



Transport de l'uranium dans l'amont et l'aval  
du cycle du combustible  
Au cœur de l'uranium

Pascal De Bastiani, Florian Darras

02 février 2023

OPI 0



orano

# 01

## Introduction Enjeux de sûreté



# Orano

**Opérateur international reconnu dans le domaine des matières nucléaires, Orano apporte des solutions aux défis actuels et futurs, dans l'énergie et la santé.**

**Son expertise ainsi que sa maîtrise des technologies de pointe permettent à Orano de proposer à ses clients des produits et services à forte valeur ajoutée sur l'ensemble du cycle du combustible.**

**Grâce à leurs compétences, leur exigence en matière de sûreté et de sécurité et leur recherche constante d'innovation, l'ensemble des 17 000 collaborateurs du groupe s'engage pour développer des savoir-faire de transformation et de maîtrise des matières nucléaires, pour le climat, pour la santé et pour un monde économe en ressources, aujourd'hui et demain.**

**Orano, donnons toute sa valeur au nucléaire.**



# Orano NPS : acteur logistique présent à tous les stades du cycle nucléaire

N°1 mondial  
en Transports  
nucléaires



Un **acteur important**  
mondial de  
l'Entreposage à sec des  
combustibles nucléaires  
usés



Une **expertise**  
unique en gestion  
des risques  
Transport



**900 salariés**  
à travers le monde



# Nombre de transports en France

Chaque année :

~ 980 000 colis de substances

~ 770 000 transports

90% concerne des radionucléides à usage médical, technologique ou industriel

10% restant concernant le « cycle du combustible nucléaire »



# Transports nucléaires effectués par Orano NPS

## 5 000 transports par an

2 000 pour l'amont du cycle

350 pour l'aval du cycle

- Combustible usé
- Combustible MOX
- Résidus vitrifiés et compactés

150 pour les réacteurs de recherche et laboratoires

2 500 pour les déchets et outillages contaminés

## Des moyens majeurs

2 200 emballages de 1 à 130 t

70 camions dédiés aux emballages lourds,  
50 wagons spéciaux

Une gestion intégrée des risques liés au transport

(sûreté nucléaire, suivi temps réel, public acceptance, gestion de crise, communication...)



# Les différents types de transport en France



# Transports de l'amont du cycle



$U_3O_8$



Uranate (yellow cake)

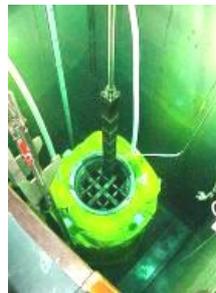


Hexafluorure d'uranium



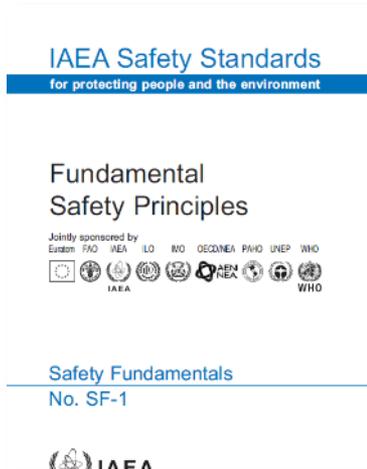
Pastille  $UO_2$

# Transports de l'aval du cycle



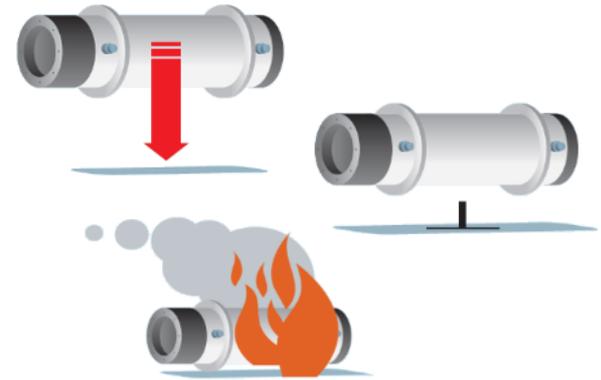
# L'objectif de sûreté

L'objectif fondamental de sûreté est de protéger les personnes et l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants



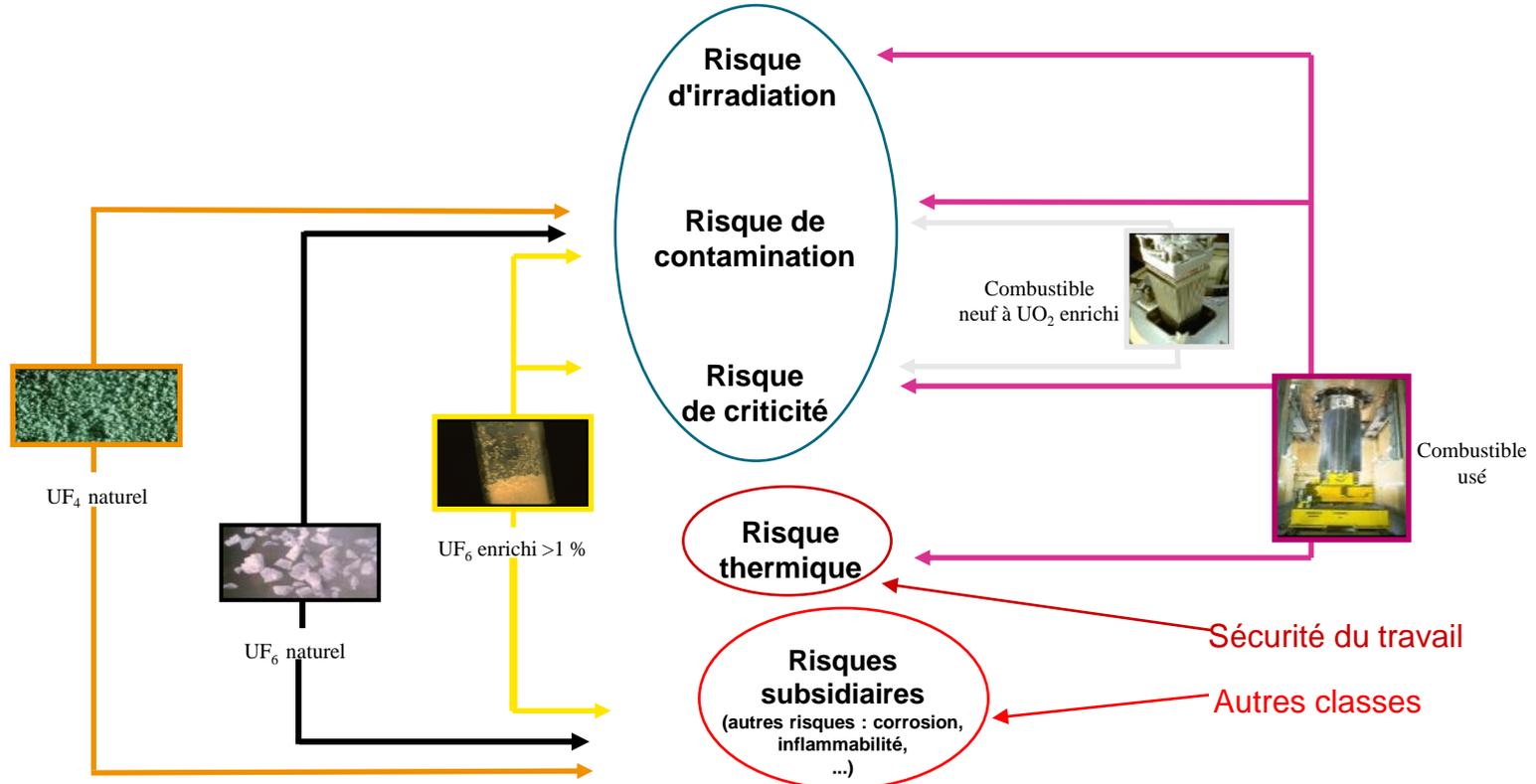
# Comment garantir le respect des exigences ?

- 1. en modulant les limites de contenu**  
pour les colis et les moyens de transport ainsi que les normes de performance appliquées aux modèles de colis suivant le risque que présente le contenu radioactif
- 2. en imposant des prescriptions**  
pour la conception et l'exploitation des colis et pour l'entretien des emballages, en tenant compte de la nature du contenu radioactif
- 3. en prescrivant des contrôles administratifs**  
y compris, le cas échéant, une approbation par les autorités compétentes

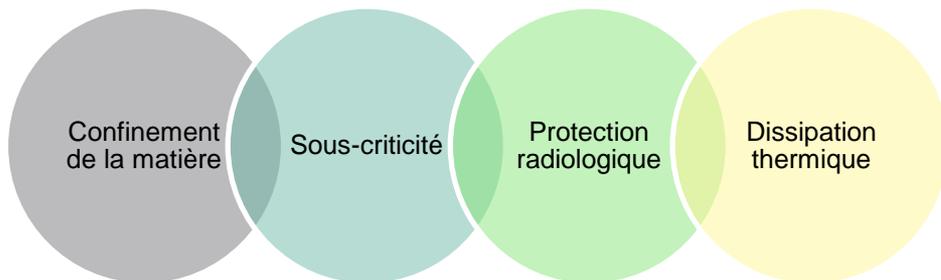


**Approche  
graduée**

# Les risques liés aux matières radioactives



# Les principales fonctions d'un emballage

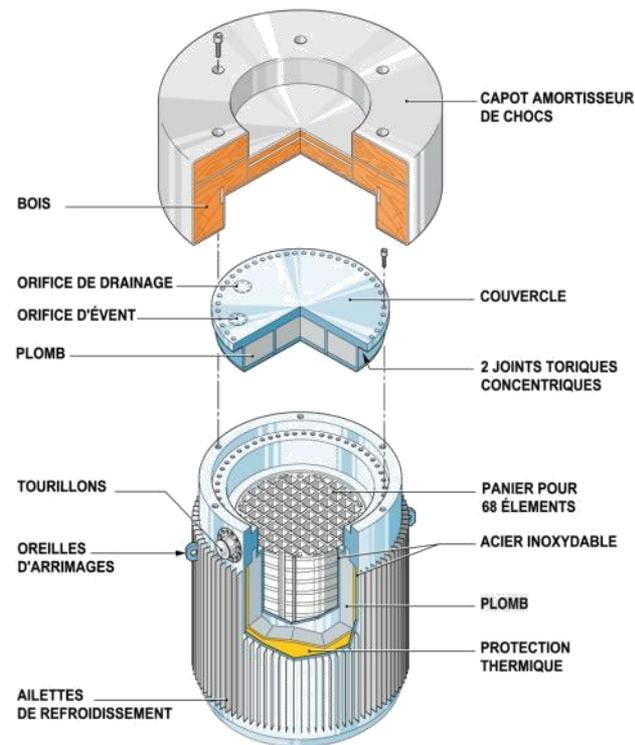


## Ces fonctions nécessitent :

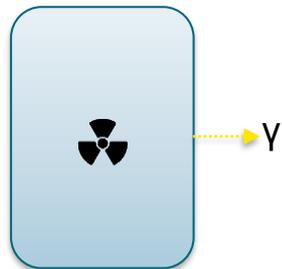
- Tenue mécanique
- Tenue thermique

**+Risques  
subsidiaries**

Toxicité,  
corrosivité, ...

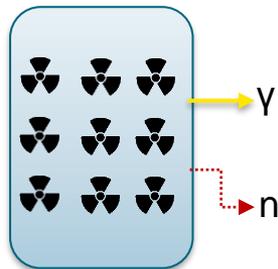


# Les différents types de colis



Excepté

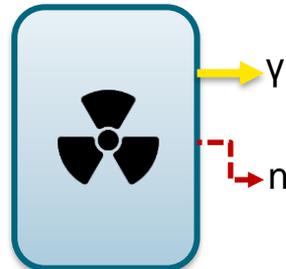
Faible activité



Industriels

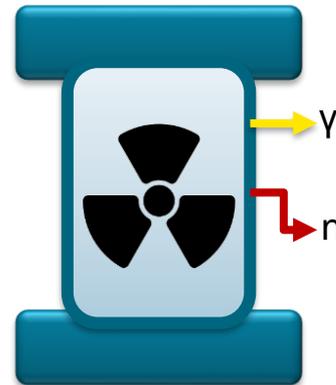
Activité répartie  
ou diluée

(LSA ou SCO)



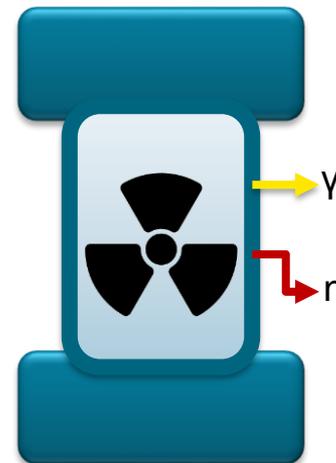
Type A

Moyenne activité



Type B

Forte activité et  
Très forte activité



Type C

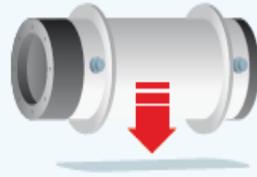
Très forte activité  
Transport aérien

# Epreuves et critères des « conditions normales de transport » (CNT)

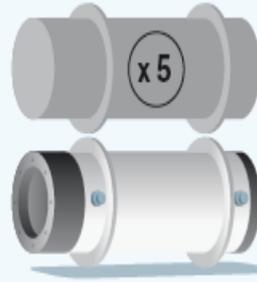
## CONDITIONS NORMALES



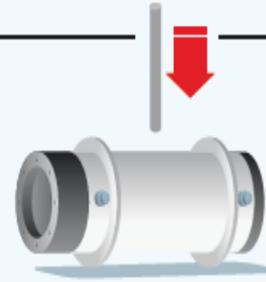
Aspersion d'eau pendant 1 heure



Chute libre de 0,3 à 1,2 m sur une surface indéformable



Gerbage : 5 fois la masse de l'emballage chargé



Chute d'une barre de 6 kg lâchée d'une hauteur de 1m

## Critères

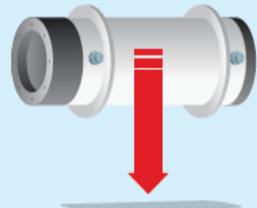
- pas de perte ou de dispersion de matière (moins de  $10^{-4}$  A<sub>2</sub>/h pour Type B et C)
- augmentation du débit de dose < 20 %

## Autres critères

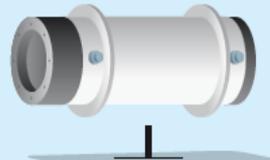
- Aspersion d'eau avant chacune des autres épreuves
- Critère pour colis classés « MATIERE FISSILE » non soumis à agrément : pas de perte de matière fissile
- Si IP-2 : pas d'aspersion ni de chute de barre
- Si colis type A pour liquide ou gaz : chute libre de 9m, et barre de 6 kg lâchée de 1,7 m
- Si citerne ou grand conteneur : on n'applique que « leurs règles applicables » + les critères « classe 7 » ci-dessus sauf si FISSILE

# Epreuves et critères des « conditions accidentelles de transport » (CAT)

SÉRIE DE 3 TESTS EN SÉQUENCE pour un même colis



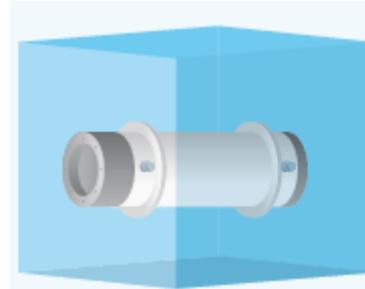
1 Chute de 9 m sur une surface indéformable



2 Chute de 1 m sur un pieu métallique



3 Feu de 800° C pendant 30 mn



Immersion à 15 m : pour les colis de type B contenant plus de 100 000 A<sub>2</sub> : immersion jusqu'à 200 m. Critère : pas de rupture de l'enceinte de confinement

Nota: La chute de 9 m peut être remplacée par une chute d'une plaque en acier doux de 500 kg, d'une hauteur de 9 m, sur le colis posé sur une surface indéformable (si colis < 500kg, densité < 1, fissile ou > 1000 A<sub>2</sub>)

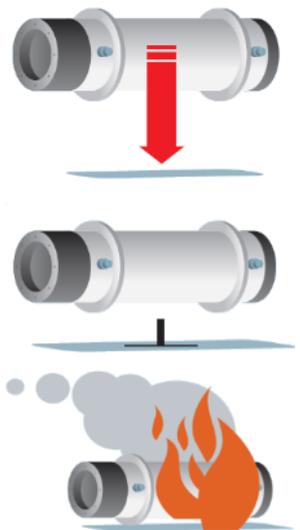
## Critères pour tous les colis de type B :

- relâchement d'activité < A<sub>1</sub> ou A<sub>2</sub> en 1 semaine
- débit d'équivalent de dose < 10 mSv/h à 1 m

## Critères pour colis de matières fissiles agréés :

- rester sous-critique pour les épreuves « terrestres » et l'immersion à 15 m
- rester étanche à 90 cm d'eau

# Epreuves dans les cas des colis d'UF6



UF6 non fissile (ou « fissile excepté »)	UF6 fissile
UN2978	UN2977
48Y + VPA + protection thermique	30B + coque (UX-30, COG-OP-30B, ...)
Agrément H(U)	Agréments IF, AF ou B(U)F
Tenue à la pression : 27,6 bars	Tenue à la pression : 27,6 bars
Chute de 60 cm sur cible indéformable	Chute de 9 m sur cible indéformable + Chute de 1 m sur un poinçon métallique
Feu hydrocarbure 800°C	Feu hydrocarbure 800°C

Les fûts utilisés sont remplis au plus à 95% à la température maximale d'exploitation (en phase liquide donc à température > 65°C)

Le transport n'est possible qu'après solidification totale de l'UF6

En transport, l'UF6 est sous forme solide et la cavité est en forte dépression par rapport à la pression atmosphérique

# Les 3 lignes de défense de la Sûreté



## Performance des colis

- Un concept justifié, éprouvé et validé



## Respect des exigences de sûreté

- Application des procédures, notices d'utilisation
- Enregistrement des contrôles



## Organisation de l'intervention

- Sur la base de renseignements conformes

**+sécurité**

Protection physique  
des matières nucléaires

# 02

## L'uranium dans l'amont du cycle



# Transport de l'amont du cycle

*Transports de l'UF6 naturel*



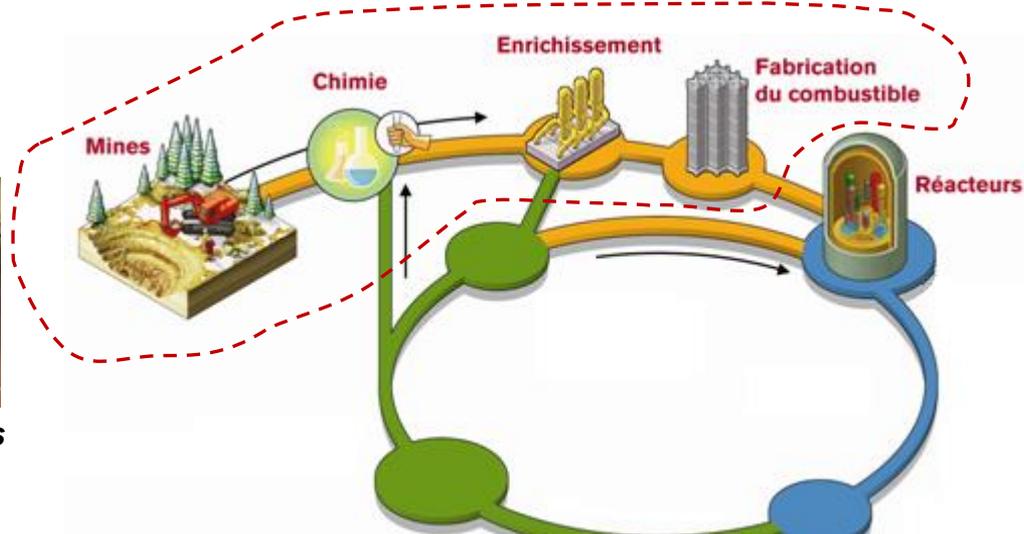
*Transports de l'UF6 enrichi / appauvri*



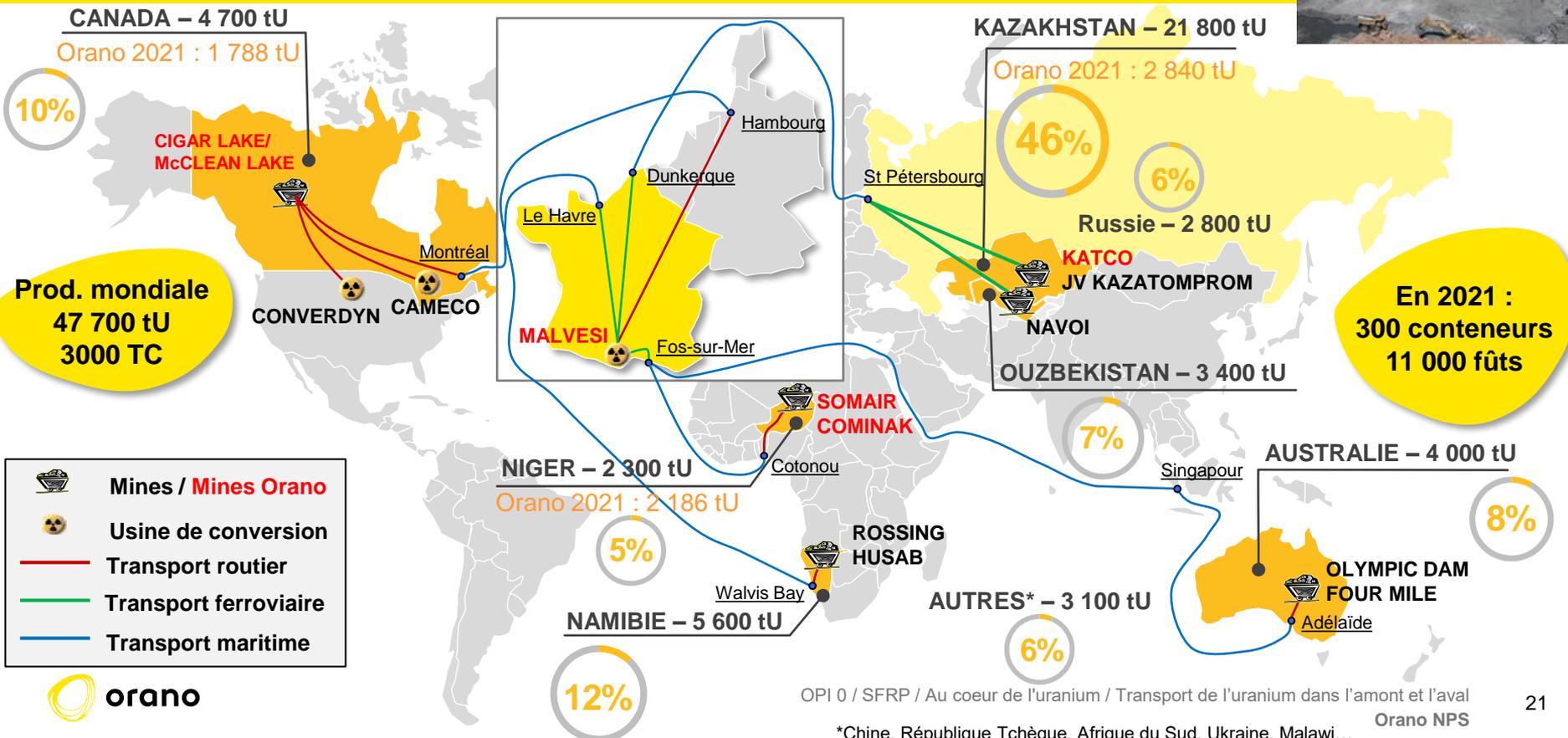
*Transport des combustibles frais*



*Transports des Mines*



# Transport de concentré chimique d'uranium



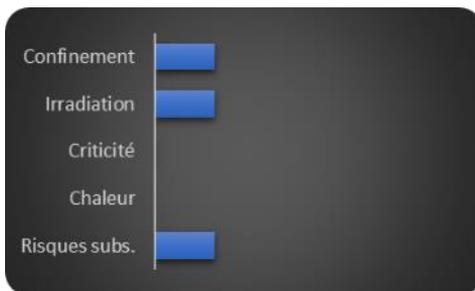
# Transport de concentré chimique d'uranium

## Concentré chimique d'uranium – UOC

- Uranate – « yellow cake »
- Oxyde d'uranium – U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>
- UN2912 - Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-I)

## Emballage de transport

- Fûts métallique à ouverture totale 200 à 220 litres
- Fûts certifié UN pour matières dangereuses
- Colis Type IP-1 (non agréé)



# Transport de concentré chimique d'uranium



# Transport de concentré chimique d'uranium

## Déchargement maritime conteneurs UOC



Chargement maritime conteneurs UOC



Chargement ferroviaire conteneurs UOC

# Transport d'UF4



**En 2021 :  
494 citernes  
8 522 tUF4**

# Transport d'UF4

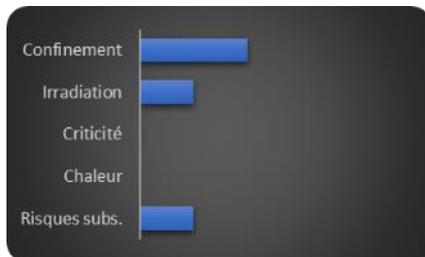


## Tétrafluorure d'uranium – UF4

- **Forme solide – Poudre pulvérulent verdâtre**
- **UN2912 - Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-I)**

## Emballage de transport

- **Conteneurs citernes ISO 20' – 25 000 tonnes**
- **Citerne matières dangereuses S2.65AH(+)**
- **Colis Type IP-1 (non agréé)**



# Transport d'UF4

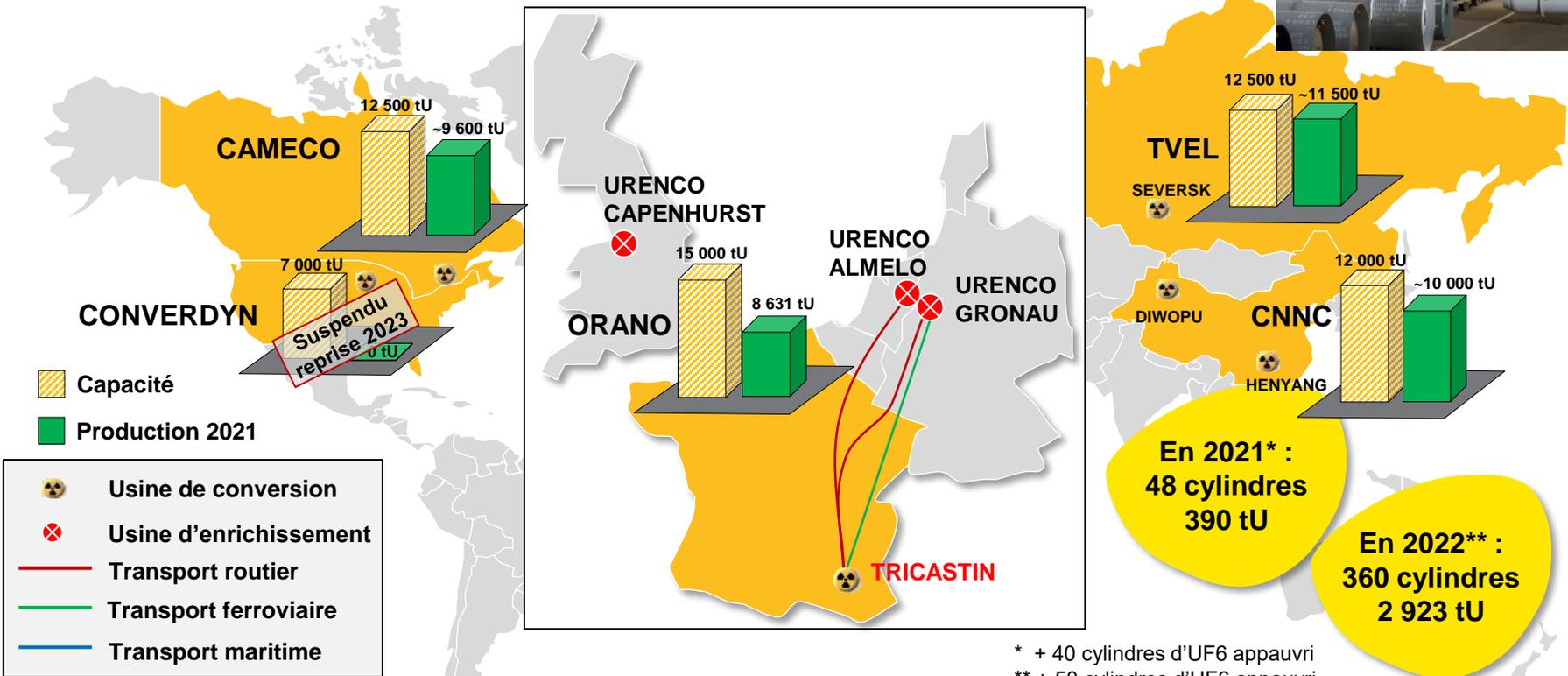
## Transport routier de citernes UF4



## Transport ferroviaire de citernes UF4



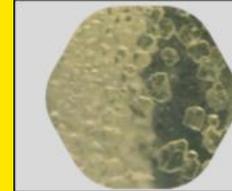
# Transport d'UF6 naturel



\* + 40 cylindres d'UF6 appauvri

\*\* + 50 cylindres d'UF6 appauvri

# Transport d'UF6 naturel

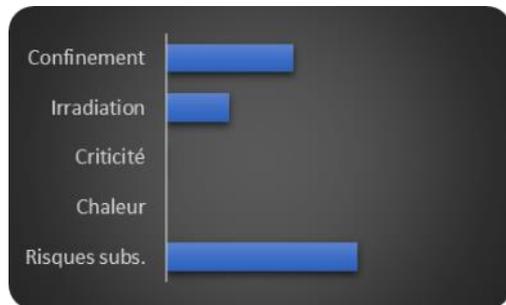


## Hexafluorure d'uranium – UF6 naturel

- Forme solide / gazeuse à température > 60°C
- UN2978 - Matières radioactives, hexafluorure d'uranium

## Emballage de transport

- Cylindre 48Y – 25 000 tonnes
- Conforme à la norme ISO 7195
- Colis Type IP-2, agréé H(U)



UN 2978  
7



6



CORROSIVE  
8

# Transport d'UF6 naturel

Transport routier de cylindres 48Y



Transport ferroviaire de cylindres 48Y

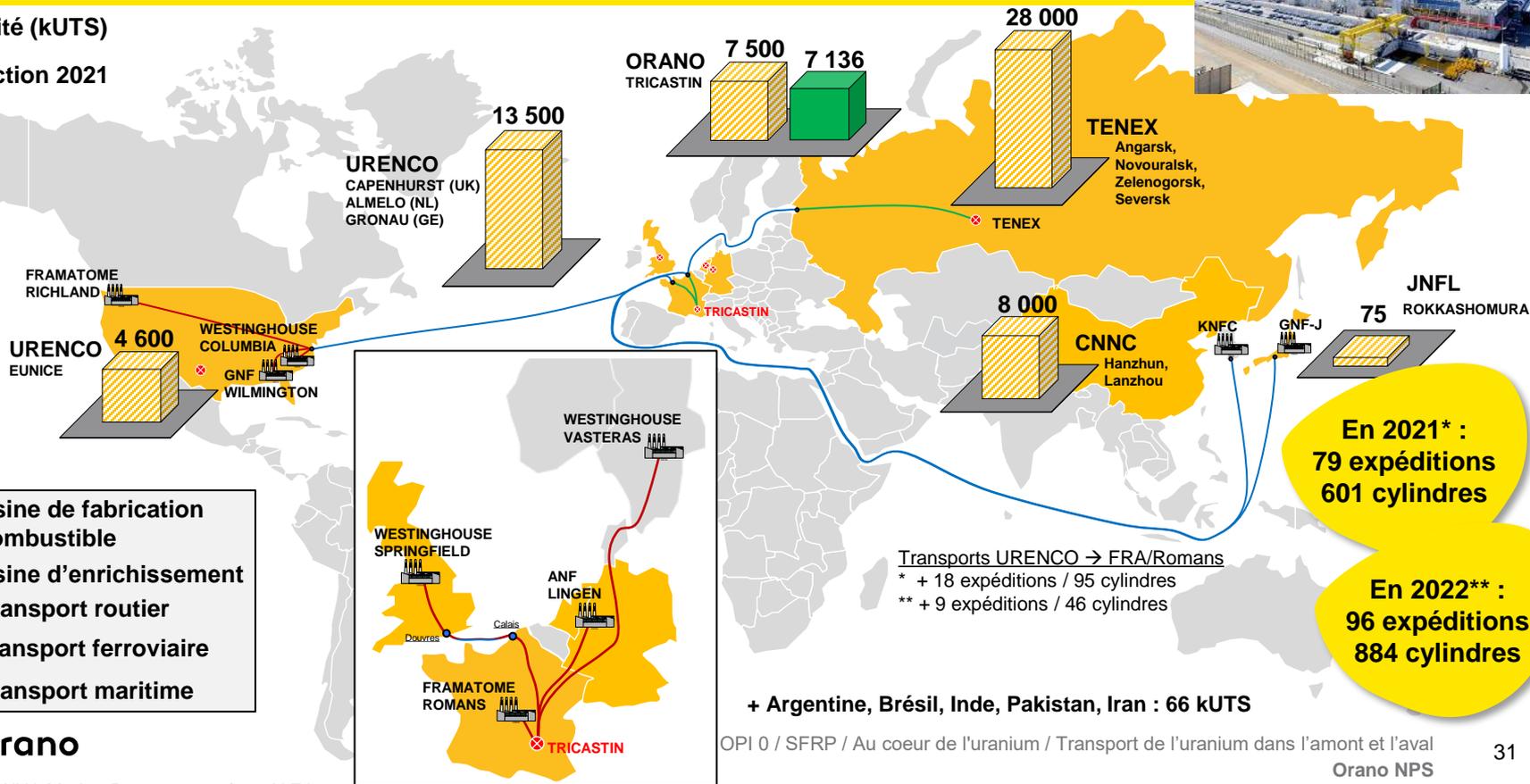


# Transport d'UF6 enrichi



Capacité (kUTS)

Production 2021



# Transport d'UF6 enrichi

## Hexafluorure d'uranium – UF6 enrichi

- Forme solide / gazeuse à température > 60°C
- UN2977 - Matières radioactives, hexafluorure d'uranium, fissile

## Emballage de transport

- Cylindre 30B - 2,277 kg d'UF6
- Conforme à la norme ISO 7195
- Coques de type UX-30, COG-OP-30B, ...
- Colis de type IP-2, A ou B fissiles (agrés)



Confinement



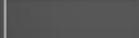
Irradiation



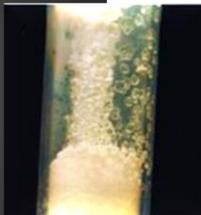
Criticité



Chaleur



Risques subs.



# Transport d'UF6 enrichi



Coque DN30

Coque UX30



Coque COG-OP-30B



# Transport d'UF6 enrichi

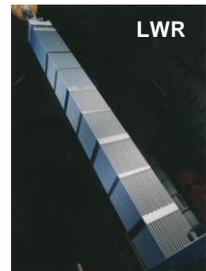
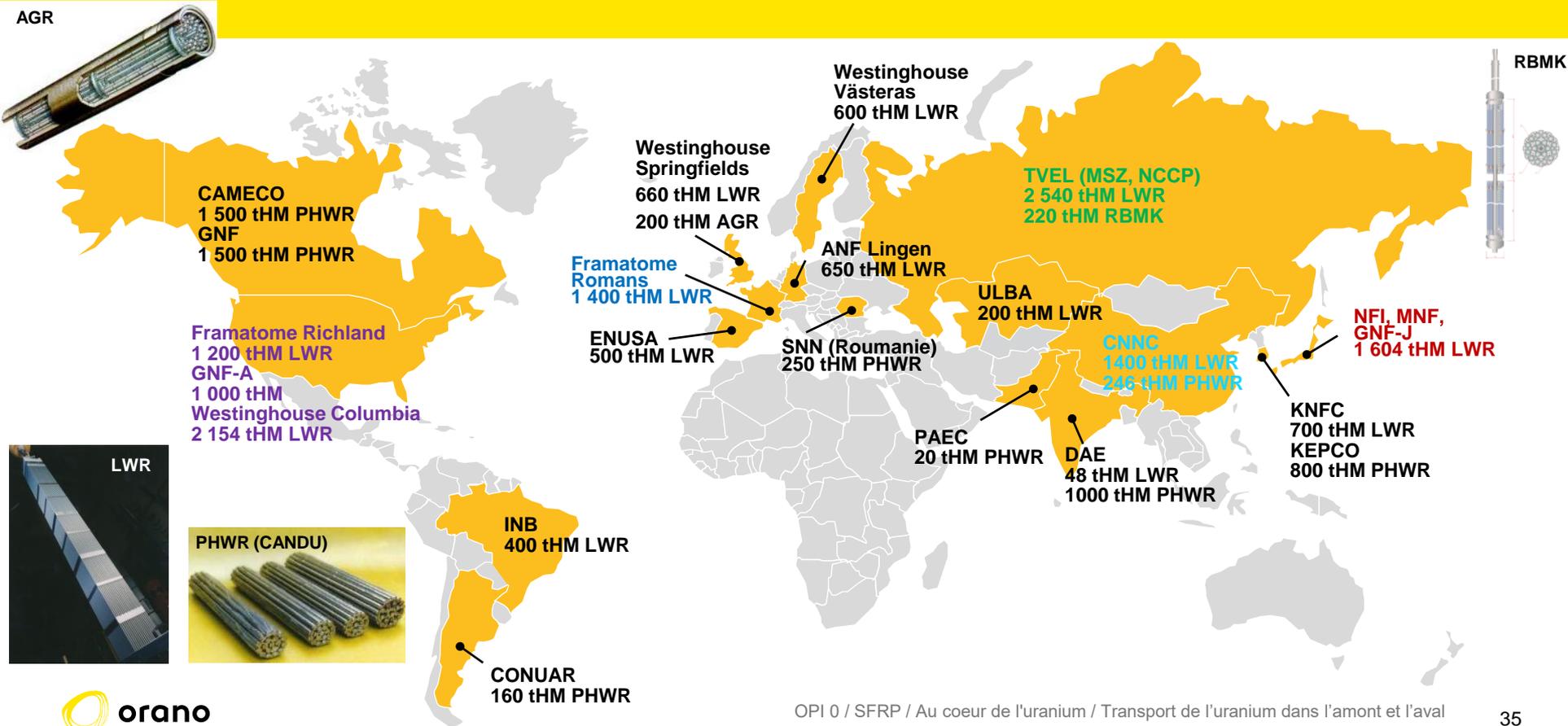
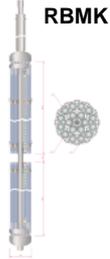
## Transport routier de cylindres 30B



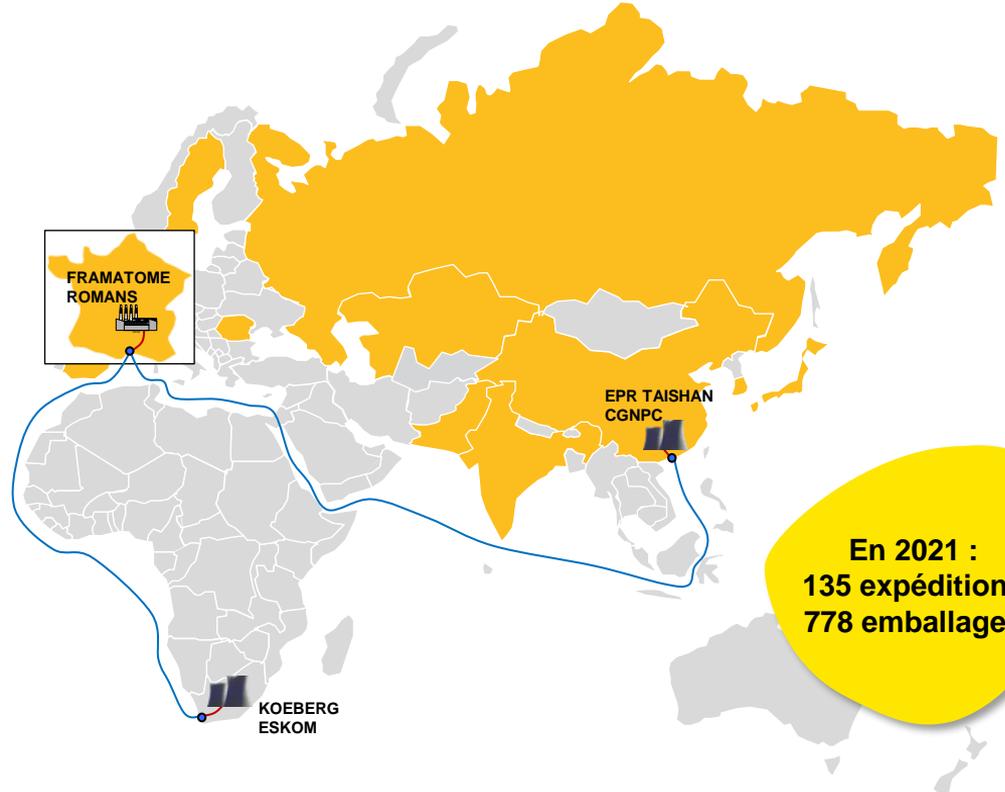
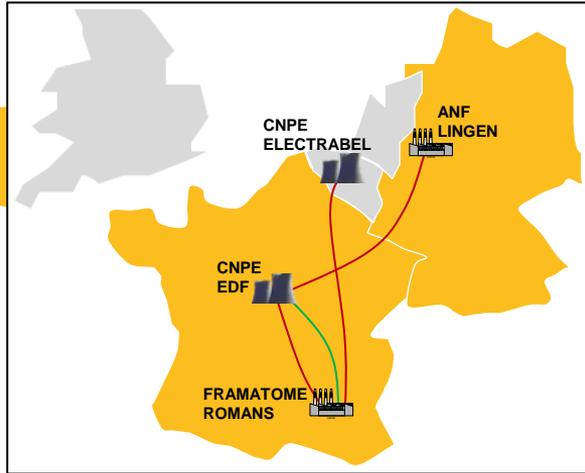
## Transport ferroviaire de cylindres 30B

## Transport maritime de cylindres 30B

# Transport d'assemblages combustibles UO<sub>2</sub>



# Transport d'assemblages combustibles UO<sub>2</sub>



-  Usine de fabrication combustible
-  Centrale nucléaire
-  Transport routier
-  Transport ferroviaire
-  Transport maritime

# Transport d'assemblages combustibles UO<sub>2</sub>

## Combustibles frais

UN3324 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-II), fissiles

## Emballages FCC

Colis de type IP-2 fissile (agrée)  
2 assemblages combustibles

Confinement

Irradiation

Criticité

Chaleur

Risques subs.



# Transport d'assemblages combustibles $UO_2$

Transport ferroviaire de colis FCC



Transport routier de colis FCC



Transport maritime de colis FCC

# 03

**L'uranium dans l'aval  
du cycle**

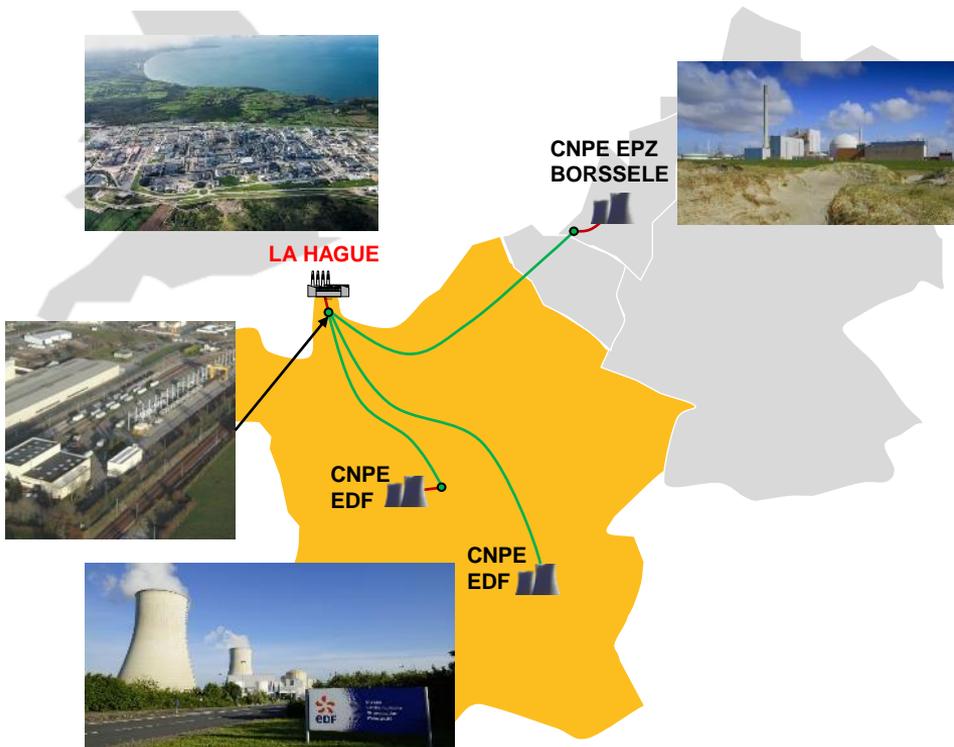




# Transport d'assemblages combustibles usés



TERMINAL  
FERROVIAIRE  
DE VALOGNES



Usine de retraitement



Centrale nucléaire



Transport routier



Transport ferroviaire



Transport maritime

Années 2020 :  
~150 à 200  
expéditions  
(emballages)

# Emballages pour combustibles usés

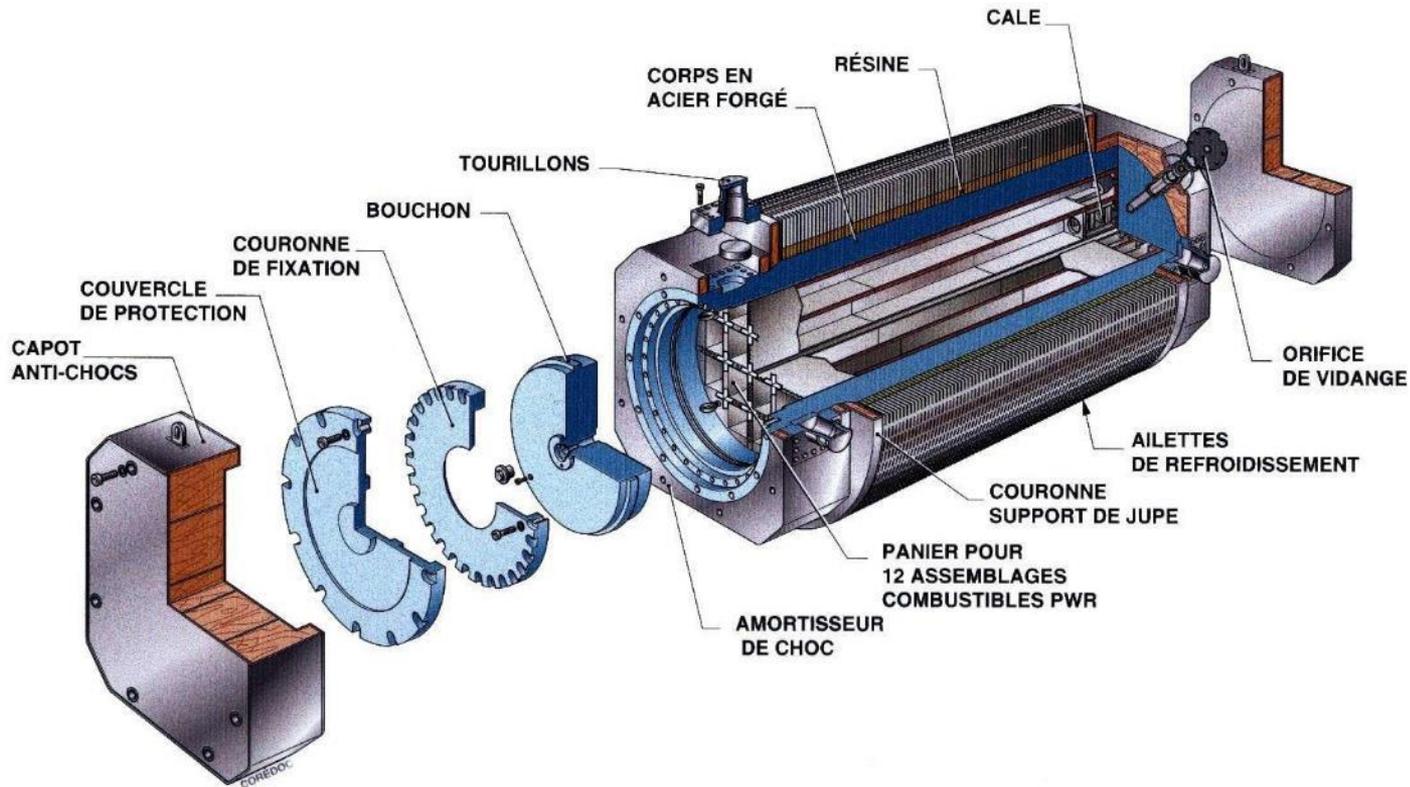
## Emballages lourds

Colis de type B(U)F ou B(M)F (agrée)  
Combustibles usés

Confinement	████████████████████
Irradiation	████████████████████
Criticité	████████████████████
Chaleur	████████████████████
Risques subs.	



# Ecorché d'emballage lourd



# Transport d'assemblages combustibles usés

Emballage TN12/2 – TN13/2 - EDF



Emballage TN112 - EDF



Emballage TN17/2 - EPZ



Emballage TNG3 - EDF



Emballage TN17MAX - EPZ

OPI 0 / SFRP / Au coeur de l'uranium / Transport de l'uranium dans l'amont et l'aval

Orano NPS

# Transport d'assemblages combustibles usés

## Des moyens dédiés et spécialisés...

Wagons lourds Q70 & Q76



Terminal ferroviaire de Valognes



Ensembles roulants lourds SR9 / SR10



# Transport de nitrate d'uranyle



LA HAGUE



En 2021 :  
~150 citernes  
~15 expéditions

	Usine de conversion
	Usine de retraitement
	Transport routier
	Transport ferroviaire

# Transport de nitrate d'uranyle

## Conteneur-citerne LR65

Nitrate d'uranyle

Matière LSA-II (citerne IP-2, non agréée)

Confinement



Irradiation



Criticité



Chaleur



Risques subs.



# Transport de nitrate d'uranyle

## Terminal ferroviaire de Valognes

Transport routier citerne LR65



Terminal ferroviaire de Valognes



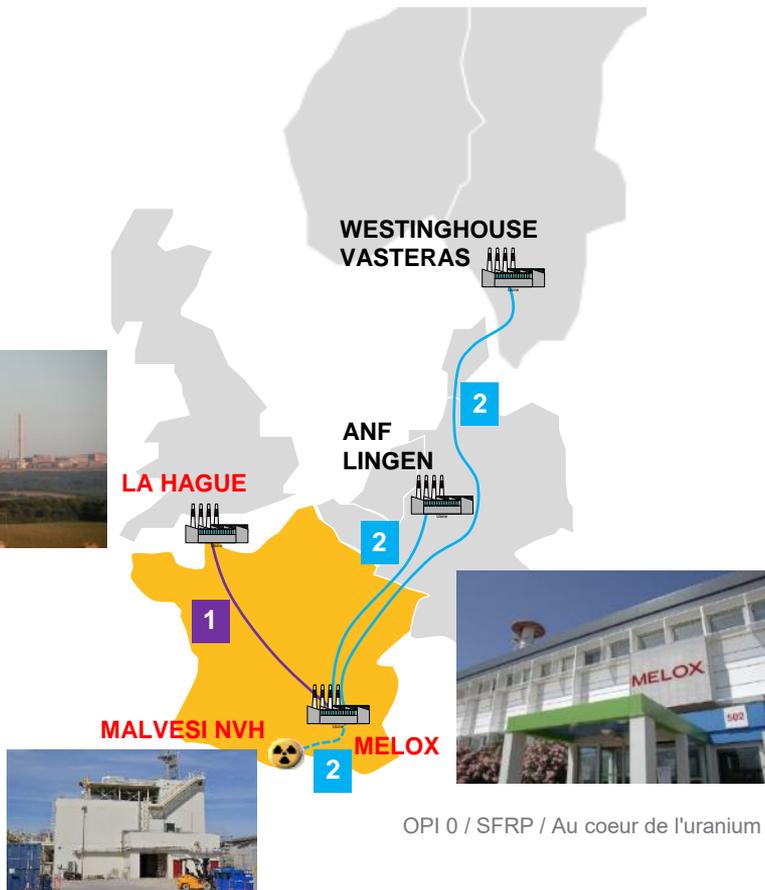
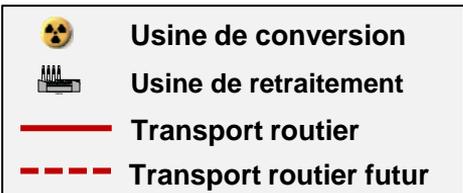
Transport ferroviaire citernes LR65



# Transport contribuant à la fabrication d'assemblages MOX



1 Transport de PuO<sub>2</sub>

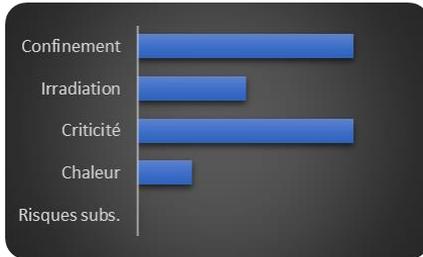


2 Transport d'UO<sub>2</sub> appauvri



En 2021 :  
~1700 fûts  
~20 expéditions

# Transport contribuant à la fabrication d'assemblages MOX



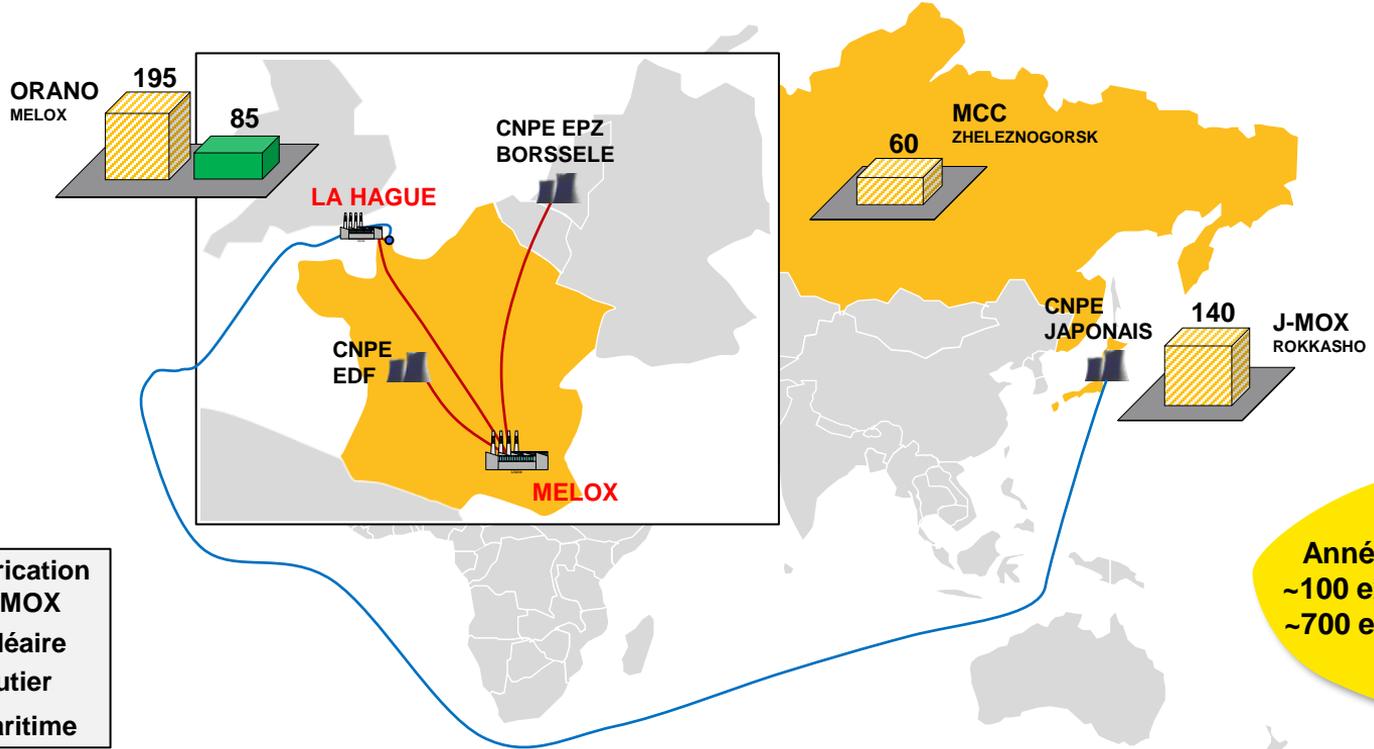
$\text{PuO}_2$



$\text{UO}_2$  appauvri

# Transport d'assemblages MOX

-  Capacité (tML)
-  Production 2021



-  Usine de fabrication combustible MOX
-  Centrale nucléaire
-  Transport routier
-  Transport maritime

# Transport d'assemblages MOx

**MX8, MX6, FS65, TN12/2**  
**Colis de type B(U)F ou B(M)F**  
**Transport d'assemblages MOx**



# 04

## Contrôles de radioprotection



# Les limites d'intensité de rayonnement autour des colis en condition de transport de routine

Intensité de rayonnement	Au contact	A 1 mètre
Colis excepté	$\leq 0,005$ mSv/h	Pas de limites prescrites
Autres types de colis	$\leq 2$ mSv/h (1)	Pas de limites prescrites Si $> 0,1$ mSv/h (TI $> 10$ ) envoi sous utilisation exclusive obligatoire

Si « envoi sous utilisation exclusive » dans le document de transport :

(1) :  $< 10$  mSv/h au contact, si pas de rupture de charge, colis fixés et « non accessibles »

# Concrètement...



# Les limites de contamination externe des colis en condition de transport de routine

La contamination non fixée en surface des colis est à maintenir aussi bas que raisonnablement possible

Limites applicables à toute aire de 300 cm<sup>2</sup> (valeur moyenne) :

Limites de contamination	Emetteurs $\beta$ , $\gamma$ et $\alpha$ de faible toxicité	Autres émetteurs $\alpha$
Hors classe 7 (rappel)	$\leq 0,4$ Bq/cm <sup>2</sup>	$\leq 0,04$ Bq/cm <sup>2</sup>
Tous colis de classe 7	$\leq 4$ Bq/cm <sup>2</sup>	$\leq 0,4$ Bq/cm <sup>2</sup>

# Concrètement...



# Concrètement...



# Niveaux d'intensité de rayonnement et de contamination – Véhicules de transport

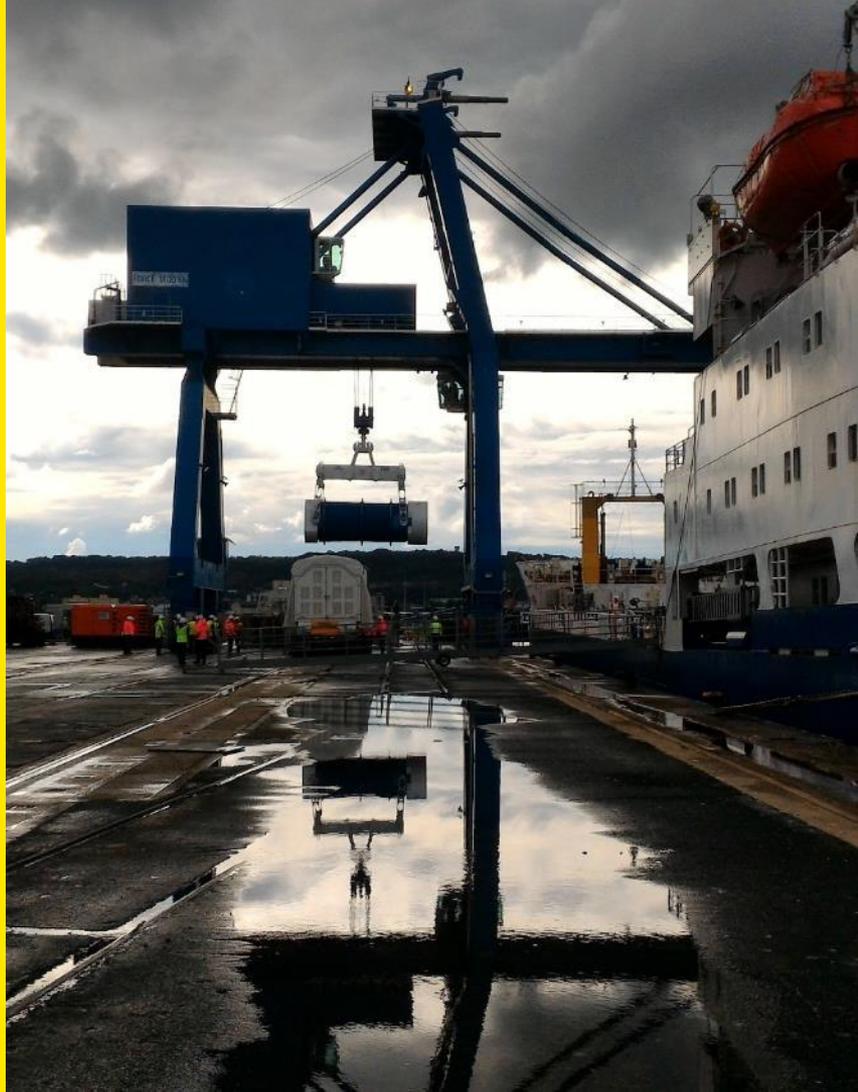
Type de colis transportés	Intensité de rayonnement maximale	
	Au contact	A 2 mètres
Uniquement des colis exceptés	-	
Autres colis	$\leq 2$ mSv/h	$\leq 0,1$ mSv/h
Type de colis transportés	Niveau de contamination maximale	
	Emetteurs $\beta$ , $\gamma$ et $\alpha$ de faible toxicité	Autres émetteurs $\alpha$
Présence de colis non radioactifs	$\leq 0,4$ Bq/cm <sup>2</sup>	$\leq 0,04$ Bq/cm <sup>2</sup>
Uniquement colis radioactifs	$\leq 4$ Bq/cm <sup>2</sup>	$\leq 0,4$ Bq/cm <sup>2</sup>

# Concrètement...



# 05

## Supervision des transports



# Le Transport : seule activité de la sphère de l'industrie nucléaire se réalisant sur la voie publique !



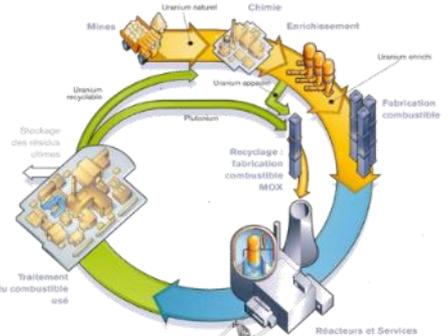
Risques  
Sécurité



Risques  
Sûreté



Risques  
industriels



Risques  
Médiatiques



# Le Transport : le sang du cycle du combustible

Une mission de Supervision transverse pour maîtriser les transports de matières radioactives d'Orano :

Déclinée par un processus de supervision suivant trois axes :

- en amont des transports, par la définition, la mise en œuvre d'un référentiel commun et le déploiement d'analyses des risques,
- dans un cadre opérationnel, par la surveillance des activités de transports sur les sites du groupe, mais aussi partout où se déroulent des activités ayant un impact sur la sûreté,
- lors d'un incident ou d'un accident, par la gestion des situations dégradées.

Basée sur un modèle :

« Transport Risk Management »

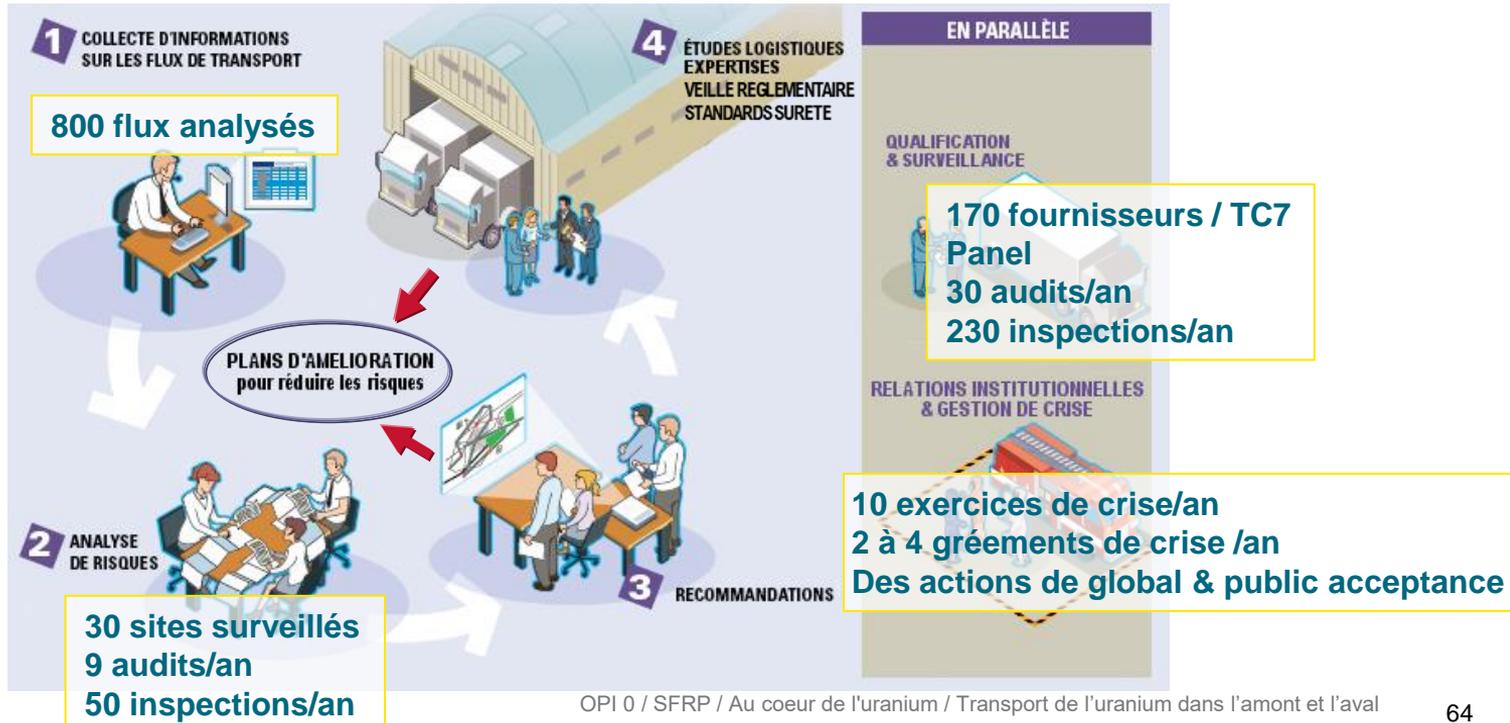


# Processus Orano de Supervision des transports de matières radioactives

Préparation du colis remis au transport par l'expéditeur

Opérations de transport supervisées

Prise en compte par le destinataire



# Conclusion

**Le transport des matières radioactives est une science complexe, où se mêlent:**

- La présence de matières dangereuses
- Des emballages
- Des moyens de transport
- Des convois dans le domaine public

**L'EXCELLENCE en terme de SÛRETÉ est garantie par la conjonction de :**

- La robustesse des règlements
- Le processus complet de conception des modèles de colis, puis de fabrication et d'utilisation
- Une stricte application des règlements et des prescriptions
- La culture de sûreté – L'attitude interrogative de chacun

Rigueur

Conformité

Attitude  
interrogative



**Complétée d'une approche extensive de la sûreté, répondant aux exigences des Autorités compétentes de sûreté et de sécurité, mais aussi aux attentes du public.**



**orano**

Donnons toute sa valeur au nucléaire