



Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs

2016 – 2018

Etude des modalités de transport
des déchets FMA-VC

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	4
3.2.3	Socodei (filiale EDF).....	5
3.2.4	Areva.....	5
3.3	Sites destinataires	5
3.3.1	Le centre de stockage de l'Aube (CSA).....	5
3.3.2	Installation Centraco.....	7
3.4	Flux de déchets FMA-VC	9
4	ELEMENTS RETENUS POUR L'EVALUATION ET LA COMPARAISON DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	10
4.1	Modes de transport	10
4.1.1	Transport routier.....	10
4.1.2	Transport ferroviaire	10
4.1.3	Transport fluvial.....	12
4.1.4	Transport aérien.....	13
4.2	Impacts environnementaux	13
4.3	Méthodologie de calcul.....	13
4.4	Schémas logistiques étudiés	13
4.4.1	Schéma logistique actuel.....	14
4.4.2	Schéma logistique de type fer / route	14
4.5	Bilan.....	16
5	ANALYSE MULTI-CRITERES	17
6	CONCLUSION.....	20

1 OBJET

Ce rapport constitue la réponse des exploitants à la demande de l'article 34 de l'arrêté du 23 février 2017 (1) :

« Areva, le CEA, EDF et SOCODEI remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2017 une étude sur des modalités de transports des déchets FMA-VC, le cas échéant après traitement, permettant d'en réduire les impacts environnementaux. 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 différents modes de transport envisageables (routier, ferroviaire, fluvial, aérien) des déchets radioactifs de faible et moyenne activité vie courte (FMA-VC) depuis les sites d'Areva, du CEA, d'EDF, et de Socodei vers le Centre de Stockage de l'Aube (CSA) de l'Andra, situé à Soulaines-Dhuys.

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

3 CONTEXTE ACTUEL

3.1 Modes de transport

L'ensemble des transports de déchets radioactifs FMA-VC est actuellement opéré par route.

3.2 Sites expéditeurs

Areva, EDF, le CEA et Socodei expédient les déchets FMA-VC à destination du CSA de l'Andra pour stockage soit directement depuis leurs sites de production, soit pour les trois premiers cités après une étape de traitement sur l'installation Centraco.

La liste des sites expéditeurs est renseignée en Annexe 1.

3.2.1 EDF

EDF est actuellement l'exploitant de 19 sites en fonctionnement (CNPE) et de 6 structures en déconstruction (SD).

Le tableau suivant distingue les sites embranchés (c'est-à-dire, disposant d'un embranchement ferroviaire, de type non électrifié, 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)

** : 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 7 sites expéditeurs du CEA, dont les 3 situés en région parisienne, sont desservis principalement par la route.

Le site de Marcoule fait exception et dispose à 5 km, du terminal ferroviaire d'Orsan qui peut recevoir des conteneurs de déchets pour un transbordement sur wagon ferroviaire.

3.2.3 Socodei (filiale EDF)

Socodei n'a qu'un seul site expéditeur de déchets FMA-VC (issus de l'incinération et de la fusion), à savoir celui de l'installation Centraco de Marcoule.

Sa mitoyenneté au site de Marcoule précité lui permet aussi l'accès au terminal ferroviaire d'Orsan.

3.2.4 Areva

Suite à l'arrêt des ATPu Cadarache (début 2017), le seul site Areva expéditeur de déchets FMA-VC est le site de La Hague. Il est desservi par route. Un terminal ferroviaire spécifique situé à 39 km, sur la commune de Valognes, exploité par une filiale d'Areva, permet d'accéder au réseau ferré.

3.3 Sites destinataires

3.3.1 Le centre de stockage de l'Aube (CSA)

Le Centre de stockage de l'Aube (CSA) est le 2^{ème} centre de stockage de surface construit en France. Situé dans l'Aube, il est exploité par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) depuis 1992.

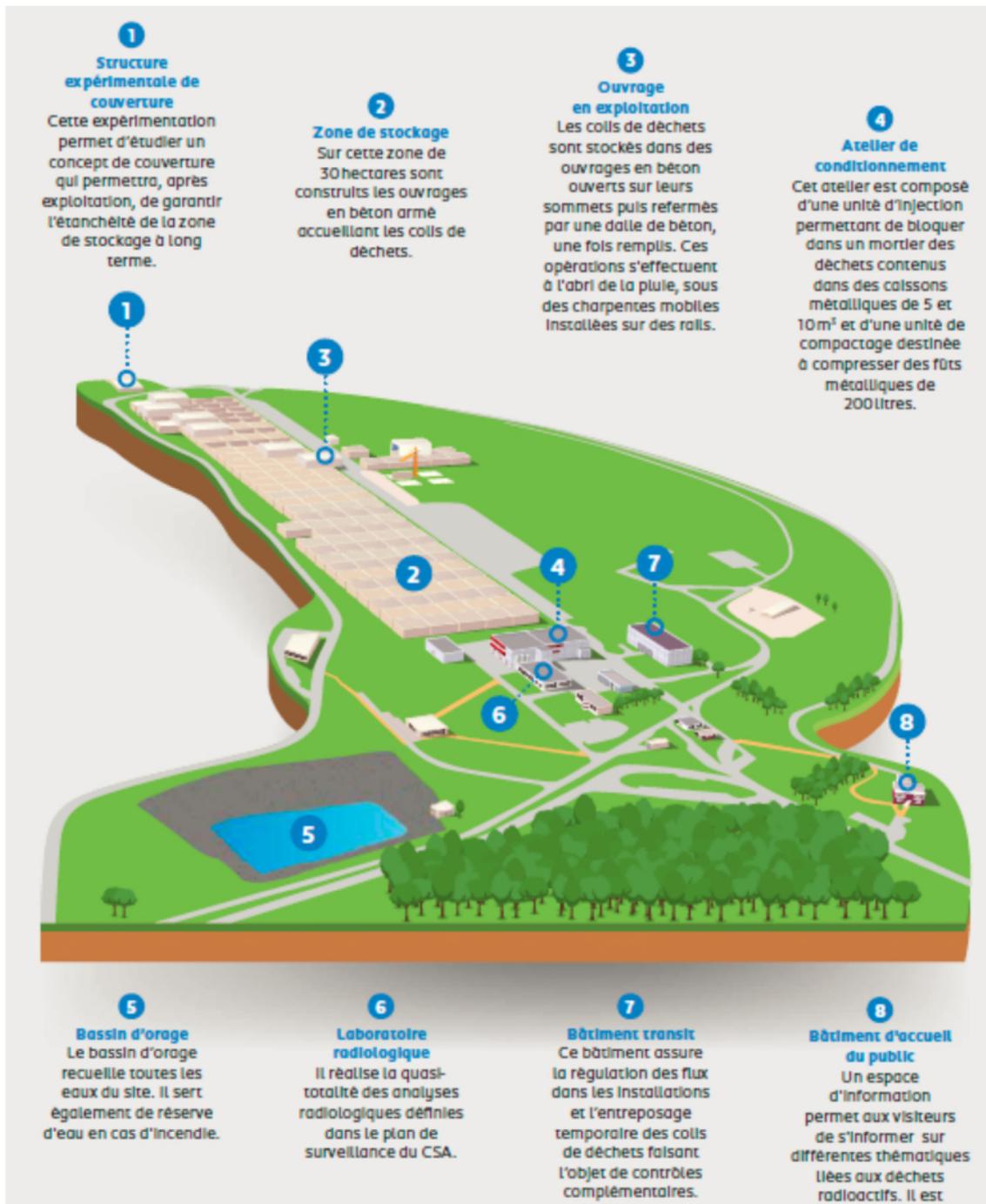
Le CSA est une Installation nucléaire de base (INB n° 149) d'une superficie totale de 95 hectares dont 30 réservés au stockage des déchets. Ce centre est autorisé à accueillir 1 million de m³ de colis de déchets radioactifs.

Les déchets FMA-VC sont conditionnés dans des colis (fûts, caissons, coques) en béton ou métalliques avant d'être stockés au CSA (le cas échéant après traitement complémentaire), dans des ouvrages en béton armé.

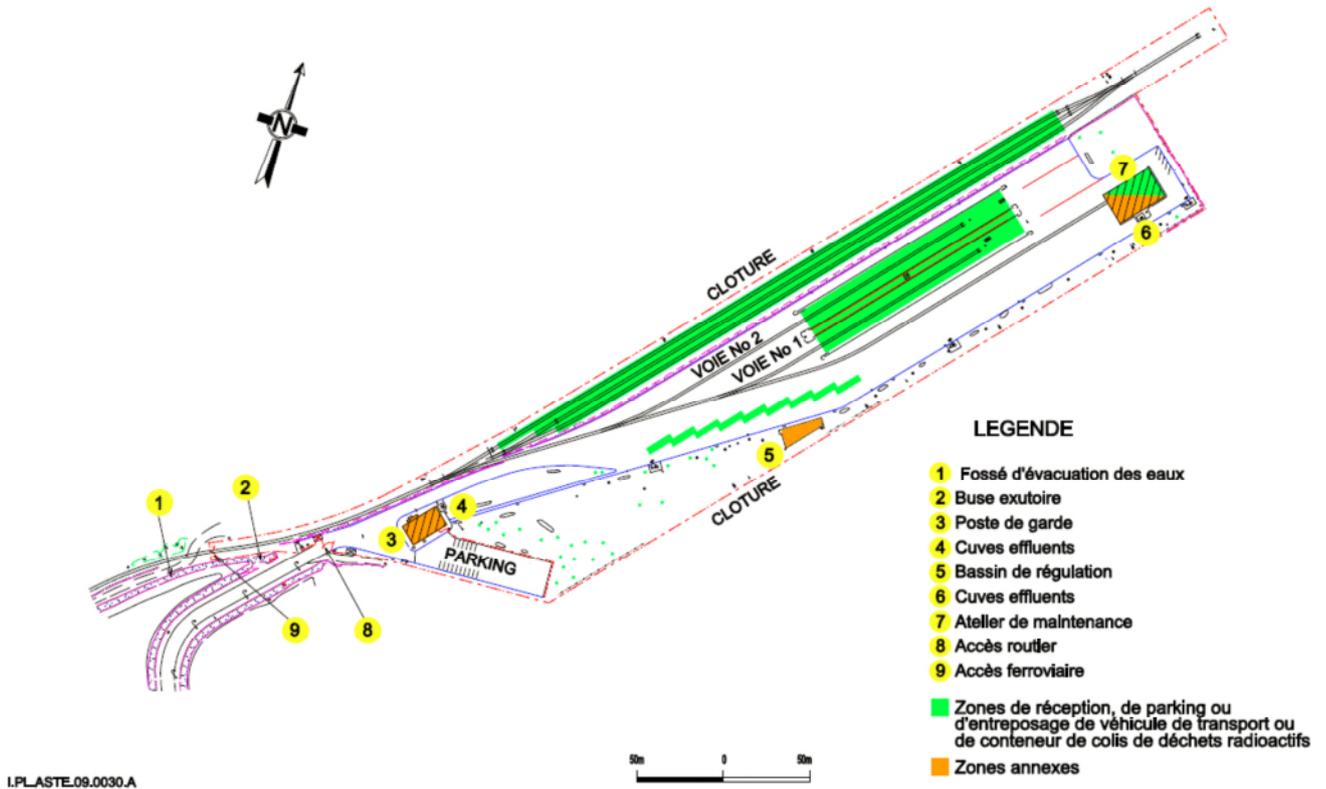
Les colis de déchets sont acheminés jusqu'au CSA directement par camions depuis les sites producteurs. Les camions sont alors dirigés vers :

- l'atelier de conditionnement, si les colis nécessitent un traitement préalable au stockage (injection ou compactage) ;
- les alvéoles de stockage ou le bâtiment de transit pour les colis directement stockables.

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



Un terminal ferroviaire est situé à 15 km du CSA. Il s'agit du terminal ferroviaire de Brienne le Château (TFB), dont la description est présentée ci-après :



L'installation est de forme trapézoïdale (hauteur 96 m, grande base 600 m) et a une superficie de 5,17 ha. Elle 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 réseau ferroviaire.

Les colis, une fois chargés sur des camions, rejoignent le CSA 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. Actuellement le TFB n'est pas utilisé.

3.3.2 Installation Centraco

Située à Codolet dans le Gard, à proximité de la plateforme industrielle de Marcoule, l'usine de Centraco est une Installation nucléaire de base (INB n° 160) dédiée au traitement des déchets très faiblement à moyennement radioactifs à vie courte.

¹ Poids Total Roulant Autorisé

Le CENTre de TRAitement et de COnditionnement (Centraco) est exploité par Socodei depuis 1999. Sa vocation est de traiter des matières et déchets faiblement et très faiblement radioactifs afin d'en réduire les volumes, de les recycler lorsque cela est possible et de caractériser et conditionner les résidus sous forme de colis ultimes confiés à l'Andra pour stockage. Pour mener à bien cette mission le site de Centraco est doté d'une unité d'incinération et d'une unité de fusion.

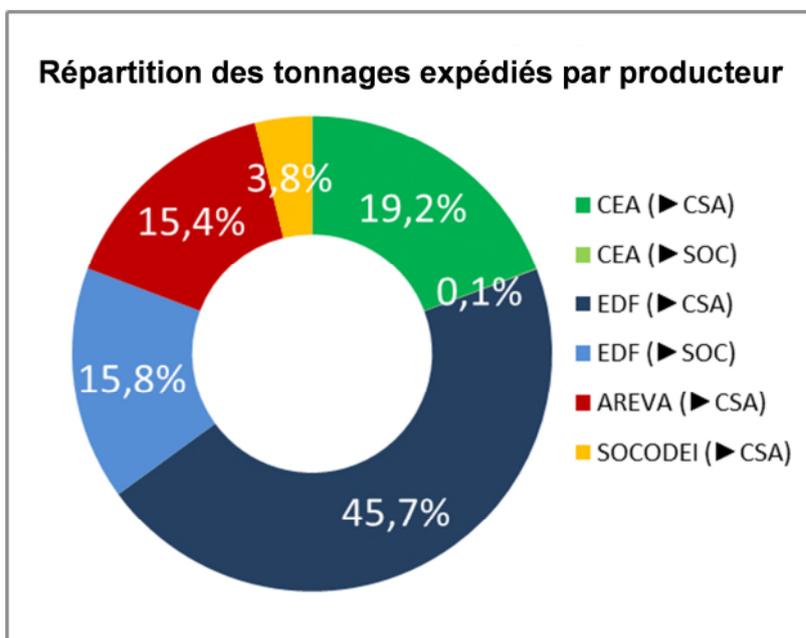


L'accès direct est routier. Le terminal ferroviaire le plus proche est celui d'Orsan, situé à environ 5 km.

3.4 Flux de déchets FMA-VC

Le flux annuel de colis de déchets expédiés vers Centraco et le CSA depuis les différents sites producteurs est de l'ordre de 25 000 tonnes².

La répartition selon l'expéditeur Areva, CEA, EDF et Socodei, et la destination est représentée sur le graphe suivant :



A noter que la quasi-totalité des expéditions vers Centraco est opérée par EDF.

Ces tonnages correspondent à 1 200 transports routiers annuels (charge utile par unité d'expédition : 21 t).

² L'année 2016 a été retenue comme année de référence, car représentative des flux constatés sur la période récente et des flux prévisionnels

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 FMA-VC, car c'est le plus adapté d'un point de vue technique de par la souplesse qu'il apporte en termes d'exploitation pour les sites producteurs et de réception pour Centraco et l'Andra.

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

Un exemple de déchargement de convoi figure ci-après :



Les autres modes de transport envisageables sont :

- le mode ferroviaire ;
- le mode fluvial ;
- le mode aérien.

4.1.2 Transport ferroviaire

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

Les sites destinataires disposent également d'une facilité d'accès au réseau ferré, avec des terminaux situés respectivement à 15 km du CSA et à 5 km de Centraco.

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

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.

2 types de wagons sont a priori compatibles avec le transport de déchets :

- Wagons pour conteneurs ISO, identiques à ceux employés sur route :



- Wagons bâchés adaptés au transport des colis de déchets IP2, tels que les fûts ou les coques béton :



A noter que ce mode de transport ne peut être mis en œuvre seul, et est toujours combiné avec le mode routier qui s'avère indispensable aux phases d'approches des infrastructures de transbordement (transport entre le site producteur non embranché et le terminal ferroviaire, transport entre le TFB et le CSA,...). La photo suivante illustre le transbordement de colis de

déchets depuis un wagon bâché vers une semi-remorque adaptée spécifiquement à ce type de colis sur le terminal de Brienne le Château :



4.1.3 Transport fluvial

Comme le transport routier et le transport ferroviaire, le transport de marchandises dangereuses par voie fluviale (voies navigables intérieures) est régi par l'arrêté TMD³, qui transpose pour ce mode de transport l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieure (ADN).

Le mode fluvial n'a jusqu'à présent jamais été utilisé en France pour les transports de matières radioactives (classe 7). Ainsi, aucun retour d'expérience sur l'usage de ce mode n'est disponible à ce jour. La faisabilité technico-économique, ainsi que la déclinaison des exigences réglementaires associées, en particulier celles relatives aux conditions d'acceptation de colis de déchets FMA-VC par les infrastructures de transbordement mode fluvial / routier, est donc peu documentée⁴.

A titre d'exemple,

- la disponibilité et la conformité aux exigences réglementaires des moyens (barges avec pousseurs, péniches automotrices), auprès des opérateurs nécessiteraient d'être vérifiées ;

³ Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres

⁴ L'annexe 3 de l'arrêté TMD prévoit notamment que pour les ouvrages des ports intérieurs soumis à une étude de dangers en vertu de l'article R.551-9 du code de l'environnement, les dispositions de la partie 7 du règlement ADN relatives aux modalités de chargement / déchargement / transbordement et de stationnement des bateaux peuvent être précisées par arrêté du préfet du département concerné.

- les dispositions et moyens nécessaires pour la gestion des situations incidentelles ou accidentelles ne sont pas connus.

Compte-tenu des incertitudes opérationnelles et des contraintes techniques et organisationnelles associées à ce mode de transport, ainsi qu'au gain qui peut en être attendu en termes d'impact environnemental (du même ordre de grandeur que celui du mode ferroviaire), l'analyse d'un schéma logistique fluvial n'a pas été retenue et n'est donc pas développée dans le cadre du présent rapport.

4.1.4 Transport aérien

Les contraintes organisationnelles et logistiques (localisation des aéroports, acceptabilité par les compagnies aériennes,...) ainsi qu'un impact environnemental défavorable associé au transport aérien ont conduit les exploitants à écarter ce schéma logistique de la présente étude.

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, sur les sols, la qualité de l'air, de l'eau, des milieux aquatiques, l'occupation des sols et le morcellement de l'habitat.

Parmi ces impacts, seuls les impacts acoustiques et sur la qualité de l'air 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 environnementale. La présente étude s'est donc focalisée sur l'évaluation de l'incidence sur la qualité de l'air par l'intermédiaire de sa principale composante, à savoir 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 CO₂⁵ 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. Les paramètres pris en compte pour les calculs sont décrits ci-après.

⁵ 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.

4.4.1 Schéma logistique actuel

Le premier schéma logistique considéré correspond au schéma actuel, dans lequel l'ensemble des transports de déchets FMA-VC sont opérés par route. Dans une approche conservatrice, 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 simples⁶, décrites comme suit :
 - départ à vide du véhicule de l'entreprise de transport jusqu'au site nucléaire expéditeur ;
 - chargement des colis de déchets ;
 - roulage en charge vers l'Andra ou Centraco ;
 - 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 l'Andra ou Centraco.
- 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 km⁷. 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/litre⁸. 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 est pris égal à 1 510 000 km (kilométrage correspondant aux expéditions de déchets FMA-VC constaté en 2016).

La masse (équivalente) de CO₂ associé à ce schéma est ainsi évaluée à 1 632 t.

4.4.2 Schéma logistique de type fer / route

Le schéma logistique type fer / route étudié est un schéma supposé réaliste, même si sa faisabilité technique et sa compatibilité potentielle avec les contraintes organisationnelles et techniques des sites expéditeurs et réceptionneurs ne sont pas acquises. Les paramètres qui ont été considérés sont :

- Une distance site expéditeur / CSA supérieure à 500 km et dans le même temps, une distance site expéditeur / terminal ferroviaire inférieure à 50 km de sorte que le tronçon effectué par train soit largement majoritaire par rapport aux transports routiers indispensables au ralliement des terminaux de transbordement et du CSA ;
- La possibilité ou non de mutualiser les évacuations avec d'autres sites producteurs à proximité. L'usage du rail n'est pertinent que pour une quantité minimale de déchets, un convoi ferroviaire pouvant être envisagé dès lors qu'une dizaine de conteneurs *a minima* est disponible. Aussi, le flux de déchets d'un site isolé est sauf exception (cas de la Hague) insuffisant pour constituer un convoi ferroviaire dans un délai compatible avec les contraintes d'exploitation (entreposage tampon).

⁶ Ce paramètre est majorant car les logistiques routières mises en œuvre sont optimisées (boucles fermées)

⁷ Valeur issue de (3)

⁸ Valeur issue de (3)

Ainsi, le schéma logistique fer / route considéré comprend deux composantes fer :

- Transport direct depuis le site Areva de La Hague vers le CSA ;
- Transport avec regroupement depuis les sites localisés dans la vallée du Rhône.

Dans les deux cas, les hypothèses de chargement tiennent compte de volumes de production de déchets supposés réalistes et permettent d'effectuer par la suite, une comparaison à flux identique avec le schéma logistique actuel (mode routier).

Transport La Hague - CSA

Les hypothèses sont les suivantes :

- Transport de 30 conteneurs ISO 20', soit environ ½ convoi ferroviaire ;
- Tonnage par conteneur : 21 tonnes.

Soit des expéditions de 630 tonnes de déchets.

Vis-à-vis de la production annuelle du site, 6 envois seraient réalisés par an.

Le schéma logistique est le suivant :

- Transport routier du site d'Areva La Hague vers le terminal ferroviaire de Valognes (distance : 39 km) ;
- Transport ferroviaire du terminal de Valognes jusqu'au terminal de Brienne le Château (distance : 580 km) ;
- Transport routier du terminal de Brienne le Château jusqu'au site de l'Andra FMA-VC (distance : 15 km).

Le nombre de conteneurs et les hypothèses retenues sont les mêmes que ceux considérés dans le schéma logistique actuel (route).

Les masses (équivalentes) de CO₂ induites par les parties du trajet effectuées en mode routier sont les suivantes :

- Trajet La Hague - Valognes : Consommation de CO₂ = 2,5 tonnes
- Trajet Brienne le Château / Soulaines : Consommation de CO₂ = 1 tonne

Les masses (équivalentes) de CO₂ induites par les parties du trajet effectuées en mode ferroviaire sont déterminées en considérant un train moyen dont le tonnage brut total (Gt) est de 1 000 t (type de train de la Base Carbone issue de (3)) et dont la consommation énergétique par tonne est de 0,0166 kWh/Gt.km.

La consommation finale d'énergie pour ce type de train est donc de 16,6 kWh/km.

Pour exprimer cette consommation d'énergie en tonne.kilomètre, il faut tenir compte du chargement du train. La valeur de 0,0322 kWh/t.km est retenue (correspondant à des marchandises moyennement denses).

Par ailleurs, d'après (3), la production d'électricité en France donne un taux de conversion GES de 0,048 kgCO₂/kWh.

Sachant que le train parcourt 2 x 580 km (il est considéré que le retour des conteneurs vides s'effectue selon les mêmes modalités) et transporte 630 tonnes de déchets, la consommation équivalente de CO₂ peut être estimée à :

$$0,048 \times 0,0322 \times (580 \times 2) \times 630 = 1,1 \text{ tonne de CO}_2.$$

Pour l'ensemble des tronçons, le bilan du schéma multimodal est le suivant :

$$2,5 + 1,1 + 1,0 = 4,6 \text{ t CO}_2$$

Transport vallée du Rhône - CSA

Les hypothèses sont les suivantes :

- Un train moyen de 1000 t (type de train de la Base Carbone issue de (3)), le bilan CO₂ associé étant calculé à l'identique de celui développé ci-avant pour le transport La Hague/CSA ;
- Début de la constitution du convoi ferroviaire sur le terminal d'Orsan, près de Marcoule avec les déchets produits par les sites du Sud-Est (10 conteneurs en provenance CEA Marcoule, 10 conteneurs en provenance du CEA Cadarache, 5 conteneurs en provenance de Socodei/Centraco) ;
- Convoi complété avec les déchets produits par le CNPE du Tricastin (5 conteneurs chargés à Pierrelatte), par le CNPE de Bugey (5 conteneurs chargés à Ambérieu) et par la SD de Creys-Malville (5 conteneurs chargés à Ambérieu).

Pour les sites embranchés, les wagons sont pré-positionnés sur place pour constituer le train au fur et à mesure de son avancement vers le Nord. Le convoi est complet (20 wagons) après chargement des derniers conteneurs à Ambérieu.

Le bilan du schéma multimodal est détaillé ci-après :

Mode	Site expéditeur	Distance parcouru (km)	Nombre de Conteneurs	Calcul CO ₂
route	CEA Cadarache	136	10	2,9
	CEA Marcoule + Socodei/Centraco	5 (× 2)	10 + 5	0,2
	CNPE Tricastin	8	5	0,1
	Creys-Malville	33	5	0,3
	CNPE Bugey	23	5	0,3
fer	TF Orsan – TF Brienne le château	650	40	1,5
route	TF Brienne le château - CSA	15	40	1,3
			Total CO₂	6,6

4.5 Bilan

L'impact des 2 schémas logistiques considérés en termes de tonnages de CO₂ est présenté ci-dessous :

Schéma logistique	route	Fer / route
Tonnages CO ₂ émis	1632 t*	1094 t

Ce bilan est déterminé :

- sur la base des quantités de déchets évacuées sur l'année de référence (2016) ;

- en considérant pour le schéma logistique fer / route que l'ensemble des déchets FMA-VC évacués depuis la Hague et les sites regroupés de la Vallée du Rhône le sont en mode ferroviaire soit :
 - un gain de 218 t CO₂ sur le transport des déchets produits par La Hague (3820 t de déchets dans 182 conteneurs soit 6 convois ferroviaires/an) ;
 - un gain de 320 t CO₂⁹ sur le transport des déchets produits par les sites regroupés de la Vallée du Rhône (6 700 t de déchets, issus des 6 sites identifiés, dans 320 conteneurs soit 8 convois ferroviaires/an).

Le gain sur le tonnage de CO₂ émis dans le cas du schéma logistique fer / route examiné est d'un tiers par rapport au schéma logistique route.

* les émissions de GES concernées représentent 0,005% des émissions des véhicules lourds en France¹⁰ ;

5 ANALYSE MULTI-CRITERES

Pour évaluer chaque schéma logistique, il est nécessaire de ne pas se limiter à son impact environnemental et d'examiner les autres critères dimensionnants associés, à savoir :

- les moyens nécessaires à flux équivalent ;
- la souplesse d'utilisation ;
- les exigences règlementaires ;
- les opérations connexes au roulage ;
- les contraintes organisationnelles et techniques pour les sites expéditeurs, intermédiaires (transbordement) et destinataires ;
- la gestion des situations dégradées ;
- le panel de prestataires et opérateurs de transport ;
- les aspects économiques.

Le tableau suivant présente pour chacun de ces critères l'évaluation du schéma logistique multimodal fer / route retenu. Il est porté une évaluation - positive, négative, égale ou neutre - de la solution multimodale par rapport au mode de transport de référence, c'est-à-dire la route.

⁹ Cette dernière valeur est optimisée compte tenu qu'il est peu probable que les différents expéditeurs soient en mesure de constituer pour les 8 convois, des chargements entiers de 40 conteneurs pleins (hypothèse de calcul).

¹⁰ En 2014, les véhicules lourds en France ont émis l'équivalent de 30,2 millions de tonnes de CO₂

Critère	Transport routier	Not.	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 , d'un facteur 7 à 9 par rapport à la valeur de référence (cf. § 5)
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.	-	Nécessité d'augmenter le parc d'emballages pour entreposer les colis : <ul style="list-style-type: none"> • en préalable aux transports, afin de constituer des envois en nombre ; • pour pallier l'augmentation des durées de rotation entre le départ et le retour (estimées à 15 jours, compte tenu des ruptures de charge).
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).	- -	Le mode multimodal peut s'avérer complexe à mettre en œuvre (accessibilité des TF depuis certains sites) et/ou non-pertinent (car plus adapté aux grands volumes). Les créneaux de circulation sont figés, et ne peuvent pas être reportés (fréquence des trains). La constitution d'un convoi avec des colis de plusieurs producteurs nécessite des étapes préalables supplémentaires et une coordination entre producteurs (pour la planification notamment).
	Les Autorités peuvent imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques,...) ou interdire les transports	=	Les Autorités peuvent imposer d'autres itinéraires pour diverses raisons (événements sportifs, politiques,...) ou interdire les transports
Exigences réglementaires	Sites et moyens conformes à la réglementation.	~	Prise en compte des exigences applicables aux infrastructures de transbordement. Faire adhérer leurs exploitants pour d'éventuelles mises en conformité.

Critère	Transport routier	Not.	Transport multimodal fer-route
Autres opérations que le roulage	Les opérations de déchargement sont effectuées sur les sites des exploitants nucléaires.	-	Le transport multimodal conduit à des ruptures de charge. 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. Le regroupement nécessaire à la massification des expéditions induit des délais supplémentaires.
Contraintes pour les sites	Réalisation des expéditions au fil de l'eau possible, 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).
Gestion des situations dégradées	Référence	~	La fréquence des accidents ferroviaires est moindre, cependant le retour à la situation normale est plus complexe (moyens particuliers).
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.
Aspects économiques	Référence	~	Optimisation selon les quantités par expédition. Le peu d'opérateurs ferroviaires rend actuellement difficile la mise en concurrence. Les investissements ne sont pas compris dans l'appréciation.

Cette analyse multicritères met en évidence les contraintes et difficultés opérationnelles que présente un schéma multimodal.

6 CONCLUSION

Le transport des colis de déchets FMA-VC est actuellement réalisé en totalité par la route. Cette pratique est celle prise comme référence, avec comme données d'entrée les flux de l'année 2016.

L'alternative examinée dans cette étude est limitée au transport multi-modal route / ferroviaire. Les autres modes (aérien et fluvial) n'ont pas été retenus pour les raisons évoquées au paragraphe 4.

Les principaux impacts constituant l'analyse environnementale associée aux transports routier et ferroviaire sont : acoustiques, sols, qualité de l'air, de l'eau, des milieux aquatiques, l'occupation des sols et le morcellement de l'habitat. La présente étude s'est focalisée sur l'évaluation de l'incidence sur la qualité de l'air par l'intermédiaire de sa principale composante, à savoir 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 aboutit à la réduction d'un tiers des émissions de GES. Ce résultat est enveloppe car il resterait à intégrer des actions d'optimisation demandées réglementairement ou contractuellement aux transporteurs telles que la limitation de la vitesse à 80 km/h, l'utilisation de véhicules de dernière génération, le chargement complet,

De plus, l'analyse multicritères menée dans cette étude montre que le transport multi modal :

- implique la construction de nouveaux emballages, la mise en conformité de terminaux ferroviaires, la création d'aires d'entreposage, dont les impacts environnementaux ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette étude ;
- génère des contraintes importantes et en particulier la perte de souplesse dans la gestion des flux de déchets ainsi qu'une multiplication des acteurs et opérations pouvant engendrer proportionnellement un plus grand nombre de dysfonctionnements (entreposage « tampon », transbordements,...).

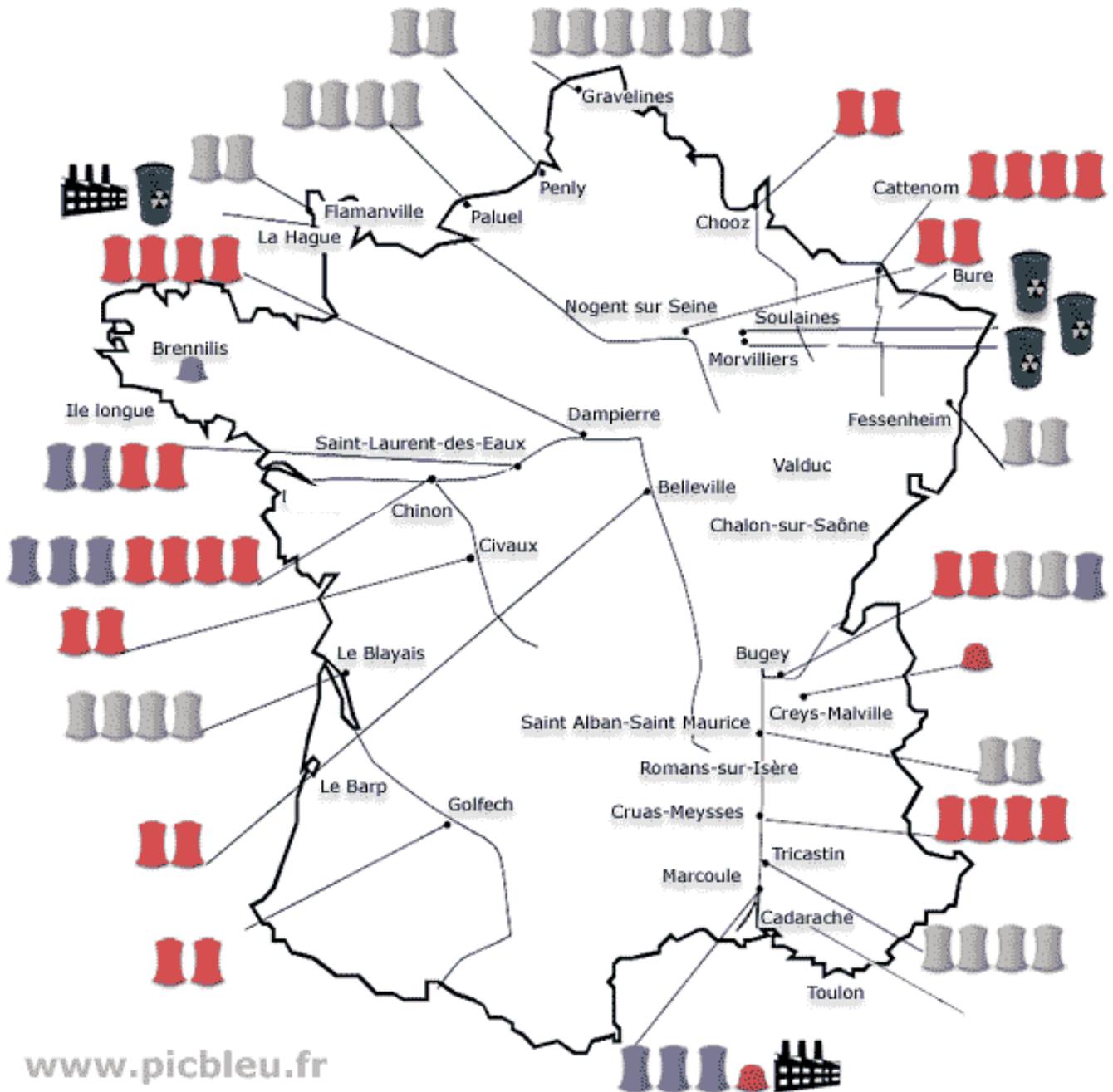
En conclusion de cette étude, qui prend en compte la quantification des émissions de GES et l'analyse qualitative multicritères, le transport multi-modal (fer / route) appliqué à l'ensemble des déchets FMA-VC¹¹ ne peut suffire à conclure pour la mise en œuvre d'une solution alternative globale.

¹¹ L'étude pour les flux de déchets TFA sera remise au titre de l'article 32 de l'arrêté PNGMDR à l'échéance de fin décembre 2018

ANNEXE 1

Sites industriels nucléaires

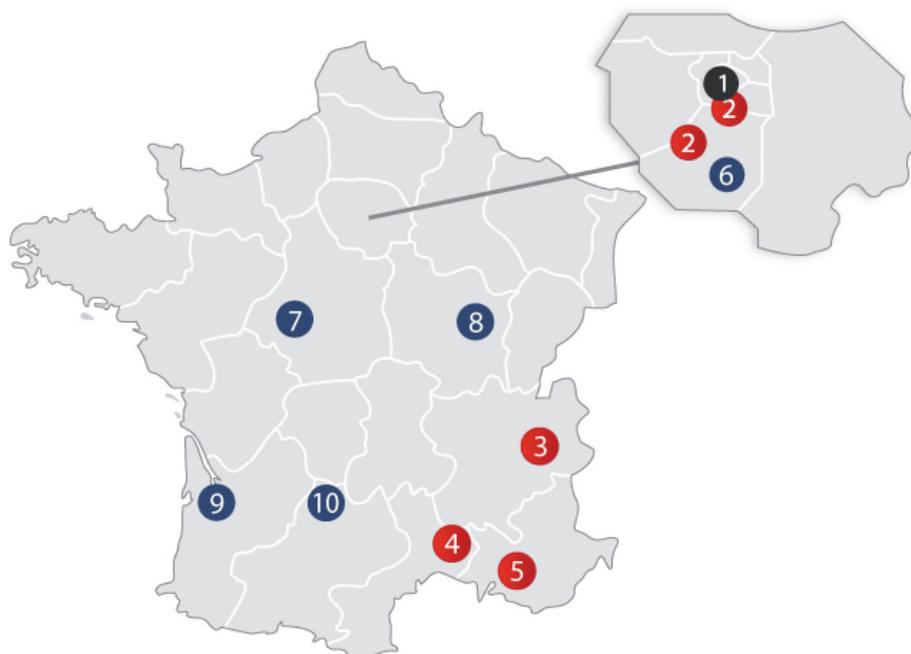
SITES D'EDF, D'AREVA ET DE L'ANDRA



ANNEXE 1 (suite)

Sites industriels nucléaires

SITES DU CEA ET SOCODEI ④



① SIÈGE SOCIAL

CENTRES D'ÉTUDE CIVILS

② Paris-Saclay
établissements de Fontenay-aux-Roses
et de Saclay

③ Grenoble

④ Marcoule

⑤ Cadarache

CENTRES POUR LES APPLICATIONS MILITAIRES

⑥ DAM Ile-de-France

⑦ Le Ripault

⑧ Valduc

⑨ Cesta

⑩ Gramat