèle et à la définition des scénarios :

- Sur la base des données collectées, le modèle développé est paramétré, calibré et validé.
- En collaboration avec l'OFEV, quatre scénarios différents sont définis pour représenter l'évolution des flux des matériaux bitumineux jusqu'en 2035.
- Les modèles sont paramétrés en fonction des spécifications de chaque scénario. Les différents flux de matériaux sont ensuite calculés pour chacun d'entre eux.
- Les résultats des quatre calculs de scénarios sont comparés et interprétés.

Sur la base des résultats, les différentes stratégies de recyclage choisies peuvent être comparées. Il est possible d'en déduire des options d'action qui devraient finalement montrer quelles stratégies de recyclage peuvent être utilisées pour garantir un traitement écologiquement et économiquement durable des matériaux bitumineux.

Une deuxième phase d'étude, traitant des aspects de faisabilité technique et financiers d'un éventuel traitement des matériaux bitumineux RC excédentaires, sera ensuite effectuée sur la base des résultats présentés dans le rapport ci-présent.

## 2 Voies d'élimination et flux des matériaux dans l'année de référence 2018

Pour le calibrage et la validation du modèle, des bases de données suffisantes doivent être disponibles. Pour cette raison, des données provenant de diverses sources ont été collectées et évaluées. Dans la mesure du possible, elles ont été comparées entre elles afin d'évaluer leur qualité. Les évaluations montrent que souvent seuls des ensembles de données incomplets sont disponibles pour les différentes années de référence. C'est pourquoi seules les quantités de matières pour l'année de référence 2018 sont présentées ci-dessous, année pour laquelle un ensemble de données presque complet a pu être collecté. Les lacunes sont comblées au moyen d'extrapolations et d'estimations avancées.

### 2.1 Situation des matériaux bitumineux de démolition recyclés ayant une teneur en HAP <250 ppm

En Suisse, les données concernant les matériaux bitumineux de démolition (y compris le fraisât) sont collectés par les associations Recyclage matériaux construction Suisse (ASR) et Association Suisse de l'industrie des Gravier et du Béton (ASGB) à l'aide de plateformes électroniques (ARVIS et RESSIS). Ces données sont fournies par chaque entreprise de recyclage de matériaux de construction affiliée à l'une des associations. La figure 1 montre les quantités des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250 ppm livrées aux usines de recyclage en 2018.

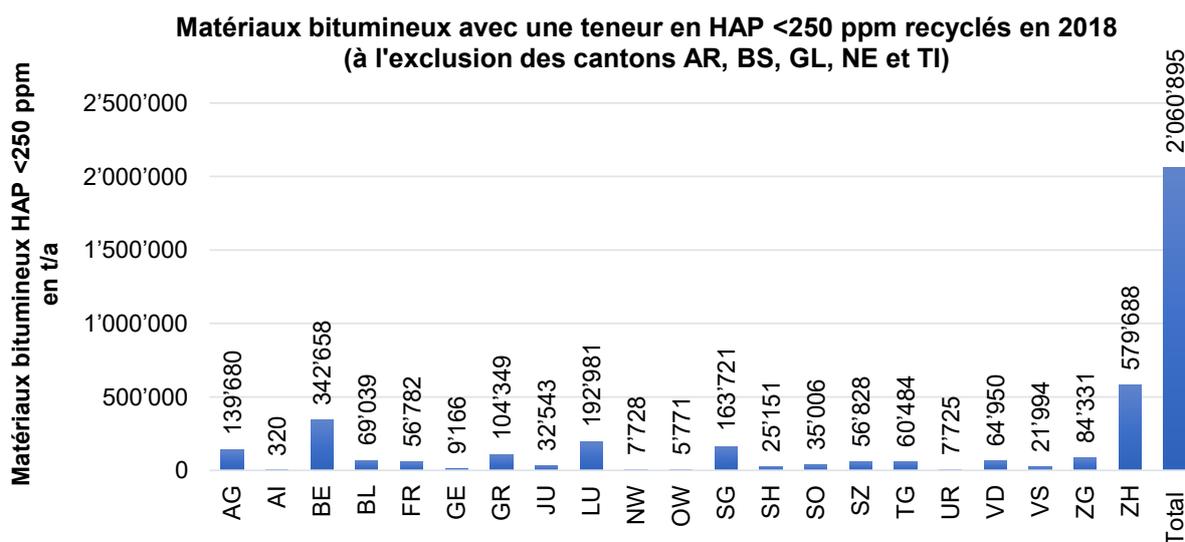


Figure 1 : Quantités de matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250 ppm collectées par les associations ASR et ASGB et réceptionnées par les usines de recyclage pour l'année de référence 2018 ; les quantités des matériaux bitumineux des cantons de AR, BS, GL, NE et TI n'ont pas été collectées par les associations.

Dans les 21 cantons où les quantités de matériaux ont été enregistrées, un peu plus de 2,06 Mio. de tonnes des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250 ppm ont atteint les usines de recyclage en 2018. Un peu moins de 45% a été recyclé exclusivement dans les cantons de Zurich et de Berne. Une proportion inconnue de ces matériaux est probablement issue des cantons voisins. Dans les cantons de AR, BS, GL, NE et TI, aucune quantité des matériaux bitumineux n'a été collectée pour l'année de référence 2018, le total pour la Suisse est donc probablement un peu plus élevé. Pour l'extrapolation au niveau national, il est considéré que la longueur totale des routes de ces cantons représentent un peu moins de 7% du réseau routier national (tableau A.1). Le chiffre mentionné ci-dessus est donc plus élevé pour l'ensemble de la Suisse (tableau 3).

## 2.2 Quantités des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250 ppm selon les statistiques de l'OFEV sur les déchets spéciaux

Les quantités des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250 ppm qui ont été produites en Suisse entre 2014 et 2018 (tableau 1) sont tirées des données statistique pour les déchets spéciaux de l'OFEV (OFEV, 2014-2018a ; 2014-2018b). Tant pour les quantités de matériaux bitumineux de démolition mises en décharge et/ou traitées en Suisse que pour les exportations, on observe une tendance à la hausse d'environ +50 % (sur le marché suisse) et +150 % (sur les exportations) en l'espace de 5 ans. La part des exportations passe de 13% à près de 20% au cours de la période considérée.

L'augmentation assez forte de ces flux des matériaux pourrait indiquer une urgence d'élimination. Il se pourrait également que les autorités du génie civil, en prévision d'une interdiction de mise en décharge à partir de 2026, avancent certaines mesures de réfection des routes afin d'éviter une urgence d'élimination des déchets ou de prévenir d'éventuels coûts supplémentaires pour leur traitement.

Tableau 1 : Matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250 ppm selon les statistiques sur les déchets spéciaux en t/an pour la période 2014 - 2018.

<b>Granulat bitumeux ayant une teneur en HAP &gt;250 ppm Selon les statistiques sur les déchets spéciaux</b>					
<b>Préparation en Suisse</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Décharge	60'496	72'419	70'058	62'658	97'261
Recyclage/préparation	205'509	218'834	279'108	316'789	336'374
<b>Total domestique</b>	<b>266'005</b>	<b>291'253</b>	<b>349'166</b>	<b>379'447</b>	<b>433'635</b>
<b>Export</b>					
<b>Recyclage/traitement</b>	<b>39'466</b>	<b>43'762</b>	<b>95'005</b>	<b>78'462</b>	<b>105'533</b>
<b>Total préparation en Suisse + export</b>	<b>305'471</b>	<b>335'015</b>	<b>444'171</b>	<b>457'909</b>	<b>539'168</b>
Part de l'export en %	12.9	13.1	21.4	17.1	19.6

## 2.3 Domaines d'application de RCAg

Dans le cadre de leur enquête quantitative, L'ASR et l'ASGB enregistrent également depuis environ trois ans les applications auxquelles les RCAg sont soumis. Cela permet de montrer quelles proportions de RCAg sont utilisées dans la production d'enrobés et quelles proportions sont utilisées dans les applications en vrac. Ces dernières peuvent être utilisées comme RCAg ou comme grave de recyclage A.

Au total, près de 2 Mio. de tonnes de RCAg ont été produites en 2018 (tableau 2). Un peu plus de 73% de ce volume, soit 1,44 million de tonnes, a été consacré aux demandes sous forme liées. 20%, soit 400.000 tonnes, ont été utilisées sous forme non liée et seulement 130.000 tonnes ont servi à produire 650.000 tonnes de grave de recyclage A.

Tableau 2 : Quantités de RCAg produites durant l'année de référence 2018, différenciées selon les formes d'utilisation dans les 21 cantons selon les enquêtes de l'ASR et de l'ASGB. Les RCAg produits dans les cantons de AR, BS, GL, NE et TI ne sont pas inclus dans ces données.

Données ASR+ASGB	Forme d'emploi	2018 Tonnes	Parts en %
Granulats bitumeux	non-lié	399'195	20.2
RCAg dans la grave de recyclage A <sup>(1)</sup>	non-lié	130'087	6.6
Granulats bitumeux	Lié	1'443'335	73.2
<b>Total utilisé à l'exclusion du gravier contenu à 80% dans le RC-KS A</b>		<b>1'972'617</b>	<b>100.0</b>

(1) La quantité indiquée est la masse de RCAg nécessaire à la production de grave recyclée A. Cela correspond à une quantité finale de grave RC A de 650'435 tonnes.

## 2.4 Bilan matières et voies d'élimination des déchets année de référence 2018

À partir des flux des matériaux énumérés aux chapitres 2.1 à 2.3, il est maintenant possible d'établir le bilan matières pour l'année de référence 2018 et d'analyser les filières d'élimination (tableau 3). Au total, un peu plus de 2,74 Mio. de tonnes des matériaux bitumineux ont été acceptées par les usines de traitement (y compris l'exportation) et les exploitants de décharges en 2018. La proportion des matériaux bitumineux contaminés par des HAP avec une teneur en HAP >250 ppm dans le volume total est légèrement inférieure à 20%.

Tableau 3 : Bilan matière des matériaux bitumineux provenant de la gestion des routes et des produits issus de la transformation pour l'année de référence 2018, établi sur la base des données des enquêtes ASR et ASGB et des statistiques de l'OFEV sur les déchets spéciaux. En raison du manque de données des cantons de AR, BS, GL, NE et TI, les quantités ont été estimées sur la base de la proportion des longueurs de route (valeur dans la dernière colonne).

Matériaux bitumineux produits	Source des données	Quantité de matériaux en tonnes	Quantité de matériaux CH <sup>(1)</sup> en tonnes	Parts en pourcentage
Matériaux bitumineux avec une teneur en HAP <250ppm	ASR et ASGB	2'060'895	2'205'158	80.4
Matériaux bitumineux avec une teneur en HAP >250ppm	Statistiques sur les déchets dangereux	539'168	539'168	19.6
<b>Total</b>		<b>2'600'063</b>	<b>2'744'326</b>	<b>100.0</b>
<b>Filière d'élimination et quantités des matériaux bitumineux/granulats</b>				
Granulats bitumeux sous forme non-liée	ASR et ASGB	399'195	427'139	15.4
Granulats bitumeux dans les graves de recyclage A	ASR et ASGB	130'087	139'193	5.0
Granulats bitumeux sous forme liée	ASR et ASGB	1'443'335	1'544'368	55.5
Granulats bitumeux HAP >250ppm valorisés en CH	Statistiques sur les déchets spéciaux	336'374	336'374	12.1
Stockage intermédiaire	ASR et ASGB	123'056	131'670	4.7
Exportation pour traitement à l'étranger HAP >250ppm	Statistiques sur les déchets spéciaux	105'533	105'533	3.8
Mise en décharge en CH HAP >250ppm	Statistiques sur les déchets spéciaux	97'261	97'261	3.5
Mise en décharge en CH HAP <250ppm		non connu	non connu	
<b>Total</b>		<b>2'634'841</b>	<b>2'781'539</b>	<b>100.0</b>
<b>Différence matériaux produits - matériaux éliminés</b>		<b>-34'778</b>	<b>-37'213</b>	

(1) Extrapolation établie à partir des proportions des longueurs de route pour les cantons d'AR, BS, GL, NE et TI

La quantité totale des matériaux bitumineux et mis en décharge est d'un peu moins de 2,78 Mio. de tonnes (tableau 3, partie inférieure). Cela inclut un stockage intermédiaire dans les installations de traitement d'un peu moins de 132 000 tonnes. La différence entre l'accumulation de matières et la production de matières est de -37.000 tonnes, valeur qui se situe dans la fourchette d'incertitude des enquêtes sur les matières. Globalement, le taux de recyclage est de 96,5%, en supposant que les matériaux bitumineux stockés dans les installations de traitement sont également recyclés ultérieurement. Si tel n'est pas le cas, le taux de recyclage est de 92%.

L'évolution des stocks intermédiaire est intéressante. Si ce phénomène continue à se développer et si les options de recyclages disponibles sont insuffisantes, il faudra probablement évacuer ces matériaux vers les décharges. Le tableau 3 n'inclut pas les fractions des matériaux bitumineux déposées dans les décharges avec des teneurs en HAP <250ppm. Il n'existe pas d'ensemble de données complet à ce sujet. Les enquêtes sur les quantités déposées dans les décharges de type B dans les cantons de Suisse centrale montrent qu'environ 12.000 tonnes des matériaux bitumineux y ont été déposées en 2018. On peut supposer que dans d'autres cantons, en particulier dans les régions rurales ou éloignées, ces matériaux sont aussi parfois évacués en décharge de type B.

### 3 Bases du modèle et structure

Le modèle développé se base, avec quelques ajustements, sur la méthodologie décrite dans le rapport sur la modélisation des flux du bitume et de HAP dans les cantons de Saint-Gall, de Thurgovie, de Zurich et de la Principauté du Liechtenstein (OFEV, 2001). Afin de garantir la compréhension, les descriptions de systèmes et de modèles suivantes abordent à nouveau les principales approches méthodologiques et expliquent les modifications et extension ajoutées au modèle.

#### 3.1 Description du système

L'évolution temporelle des flux de matériaux bitumineux bitume est modélisée de la manière la plus réaliste possible. Cela nécessite une structure de modèle complexe. Le réseau routier national est divisé en routes nationales, cantonales et communales, ainsi qu'en autres routes, sentiers et pistes cyclables. La structure de la route avec ses différentes couches telles que les couches de fondation, de base, de liaison et de roulement est également prise en compte dans le modèle. Enfin, tous les flux de sortie sont différenciés en fonction des classes de pollution aux HAP inférieures et supérieures à 250 ppm. Les caractéristiques de base du modèle sont décrites en figure 2.

Le système est défini par sept processus (cases colorées). Les flux des matériaux entre les processus sont indiqués par des flèches. Le processus « ROUTES » est le processus principal du système dans lequel tous les stocks de matériaux dans les routes sont estimés. Sur la base de ces stocks, les flux sont déterminés en utilisant les taux de construction, de renouvellement et de déconstruction. Les flux de sortie du processus « ROUTES » sont introduits dans le processus de distribution virtuel « TRIAGE ». Ici, les matériaux bitumineux de démolition des routes sont récupérés et traités par des procédés de traitement mécaniques (« Préparation des matériaux bitumineux »), thermiques ou chimiques (« Traitement »). Le reste des matériaux provenant des « ROUTES » va en « Décharge ».

Dans les processus de « préparation », des RCAg ou des graves de recyclage A sont produits pour l'élaboration de matériaux de construction, c'est-à-dire la fabrication d'enrobés et de graves pour la couche de fondation. Si tous les matériaux préparés ne peuvent pas être utilisés dans les processus de production, par exemple parce que la teneur en matériaux RC spécifiée dans les couches de revêtement a déjà été épuisée, le « surplus » doit être transféré de l'usine de préparation à la décharge. Les seuls flux d'importation sont les liants (bitume et anciennement liants contenant du goudron) qui entrent dans les processus de production pour la fabrication des enrobés bitumineux.

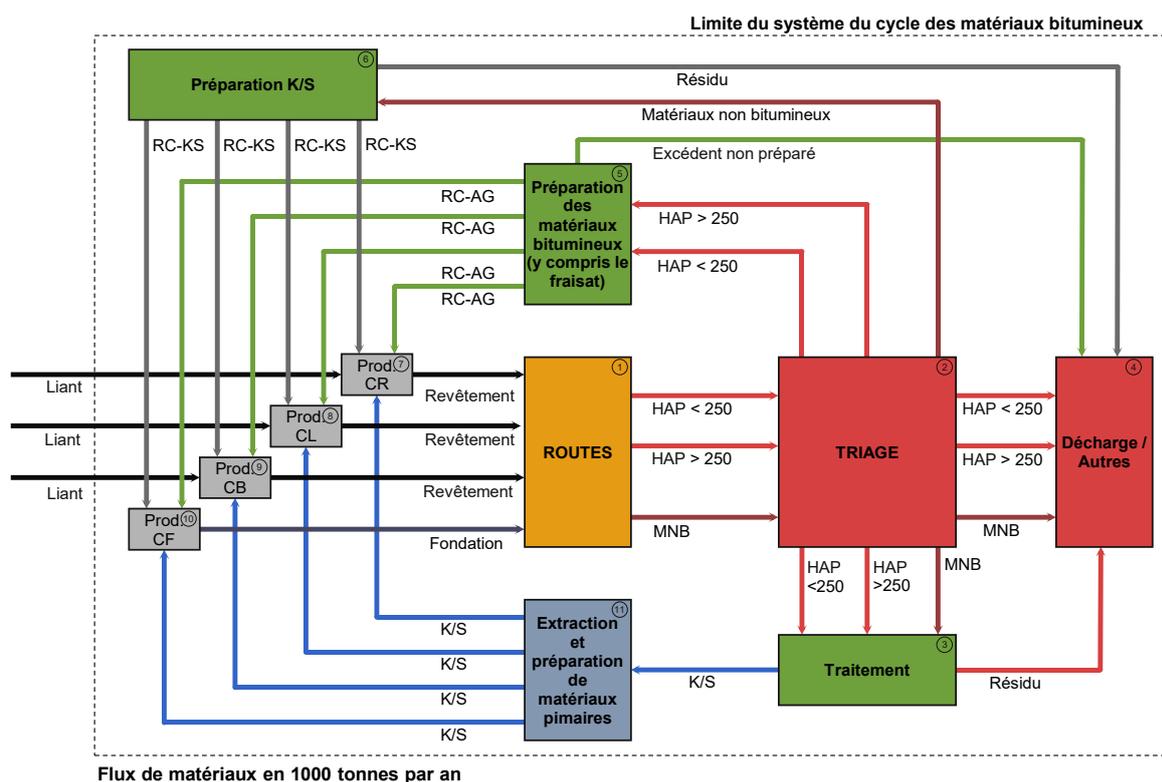


Figure 2 : Système permettant d'enregistrer et de modéliser les flux des matériaux.

Légende : RC-AG : RC-Ag, K/S : Grave, MNB : matériaux non bitumineux de démolition des routes, CR : Couche de roulement, CL : Couche de liaison, CB : Couche de base, CF : Couche de fondation

Dans le processus de « traitement », le liant est séparé thermiquement ou chimiquement des matériaux bitumineux. Le reste des agrégats peut être utilisé soit dans la production d'enrobés bitumineux, soit comme substitut à la grave. Les fractions non recyclables et les résidus du processus de préparation et de traitement sont également envoyés à la « décharge ».

### 3.2 Modélisation du magasin de matériel dans le processus « ROUTES »

Le processus central « ROUTES » contient de nombreux sous-processus. Pour chacun des quatre types de routes « Routes nationales », « Routes cantonales », « Routes communales » et « Autres routes » (routes privées bituminées, voies piétonnes<sup>1</sup> et pistes cyclables ainsi que parkings), une structure spécifique est définie, chacune avec des épaisseurs de couche différentes (voir également la figure dans la section Glossaire/Définitions). Ainsi, un total de 4 types de routes avec 4 couches et 2 fractions de matériaux chacune, c'est-à-dire jusqu'à 32 sous-processus sont modélisés dans le processus « ROUTES ». A cela s'ajoute encore d'autres processus dans le système. Le modèle est donc d'une grande complexité.

En utilisant les longueurs et largeurs de route connues grâce aux enquêtes statistiques, il est possible d'estimer les volumes de matériaux stockés sur les routes aujourd'hui. En connaissant leur densité, ces volumes peuvent être convertis en tonnes. La base de données est constituée par les informations sur la longueur des routes pour la période 1950 - 2018 de l'Office fédéral de

<sup>1</sup> Les voies piétonnes et les pistes cyclables asphaltées comprennent également des places de stationnement. Ce type de route est également appelé « autres routes » dans le modèle.

la statistique (OFS, 2019). Cependant, la longueur des routes cantonales et communales n'a guère changé dans ces statistiques depuis le milieu des années 1980. La raison en est que, en particulier dans le cas des routes communales, aucune autre étude sur la construction de nouvelles routes n'a été réalisée depuis 1984. Seuls les reclassements entre les routes cantonales et communales ont été enregistrés statistiquement. C'est pourquoi l'évolution de la longueur des routes communales et des autres routes doit être estimée en fonction de l'évolution des agglomérations (OFEV, 2016).

Pour décrire l'évolution des stocks de matières premières, on suppose son état réel en 2018 (pour les calculs, voir le tableau A. 3 de l'annexe). Tout d'abord, l'évolution passée du stock jusqu'en 1960 est modélisée à l'envers, en utilisant les taux de nouvelles constructions pour chaque type de route dans les années 1960, 1990, 2010 (tableau A. 2 en annexe). Les taux de nouvelles constructions se réfèrent toujours au stock de routes (longueurs) des années correspondantes. Comme le réseau routier national en 1960, par exemple, était encore très réduit, les taux de nouvelles constructions pour ce type de routes sont initialement très élevés. Pour l'évolution future des stocks, une valeur supplémentaire est définie pour l'année 2035. Les valeurs font l'objet d'une interpolation par spline cubique de sorte qu'elles soient définies pour chaque année pour des calculs supplémentaires. Cette procédure garantit la continuité de l'évolution temporelle. La figure 3 montre l'évolution interpolée des longueurs de route, différenciées par type de route, pour la période 1960 à 2035.

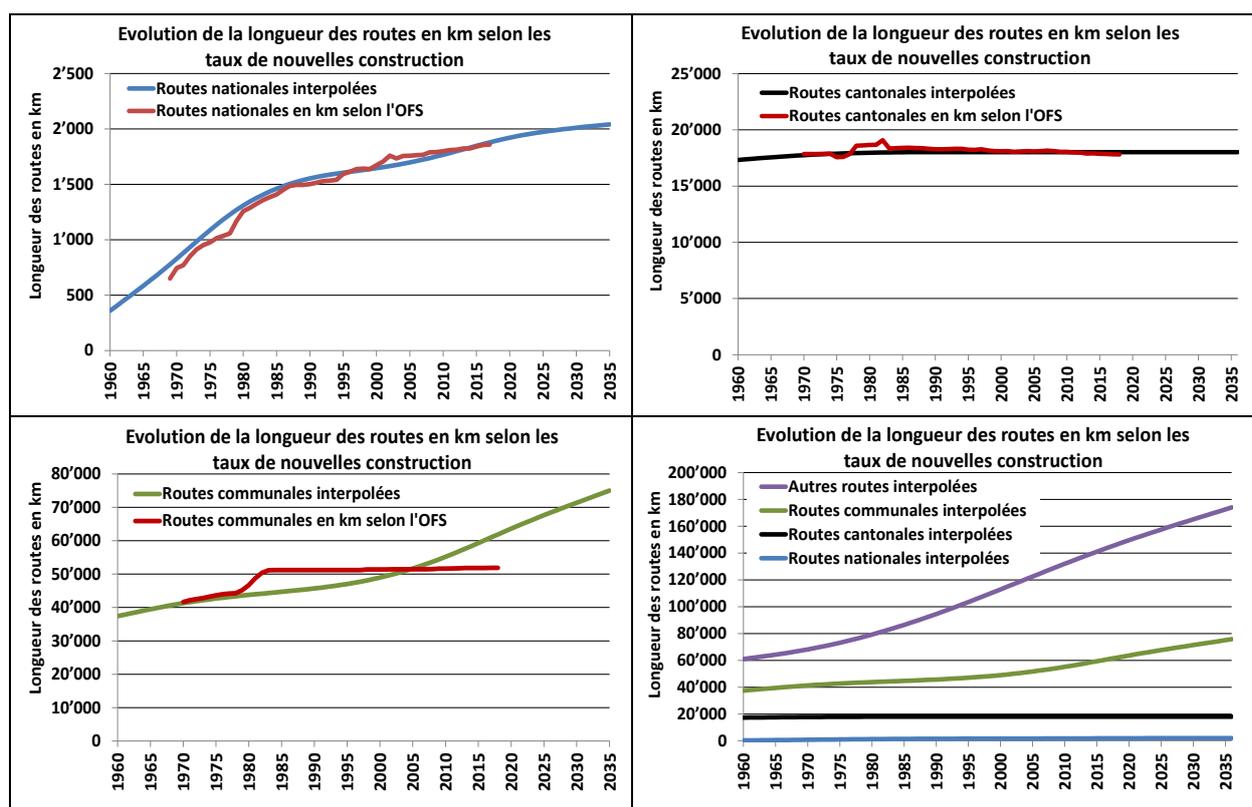


Figure 3 : Comparaison de l'évolution des longueurs de route selon les statistiques de l'OFS (lignes rouges dans les graphiques en haut et en bas à gauche) et des longueurs de route interpolées dans la période 1960 à 2035 selon les taux de nouvelles constructions utilisés dans le tableau A. 2 en annexe. Le graphique ci-dessous à droite montre l'évolution interpolée des longueurs pour les différents types de routes.

Pour calibrer cette évolution, les bases de données statistiques susmentionnées sur l'évolution des longueurs de route de l'OFS ont été utilisées. Les taux de nouvelles constructions utilisés sont ajustés de telle manière que les longueurs modélisées pour certaines années correspondent

le plus possible aux données statistiques (lignes rouges dans les graphiques en haut et en bas à gauche). Le modèle prend également en compte l'augmentation de la largeur des routes. Cette croissance est particulièrement prononcée pour les routes cantonales et communales et les « autres routes ».

### **3.3 Paramétrage du modèle en ce qui concerne l'évolution des flux des matériaux**

Le paramétrage du modèle pour la modélisation de l'évolution des flux des matériaux jusqu'en 2035 repose essentiellement sur la modélisation des flux des matériaux bitumineux et de leur concentration en HAP dans les cantons de Saint-Gall, de Thurgovie, de Zurich et de la Principauté du Liechtenstein (Rubli, 2013). Les paramètres les plus importants du modèle sont décrits ci-après et les différences par rapport à l'étude de 2013 sont mises en évidence.

#### **3.3.1 Évolution des flux du bitume contenant des HAP**

Dans la présente étude, le flux des matériaux bitumineux est différencié selon les deux classes de HAP « teneur en HAP <250ppm » et « teneur en HAP >250ppm ». L'évolution temporelle des stocks et des flux de HAP dans la période 1960-2035 est basée sur les paramètres du modèle de l'étude Rubli 2013, en utilisant comme données une publication de l'OFEV sur les émissions de polluants atmosphériques sur les chantiers (OFEV, 2001) et ses propres estimations des proportions de liants contenant du goudron utilisées au fil du temps. A l'époque et pour valider le modèle, des évaluations approfondies sur la base d'analyses de carottes ont été effectuées afin de fournir la meilleure représentation possible des réserves modélisées de HAP dans les routes. Les paramètres du modèle national actuel ont été légèrement ajustés pour la présente étude puisque certaines régions (principalement en Suisse occidentale) n'ont que des charges de HAP mineures sur les routes. L'évolution de la composition des liants en fonction du temps est défini pour les années 1960, 1980, 1990, 2010 et 2035 (tableau A. 4), et fait l'objet d'une interpolation par spline cubique.

#### **3.3.2 Évolution du contenu des matériaux bitumineux RC dans les enrobés**

L'évolution des fractions de RCAg dans la production d'enrobés ou dans la couche de fondation est un élément central pour la modélisation de différents scénarios. En déterminant les teneurs maximales possibles en RCAg dans les différentes couches pour les années 1960, 1980, 1990, 2010 et 2035, l'évolution temporelle peut être spécifiée et représentée au moyen de fonctions spline cubiques (tableau 4). Si, toutefois, la transformation produit moins de RCAg que les proportions spécifiées, ils sont utilisés dans le modèle jusqu'à la proportion maximale définie pour les différentes couches, en commençant par celle de fondation où les exigences de qualité les plus faibles doivent être satisfaites. Dès que la proportion maximale définie dans la couche de fondation est atteinte, les RCAg restant vont dans la couche supérieure (couche de base). Cela se poursuit jusqu'à la couche de roulement. S'il reste à la fin un surplus de RCAg provenant du processus de transformation, il est renvoyé à la « décharge » en tant que « surplus » (tableau 4). L'utilisation des RCAg est ainsi déclinée en cascade dans le modèle depuis la couche de fondation jusqu'à la couche de roulement, des exigences en matière de matériaux les plus faibles jusqu'aux plus élevées.

Tableau 4 : Paramètres intégrés au modèle visant à déterminer l'évolution des proportions maximales de RCAg et de graves RC dans la production des matériaux de construction, différenciés selon les différentes couches (ici pour le scénario RÉFÉRENCE). Dans la dernière colonne, on fait la somme des matériaux recyclés, qui ne doit pas être supérieure à 100.

<b>Part des produits RC (total)</b>		<b>Teneur en HAP &lt;250</b>	<b>Teneur en HAP &gt;250</b>	<b>Part RC-K/S</b>	<b>Total</b>
<b>Couche de roulement</b>	<b>Année</b>				
0%	1960	0	0	0	0
0%	1980	0	0	0	0
0%	1990	0	0	0	0
5%	2010	4	1	0	5
5%	2035	4	1	0	5
<b>Couche de liaison</b>					
5%	1960	2	3	0	5
10%	1980	6	4	0	10
20%	1990	14	6	0	20
30%	2010	23	7	0	30
30%	2035	25	5	0	30
<b>Couche de base</b>					
10%	1960	5	6	0	10
20%	1980	11	9	0	20
55%	1990	38	17	0	55
60%	2010	47	13	0	60
60%	2035	50	10	0	60
<b>Fondation</b>					
35%	1960	35.0	0	40	75
35%	1980	35.0	0	40	75
15%	1990	15.0	0	40	55
11.0%	2010	11.0	0	85	96
11.0%	2035	11.0	0	89	100

### 3.3.3 Définition des critères de distribution dans le processus « TRIAGE »

Les trois flux de sortie du processus « ROUTES » entrent dans le processus de triage (figure 2). En pratique, ce processus de distribution virtuelle a déjà lieu sur le chantier ou dans les entreprises de transformation. Dans le modèle, il peut être défini en fonction du scénario au moyen de ce que l'on appelle les coefficients de transfert, qui permettent de déterminer les flux des matériaux dans les processus d'élimination en bout de chaîne. Si, par exemple, un processus de traitement thermique ou chimico-physique des matériaux bitumineux est développé en Suisse à l'avenir, les flux de matériaux allant du processus « TRIAGE » vers le processus « traitement » peuvent être ajustés et modélisés en conséquence par le biais des paramètres de distribution. Il s'agit donc d'un nouveau modèle de scénario.

### 3.4 Calibrage du modèle à l'aide du scénario « RÉFÉRENCE »

Comme base pour la modélisation, un scénario « RÉFÉRENCE » est d'abord défini, qui doit refléter au mieux la situation réelle, notamment pour une année de référence (ici l'année 2018). Les données disponibles sont utilisées à cette fin. Les paramètres du modèle sont modifiés jusqu'à ce que les résultats soient aussi proches que possible des valeurs des flux de matériaux

collectés. Plus il y a de bases de données disponibles, mieux le modèle peut être calibré. Les données présentées dans le chapitre 2 permettent un calibrage équilibré du modèle. En outre, l'association professionnelle suisse « asphaltuisse » dispose de données supplémentaires sur la production d'enrobés pour la période 2010 -2019 (asphaltuisse, 2019). La figure 4 montre la comparaison entre la production d'enrobés au cours de la période 2010-2019 (points) et l'apport modélisé d'enrobés dans les routes (ligne) pour la période 2000-2035 en Mio. t/an. Cette comparaison correspond à la calibration de l'apport annuel de matériaux bitumineux sur les routes.

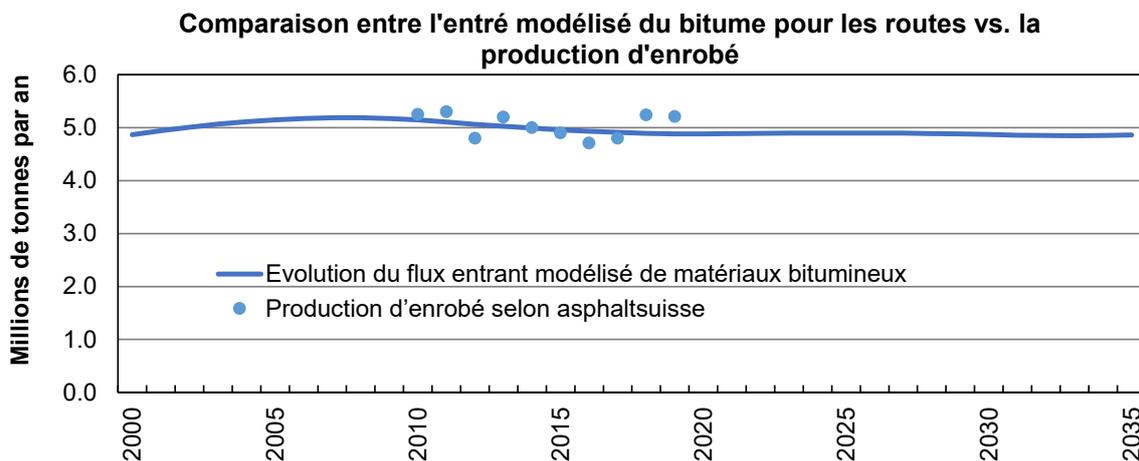


Figure 4 : Comparaison de la production d'enrobé au cours de la période 2010-2019 (points) avec le flux entrant modélisé de matériaux bitumineux dans les routes (période 2000-2035) en Mio. t/an.

Les flux sortant des routes et leur répartition dans le processus de « TRIAGE » vers les différentes voies d'élimination ont également été calibrés (tableau 5). On peut constater que les écarts entre les flux des matériaux collectés et modélisés sont de l'ordre de  $0 \pm 1,9 \%$ .

Cela est dû en partie au fait que d'autres hypothèses ont été formulées dans le modèle. Par exemple, le modèle suppose qu'une petite proportion des matériaux bitumineux produits avec une teneur en HAP < 250 ppm est mise en décharge à hauteur de près de 27 000 t/an. Pour cette raison, la valeur correspondante du modèle pour les matériaux bitumineux est légèrement supérieure aux données recueillies. En outre, le flux de matériaux « Matériaux bitumineux HAP <250 ppm dans le recyclage en Suisse » comprend le stockage intermédiaire dans les usines de traitement. Dans le modèle, ce flux des matériaux reflète le « surplus ».

Tableau 5 : Comparaison entre les données réelles de flux de matériaux (selon le chapitre 2) et les flux modélisés du scénario « RÉFÉRENCE » pour l'année de référence 2018 ainsi que leur déviation en %.

Flux de matériaux	Enquêtes en tonnes/an	Modèle en tonnes/an	Déviation en %
<b>Résultats du processus « ROUTES »</b>			
Matériaux bitumineux avec une teneur en HAP <250ppm	2'205'158	2'248'122	1.9
Matériaux bitumineux avec une teneur en HAP >250ppm	539'168	539'208	0.0
<b>Production totale de matières issues des routes</b>	<b>2'744'326</b>	<b>2'787'330</b>	<b>1.6</b>

	Enquêtes en tonnes/an	Modèle en tonnes/an	Déviation en %
<b>Résultat du processus « TRIAGE »</b>			
Granulats bitumeux HAP <250ppm valorisés en CH	2'242'371	2'220'592	-1.0
Granulats bitumeux HAP >250ppm valorisés en CH	336'374	331'492	-1.5
Mise en décharge en CH HAP <250ppm	non connu	27'531	
Mise en décharge en CH HAP >250ppm	97'261	98'420	1.2
Exportation pour traitement à l'étranger HAP >250ppm	105'533	109'295	3.6
<b>Production totale de matières issues du triage</b>	<b>2'781'539</b>	<b>2'787'330</b>	<b>0.2</b>

### 3.5 Définition et description de quatre scénarios

Le paramétrage poussé du modèle permet le calcul d'un grand nombre de scénarios différents. Les scénarios à définir doivent chacun refléter différentes problématiques. Dans la présente étude, les questions suivantes sont au premier plan :

- Quelle sera l'influence de l'interdiction du dépôt des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250ppm et, le cas échéant, des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250ppm à partir de 2026 sur l'évolution future des flux de ces matériaux dans le système ?
- Quels seraient les effets de l'interdiction de l'utilisation de grave de recyclage RC A et de RCAg en vrac dans la couche de fondation ?
- Quels seraient les effets d'une augmentation des pourcentages maximaux de recyclage dans la production d'enrobés et comment les flux des matériaux bitumineux évolueraient-ils si un processus de traitement thermique ou chimico-physique était disponible en Suisse ?

Au total, quatre scénarios ont été définis. Ils sont conçus pour se construire les uns par rapport aux autres, seuls quelques paramètres étant modifiés entre chacun d'entre eux. Cela présente l'avantage que les résultats ou les différences sont faciles à interpréter et restent compréhensibles. Le scénario « RÉFÉRENCE » est le premier et sert de base à l'élaboration des trois autres. Il doit refléter au mieux la situation actuelle. Il est ensuite maintenu jusqu'en 2035, c'est-à-dire que ses paramètres restent largement inchangés jusque-là. Ainsi, l'évolution des flux de matériaux est représentative d'une situation où aucune mesure n'est prise à l'exception de l'interdiction de mise en décharge en 2026 pour les matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250ppm, déjà actuellement fixée dans l'OLED.

Le tableau 6 décrit brièvement les quatre scénarios avec les abréviations correspondantes. Ces dernières sont utilisées dans les graphiques du chapitre présentant les résultats.

Tableau 6 : Brève description des quatre scénarios.

Scénario	Abréviation	Brève description
Scénario « REFERENCE »	SC Référence	Le scénario « REFERENCE » est au plus proche de la situation actuelle. Il est maintenu jusqu'en 2035.
Scénario similaire à SC Référence mais avec une utilisation nulle de grave de recyclage RC A et de RCAg dans la couche de fondation.	SC Réf, nF	Ce scénario est similaire au scénario « SC Référence » mais ne comprend ni grave de recyclage RC A ni RCAg (liés ou non liés) dans la couche de fondation. La raison est qu'il ne s'agirait que d'un recyclage limité dans le temps puisque seule la durée d'utilisation des matériaux bitumineux est prolongée avant leur mise en décharge probable lors de prochains travaux (matériel mixte non valorisable).
Scénario similaire à SC Réf, nF mais avec une part maximale de matériaux bitumineux RC dans la production.	SC nF, maxREC	Ce scénario est similaire au scénario « SC nF » et ajoute des teneurs maximales en matériaux bitumineux RC dans la production du revêtement routier. Les teneurs considérées sont en partie supérieures aux teneurs en matériaux bitumineux RC spécifiées dans les normes actuelles.
Scénario similaire à SC nF, maxREC mais avec l'existence d'un processus de traitement des matériaux bitumineux	SC nF, maxREC + BH	Ce scénario est similaire au scénario « SC nF, Max Rec » mais dans lequel grande partie des matériaux bitumineux avec une teneur en HAP >250ppm et une plus petite partie de ceux ayant une teneur en HAP <250ppm sont soumises à un processus de traitement (BH).

### 3.5.1 Paramètres importants du scénario de base SC Référence

Dans le scénario de base SC Référence, les proportions maximales de matériaux bitumineux RC dans la production d'enrobé sont fixées de manière à ce qu'elles correspondent aux proportions maximales définies dans la norme SN 640431-1-b-NA pour l'ajout à chaud dans la période comprise entre 2010 et 2035. Pour la couche de roulement, cependant, seule une proportion de 5 % a été utilisée, car on suppose que la proportion de 30% indiquée dans la norme n'est généralement pas atteinte aujourd'hui et ne le sera très certainement pas dans les années à venir.

Ajout autorisé de RCAg selon la norme SN 640 431-1-b-NA :

Couche de roulement : 0 à 30% ;	SC Référence : <b>5%</b>	pour les années 2010 et 2035
Couche de liaison : jusqu'à 30% ;	SC Référence : <b>30%</b>	pour les années 2010 et 2035
Couche de base : jusqu'à 60% ;	SC Référence : <b>60%</b>	pour les années 2010 et 2035
Fondation : jusqu'à 70% ;	SC Référence : <b>11%</b>	pour les années 2010 et 2035

La grave de recyclage RC A et les RCAg liés et non liés sont aujourd'hui utilisés dans la couche de fondation. Par rapport à l'ensemble de la couche, cela correspond à une part moyenne de 11% (sur la base d'une épaisseur de 40 à 60 cm) dès l'année 2018. Dans le scénario SC Référence, cette proportion reste constante jusqu'en 2035. Dans les autres scénarios, on

suppose que, pour les raisons mentionnées ci-dessus (tableau 6), il n'y aura plus d'utilisation de grave de recyclage RC A ni de RCAg dans la couche de fondation.

### 3.5.2 Changements de paramètres entre les quatre scénarios

Les scénarios décrits dans le tableau 6 diffèrent tout d'abord en ce qui concerne les pourcentages de matériaux recyclés utilisés (tableau 7). Ensuite, les coefficients de distribution du processus de « TRIAGE » (tableau 8), dans lequel les voies d'élimination des déchets des matériaux bitumineux sont définies, sont choisis en fonction du scénario. Les changements par rapport au scénario « SC Référence » sont indiqués en jaune dans les tableaux et en caractères gras. Le tableau 7 montre que dans le scénario « SC Réf, nF », aucun RCAg n'est utilisé dans la couche de fondation en 2035. La valeur de recyclage y est donc de 0%. C'est également le cas dans les autres scénarios, mais les pourcentages de recyclage maximum dans les couches de base, de liaison et de roulement en 2035 y sont sensiblement plus élevés que dans le scénario « SC Référence ». Les deux derniers scénarios ne diffèrent pas en termes de pourcentages de matériaux RC. Toutefois, les coefficients de distribution du processus de « TRIAGE » sont différents dans ces scénarios (tableau 8). Dans le dernier scénario « SC nF, REC+BH » il est considéré que 100% des matériaux bitumineux avec une teneur en HAP >250 ppm et 30% des matériaux bitumineux avec une teneur en HAP <250 ppm sont traités en 2035.

Tableau 7 : Définition de l'évolution des pourcentages de recyclage dans les différentes couches routières pour les quatre scénarios. Les proportions marquées en jaune et en caractères gras illustrent les changements par rapport au scénario « SC Référence ».

	SC Référence	SC Réf, nF	SC nF, maxREC	SC nF, maxREC + BH
<b>Couche de roulement</b>				
1960	0%	0%	0%	0%
1980	0%	0%	0%	0%
1990	0%	0%	0%	0%
2010	5%	5%	5%	5%
2035	5%	5%	<b>30%</b>	<b>30%</b>
<b>Couche de liaison</b>				
1960	5%	5%	5%	5%
1980	10%	10%	10%	10%
1990	20%	20%	20%	20%
2010	30%	30%	30%	30%
2035	30%	30%	<b>60%</b>	<b>60%</b>
<b>Couche de base</b>				
1960	10%	10%	10%	10%
1980	20%	20%	20%	20%
1990	55%	55%	55%	55%
2010	60%	60%	60%	60%
2035	60%	60%	<b>80%</b>	<b>80%</b>
<b>Fondation</b>				
1960	35%	35%	35%	35%
1980	35%	35%	35%	35%
1990	15%	15%	15%	15%
2010	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%
2035	11.0%	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>

Marqué en jaune : valeurs modifiées par rapport au scénario SC Référence.

Tableau 8 : Coefficients de répartition dans le processus de « TRIAGE », dans lequel les voies de valorisation « traitement », « transformation » et « mise en décharge » sont définies pour les quatre scénarios. La somme des coefficients donne la valeur 1. Les valeurs marquées en jaune et en gras illustrent les changements entre les différents scénarios. En conséquence, les coefficients de répartition ne changent que dans le scénario « SC nF, max REC +BH » ; dans tous les autres scénarios, ils restent inchangés.

	SC Référence			SC Réf, nF			SC nF, maxREC			SC nF, maxREC + BH		
	Préparation	Traitement	Décharge	Préparation	Traitement	Décharge	Préparation	Traitement	Décharge	Préparation	Traitement	Décharge
<b>Proportion de la teneur en HAP &lt;250ppm</b>												
1960	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80
1970	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80
1980	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30
1990	0.90	-	0.10	0.90	-	0.10	0.90	-	0.10	0.90	-	0.10
2010	0.98	-	0.02	0.98	-	0.02	0.98	-	0.02	0.98	-	0.02
2020	0.99	-	0.01	0.99	-	0.01	0.99	-	0.01	<b>0.98</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
2035	1.00	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	<b>0.70</b>	<b>0.30</b>	-
<b>Proportion de la teneur en HAP &gt;250ppm</b>												
1960	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80
1970	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80	0.20	-	0.80
1980	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30	0.70	-	0.30
1990	0.75	-	0.25	0.75	-	0.25	0.75	-	0.25	0.75	-	0.25
2010	0.70	0.05	0.25	0.70	0.05	0.25	0.70	0.05	0.25	0.70	0.05	0.25
2020	0.55	0.30	0.15	0.55	0.30	0.15	0.55	0.30	0.15	0.55	0.30	0.15
2035	-	1.00	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	1.00	-

Marqué en jaune : valeurs modifiées par rapport au scénario SC Référence.

## 4 Résultats

Le scénario « SC Référence » constitue le scénario de base et, en tant que tel, est examiné en détail dans le premier sous-chapitre de cette section. Une comparaison avec les autres scénarios est ensuite effectuée. L'objectif principal est ici de montrer les importantes différences constatées entre les résultats des différents scénarios pour ce qui concerne les flux de matériaux vers les sites de décharges.

### 4.1 Résultats du scénario « SC Référence »

Le scénario « SC Référence » reflète la situation actuelle de la Suisse et son évolution dans les conditions actuelles jusqu'en 2035. La figure 5 montre les flux des matériaux de ce scénario pour l'année 2018. Le modèle indique pour cette année-là une demande en enrobé bitumineux de 4,89 Mio. de tonnes. Environ un tiers de la production des RCAg va à la couche de base (CB), à la couche de liaison (CL) et à la couche de roulement (CR). Le matériel nécessaire à la couche de fondation est de 9,1 Mio. t/an.

Le processus « ROUTES » indique 2.761 Mio. de tonnes des matériaux bitumineux, dont 539'000 tonnes ont une teneur en HAP >250 ppm, ce qui correspond à une part de près de 20%. La quantité du bitume stockée sur les routes continue donc d'augmenter d'environ 2,1 Mio. t/an. Un peu moins de 92% des matériaux bitumineux, soit 2.573 Mio. t/an, sont traités et retournent en production. Le reste est déposé dans des décharges de type B et E (126'000 t/a au total) ou envoyé dans une usine de traitement à l'étranger pour y être recyclé thermiquement (89'000 t/a). Il s'agit principalement des matériaux bitumineux dont la teneur en HAP est supérieure à 1000 ppm. La majorité de matériaux bitumineux traités, soit 1.136 Mio. de tonnes, sont utilisés dans la couche de fondation. Environ la moitié est utilisée sous forme non liée comme grave de recyclage A ou comme RCAg (voir tableau 3), l'autre moitié est mise en place sous forme liée (KMF ou ACF). Ces applications sont principalement utilisées pour des travaux dans les routes nationales et en parties dans les routes cantonales. Selon le modèle, un total de 1.374 Mio. de tonnes de mélange sont utilisées dans la production d'enrobé bitumineux, dont 880'000 tonnes, soit deux tiers, sont utilisées dans la couche de base. Le dernier tiers est consacré à la couche de liaison. Seules de très petites quantités vont vers la couche de roulement. Selon le modèle, tous les matériaux bitumineux qui sont envoyés en traitement ne peuvent pas être recyclés. Le « surplus », qui s'élève à 63'000 t/an, est acheminé vers les sites de décharge du modèle. Dans la pratique, ces matériaux sont principalement stockés temporairement sur les sites de transformation.

La figure 6 montre le même scénario pour l'année 2035. Il existe des différences significatives dans les flux des matériaux par rapport à l'année 2018. Bien que l'apport total de matériaux bitumineux ou d'enrobé sur les routes, à savoir 4.863 Mio. de tonnes, reste pratiquement au même niveau qu'en 2018, la quantité des matériaux bitumineux produite augmente d'environ 350'000 t/an pour atteindre 3.14 Mio. t/an.

L'augmentation des matériaux bitumineux et les problèmes associés à l'utilisation future de ce matériau s'expliquent par diverses raisons.

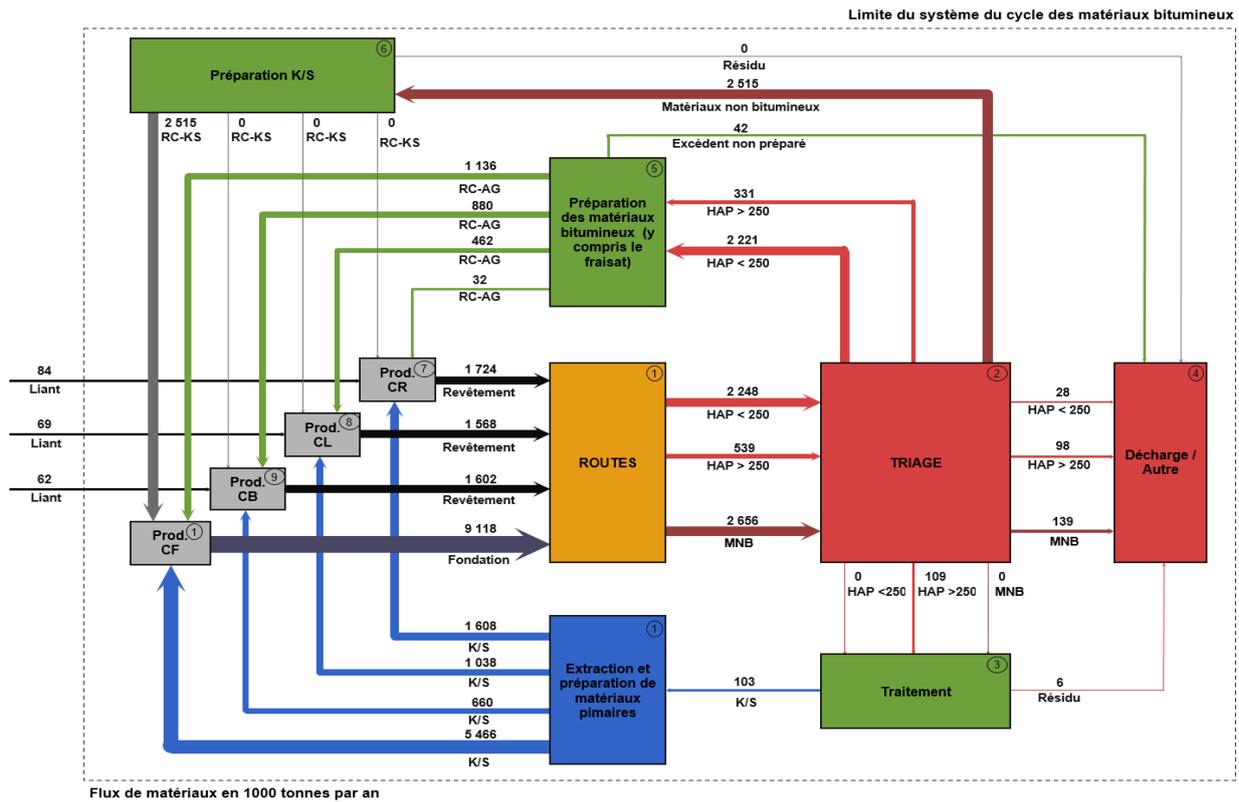


Figure 5 : Flux de matériaux dans le scénario « SC Référence » pour l'année 2018. Valeurs en 1'000 t/a. Légende : RC-AG : RCAg, K/S : Grave, MNB : matériaux non bitumineux de démolition des routes, CR : couche de roulement, CL : couche de liaison, CB : couche de base, CF : couche de fondation.

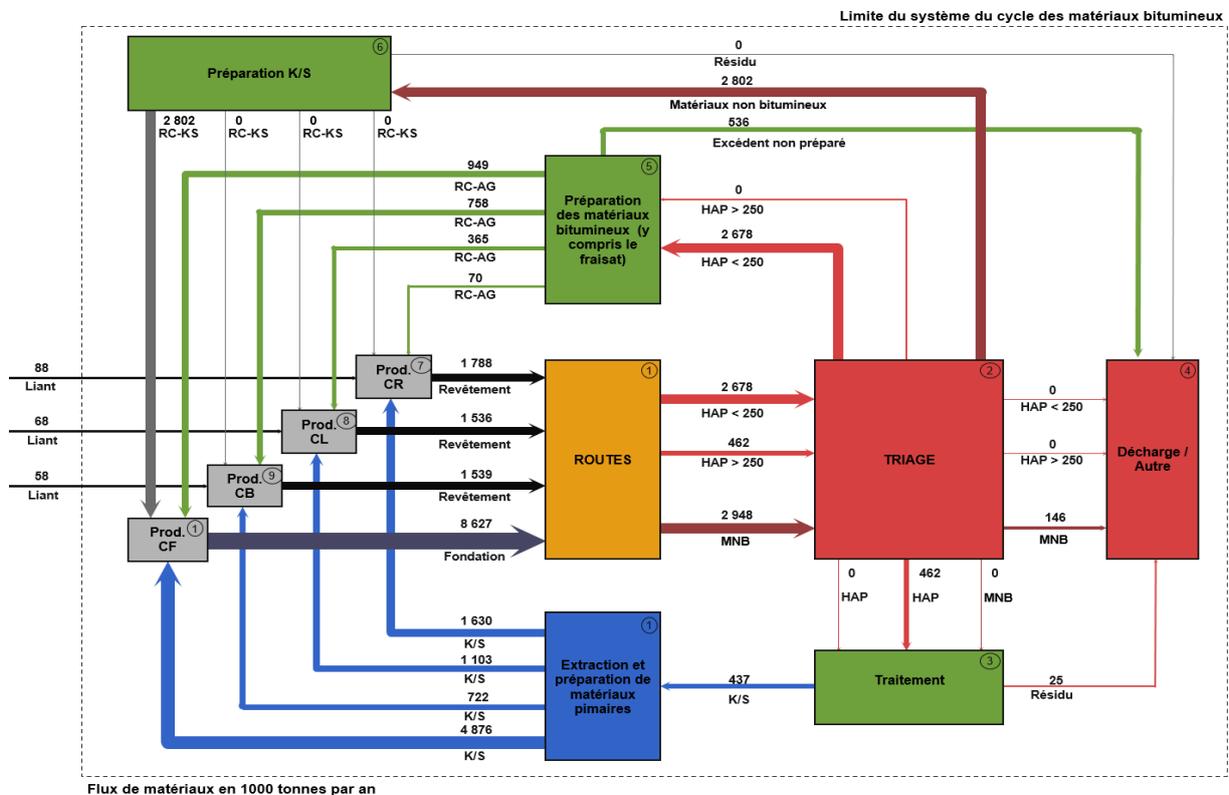


Figure 6 : Flux de matériaux dans le scénario « SC Référence » pour l'année 2035. Valeurs en 1'000 t/a. Par rapport à la figure 5, le flux de matériaux « excédent non traité » en particulier est nettement plus important, avec 536'000 t/a. Par conséquent, tous les matériaux bitumineux ne peuvent pas être recyclés dans les conditions données. Légende : Voir figure 5.

La principale raison de l'augmentation des quantités des matériaux bitumineux est l'augmentation des stocks au cours de la période considérée : si l'on suppose une croissance annuelle moyenne des stocks de matériaux bitumineux de 2 Mio. de tonnes (croissance des stocks en 2018 : 2.1 Mio. de tonnes), une augmentation de 34 Mio. de tonnes en 17 ans, c'est-à-dire d'ici 2035, est à prévoir. À un taux de réfection de 1,5%, cela se traduirait par une production supplémentaire des matériaux bitumineux de 510'000 t/a en théorie, ce qui est encore plus élevé que les 350'000 t/a en 2035 résultant du modèle. La question de l'influence de la croissance des stocks sur l'évolution des flux de production est souvent sous-estimée, notamment parce que cette évolution se produit avec un fort retard de plusieurs décennies. Toutefois, l'augmentation des matériaux bitumineux induite par le système ne peut être stoppée pour le moment. La conséquence de cette évolution est que, selon le modèle, 536'000 tonnes des matériaux bitumineux ne pourront plus être traitées en 2035 en raison d'une capacité de recyclage trop faible et devront donc être mises en décharge en tant que « surplus ». Cette évolution est exacerbée par l'interdiction de la mise en décharge des matériaux bitumineux dont la teneur en HAP est supérieure à 250 ppm.

Comme le montre la figure 6, aucun matériel bitumineux n'atteint les décharges via le processus « TRIAGE ». Du côté de l'entrée du processus « ROUTES », une comparaison des résultats du modèle montre que le flux de matériaux dans la couche de fondation est en baisse par rapport à 2018 en raison du taux légèrement inférieur de nouvelles constructions. Cela réduit la capacité d'absorption des RCAg de 1.136 Mio. de tonnes à 0.949 Mio. de tonnes, ce qui aggrave encore la problématique.

## 4.2 Évolution du revêtement bitumineux

Comme le montre le chapitre 4.1, l'évolution du stock joue un rôle majeur dans l'interprétation des résultats du modèle. La figure 7 montre l'évolution du stock de matériaux bitumineux dans les routes pour la période 1960 - 2035 pour le scénario « SC Référence »<sup>4</sup>.

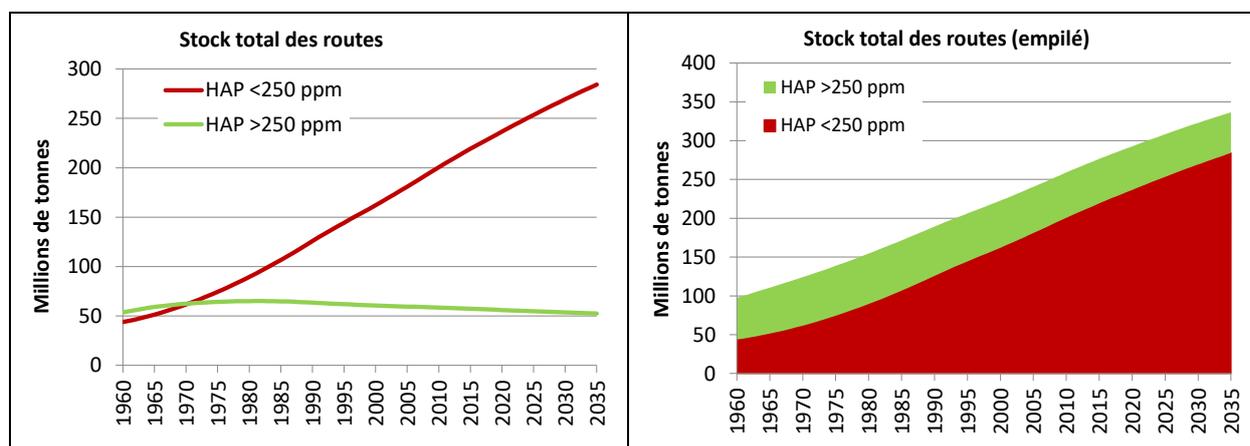


Figure 7 : Évolution en courbes du stock pour les différentes catégories de matériaux (à gauche) et évolution en aires (à droite). Chiffres en Mio. de tonnes.

<sup>4</sup> L'évolution du stock des autres scénarios ne diffère que légèrement du scénario « Référence ».

Le stock de matériaux bitumineux passe d'un peu moins de 100 Mio. de tonnes en 1960 à un peu plus de 330 Mio. de tonnes en 2035 (figure de droite). Si l'on différencie l'évolution en fonction de la teneur en HAP (figure de gauche), on peut voir que le stock du bitume avec une teneur en HAP >250ppm a diminué lentement mais régulièrement depuis les années 1970, alors que les stocks du bitume avec une teneur en HAP <250ppm augmentent de manière significative. En raison des taux de renouvellement très faibles, légèrement supérieurs à 1% en moyenne, le stock de matériaux bitumineux contenant des HAP ne diminue que lentement et continuera de d'exister jusqu'en 2035 et au-delà. La durée de vie des matériaux bitumineux dans les routes est de 30 à 60 ans, selon la couche. Cela signifie que, par exemple, les couches de base posées en 1960 ne sont retirées qu'aujourd'hui (durée de conservation dans la chaussée de 60 ans). L'évolution du stock de matériaux bitumineux dans les routes augmente avec un décalage proportionnel à la croissance routière. Ainsi, le flux de matériaux bitumineux continuera à augmenter de manière significative dans les années ou décennies à venir. Comme on peut supposer que la demande en enrobé (construction de routes) évoluera à un rythme plus ou moins constant ou légèrement décroissant, une quantité toujours plus importante de matériaux bitumineux devra être traitée et réintégrée dans le cycle des matériaux à l'avenir. Si cela n'est pas possible, les matériaux bitumineux devront être déposés en décharge.

#### 4.3 Évolution des flux de production des routes

La figure 8 montre l'évolution modélisée des flux sortants du processus « ROUTES » pour la période de 1960 à 2035. La production des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250 ppm passe d'environ 0.6 million de t/a en 1960 à environ 2.7 Mio. de t/a en 2035. Les flux de matériel des fractions restantes sont en baisse constante, car l'utilisation de liants contenant du goudron est interdite depuis le début des années 1990, après une augmentation au début de la période considérée. La somme totale des flux des matériaux bitumineux donne un flux de production total d'environ 3.16 Mio. de t/a pour 2035 (figure 8, à droite).

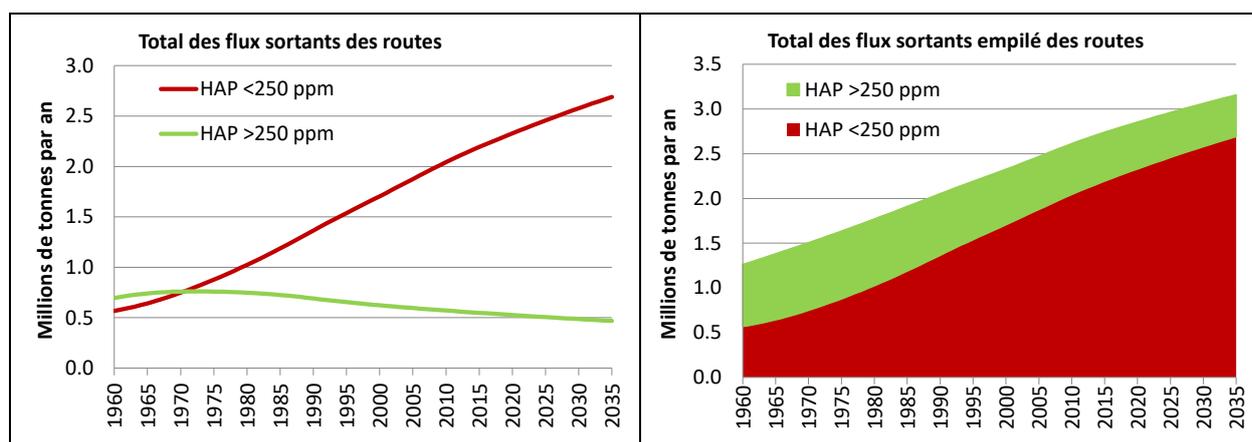


Figure 8 : Évolution des flux sortants du processus « ROUTES ». Figure à gauche : Évolution temporelle de la quantité des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP <250ppm ou >250 ppm. Figure à droite : mêmes données présentées en graphique en aires. Chiffres en Mio. t/an.

L'évolution des flux sortant dépend du type de route. La figure 9 montre les flux de production des quatre types de routes : nationales, cantonales, communales et autres. Alors que les flux de production modélisés pour les routes nationales et cantonales sont à un niveau légèrement décroissant ou constant vers la fin de la période considérée, une nette tendance à la hausse peut être observée pour les routes communales et autres. Les volumes de production de ces deux

types de routes sont sensiblement plus élevés. Dans les années à venir, une grande partie des matériaux bitumineux proviendra donc de ces dernières.

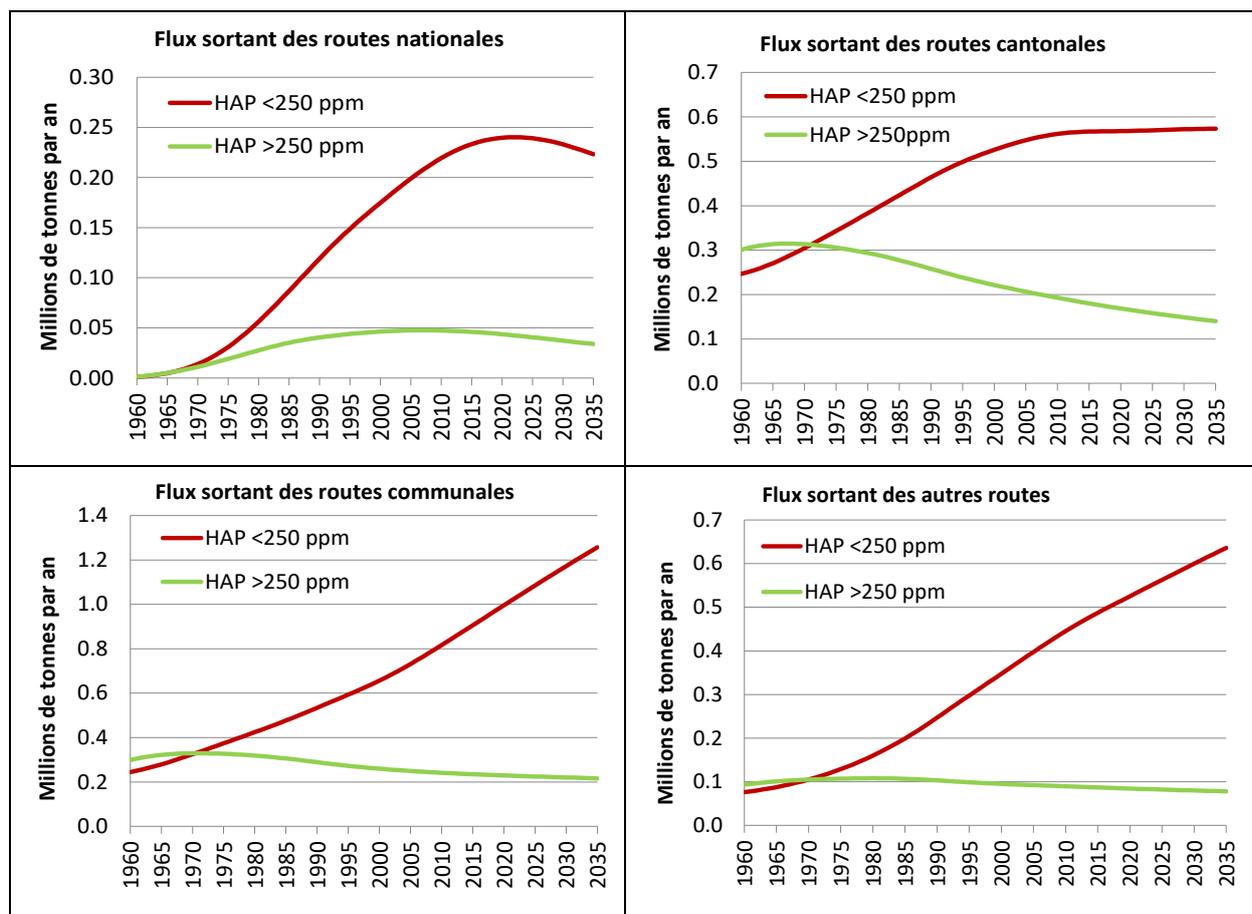


Figure 9 : Évolution modélisée des flux de production des quatre types de routes - nationales, cantonales, communales et autres - de 1960 à 2035. La quantité des matériaux bitumineux est différenciée en fonction de la teneur en HAP <250 ppm ou >250 ppm. Chiffres en Mio. de tonnes.

#### 4.4 Flux des matériaux vers la préparation / le traitement / les décharges dans le scénario « SC Référence »

Les flux de sortie des routes sont répartis, dans les conditions données du scénario « SC Référence », entre les trois processus d'élimination des déchets « Préparation », « Traitement » et « Décharge ». L'élaboration de mesures nécessite notamment de connaître les quantités des matériaux bitumineux qui seront mises en décharge à l'avenir si les conditions-cadres actuelles ne sont pas modifiées d'ici 2035. Cela signifie que la teneur en matériaux bitumineux RC dans la production des enrobés restera inchangée et que la proportion des matériaux bitumineux RC ayant une teneur en HAP >250 ppm qui sera traitée restera au niveau actuel de 25%. Seule la mise en décharge de ces matériaux diminuera de manière continue jusqu'à 0% à partir de 2010, ceci en raison de l'interdiction de mise en décharge des matériaux bitumineux contaminé par les HAP à partir de 2026 (voir la définition du scénario aux sections 3.5.1 et 3.5.2).

La figure 10 montre l'évolution de la somme des flux de matériaux vers les décharges pour la période allant de 2000 à 2035 pour le scénario « SC Référence ». Selon ce scénario, le flux des matériaux vers les décharges augmente fortement de 2020 à 2035, pour atteindre finalement un niveau de près de 540'000 t/an. Cela correspond à une augmentation d'environ 0.47 million de

tonnes par rapport à 2020. Si le modèle devait être maintenu, il y aurait une nouvelle augmentation, légèrement décroissante. L'augmentation est principalement due au « surplus » qui ne peut être utilisé (zone rouge).

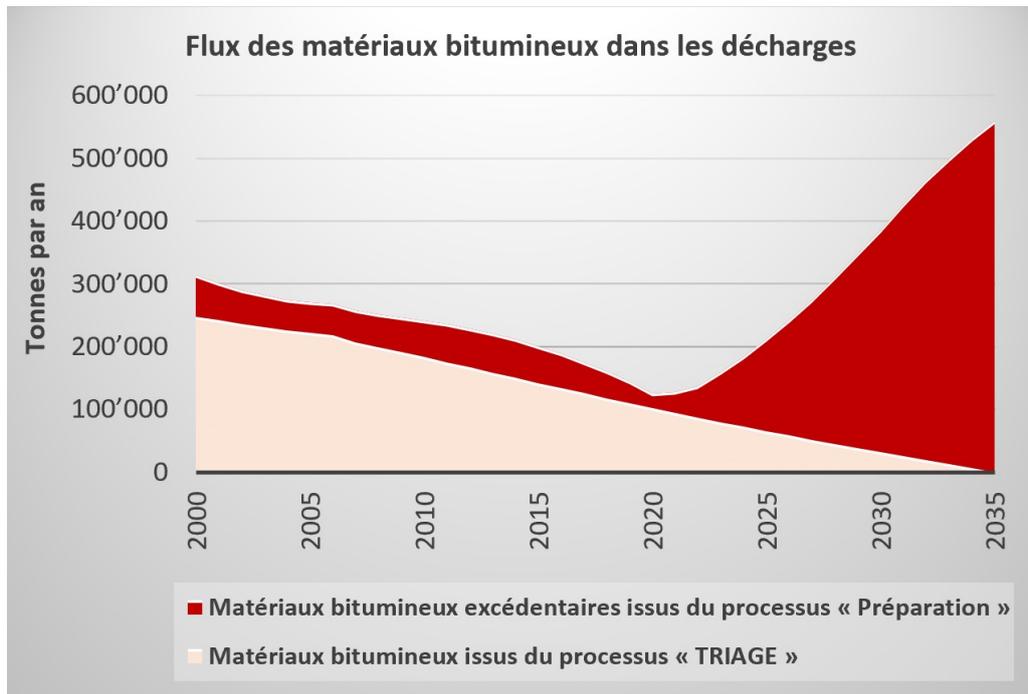


Figure 10 : Graphique en aires de l'évolution modélisée des flux de matériaux vers les décharges pour la période 2000 à 2035 en t/an. Zone claire : matériaux bitumineux issus du processus „TRIAGE“. Zone foncée : Matériaux bitumineux excédentaires devant être mis en décharge en raison de trop faibles capacités de recyclage.

C'est ce que montre également la figure 11. La ligne verte, qui reflète l'évolution des quantités de RCAg traitées dans la production des enrobés ou dans la couche de fondation, diminue continuellement à partir de l'année 2020, car il y a trop peu de possibilités de vente pour les RCAg. Il faudrait soit traiter davantage des matériaux bitumineux, soit augmenter la teneur en matériaux RC dans la production de l'enrobé et dans la couche de fondation. En outre, le flux de matériaux dans le traitement du modèle est en constante augmentation. En réalité, cette évolution s'accélérerait fortement avec la mise en service des procédés de traitement. Cela ne peut pas être représenté dans le modèle.

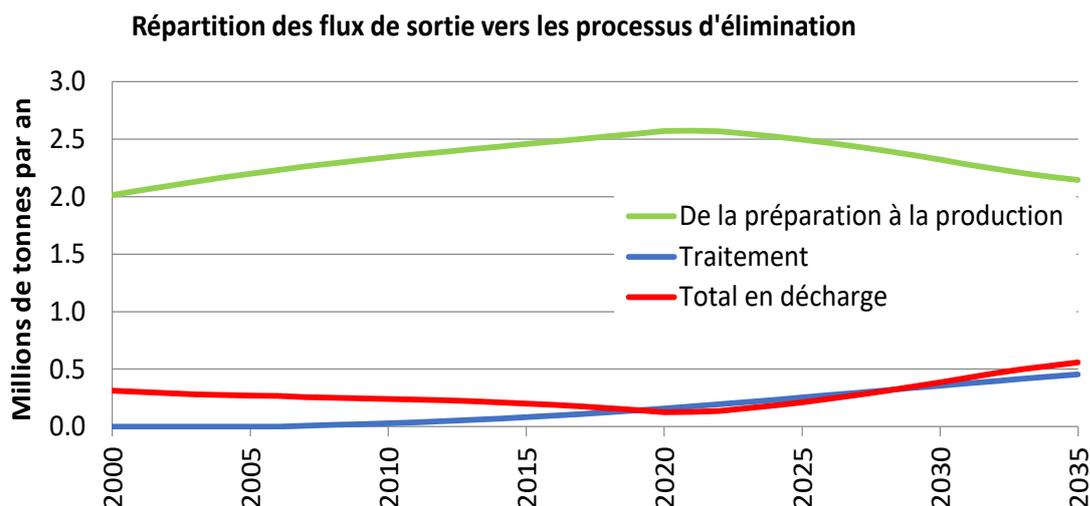


Figure 11 : Évolution modélisée des flux d'extraction des matériaux bitumineux dans les trois processus d'élimination que sont la préparation (ligne verte), le traitement (ligne bleue) et la mise en décharge (ligne rouge) pour la période 2000 à 2035, en Mio. t/an.

Dans quelle mesure faudrait-il augmenter la teneur en matériaux bitumineux RC dans la construction routière pour pouvoir valoriser l'ensemble des matériaux bitumineux ?

Afin de répondre à cette question, la figure 12 compare l'évolution du contenu total des matériaux bitumineux RC (revêtement et fondation) dans le scénario de référence (ligne verte) et l'évolution qui serait nécessaire pour tout recycler ou traiter (ligne rouge)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Calcul des parts en matériaux bitumineux RC nécessaires (ligne rouge) : quantité totale de matériaux bitumineux RC utilisée pour la construction des routes divisée par l'apport total de matériel bitumineux dans les routes, en pourcentage.

Calcul de la proportion de matériaux bitumineux recyclés (ligne verte) : somme des quantités de matériel bitumineux utilisés dans la production des enrobés, de la couche de fondation et du traitement, divisée par l'apport total de matériel bitumineux dans les routes, en pourcentage.

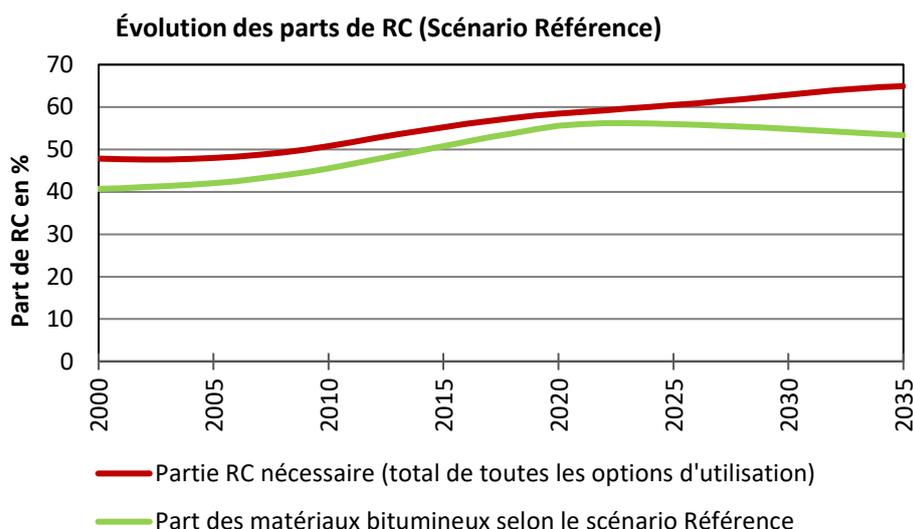


Figure 12 : Évolution modélisée du contenu total en RC du revêtement et de la couche de fondation dans le scénario « Référence » (ligne verte) et évolution du contenu en RC qui serait nécessaire pour recycler ou traiter tous les matériaux bitumineux (ligne rouge).

D'ici 2020, les deux lignes se rapprocheront, ce qui signifie que le potentiel de recyclage sera presque entièrement épuisé à cette date. Ensuite, les lignes s'éloigneront l'une de l'autre. Alors que le contenu en matériaux bitumineux RC devrait augmenter régulièrement pour les raisons mentionnées ci-dessus (ligne rouge), il diminuera en fait légèrement à partir de 2020 en raison de la baisse de la demande (ligne verte). Ainsi, le taux de matériaux bitumineux RC nécessaire serait de 65% en 2035. Dans le scénario « SC Référence », un taux de seulement 53% est atteint.

#### 4.5 Comparaison des résultats des calculs des scénarios

Pour la présente étude, les quatre scénarios définis au chapitre 3.5.2 ont été calculés. Il est particulièrement intéressant de comparer l'évolution des flux des matériaux dans les processus d'élimination.

La figure 13 montre l'évolution temporelle des flux des matériaux vers la préparation, le traitement et les décharges pour les quatre scénarios. Le graphique en haut à gauche montre l'évolution, en fonction des scénarios, des flux de matériaux dans le traitement et la production d'enrobé. On observe clairement que le scénario « SC Référence » et le scénario « SC nF; maxREC » sont proches l'un de l'autre. Dans les deux scénarios, la courbe fait un « coude » entre 2018 et 2020 (pour la justification, voir le chapitre 4.4). Si aucun RCAg n'est utilisé dans la couche de fondation (scénario SC « Réf, nF » ; ligne rouge), la capacité d'acceptation de RCAg diminue à partir de 2016. Il passe de 2,5 Mio. de tonnes en 2016 à environ 1,2 million de tonnes en 2035. L'évolution du scénario « SC nF, maxREC+BH » (ligne verte) se situe entre les scénarios susmentionnés puisque que les matériaux bitumineux sont de plus en plus traités (graphique de droite). Bien que dans ce scénario, aucun RCAg n'est non plus utilisé dans la couche de fondation, les taux de matériaux bitumineux RC dans la production d'enrobés sont similaires au scénario « nF, maxREC ».

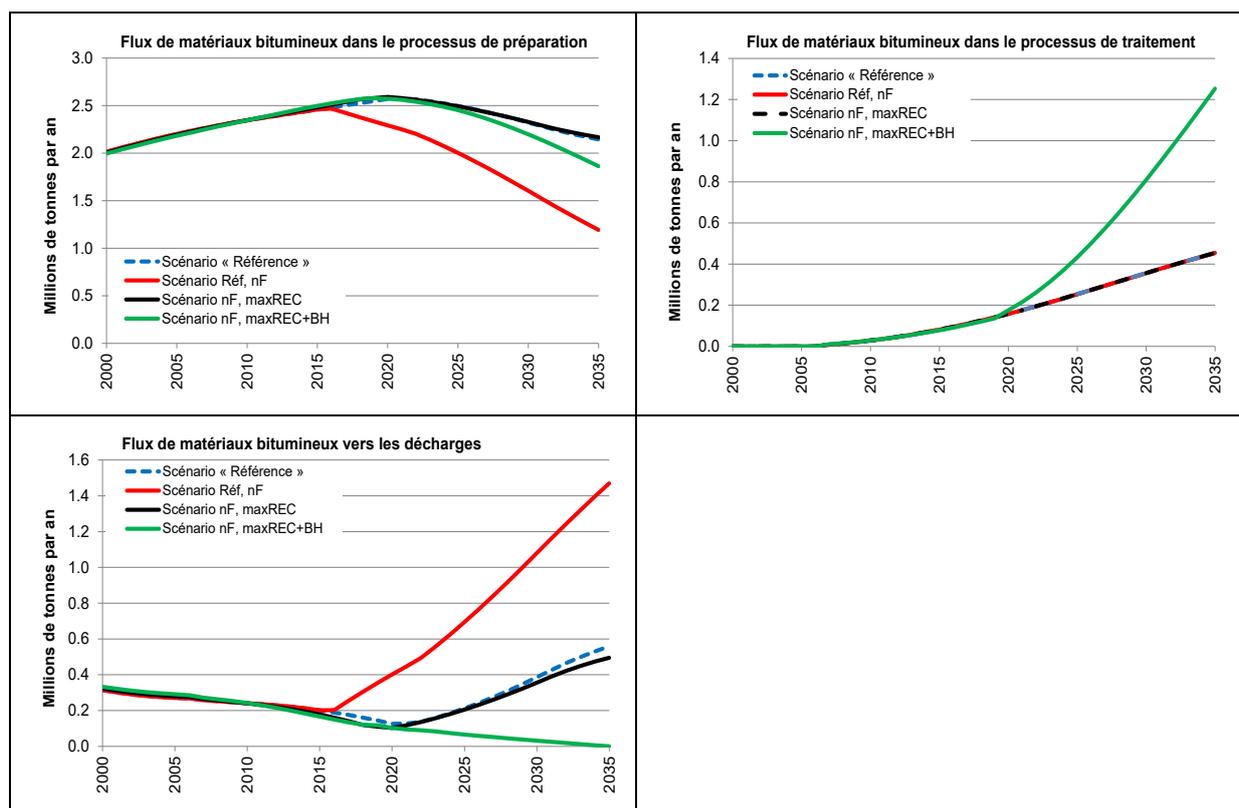


Figure 13 : Évolution temporelle des flux de matériaux dans les processus « préparation » (en haut à gauche), « traitement » (en haut à droite) et « décharge » (en bas) pour les quatre scénarios modélisés.

L'évolution des flux de matériaux dans le processus de **traitement** en fonction du scénario est illustrée dans le diagramme en haut à droite. Cette évolution est presque uniforme pour les trois premiers scénarios, c'est pourquoi les lignes sont superposées. Entre 2020 et 2035, les flux de matériaux à traiter passent de 132'000 t/a (2025) à 457'000 t/a (2035). Dans le scénario « SC nF, maxREC+BH » (ligne verte), le flux de matériaux à traiter augmente fortement à partir de 2019 et atteint un niveau de 1.25 million de t/a en 2035.

Les flux de matériaux vers les **décharges** varient fortement en fonction du scénario. L'évolution du flux des matériaux dans le scénario « SC Référence » (graphique ci-dessous, ligne bleue en pointillés) correspond à l'évolution déjà évoquée au chapitre 4.4. Si aucun RCAg ne devait être utilisé dans la couche de fondation, le flux de matériaux dans la décharge augmenterait pour atteindre 1.47 million de t/a d'ici 2035 (ligne rouge). Si, toutefois, les teneurs en matériaux bitumineux RC autorisées dans la production des enrobés selon le scénario « SC nF, maxREC » étaient augmentées dans le même temps, l'augmentation serait réduite à 0.49 million de t/a d'ici 2035 (ligne noire). Cela signifie que l'augmentation du taux de matériaux bitumineux RC dans les routes ne suffirait pas à elle seule à fermer le cycle des matières. Toutefois, si des capacités de traitement supplémentaires de plus de 1.25 million de t/a étaient disponibles (scénario SC « nF, maxREC+BH »), aucun matériel bitumineux de démolition ne devrait être mis en décharge en 2035. En effet, outre les matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP >250 ppm, ceux avec teneur en HAP <250 ppm pourraient également être traités.

## 5 Discussion

Le modèle utilisé ici pour décrire l'évolution des flux des matériaux bitumineux en Suisse en fonction de différents scénarios allant jusqu'en 2035 constitue une base importante pour comprendre le système de traitement de ces matériaux. Ce n'est que si tous les flux de matière pertinents sont inclus que les relations entre la formation des stocks et les flux de matériaux produits par la maintenance des routes peuvent être identifiées. Dans ce qui suit, il sera question du modèle lui-même puis des principales conclusions de la modélisation.

### 5.1 Évolution de modèles, possibilités d'application et compréhension du système

Un modèle représente une abstraction d'un système réel. Dans la plupart des cas, la question posée détermine son degré d'abstraction, ce qui nécessite une certaine compréhension du système par le développeur. Lors de l'élaboration de ce modèle, la première étape a consisté en la création d'une image statique du système (figure 2). Dans ce cas, tous les flux de matériaux bitumineux pertinents sont d'abord répertoriés. C'est sur cette base que le modèle dynamique décrit au chapitre 3, de structure complexe, a été développé. La dynamique temporelle des stocks et des flux de matériaux joue ici un rôle décisif puisque le temps de séjour des matériaux bitumineux dans le corps de la chaussée est très long. Les problématiques liées ne deviennent apparentes que lorsque les stocks et les flux de matériaux sont modélisés sur une période de plusieurs décennies. Cette approche représente le système dans un processus d'évolution itératif, ce qui permet de travailler sur les différentes questions et d'interpréter les résultats du modèle.

Le haut degré de paramétrage du modèle actuel offre les possibilités suivantes :

- Une multitude de scénarios différents peuvent être définis et calculés. Les scénarios présentés ici servent d'exemples et ont été définis en fonction de la question de recherche du projet.
- Le système avec spécification des flux de matériaux bitumineux peut être générée automatiquement pour une année de référence et un scénario (voir exemple figure 5).
- L'évolution temporelle du stockage et des flux des matériaux bitumineux peut être affichée graphiquement pour chaque scénario.
- Le modèle actuel est basé au niveau suisse. Toutefois, il pourrait également calculer les stocks et flux des matériaux bitumineux à l'échelle cantonale ou régionale. À cette fin, il faudrait disposer d'au moins les données contenues dans le tableau A. 3. En outre, ces modèles devraient être calibrés et validés.
- La visualisation des flux de matériaux permet de montrer clairement les interrelations complexes, même à des personnes non expertes.

### 5.2 Résultats de la modélisation des quatre scénarios

Depuis récemment et de façon de plus en plus fréquente, des plaintes ont été exprimées par les acteurs de l'élimination et du traitement des matériaux bitumineux concernant manque de possibilités de recyclage. Les résultats des calculs des scénarios confirment ces affirmations. Aujourd'hui, les capacités de recyclage sont largement épuisées et la pression pour éliminer les matériaux bitumineux augmente. Le goulot d'étranglement du recyclage sera encore plus grave à l'avenir si aucune mesure supplémentaire n'est introduite. Quelles sont les raisons de cette

« urgence d'élimination des déchets » et dans quelles conditions le cycle des matières peut-il être fermé ? Ces aspects sont examinés ci-dessous sur la base de l'analyse des scénarios :

1. L'évolution du stockage du bitume dans les routes détermine l'évolution des flux sortants

La quantité de matériaux bitumineux dans les routes n'a cessé d'augmenter depuis 60 ans. Au cours de cette période, le stock a augmenté de 230 Mio. de tonnes (chapitre 4.2), ce qui correspond à une croissance annuelle moyenne de 3,8 Mio. de tonnes. Comme la durée de séjour dans les routes de ce matériel est de 30 à 60 ans, selon la couche et le cycle de réfection des chaussées, cette croissance a un effet retardé sur les flux de production de matériaux de déconstruction. Par conséquent, ces derniers continueront à augmenter dans les années et décennies à venir. La seule façon d'éviter cela serait de réduire le rythme de réfection des chaussées, ce qui ne ferait que retarder le problème.

2. La demande du bitume reste constante ou diminue légèrement

La demande en matériaux bitumineux pour la période 2010 - 2019 a varié entre 4.7 et 5.3 Mio. t/an (asphaltsuisse, 2019). Dans le modèle, les besoins en bitume diminuent légèrement pour atteindre 4.8 Mio. t/an en 2035, bien que cette valeur soit inférieure d'environ 0.2 million de t/a à la valeur moyenne pour la période 2010 - 2019. La croissance des routes au cours des dernières décennies s'est surtout faite dans le domaine des routes communales et autres, en raison de l'évolution des communes et à l'accès routier qui y est associé. À l'avenir, la densification interne sera un élément central de l'évolution de l'habitat en Suisse. Cela signifie qu'il y aura moins de construction sur les sites vierges et donc moins de routes neuves, ce qui aura un impact correspondant sur la demande en matériaux bitumineux.

⇒ La diminution de la demande et l'augmentation simultanée de la production de matériaux bitumineux de démolition signifient qu'une plus grande quantité de ces derniers devra être mise en décharge à l'avenir en raison du manque de capacité de recyclage. Le scénario « SC Référence » montre que le flux des matériaux dans la décharge augmentera régulièrement pour atteindre 540'000 t/a d'ici 2035 (figure 10) si aucune autre mesure n'est prise.

3. Utilisation de RCAg sous forme liée et non liée dans la couche de fondation

Les acteurs du secteur expriment souvent le souhait d'utiliser davantage de RCAg en vrac ou sous forme liée dans la couche de fondation. Cette stratégie apporterait effectivement un soulagement et constituerait une option rentable. Du point de vue de la durabilité, cependant, le problème serait reporté sur les générations futures. En outre, l'utilisation de grave de recyclage A est discutable car aujourd'hui, dans sa production, des RCAg sont généralement mélangés à de la grave primaire. Le recyclage des RCAg sous forme liée comme fondation à froid (KMF) ou à chaud (ACF), a lieu principalement lors de la réfection des routes nationales et cantonales et atteint aujourd'hui un volume estimé à 600'000 t/a (différence entre le flux de RCAg dans la couche de fondation dans la figure 5 et l'apport en vrac selon le tableau 3). Le prochain cycle de réfection de chaussée devrait permettre d'obtenir une quantité des matériaux bitumineux plus importante. Pour cette raison, le scénario « SC Réf, nF » a été utilisé pour étudier comment les flux de matériaux se développeraient si aucun RCAg n'était introduit dans la couche de fondation. Dans ces conditions, le flux des matériaux bitumineux dans la décharge augmenterait pour atteindre près de 1,47 million t/an d'ici 2035, soit environ 0.91 million t/an de plus que dans le scénario « SC Référence » (figure 13 ci-dessous). Si seule l'utilisation en vrac était interdite, l'évolution du flux de matériaux dans la décharge se situerait entre les évolutions des deux scénarios.

#### 4. La teneur en matériaux bitumineux RC dans la production des enrobés

Les normes précisent les pourcentages maximums de matériaux bitumineux RC dans la production des enrobés bitumineux pour les différentes couches. Cette limitation signifie déjà que certaines centrales d'enrobage ne peuvent plus utiliser tous les matériaux bitumineux produits dans leurs zones d'achalandage. Des pourcentages de matériaux bitumineux RC plus élevés dans les corps de chaussée amélioreraient considérablement la situation du recyclage. C'est ce que montre le résultat du scénario « SC nF, maxREC ». Il y aurait toutefois encore près de 500'000 t/an de matériaux bitumineux qui devraient être éliminés d'ici 2035, ceci à condition qu'aucun RCAg ne soit utilisé dans la couche de fondation. Si l'utilisation liée dans la couche de fondation était encore autorisée, il n'y aurait probablement plus de matériaux bitumineux à mettre en décharge (ce scénario précis n'a pas été modélisé dans la présente étude).

#### 5. La mise en œuvre des processus de traitement

Outre l'interdiction de mise en décharge des matériaux bitumineux ayant une teneur en HAP > 250 ppm à partir de 2026, une interdiction similaire appliquée à tous les matériaux bitumineux quelle que soit leur teneur en HAP est également en cours de discussion. Les résultats des calculs des scénarios discutés plus haut montrent qu'un cycle des matériaux durable n'est possible qu'avec la mise en œuvre de processus de traitement (figures 13 et 14). Si une interdiction de mise en décharge des matériaux bitumineux et une interdiction de l'utilisation de RCAg dans la couche de fondation devaient être introduites, il faudrait mettre à disposition des capacités de traitement totalisant environ 1.2 million t/an d'ici 2035. Si l'utilisation liée de RCAg dans la couche de fondation continue à être autorisée, la capacité de traitement nécessaire sera réduite de moitié environ, pour atteindre un volume estimé à 0.6 million t/an.

### 5.3 Conclusions

La gestion durable des matériaux bitumineux en général constitue un défi de taille pour l'avenir. Ce matériau de haute qualité n'a pas sa place dans les décharges et doit être réintégré dans le cycle des matériaux en tant qu'élément de construction. Le modèle développé ici a permis de définir et de calculer différents scénarios de recyclage des matériaux bitumineux jusqu'à l'année 2035, de façon à représenter l'évolution à long terme des flux à considérer sous différentes conditions.

Les scénarios présentés ici ont été définis en collaboration avec l'OFEV et vont servir à fournir une base de réflexion pour évaluer les effets d'éventuelles mesures législatives. Ils visent également à montrer quelle influence la mise en œuvre de processus de traitement en Suisse ou à l'étranger peut avoir sur le cycle des matériaux. Un cycle des matériaux durable, c'est-à-dire sans stockage à long terme du bitume dans la couche de fondation ou en décharge, n'est possible qu'avec la mise en œuvre de processus de traitement.

#### 4 Bibliographie

- asphaltsuisse. (2019). *Jahresbericht 2019*. Zürich: Schweizer Fachverband asphaltsuisse.
- OFEV. (2001). Luftschadstoff-Emissionen von Strassenbaustellen – Teil I: PAH und VOC. *Umweltmaterialien Nr. 126*.
- OFEV. (2006). Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle. *Umwelt-Vollzug Nr. 0631*. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- OFEV. (2014-2018a). Sonderabfallstatistik - Im Inland behandelte Abfälle aus der Schweiz. *Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall und Rohstoffe*.
- OFEV. (2014-2018b). Sonderabfallstatistik - Im Ausland behandelte Sonderabfälle aus der Schweiz (Export). *Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall und Rohstoffe*.
- OFEV. (2016). Bauabfälle in der Schweiz - Tiefbau. *Aktualisierung 2015*. Bundesamt für Umwelt (OFEV). Bern.
- BFS. (2019). *Längen der National-, Kantons- und Gemeindestrassen in km, 1950 - 2018, Tabelle T 11.3.1.3*. Von Bundesamt für Statistik: BFS-Nummer: je-d-11.03.01.03 abgerufen
- Rubli, S. (2013). *Dynamische Modellierung der Asphalt- sowie PAK-Lager und Flüsse in den Strassen der Region St.Gallen, Thurgau, Zürich und Fürstentum Liechtenstein*. Umweltämter der Kantone St.Gallen, Thurgau, Zürich und des Fürstentums Liechtenstein.

## 6 Annexe

Tableau A. 1 : Longueur totale des routes (routes nationales, cantonales et communales) par canton ou parts en % de la longueur totale selon l'étude de l'OFEV « Déchets de construction en Suisse - génie civil ; mise à jour 2015 » (OFEV, 2016).

Kanton	Strassenlänge in km	Anteil in %
AG	8'805	8.9
AI	267	0.3
BE	24'424	24.6
BL	2'771	2.8
FR	4'174	4.2
GE	1'345	1.4
GR	4'033	4.1
JU	2'661	2.7
LU	5'192	5.2
NW	287	0.3
OW	897	0.9
SG	5'543	5.6
SH	1'621	1.6
SO	3'705	3.7
SZ	1'297	1.3
TG	3'729	3.7
UR	436	0.4
VD	8'299	8.3
VS	3'458	3.5
ZG	842	0.8
ZH	9'086	9.1
<b>Total</b>	<b>92'872</b>	<b>93.4</b>
Kantone ohne Mengenerfassung		
AR	315	0.3
BS	88	0.1
GL	590	0.6
NE	2'615	2.6
TI	2'985	3.0
<b>Total</b>	<b>6'592</b>	<b>6.6</b>

Tableau A. 2 : Paramètres du modèle utilisés pour calculer l'évolution des stocks et de la production de matériaux pour les différents types de routes.

**Grundlagedaten** für die Strassen ('Stützpunkte'). Sie werden für die weitere Berechnung in Zeitreihen interpoliert.

	<b>Faktor Reduktion Output</b>		<b>Faktor Reduktion Dicke</b>		<b>Neubaurationen</b>	
	<b>Jahr</b>	<b>Faktor</b>	<b>Jahr</b>	<b>Faktor</b>	<b>Jahr</b>	<b>Rate [%]</b>
<b>Nationalstrasse</b>	1960	0.05	1960	0.50	1960	10.52
	2010	0.55	2010	1.00	1990	0.90
	2035	0.45	2035	1.00	2010	0.85
					2035	0.05
<b>Kantonsstrasse</b>	1960	0.58	1960	0.65	1960	0.30
	2010	0.48	2010	1.00	1990	-
	2035	0.45	2035	1.00	2010	-
					2035	-
						-
<b>Gemeindestrasse</b>	1960	0.45	1960	0.65	1960	1.20
	2010	0.38	2010	1.00	1990	0.50
	2035	0.38	2035	1.00	2010	1.40
					2035	0.80
<b>Übrige (Weg, PP)</b>	1960	0.40	1960	0.65	1960	0.90
	2010	0.35	2010	1.00	1990	1.80
	2035	0.35	2035	1.00	2010	1.40
					2035	0.80

Tableau A. 3 : Base de données pour le calcul des stocks de matériaux à partir des longueurs, largeurs, épaisseurs de couche et densités des routes pour l'année de référence 2018. La dernière colonne indique les intervalles de réparation des différentes couches, qui servent de base au calcul des flux de matériaux.

Berechnung für die Abschätzung der in den Strassen gelagerten Asphaltbeläge und Kies/Sand (in Fundation)												
Berechnung	Aufbau	Verkehrs-	Längen	Breiten	Flächen	Schichtdicke	Bauvol.	Dichte	Lager Asphalt	Lager Fundation	Instandsetzungsintervalle	
Materiallager	Oberbau	lastklassen	m	m	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	t	t	Oberbau in Jahren	
Nationalstrassen	6-spurig (inkl. 7-sp.)	Deckschicht	T6	103'268	35	3'614'380	0.04	144'575	2.4	346'980	3'469'805	30
		Binderschicht	T6	103'268	35	3'614'380	0.09	325'294	2.4	780'706		40
		Tragschicht	T6	103'268	35	3'614'380	0.12	433'726	2.4	1'040'941		60
		Fundation	T6	103'268	35	3'614'380	0.60	2'168'628	1.6			80
	4-spurig	Deckschicht	T5	1'362'000	23	31'326'000	0.04	1'253'040	2.4	3'007'296		30
		Binderschicht	T5	1'362'000	23	31'326'000	0.09	2'819'340	2.4	6'766'416		40
		Tragschicht	T5	1'362'000	23	31'326'000	0.12	3'759'120	2.4	9'021'888		60
		Fundation	T5	1'362'000	23	31'326'000	0.60	18'795'600	1.6			80
	2-spurig (inkl. 3-sp.)	Deckschicht	T5	286'000	14	4'004'000	0.04	160'160	2.4	384'384		30
		Binderschicht	T5	286'000	14	4'004'000	0.09	360'360	2.4	864'864		40
		Tragschicht	T5	286'000	14	4'004'000	0.09	360'360	2.4	864'864		60
		Fundation	T5	286'000	14	4'004'000	0.60	2'402'400	1.6			80
<b>Total Nationalstr.</b>			<b>1'751'268</b>		<b>38'944'380</b>		<b>32'982'603</b>		<b>23'078'340</b>	<b>37'386'605</b>		
Kantonsstrassen	Deckschicht	T5	18'023'100	7	126'161'700	0.04	5'046'468	2.4	12'111'523	121'115'232	20	
	Binderschicht	T5	18'023'100	7	126'161'700	0.09	11'354'553	2.4	27'250'927		40	
	Tragschicht	T5	18'023'100	7	126'161'700	0.09	11'354'553	2.4	27'250'927		60	
	Fundation	T5	18'023'100	7	126'161'700	0.60	75'697'020	1.6			90	
Gemeindestrassen	Deckschicht	T4	55'164'177	6	330'985'062	0.03	9'929'552	2.4	23'830'924	264'788'050	20	
	Binderschicht	T4	55'164'177	6	330'985'062	0.07	23'168'954	2.4	55'605'490		40	
	Tragschicht	T4	55'164'177	6	330'985'062	0.07	23'168'954	2.4	55'605'490		60	
	Fundation	T4	55'164'177	6	330'985'062	0.50	165'492'531	1.6			90	
Geh- und Radwege (ohne nicht-asphaltierte Wege)	Deckschicht	T1/T2	99'732'739	2.0	199'465'478	0.03	5'983'964	2.4	14'361'514	127'657'906	20	
	Binderschicht	T1/T2	99'732'739	2.0	199'465'478	0.00	0	2.4	0		40	
	Tragschicht	T1/T2	99'732'739	2.0	199'465'478	0.07	13'962'583	2.4	33'510'200		60	
	Fundation	T1/T2	99'732'739	2.0	199'465'478	0.40	79'786'191	1.6			90	
<b>Total Strassen+Wege</b>			<b>172'920'016</b>		<b>656'612'240</b>		<b>424'945'325</b>		<b>249'526'998</b>	<b>513'561'188</b>		
Parkplätze					64'490'000	0.10	6'449'000	2.4	15'477'600	41'273'600	40	
					64'490'000	0.40	25'796'000	1.6			90	
<b>Total</b>			<b>174'671'284</b>		<b>695'556'620</b>		<b>490'172'928</b>	<b>2.2</b>	<b>288'082'938</b>	<b>592'221'392</b>		

Tableau A. 4 : Paramètres du modèle : Définition de l'évolution de la composition du liant en fonction du temps.

Bindemittel IMPORT (dh NEU)	Anteil PAK		Total (muss = 100 sein)
	<250	>250	
1960	45.0	55.0	100
1970	71.0	29.0	100.00
1980	84.5	15.5	100.00
1990	99.0	1.0	100.00
2010	100.0	0.0	100.00
2020	100.0	0.0	100.00
2035	100.0	0.0	100.00

