



framatome

Plan national
de gestion des matières
et des déchets radioactifs

2016 – 2018

Etude des modalités de transport
des déchets TFA

Sommaire

1	OBJET.....	3
2	REFERENCES.....	3
3	CONTEXTE ACTUEL.....	4
3.1	Modes de transport.....	4
3.2	Sites expéditeurs.....	4
3.2.1	EDF.....	4
3.2.2	CEA.....	5
3.2.3	Orano / Framatome.....	5
3.3	Site destinataire.....	6
3.3.1	Le Cires.....	6
3.3.2	Le Terminal ferroviaire de Brienne le Château.....	8
3.4	Flux de déchets TFA.....	9
3.5	Sûreté des transports.....	10
3.5.1	Sûreté de conception et de fabrication des emballages.....	11
3.5.2	Fiabilité et sécurité des opérations de transport des colis, prévention et efficacité de l'intervention en cas d'anomalie, d'incident ou d'accident.....	12
3.5.3	Gestion des risques d'accident.....	13
4	ELEMENTS RETENUS POUR L'EVALUATION ET LA COMPARAISON DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	16
4.1	Modes de transport.....	16
4.1.1	Transport routier.....	16
4.1.2	Transport ferroviaire.....	16
4.2	Impacts environnementaux.....	18
4.3	Méthodologie de calcul.....	18
4.4	Schémas logistiques étudiés.....	18
4.4.1	Schéma logistique actuel route.....	18
4.4.2	Schéma logistique alternatif de type fer / route.....	19
4.5	Bilan.....	22
5	ANALYSE MULTI-CRITERES.....	23
5.1	Evaluation du transport multimodal mutualisé pour les 3 sites CEA du Sud-Est.....	24
5.2	Evaluation du transport multimodal généralisé.....	26
5.3	Amélioration des transports sur le plan environnemental.....	28
6	CONCLUSION.....	29

1 OBJET

Ce rapport constitue la réponse des principaux producteurs de déchets radioactifs à la demande de l'article 32 de l'arrêté du 23 février 2017 (1) :

« Areva, le CEA, EDF remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2018 une étude permettant d'évaluer et de réduire les impacts environnementaux liés aux transports des déchets TFA, le cas échéant après traitement, au stockage au Cires. L'ASN est saisie pour avis de cette étude. »

La démarche retenue pour l'étude consiste à comparer l'impact environnemental (à travers essentiellement l'émission de gaz à effet de serre) associé aux deux modes de transport envisageables (routier vs multimodal ferroviaire et routier) des déchets radioactifs de Très Faible Activité (TFA) depuis les sites d'Orano, de Framatome, du CEA et d'EDF vers le Cires (Centre Industriel de Regroupement, Entreposage et Stockage des déchets TFA), situé à Morvilliers (Aube).

L'étude est réalisée à partir de données de référence évaluées sur la base des transports réels effectués sur un an entre 2017 et 2018. Les formules de calcul pour déterminer les quantités équivalentes de CO₂ sont issues des données de l'Ademe (3).

2 REFERENCES

- (1) Arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs
- (2) Information CO₂ des prestations de transport – Application de l'article L1431-3 du code des transports – Guide Méthodologique – Edité par le ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
- (3) Bilans GES – Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre – Site Internet de l'Ademe : www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil
- (4) ADR – Accord Européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route – édition 1^{er} janvier 2017
- (5) PNGMDR art 34 - Etude des modalités de transport des déchets FMA-VC
réf DTE-17-0194837- janvier 2018
- (6) Rapport CEPN n° 246 : Analyse des données accidentelles pour le transport de matières dangereuses par routes – D. Raffestin – Juillet 1996
- (7) Observations et statistiques – Le transport de matières dangereuses – Site Internet du ministère de la transition écologique et solidaire - <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/1974/1097/transport-matieres-dangereuses.html>
- (8) RID - Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses – édition 1^{er} janvier 2017
- (9) Carte du réseau ferré en France 2018 – Site Internet SNCF Réseau

3 CONTEXTE ACTUEL

3.1 Modes de transport

L'ensemble des transports de déchets radioactifs TFA est actuellement opéré par route. Dans cette étude, on ne prendra en compte que le transport par route et le multimodal routier / ferroviaire. Les autres modes de transport (fluvial et aérien) ne sont pas retenus, suite à l'analyse réalisée dans le cadre de l'étude relative aux transports des déchets de Faible et Moyenne Activité à Vie Courte (FMA-VC) due au titre de l'article 34 de l'arrêté PNGMDR (réf (5)).

3.2 Sites expéditeurs

EDF, le CEA, Framatome et Orano, expédient les déchets TFA à destination du Cires de l'Andra pour stockage essentiellement depuis leurs sites de production.

La liste des sites expéditeurs est précisée par producteur ci-après.

3.2.1 EDF

EDF est actuellement l'exploitant de 19 Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) et de 6 structures en déconstruction (SD), dont certaines sont adossées aux CNPE.

Le tableau suivant distingue les sites embranchés (c'est-à-dire, disposant d'une jonction au réseau ferroviaire, de type non électrifiée, le transport sur la fin du segment de voie ferrée se faisant avec des locomotives diesel), des sites non embranchés.

Embranché au réseau ferroviaire	Non embranché au réseau ferroviaire
Belleville	Blayais
Bugey *	Chinon *
Cattenom	Chooz *
Civaux	Dampierre
Cruas	Flamanville
Fessenheim	Paluel
Golfech	Penly
Gravelines	St-Laurent des Eaux *
Nogent	Brennilis **
St-Alban	Creys-Malville **
Tricastin	

* : Sites adossés (CNPE + structure en déconstruction - SD)

** : Structure en déconstruction

Pour les sites embranchés, le mode ferroviaire n'est actuellement utilisé que pour des transports de combustible usé.

3.2.2 CEA

Les 16 sites expéditeurs du CEA sont desservis principalement par la route.

Embranché au réseau ferroviaire	Non embranché au réseau ferroviaire
Pierrelatte	Cadarache
	Fontenay aux Roses
	Grenoble
	Marcoule
	Saclay
	DAM Ile de France
	Valduc
	Cesta Le Barp
	Gramat
	Moronvilliers
	Le Ripault
	STXN / Brest
	STXN Cherbourg
	STXN / Nantes
	STXN / Toulon

3.2.3 Orano / Framatome

Les sites Orano / Framatome expéditeurs de déchets TFA sont :

Embranché au réseau ferroviaire	Non embranché au réseau ferroviaire
Pierrelatte	La Hague
Malvési	Melox
Bessines-sur-Gartempe	Triade
	Cadarache
	Romans-sur-Isère
	Cezus Jarrie

3.3 Site destinataire

3.3.1 Le Cires

Implanté depuis 2003 sur les communes de Morvilliers et de La Chaise, dans le département de l'Aube, le Cires est dédié au stockage des déchets TFA.

Il permet aussi depuis 2012, le regroupement de déchets radioactifs issus d'activités non électronucléaires et l'entreposage de certains de ces déchets qui n'ont pas encore de solution de gestion définitive. En 2016, une nouvelle activité de tri et de traitement dédiée aux déchets radioactifs issus d'activités non électronucléaires a été mise en service. L'ensemble de ces déchets n'est pas pris en compte dans le cadre de l'étude.

Le Cires est une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), exploitée par l'Andra. D'une superficie totale de 46 hectares dont 18 réservés au stockage des déchets TFA, ce centre est autorisé à accueillir 650 000 m³ de déchets TFA. À fin 2017, 54,2% de cette capacité totale de stockage autorisée étaient atteints.

L'Andra étudie la possibilité d'augmenter à terme la capacité volumique du centre autour de 950 000 m³ de déchets TFA dans le même périmètre foncier.

Le Cires est situé à quelques kilomètres du Centre de Stockage de l'Aube (CSA) actuellement en exploitation pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte.

Les déchets TFA stockés au Cires sont essentiellement des terres, gravats, ferrailles... très faiblement contaminés. Ils sont issus principalement du démantèlement d'installations nucléaires.

Dans une moindre mesure, une part des déchets TFA provient de l'exploitation de ces installations ainsi que d'industries classiques utilisant des matériaux naturellement radioactifs.

Les déchets TFA peuvent également provenir de l'assainissement et de la réhabilitation d'anciens sites pollués par la radioactivité, dont l'Andra assure la décontamination au titre de sa mission de service public. Ces derniers ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

Une partie des déchets TFA comportent des pièces massives. La majorité de ces pièces respecte les gabarits de transport (routier et ferroviaire) tandis que d'autres nécessitent la mise œuvre de convois exceptionnels sur la partie route.

Les autres déchets TFA pris en compte dans la présente analyse sont préparés sur les sites de production et conditionnés dans des colis (fûts, caissons métalliques, ou dans des grands sacs en tissu plastifié appelés « big-bags »).

Les colis de déchets TFA sont acheminés jusqu'au Cires directement par camions depuis les sites producteurs. Le Cires n'est pas embranché ferroviaire. Le terminal ferroviaire de Brienne le Château se trouve à 13 km. Ce terminal dédié aux activités de l'Andra est décrit au chapitre suivant.

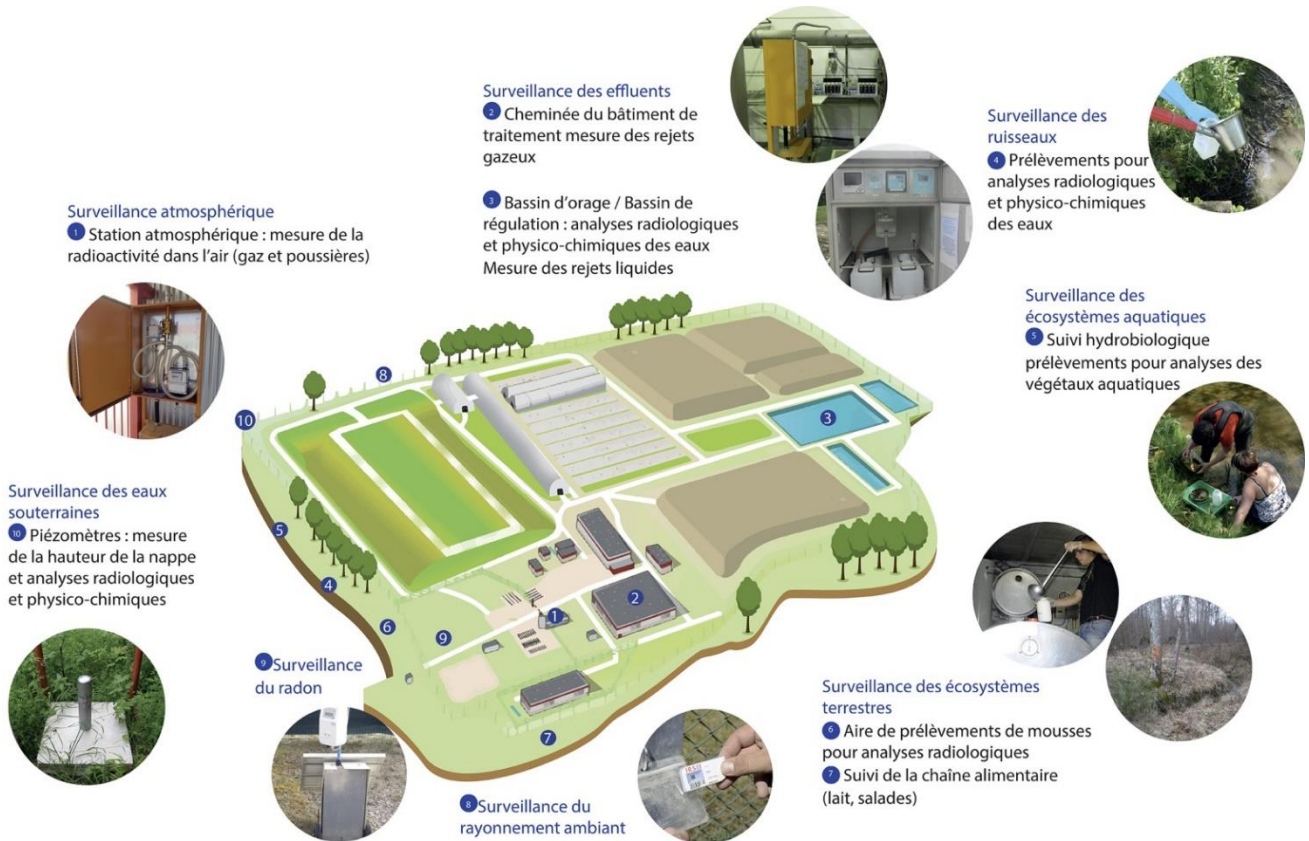
A leur arrivée sur le Cires, les camions sont contrôlés à nouveau par l'Andra pour s'assurer de l'acceptabilité sur le site en termes de :

- niveau de contamination des conteneurs de transport,
- caractéristiques radiologiques des colis de déchets.

Les colis de déchets TFA sont ensuite dirigés vers :

- l'atelier de conditionnement, si les colis nécessitent un traitement préalable au stockage (compactage des déchets plastiques et ferrailles, solidification des boues) ou,
- les alvéoles de stockage pour les colis directement stockables.

Une vue générale des installations du TFA est présentée ci-après :

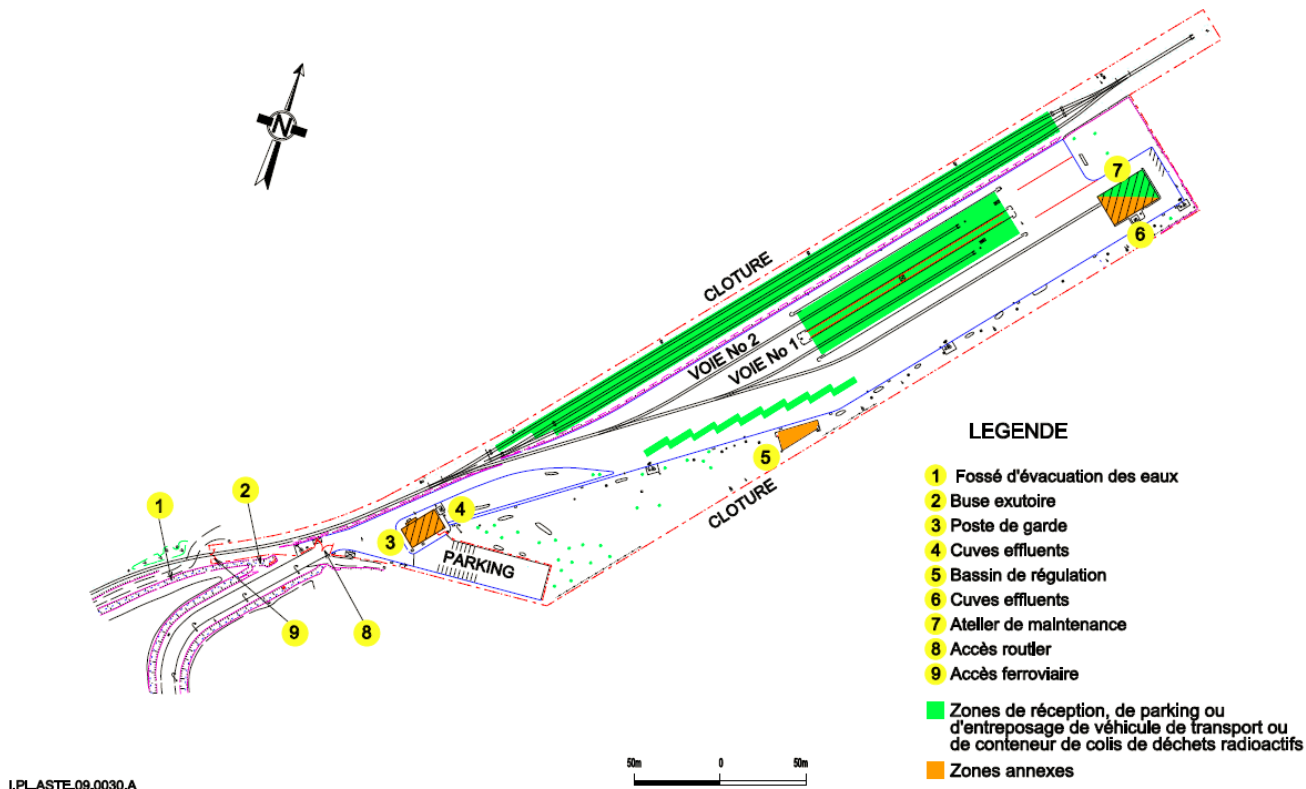


Vue d'une alvéole en cours de remplissage :



3.3.2 Le Terminal ferroviaire de Brienne le Château

Le Terminal Ferroviaire de Brienne le Château (TFB) est présenté ci-après :



I.PLASTE.09.0030.A

Le site est de forme trapézoïdale (hauteur 96 m, grande base 600 m) et a une superficie de 5,17 ha. L'installation comprend notamment :

- Une aire de stationnement des tracteurs et remorques ;
- Une aire de manutention des conteneurs/colis de déchets radioactifs ;
- 3 voies ferrées d'accueil des convois (réception, tri et restitution des wagons) ;
- 2 voies ferrées desservant l'aire de manutention ;
- 2 portiques pour la manutention des colis.

Une voie relie le terminal au réseau ferroviaire.

Après transbordement, les colis, une fois chargés sur les ensembles routiers, rejoignent le Cires par la route. La route est autorisée pour les transports de poids-lourd (PTRA¹ 44t).

Cette installation est clôturée et les accès routiers et ferroviaires se font par deux portails distincts. Le TFB est peu utilisé depuis quelques décennies. Cependant, il sera remis partiellement en service dès 2019 dans le cadre de l'envoi de quelques emballages de transport de combustible usé obsolètes. A cet effet, seule une voie ferrée d'accueil des convois sera remise en état pour recevoir des wagons spécifiques contenant ce type d'emballage.

¹ Poids Total Roulant Autorisé

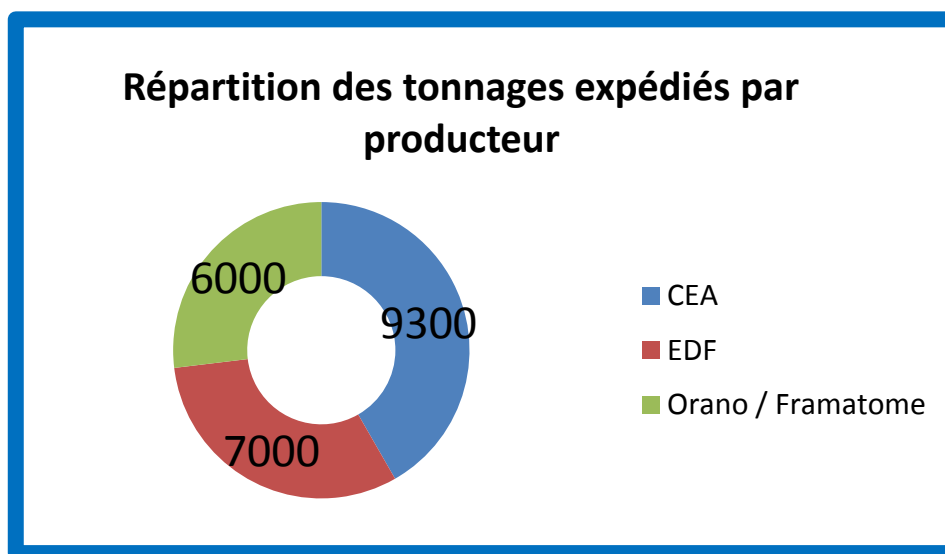
Le trajet utilisé entre le terminal ferroviaire de Brienne et le Cires passe par la D400 et la D960, jusqu'à la D396 qui amène au Cires. La voie empruntée convient aux convois lourds de plus de 160 tonnes (autorisation préfectorale).



3.4 Flux de déchets TFA

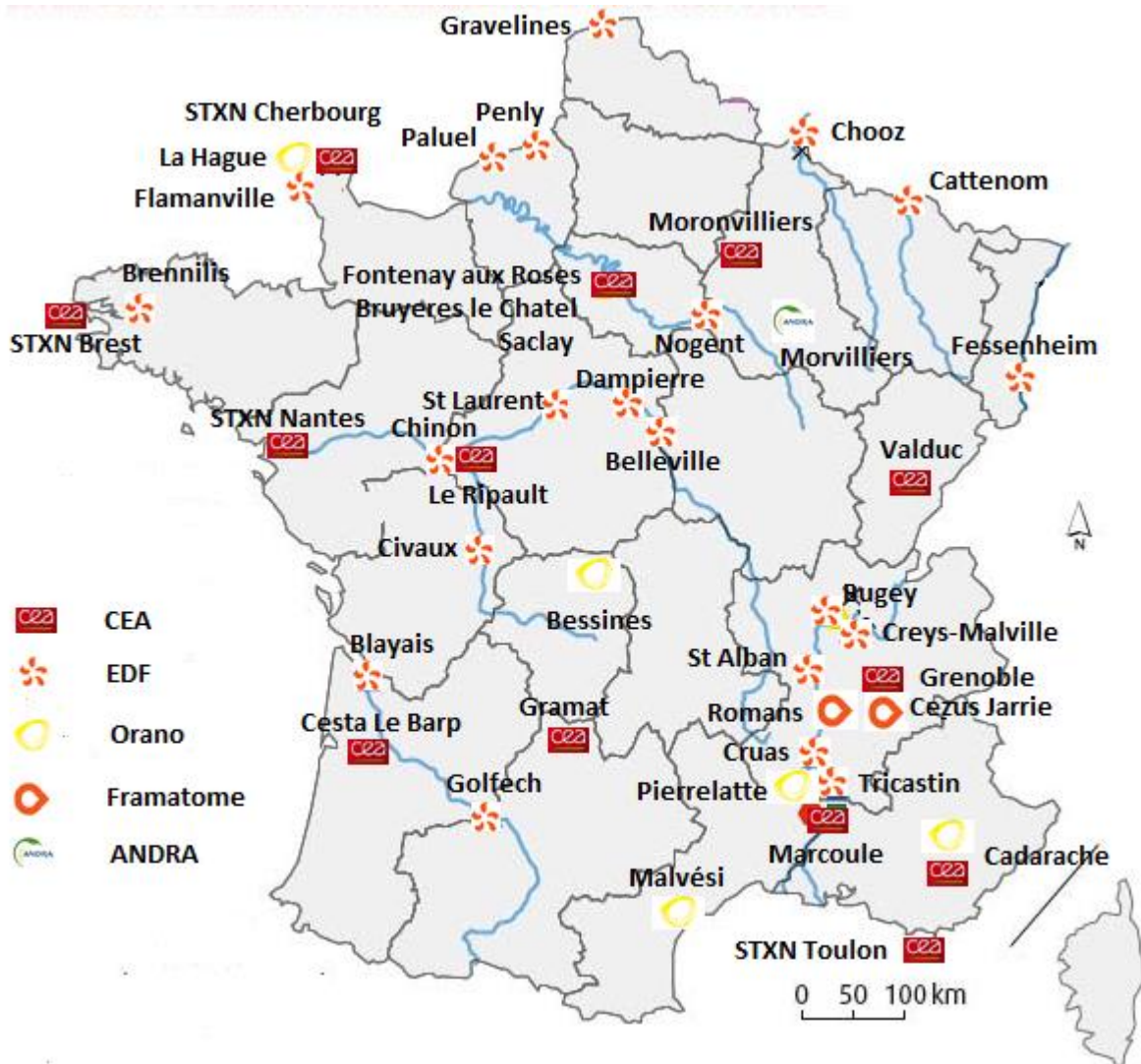
Le flux annuel de colis de déchets TFA expédiés vers le Cires depuis les différents sites producteurs est de l'ordre de 20 000 tonnes². Ce tonnage correspond à environ 1 650 transports routiers annuels.

La répartition quantitative sur la période de référence selon les producteurs Orano/Framatome, CEA et EDF est représentée sur le graphe suivant :



² Un an glissant sur les années 2017-2018 a été retenu comme référence, car représentatif des flux constatés sur la période actuelle

Les sites concernés sont répartis géographiquement comme suit :



3.5 Sûreté des transports

En préambule, quelques définitions sont rappelées.

La sûreté nucléaire est assurée par l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.

La sûreté est déclinée selon les trois axes suivants :

- la sûreté de conception et de fabrication des emballages,
- la fiabilité et la sécurité des opérations de transport des colis (emballage et contenu),
- l'efficacité de l'intervention en cas d'anomalie, d'incident ou d'accident.

Par définition, le colis de transport de substances radioactives est constitué de l'emballage et de la substance à transporter.

Les déchets TFA sont conditionnés dans des contenants primaires de type big-bags (terres, gravats), fûts (déchets de procédés, etc...), des caissons ou en pièces unitaires. Ils sont ensuite transportés dans des conteneurs certifiés conformes aux normes ISO pour le transport (certificats en cours de validité).

Il est aussi possible de transporter des déchets directement dans des fûts ou des caissons métalliques certifiés pour le transport, quand ils sont en quantité moindre.

Dans le cadre des transports de déchets TFA, il n'y a pas de différences dans les exigences réglementaires, pour les aspects sûreté, en fonction des différents modes de transports considérés (route et fer).

3.5.1 Sûreté de conception et de fabrication des emballages

Les emballages de transport sont conçus pour atteindre un niveau de sûreté fixé par la réglementation du transport des matières radioactives de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA). Les règles pour atteindre les objectifs de sûreté fixés sont développées par les pays participant à l'AIEA qui s'engagent à les transposer dans les réglementations nationales respectives, soit pour la France l'ADR (4) pour la route et le RID (8) pour le transport ferroviaire.

Un accident de transport pouvant *a priori* survenir n'importe où, donc potentiellement loin des services de secours spécialisés, le colis doit par lui-même apporter une protection suffisante pour limiter les conséquences d'un accident. Le premier niveau de protection de la défense en profondeur est donc la robustesse du colis, qui doit permettre d'assurer un maintien des fonctions de sûreté, y compris en cas d'accident sévère si les enjeux de sûreté l'exigent.

La philosophie de la réglementation est fondée sur le principe suivant : la sûreté repose avant tout sur l'emballage, dont la conception et la fabrication doivent être adaptées aux quantités et aux caractéristiques des déchets transportés et aux risques associés.

La réglementation définit donc des épreuves, qui simulent des incidents ou des accidents, à l'issue desquelles le colis doit maintenir ses fonctions de sûreté. La sévérité des épreuves réglementaires est proportionnée au danger potentiel du contenu transporté. Cinq grandes familles de colis sont ainsi définies : colis « exceptés », colis « de type industriel », colis « de type A », colis « de type B », colis « de type C ». Ces familles sont déterminées en fonction des caractéristiques de la substance transportée comme l'activité radiologique totale, l'activité spécifique (qui correspond au caractère plus ou moins concentré de la substance) et sa forme physico-chimique.

Les déchets TFA sont essentiellement transportés dans des colis exceptés et des colis industriels.

Les colis exceptés permettent de transporter des quantités très faibles de substances radioactives, comme les produits radio-pharmaceutiques de très faible activité. Du fait des enjeux de sûreté très faibles, ces colis ne sont soumis à aucune épreuve de qualification. Ils doivent toutefois respecter un certain nombre de spécifications générales, notamment relatives à la radioprotection, pour garantir que l'irradiation autour de ces colis reste très faible (moins de 5 µSv/h).

Les colis industriels permettent de transporter des substances avec un faible niveau d'activité ou des objets ayant une contamination surfacique limitée. Trois sous-catégories de colis industriels existent en fonction de la dangerosité du contenu. Selon leur sous-catégorie, les colis industriels doivent résister à un ensemble d'épreuves réglementaires, à une partie d'entre elles ou seulement aux dispositions générales applicables aux colis exceptés.

Les épreuves obligatoires sur le modèle de colis simulent des événements pouvant survenir en situation normale de transport, comme des chutes depuis des véhicules, l'exposition à la pluie, la pénétration d'un objet pointu ou encore la résistance à l'empilement d'autres charges. Les emballages utilisés dans l'industrie comme les fûts en acier peuvent être conformes à ces spécifications, mais des emballages spécialement conçus sont aussi fréquemment utilisés. Le choix dépend des caractéristiques radiologiques des déchets.

Du fait de leurs enjeux limités, les colis industriels et les colis exceptés ne font pas l'objet d'un agrément par l'ASN, mais d'inspections éventuelles : la conception et la réalisation des épreuves relèvent de la responsabilité du concepteur.

Les emballages industriels sont réalisés à partir de plans et spécifications émises par le transporteur, et un suivi de réalisation est assuré et tracé au moyen du dossier constructeur établi par le fabricant. Le dossier de conformité au modèle de colis comporte un chapitre maintenance. Pour les colis industriels, une maintenance périodique est effectuée, consistant à des examens visuels et des contrôles des moyens de manutention (exemple coins ISO). Des réparations sont effectuées en cas de constat.

En outre, une partie des déchets TFA est transportée en colis exemptés. Concernant le volet radiologique, les colis exemptés sont des colis contenant une substance dont l'activité ne dépasse pas les seuils fixés par la réglementation (ADR (4) pour les transports routiers et RID (8) pour les transports ferroviaires) : la limite d'activité massique admissible est de 10 Bq/g et la limite d'activité totale est de 10 000 Bq. S'il s'agit d'un objet contaminé en surface, les seuils sont 0,4 Bq/cm² pour les émetteurs β et γ , et 0,04 Bq/cm² pour tous les autres émetteurs α .

Un convoi qui transporte des colis de déchets exemptés est banalisé, car réglementairement ces déchets ne sont pas dangereux.

3.5.2 Fiabilité et sécurité des opérations de transport des colis, prévention et efficacité de l'intervention en cas d'anomalie, d'incident ou d'accident

La réglementation prévoit des obligations pour les différents acteurs industriels du domaine du transport, notamment :

- Tous les intervenants doivent alerter immédiatement les services de secours en cas d'accident. Cela vaut notamment pour le conducteur du véhicule, qui sera *a priori* le premier informé. Il doit également transmettre l'alerte à l'expéditeur.
- Le conducteur du véhicule doit avoir à sa disposition dans la cabine des consignes écrites indiquant notamment les premières actions à mener en cas d'accident (par exemple, activer le coupe-circuit si le véhicule en est équipé pour éviter le démarrage d'un incendie).
- Une fois l'alerte donnée, les intervenants doivent se mettre à disposition des pouvoirs publics pour aider aux actions de secours, notamment en fournissant toutes les informations pertinentes à leur disposition. Cela concerne en particulier le transporteur et l'expéditeur, dont la connaissance du colis et de son contenu est précieuse pour mettre en place les dispositions adaptées.

Pour remplir ces obligations réglementaires, les intervenants établissent des plans d'urgence permettant de définir à l'avance une organisation et des outils qui leur permettront de réagir efficacement en cas d'accident.

Il peut arriver que le conducteur soit dans l'incapacité de donner l'alerte, par exemple s'il est gravement blessé lors de l'accident. Dans ce cas, ce serait aux premiers services de secours de reconnaître la nature radioactive du chargement. Dans ce but, les plaques orange présentes sur les conteneurs permettent de signaler la présence de marchandises dangereuses : les services

de secours ont alors la consigne de faire évacuer par principe une zone de 100 m de rayon autour du véhicule, en attendant de connaître plus précisément le chargement et l'état des colis. La présence de plaques-étiquettes portant un trèfle montre le caractère radioactif du contenu, ce qui permet de transmettre cette information à la préfecture et aux autres acteurs spécialisés, dont les Autorités.

Si la nature de l'accident le justifie, le préfet commandera les opérations de secours. En attendant que les experts nationaux soient en mesure de lui apporter des conseils, le préfet peut s'appuyer sur le plan départemental d'urgence mis en place pour faire face à ses situations. Ce plan comporte notamment des fiches élaborées par les Autorités de Sécurité détaillant les premières actions à mener en fonction du type de colis impliqué dans l'accident, comme par exemple les moyens de lutte contre le feu à utiliser ou à proscrire, la nécessité d'étendre ou non le périmètre de la zone d'évacuation dans l'attente d'informations plus détaillées sur le chargement et l'état des colis, les protections individuelles à utiliser pour les personnels des services de secours, etc. l'ASN, le transporteur, l'expéditeur et le destinataire apporteront des conseils techniques au préfet sur les actions plus spécifiques à mettre en place. L'évaluation de l'état du colis, les évolutions possibles de la situation et les conséquences associées seront analysés, ainsi que les moyens de récupération du colis, et de la substance et d'assainissement du site le cas échéant.

Enfin, des exercices de crise périodiques mettant en jeu les acteurs du nucléaire (expéditeur, destinataire, transporteur, Autorités de Sécurité), et les services de secours et les services de l'état, permettent de tester l'ensemble de l'organisation qui serait mise en place. Ces exercices ont pour but de préparer les pouvoirs publics à la gestion d'un éventuel accident impliquant un transport de substances radioactives.

3.5.3 Gestion des risques d'accident

L'évaluation des risques doit permettre d'identifier les mesures de prévention les mieux adaptées.

Il convient donc d'analyser tous les paramètres caractéristiques des flux de transport et des organisations logistiques, afin de réaliser une analyse de risque.

Un flux de transport est la modélisation d'un transport ; il est défini par un expéditeur, un destinataire, un donneur d'ordre, un colis (matière, emballage, N° UN, type de colis), un ou plusieurs modes de transport, et est décrit par des caractéristiques que sont le nombre de ruptures de charge, la fréquence annuelle des transports pour le flux, la durée d'un transport, la quantité de déchets TFA par transport.

L'organisation logistique est la description du trajet d'un flux, défini par un site expéditeur, un ou plusieurs modes de transport, éventuellement un ou plusieurs sites intermédiaires (lieux de rupture de charge ou de nuitée), un site destinataire, les fournisseurs intervenant sur les tronçons de transport ou les sites intermédiaires, ainsi que les activités qu'ils réalisent. À un flux peuvent être rattachées plusieurs organisations logistiques, dans le cas où il existe plusieurs trajets différents possibles.

Les principaux paramètres qui vont servir à l'analyse de risque sont donc :

- La quantité de déchets TFA,
- La fréquence annuelle des transports,
- La distance à parcourir au total, et par mode de transport,
- La durée du transport,
- Les modes de transports utilisés,
- Le nombre de ruptures de charges.

D'autres paramètres entrent en ligne de compte à savoir la sûreté, la protection physique, l'aspect médiatique et l'aspect industriel. Pour chaque item, les historiques évènementiels tenant compte du type d'emballage et de substance sont considérés.

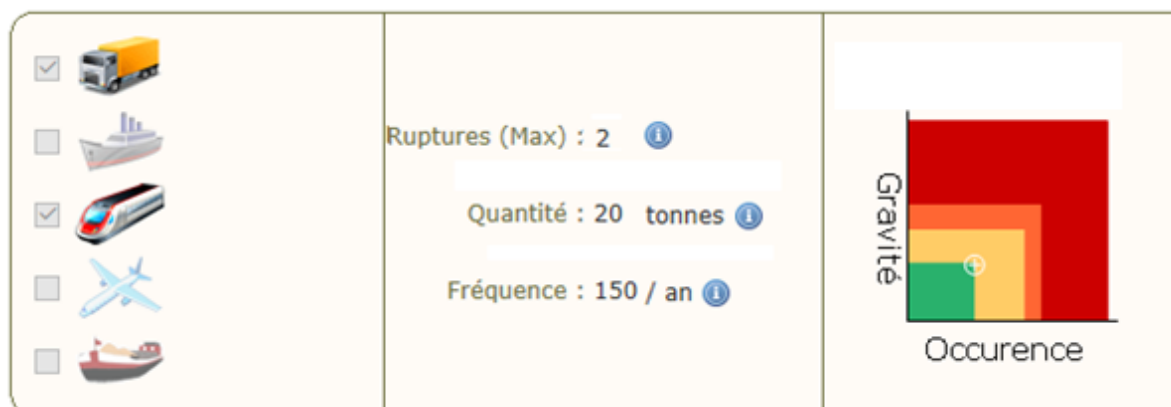
Ce qui va différencier les deux schémas logistiques (« route » et « route – fer – route »), c'est la prise en compte d'un préacheminement (pour les sites expéditeurs non embranchés ferroviaires) et d'un post-acheminement (par la route) avec un ou deux transbordements sur les terminaux ferroviaires (ruptures de charge).

L'analyse est réalisée au moyen d'un logiciel Orano, d'expertise, alimenté par le retour d'expérience des exploitants.

Dans le cas d'un schéma logistique routier, les résultats sont :



Dans le cas d'un schéma logistique « route – fer – route », les résultats sont :



Echelle des niveaux de danger

- Danger Important
- Danger Significatif
- Danger Faible
- Danger Très Faible

Les points obtenus sur les graphes (croix blanches) sont le résultat de calculs fondés sur des notations :

- Sur des évènements redoutés, relatifs à la sûreté de conception des emballages comme la dispersion de la substance (en cas d'accident de transport, de chute du colis ou d'incendie par exemple), l'irradiation et les risques chimiques et la protection physique des colis (vis-à-vis des risques de vol et détournement de la substance ou d'actions d'opposants par exemple) ;
- Sur l'analyse de gravité propre au flux de transport, incluant l'impact d'un incident, la quantité de substance, la fréquence des transports et le lieu où se trouve le transport.

La note finale pour le flux est une combinaison linéaire de toutes les notes affectées à tous les paramètres.

Une précision s'impose dans le contexte du présent rapport : Ce niveau de danger faible pour du transport de déchets TFA est principalement rattaché à l'aspect non-radioactif, c'est-à-dire aux opérations liées au roulage et à la manutention : Aussi un transport de matériaux, quel qu'il soit n'est jamais sans danger.

En comparant les deux organisations logistiques, l'occurrence d'un accident se trouve légèrement moindre, de l'ordre de 5%, dans un schéma route – fer – route. En revanche, le niveau de gravité augmente très faiblement.

Ainsi, les deux schémas logistiques, sont globalement équivalents. Cela s'explique par le fait que bien que le schéma multimodal soit plus compliqué, avec rupture de charge, et une ou deux phases d'approche routières par transport, le niveau de sûreté des transports ferroviaires est supérieur à celui des transports routiers.

En complément, le tableau comparatif ci-après identifie les avantages et inconvénients du point de vue de la sécurité des transports (accident, protection physique et aspect médiatique) :

Modes de transport	ROUTE	Multimodal FER - ROUTE
Imprédictibilité des itinéraires (hors colis exemptés)	Les itinéraires routiers sont nombreux Décalage et variabilité des horaires effectifs	Itinéraires limités au réseau ferré Décalage et variabilité des horaires envisageables
Impact récupération colis après accident	Accès par la route possible	Si la voie ferrée est éloignée de la route, le scénario de récupération est à étudier au cas par cas car accès potentiellement plus difficile
Suivi en temps réel pour faciliter la localisation	Suivi en temps réel Balises GPS aisées à installer sur les moyens de transport Personnel présent à bord avec moyens de communication	
Protection contre la malveillance	Alarmes sur véhicules Présence du conducteur Nuitée sur sites sécurisés Pose de dispositif anti-intrusion sur les conteneurs	Difficulté d'accès à un wagon Présence de personnel Pose de dispositif anti-intrusion sur les conteneurs

4 ELEMENTS RETENUS POUR L'EVALUATION ET LA COMPARAISON DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

4.1 Modes de transport

4.1.1 Transport routier

Actuellement, l'ensemble des producteurs a recours à ce mode de transport pour les expéditions de déchets TFA, car il est très bien adapté d'un point de vue technique de par la souplesse qu'il apporte en termes d'exploitation pour les sites producteurs.

Les véhicules utilisés pour le transport des déchets TFA sont des semi-remorques standards équipées de supports de coins ISO pour le transport de conteneurs.

Un exemple de déchargement de convoi est illustré ci-après :



4.1.2 Transport ferroviaire

Comme présenté au paragraphe 3.2, moins du tiers des sites expéditeurs sont embranchés. Pour les autres, la distance au terminal ferroviaire le plus proche est variable (de quelques km jusqu'à une cinquantaine de km). En outre, selon la proximité ou la localisation des sites, des regroupements sont envisageables vers un terminal commun qui n'est pas obligatoirement lié à un site embranché.

Comme présenté au § 3.3.2, le Cires et le CSA disposent également, à 13 km, d'un terminal dédié : Le terminal ferroviaire de Brienne le Château.

L'exploitation du réseau ferré est sous la responsabilité de SNCF Réseau.

Le transport de conteneurs de déchets radioactifs est réalisable dans des convois contenant du fret conventionnel. La réglementation des transports de marchandises dangereuses par rail (RID) fixe

toutefois certaines interdictions relatives au transport d'autres marchandises dangereuses sur le même convoi, à l'exception des conteneurs exemptés.

2 types de wagons sont utilisables pour le transport de déchets radioactifs TFA :

- Wagons pour conteneurs ISO identiques (40' et 20') à ceux employés sur route :



Ce mode de transport est mis en œuvre avec des transports routiers pour les phases d'approches des infrastructures de transbordement (transport entre le site producteur non embranché et le terminal ferroviaire, transport entre le TFB et le Cires,...).

4.2 Impacts environnementaux

Les principaux impacts environnementaux associés aux modes de transports intervenant dans les schémas logistiques examinés ci-après, i.e. les transports routier et ferroviaire, comprennent les impacts acoustiques, les impacts sur les sols, sur la qualité de l'air, de l'eau, des milieux aquatiques, sur l'occupation des sols et sur le morcellement de l'habitat et le réchauffement climatique.

Parmi ces impacts, seuls les impacts acoustiques, sur la qualité de l'air et sur le réchauffement climatique sont facilement quantifiables. Par ailleurs, même si l'impact acoustique des deux modes de transport considérés n'est pas équivalent, ce paramètre n'est pas susceptible d'influencer les conclusions de l'analyse d'impact environnemental. Dans la présente étude, l'évaluation de l'incidence sur la qualité de l'air et sur le réchauffement climatique a été réalisée par l'intermédiaire d'un indicateur synthétique sur les émissions de gaz à effet de serre.

4.3 Méthodologie de calcul

Les calculs d'émission de gaz à effet de serre (GES) sont effectués selon le guide méthodologique (2) d'application de l'article L1431-3 du Code des transports, méthodologie conforme à l'arrêté (1). Ils permettent d'évaluer la quantité équivalente de CO₂³ émise pour les transports.

Celle-ci est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\text{GES} = \text{Taux de consommation du véhicule} \times \text{Distance parcourue} \times \text{Facteur d'émission}$$

Le résultat obtenu est exprimé en masse de CO₂ émis.

4.4 Schémas logistiques étudiés

Au regard des éléments présentés ci-avant, l'étude a consisté à comparer l'incidence sur la qualité de l'air - exprimée en masse équivalente de CO₂ émis - du schéma logistique alternatif de type fer / route par rapport au schéma logistique actuel route. Les paramètres pris en compte pour les calculs sont décrits ci-après.

4.4.1 Schéma logistique actuel route

Le premier schéma logistique considéré correspond au schéma actuel, dans lequel l'ensemble des transports de déchets TFA sont opérés par route. Dans une approche conservative, les paramètres suivants ont été retenus :

- Tous les transports sont effectués en liaison directe, c'est-à-dire au départ d'un seul expéditeur et vers une seule destination, sans prise de charge complémentaire de déchets sur le parcours.
- Les liaisons sont des boucles simples⁴, décrites comme suit :
 - départ à vide du véhicule de l'entreprise de transport jusqu'au site nucléaire expéditeur ;
 - chargement des colis de déchets ;

³ Équivalent CO₂ désigne le potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz à effet de serre (GES), calculé par équivalence avec une quantité de CO₂ qui aurait le même PRG.

⁴ Ce paramètre est majorant car les logistiques routières mises en œuvre sont optimisées (boucles fermées)

- roulage en charge vers le Cires;
 - déchargement des colis de déchets ;
 - trajet retour vers l'entreprise de transport, ou vers un autre site nucléaire expéditeur et départ pour un autre cycle de transport vers le Cires.
- Les véhicules utilisés sont des semi-remorques du type porte-conteneurs de 44t de PTR A dont la consommation s'élève à 34,2 litres aux 100 km⁵. Le facteur d'émission de CO₂ pris en compte est défini sur la base d'un transport chargé. Ainsi, le facteur retenu pour l'étude est de 3,16 kgCO₂/litre⁶. Cette valeur est attribuée à l'ensemble des transports ce qui est pénalisant pour les trajets retours qui sont réalisés à vide. Le nombre de transports est la somme de transports chargés et à vide (aller/retour).
 - Le kilométrage total effectué annuellement a été évalué à 1 700 000 km (kilométrage, correspondant aux 1654 expéditions de déchets TFA pour tous les producteurs, (constaté sur une année de référence).

La masse (équivalente) de CO₂ associé à ce schéma est ainsi évaluée à 1 835 t.

4.4.2 Schéma logistique alternatif de type fer / route

Le schéma logistique type fer / route a été considéré pour les sites :

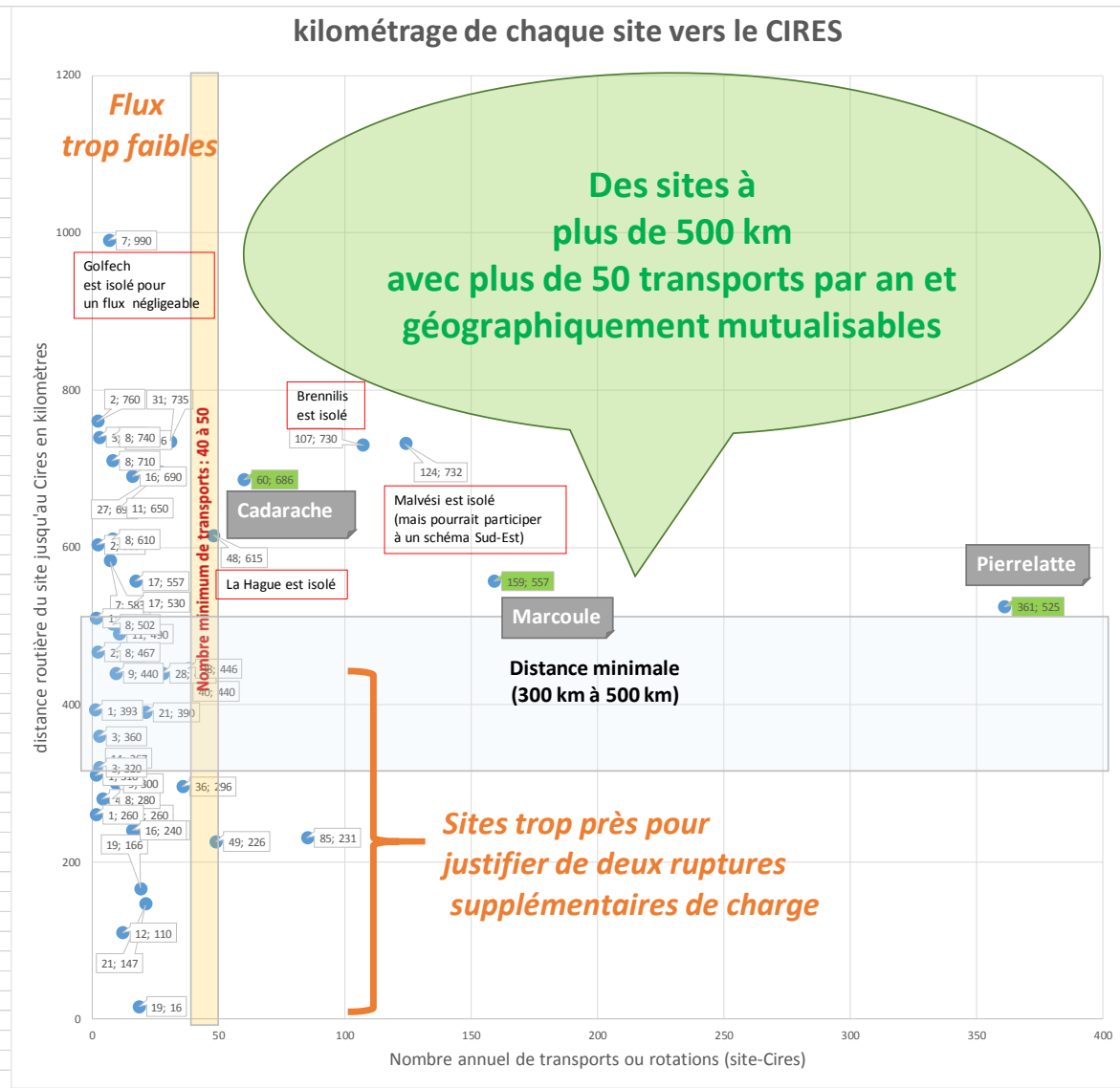
- Offrant la possibilité d'un tronçon ferroviaire largement majoritaire par rapport aux transports routiers indispensables au ralliement des terminaux de transbordement. De manière pratique, cela correspond globalement aux sites à plus de 500 km du Cires ;
- Dont le flux annuel vers le Cires est supérieur à 50 rotations ;
- Offrant la possibilité de mutualiser les évacuations avec d'autres sites producteurs à proximité. En effet, le flux de déchets d'un site isolé est généralement insuffisant pour constituer un convoi ferroviaire dans un délai compatible avec certaines contraintes d'exploitation.

Pour illustrer cela, le graphe suivant reporte les distances entre les sites producteurs de déchets et le Cires en fonction du nombre annuel de transports routiers, tout en précisant ceux qui pourraient être mutualisés pour un schéma ferroviaire.

⁵ Valeur issue de (3)

⁶ Valeur issue de (3)

CENTRES/SITES	nombre de transports	kilométrage de chaque site CEA vers le CIRES
CAD	60	686
FAR	49	226
GRE	2	467
MAR	159	557
SAC	85	231
DIF	14	267
VAL	21	147
CES	2	760
GRA	27	695
MOR	19	166
RIP	1	393
PIE	361	525
STXN/BRS	10	736
STXN/CHE	7	583
STXN/TOU	31	735
STXN/NAN	2	603
BEL	11	260
BLA	16	690
BRM	107	730
BUA	3	360
BUG	17	240
CAT	8	710
CHA	3	740
CHB	8	740
CHO	4	280
CIV	11	650
CNA	8	280
CRE	1	260
CRU	11	490
DAM	16	240
DAP	19	16
FES	9	300
FLA	8	610
GOL	7	990
GRB	40	440
NOG	12	110
PAL	28	440
PEN	9	440
SAL	21	390
SLA	1	310
SLB	3	320
SOG	36	296
TRD	1	510
TRI	17	530
La Hague	48	615
Romans	38	446
Malvési	124	732
Melox	17	557
Cezus Jarrie	8	467
Bessines	8	502
Tricastin	117	525



Les critères considérés amènent à retenir les 3 sites CEA du Sud-Est : Cadarache, Pierrelatte et Marcoule.

Afin d'évaluer les émissions de GES associées à un transport fer-route pour ces 3 sites, les hypothèses sont :

- Constitution du convoi ferroviaire sur le terminal du Teil, près de Montélimar avec les déchets issus des 3 sites CEA du Sud-Est ;
- Les convois ferroviaires sont constitués de 8 wagons contenant chacun 3 conteneurs, pour la partie électrifiée du réseau (voir (9)) ;
- Les phases d'approche entre les sites et le terminal du Teil, ainsi que la phase entre le terminal de Brienne le Château et le Cires se font par la route ;
- La distance entre les deux terminaux ferroviaires est de 630 km de voie ferrée dont 35 non électrifiés entre Vitry le François et Brienne, A noter qu'actuellement la motrice diesel-électrique disponible sur ce tronçon ne peut tirer que deux wagons de fret soit 6 conteneurs, ce qui explique la quantité de transports présentée dans le tableau ci-dessous ;
- Le calcul du CO₂ tient compte du trajet aller-et-retour, des wagons et des véhicules.

Le bilan du schéma multimodal est détaillé ci-après (les distances sont calculées pour la route au moyen du site Via-Michelin et pour le réseau ferré au moyen de (9)):

Mode	Site expéditeur	Distance parcourue (km)	Nombre	Calcul CO ₂
Route	CEA Cadarache	354	60	23,0
	CEA Pierrelatte	64	361	25,0
	CEA Marcoule	110	159	18,9
Fer	TF Le Teil – Vitry le François via Perrigny – Culmont Chalindrey et Toul	1260	580 25 trains 8 wagons électrique	22,3
	Vitry le François – TF Brienne le Château	70	580 100 trains 2 wagons Diesel-électrique	38,0
Route	TF Brienne le château - Cires	26	580	16,3
Total CO₂				143,5

Nous pouvons comparer ce résultat en termes de tonnages de CO₂ avec les trajets direct routiers :

Mode	Trajets	Distance parcourue (km)	Nombre de transports	Calcul CO ₂
Route	CEA Cadarache - Cires	1316	60	85,3
	CEA Pierrelatte - Cires	1034	361	403,4
	CEA Marcoule - Cires	1092	159	187,6
Total CO₂				676,3

4.5 Bilan

De manière globale, l'impact des 2 schémas logistiques considérés en termes d'émission d'équivalent CO₂ est présenté ci-dessous :

Schéma Logistique	Route	Fer / Route
Tonnages CO ₂ émis	1 835 t	1 302 t

Ce bilan est déterminé :

- sur la base des quantités de déchets évacuées sur l'année de référence (2017-2018) ;
- en considérant pour le schéma logistique fer / route que l'ensemble des déchets TFA évacués depuis les sites CEA regroupés de la Vallée du Rhône le sont en mode ferroviaire soit :
 - un gain de 533 t CO₂ sur le transport de la totalité des déchets produits par 3 sites regroupés de la Vallée du Rhône.

Le gain sur le tonnage de CO₂ émis dans le cas du schéma logistique fer / route examiné est de l'ordre de 30% par rapport au schéma logistique où tout est réalisé par la route.

Cet écart correspond à moins de 0,002% des émissions annuelles de GES par les véhicules lourds en France.

5 ANALYSE MULTI-CRITERES

Pour évaluer chaque schéma logistique, il est nécessaire d'examiner l'ensemble des critères concernant :

- l'impact environnemental (émission de gaz à effet de serre) ;
- les moyens nécessaires à flux équivalent ;
- la souplesse d'utilisation ;
- les exigences réglementaires ;
- la sécurité des opérations autres que le roulage ;
- les contraintes pour les sites producteurs ;
- la fréquence et la gestion des situations dégradées ;
- le panel de prestataires et opérateurs de transport ;
- les aspects économiques ;
- les autres aspects de sécurité.

Les tableaux suivants présentent pour chacun de ces critères une comparaison des deux schémas logistiques.

5.1 Evaluation du transport multimodal mutualisé pour les 3 sites CEA du Sud-Est

Il est porté une évaluation - positive, négative, égale ou neutre - de la solution multimodale retenue pour les trois sites CEA mutualisés du Sud-Est, par rapport au mode de transport actuel par la route.

Critère	Référence : Transport routier	Alternative pour une partie du flux : Transport multimodal fer-route mutualisé pour trois sites CEA du Sud-Est	
Emissions de gaz à effet de serre	Valeur de référence des transports effectués actuellement.	+ +	L'usage du train, pour les longs trajets (> 500 km), diminue les émissions de GES, exprimées en t CO ₂ , d'un facteur 5 environ par rapport à la valeur de référence (cf. § 4)
Moyens nécessaires	Les moyens existants satisfont au besoin. Il n'est pas nécessaire de procéder à des regroupements, les expéditions peuvent être faites au fil de l'eau. Les rotations (c'est à dire le temps entre le départ et le retour vide des emballages) sont réalisées dans la semaine.	=	Les moyens sont similaires. Il sera nécessaire de mettre à niveau le portique du terminal ferroviaire de Brienne-le-Château.
Souplesse d'utilisation	Les trajets porte-à-porte et la disponibilité des transporteurs et véhicules offrent une grande souplesse d'utilisation. De plus, les aléas de transport peuvent être aisément gérés par le producteur (report de la préparation des colis).	=	Moindre souplesse des créneaux de circulation pour la re-planification des transports reportés. Cependant la fréquence des trains depuis le Teil sera importante.
	Les Autorités peuvent imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques,...) ou interdire les transports	+	Les Autorités peuvent plus rarement imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques, médiatiques,...) ou interdire les transports
Exigences réglementaires	Sites et moyens conformes à la réglementation.	=	Sites et moyens conformes à la réglementation.

Critère	Référence : Transport routier	Alternative pour une partie du flux : Transport multimodal fer-route mutualisé pour trois sites CEA du Sud-Est	
Sécurité des opérations autres que le roulage	Les opérations de chargement et déchargement sont effectuées sur les sites des exploitants nucléaires	-	Les opérations de manutention, nécessaires au passage d'un mode de transport à l'autre, sont réalisées par les opérateurs du site de transbordement. Elles exposent les colis à des incidents (choc, chute,..) et les opérateurs à des accidents de manutention
Contraintes pour les sites producteurs	Maîtrise des quantités de déchets entreposés (adaptation rapide des évacuations au besoin, en fonction des flux de production, des capacités d'entreposage,...)	=	Mutualisation pour trois grands sites (sans limitation foncière) Grandes capacités d'entreposage existantes (CRETFA)
Fréquence des situations dégradées de roulage	L'accidentologie potentielle est de l'ordre de 4.10^{-7} accident/véhicule.km pour toutes les catégories de matières dangereuses	+	La fréquence des accidents ferroviaires est moindre
Gestion des situations dégradées	Accès facilité par la route	-	Si la voie ferrée est éloignée de la route, le scénario de récupération est à étudier au cas par cas car accès potentiellement plus difficile
Panel des prestataires de transport	Les transporteurs routiers aptes aux transports de marchandises radioactives, non soumis à des règles de protection physique sont multiples	-	Le réseau ferré appartient à un seul exploitant, et les transporteurs ferroviaires sont peu nombreux. Le groupement de transporteurs titulaire du marché est aguerri au transport multimodal
Aspects économiques	Transporteurs routiers nombreux et flexibles – mise en concurrence pour minimiser les coûts	-	Optimisation selon les quantités par expédition. La mise en concurrence se fait entre les deux schémas logistiques
Autres aspects de sécurité	Les itinéraires routiers sont nombreux. Décalage et variabilité des horaires Suivi en temps réel (balises GPS) Personnel présent à bord avec moyens de communication Alarmes sur véhicules Présence du conducteur	=	Itinéraires limités au réseau ferré Décalage et variabilité des horaires Suivi en temps réel (balises GPS) Personnel présent à bord avec moyens de communication Difficulté d'accès à un wagon Présence de personnel

Les critères qualitatifs de ce premier tableau sont relativement équilibrés et montrent la plausibilité de l'alternative envisagée pour les trois sites du Sud Est du CEA.

5.2 Evaluation du transport multimodal généralisé

Dans le second tableau ci-dessous, il est porté de la même manière une évaluation - positive, négative, égale ou neutre – du déploiement d'une solution multimodale généralisée à l'ensemble des transports depuis tous les sites, par rapport au mode de transport actuel par la route.

Critère	Référence : Transport routier	Déploiement généralisé du transport multimodal fer-route	
Emissions de gaz à effet de serre	Valeur de référence des transports effectués actuellement	+	L'usage du train, pour les longs trajets (> 500 km), diminue les émissions de GES, exprimées en t CO ₂ (cf. § 4). Pour les trajets courts, la mise en œuvre systématique d'un schéma multimodal est moins pertinente d'un point de vue CO ₂ compte tenu des tronçons non électrifiés de sites embranchés et de l'importance des tronçons routiers.
Moyens nécessaires	Les moyens existants satisfont au besoin. Il n'est pas nécessaire de procéder à des regroupements, les expéditions peuvent être faites au fil de l'eau. Les rotations (c'est à dire le temps entre le départ et le retour vide des emballages) sont réalisées dans la semaine.	-	Il sera nécessaire de mettre à niveau le portique du terminal ferroviaire de Brienne-le-Château. Les rotations sont plus longues pour les petits sites et les sites isolés.
Souplesse d'utilisation	Les trajets porte-à-porte et la disponibilité des transporteurs et véhicules offrent une grande souplesse d'utilisation. De plus, les aléas de transport peuvent être aisément gérés par le producteur (report de la préparation des colis).	--	Moindre souplesse des créneaux de circulation pour la re-planification des transports reportés La constitution d'un convoi avec des colis de plusieurs producteurs nécessite des étapes préalables supplémentaires et une coordination entre producteurs (pour la planification de réception des colis de déchets par l'Andra notamment).
	Les Autorités peuvent imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques,...) ou interdire les transports	+	Les Autorités peuvent plus rarement imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques, médiatiques,...) ou interdire les transports

Critère	Référence : Transport routier	Déploiement généralisé du transport multimodal fer-route	
Exigences réglementaires	Sites et moyens conformes à la réglementation.	=	Sites et moyens conformes à la réglementation.
Sécurité des opérations autres que le roulage	Les opérations de chargement et déchargement sont effectuées sur les sites des exploitants nucléaires.	--	Les opérations de manutention, nécessaires au passage d'un mode de transport à l'autre, sont réalisées par les opérateurs des sites de transbordement. Elles exposent les colis à des incidents (choc, chute,..) et les opérateurs à des accidents de manutention.
Contraintes pour les sites producteurs	Maîtrise des quantités de déchets entreposés (adaptation rapide des évacuations au besoin, en fonction des flux de production, des capacités d'entreposage,...).	-	Nécessité de prévoir des aires d'entreposage sur les terminaux et/ou d'augmenter les capacités d'entreposage sur les sites producteurs pour gérer les délais d'attente sur les entreposages tampon (faisabilité technique incertaine pour les sites de faible superficie). Disposer de volumes importants pour remplir un train ou se coordonner avec d'autres producteurs.
Fréquence des situations dégradées de roulage	L'accidentologie potentielle est de l'ordre de 4.10^{-7} accident/véhicule.km pour toutes les catégories de matières dangereuses	+	La fréquence des accidents ferroviaires est moindre
Gestion des situations dégradées	Accès facilité par la route	-	Si la voie ferrée est éloignée de la route, le scénario de récupération est à étudier au cas par cas car accès potentiellement plus difficile
Panel des prestataires de transport	Les transporteurs routiers aptes aux transports de marchandises radioactives, non soumis à des règles de protection physique, sont multiples.	--	Le réseau ferré appartient à un seul exploitant, et les transporteurs ferroviaires sont peu nombreux. L'adhésion de nouveaux opérateurs n'est pas aisée pour un marché limité.

Critère	Référence : Transport routier	Déploiement généralisé du transport multimodal fer-route	
Aspects économiques	Transporteurs routiers nombreux et flexibles – mise en concurrence pour minimiser les coûts	--	Optimisation selon les quantités par expédition. Le peu d'opérateurs ferroviaires rend actuellement difficile la mise en concurrence. Les investissements sur les sites de transbordement ne sont pas compris dans l'appréciation.
Autres aspects de sécurité	Les itinéraires routiers sont nombreux (imprédictibilité) Décalage et variabilité des horaires effectifs Suivi en temps réel (balises GPS) Présence du conducteur Alarmes sur véhicules	=	Peu d'alternatives possibles sur les itinéraires Décalage et variabilité des horaires envisageables Suivi en temps réel (balises GPS) Personnel présent à bord avec moyens de communication Difficulté d'accès à un wagon

Les critères qualitatifs de ce second tableau sont nettement moins équilibrés et dissuadent de mettre en œuvre une généralisation globale du schéma multimodal à l'échelle nationale pour tous les sites. En effet à l'échelle globale, la présence de nombreux sites isolés et dispersés, présentant de faibles flux annuels et majoritairement non embranchés dégrade complètement l'intérêt constaté pour une solution locale spécifique.

5.3 Amélioration des transports sur le plan environnemental

Les principales améliorations déjà mises en œuvre ou envisageables en vue de diminuer les émissions de GES associés aux transports sont :

- Le respect des exigences réglementaires appliquées aux véhicules, comme par exemple la consommation moyenne des poids lourds qui évolue de manière fréquente (normes Euros d'émissions de polluants pour les moteurs de plus en plus contraignantes),
- L'éco-conduite des poids lourds et des trains. Par exemple, pour les trains, l'éco-conduite favorise une utilisation en « roue libre » et permet d'économiser jusqu'à 30 % d'énergie sur un trajet,
- L'électrification de lignes ferroviaires qui ne le sont pas,
- Le renouvellement et l'évolution des motrices ferroviaires.

6 CONCLUSION

Le transport des colis de déchets TFA est actuellement réalisé en totalité par la route. Cette pratique est celle prise comme référence, avec comme données d'entrée les flux sur un an glissant 2017-2018.

L'alternative examinée dans cette étude est limitée au transport multimodal route / ferroviaire. Les autres modes (aérien et fluvial) n'ont pas été retenus pour les mêmes raisons que celles présentées dans le document PNGMDR relatif au transport des déchets FMA-VC (5).

La présente note permet d'identifier les raisons de la complexité du déploiement généralisé d'un transport multimodal ferroviaire-route comme alternative globale au schéma routier actuel, ainsi que les difficultés technico-économiques que ce schéma logistique pourrait induire.

Cependant, un transport multimodal ferroviaire-route peut être envisagé au cas par cas en fonction des besoins, de la position géographique des sites (possibilité de regroupement, par exemple pour les sites CEA de la vallée du Rhône) et des quantités de déchets TFA produits par site.

La présente note focalise l'analyse environnementale sur les émissions de gaz à effet de serre (GES). L'analyse ainsi réalisée indique que l'usage du transport ferroviaire pour une partie des flux (3 sites CEA du Sud-Est) aboutirait à la réduction au mieux d'un tiers des émissions de GES. Cette dernière est globalement enveloppe et le resterait probablement en intégrant des actions d'optimisation demandées réglementairement ou contractuellement aux logisticiens et aux transporteurs (routiers et ferrés).