

Les programmes
RECORD font l'objet
d'un soutien de l'ADEME



Journée de restitution RECORD

Présentation des derniers résultats issus de ses programmes d'études et de recherche

Les membres de **RECORD**



22 janvier 2026
Maison de la Chimie, Paris

Technologies de traitement et d'élimination des PFAS

Etude N°24-0257/1A

RECORD



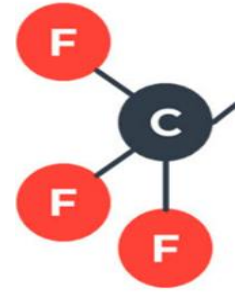
Présentation de l'étude RECORD

Christophe BARNIER, WSP

Contexte et témoignage d'un membre de RECORD

Hubert LÉPROND, EDF

1- Objectifs de l'étude



Objectif général : Définir les technologies de traitement les plus adaptées pour chaque type de matrice contaminée (liquide, solide, gazeuse) et PFAS présents, en intervenant soit à la source, dès les émissions canalisées, soit en aval, au niveau des milieux récepteurs

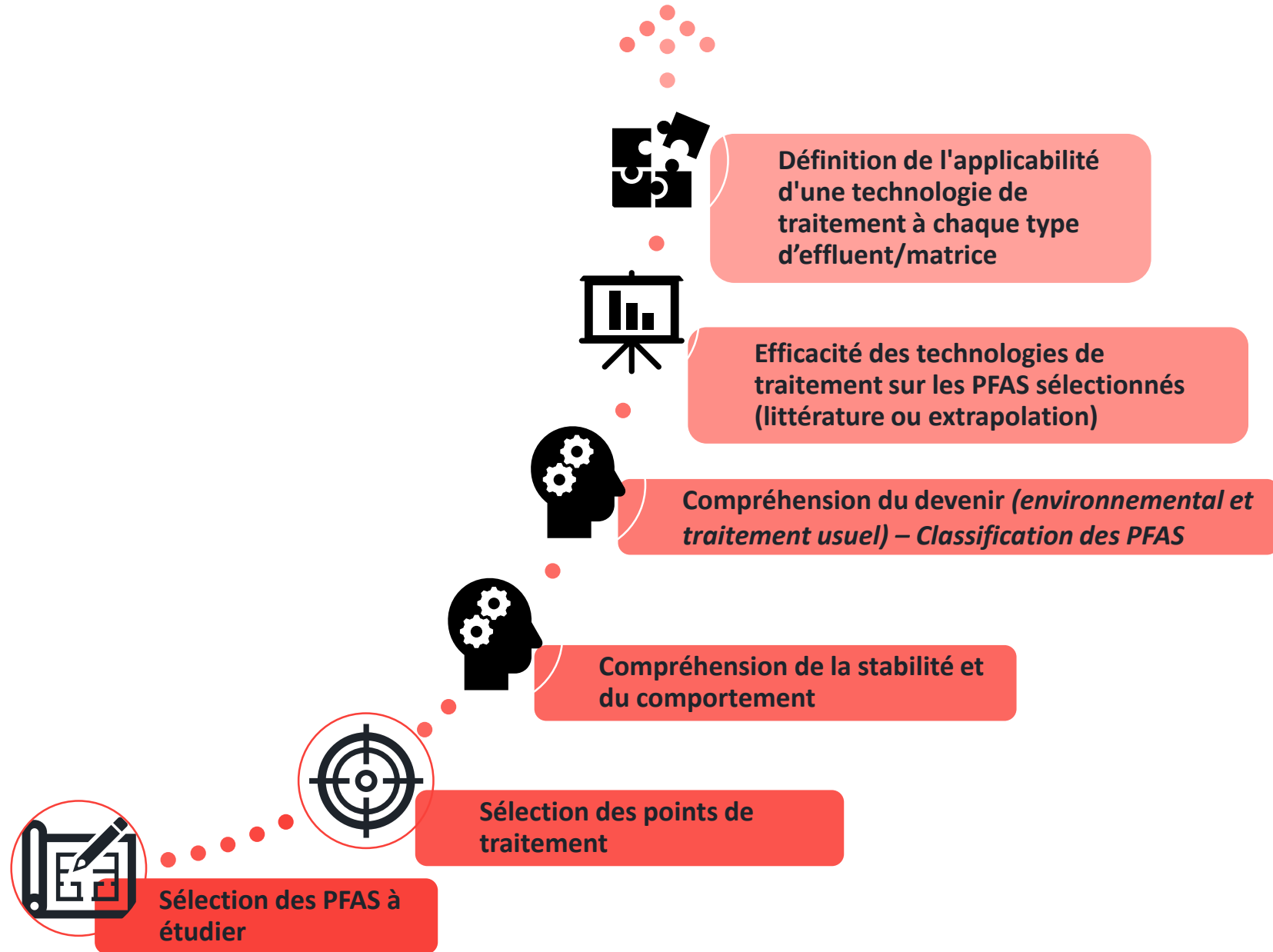
Axe 1 : Analyser la stabilité chimique et thermodynamique des PFAS via une approche théorique, en lien avec leur structure et les conditions du milieu.

- *Comportement modélisé à partir des propriétés physico-chimiques et thermodynamiques*

Axe 2 : Évaluer les technologies de traitement existantes, selon les types de PFAS et les matrices concernées, pour orienter la mise en place de chaînes de traitement adaptées

- *Performances compilées pour les composés étudiés*

- *Performances modélisées pour les composés non étudiés, À partir des données de l'axe 1*



3- Définition des principales sources d'émission

Caractérisation des émissions

XX Sources directes

XX Sources indirectes

..... Emissions non canalisées

— Emissions canalisées

Application des traitements

● Traitement des flux canalisés

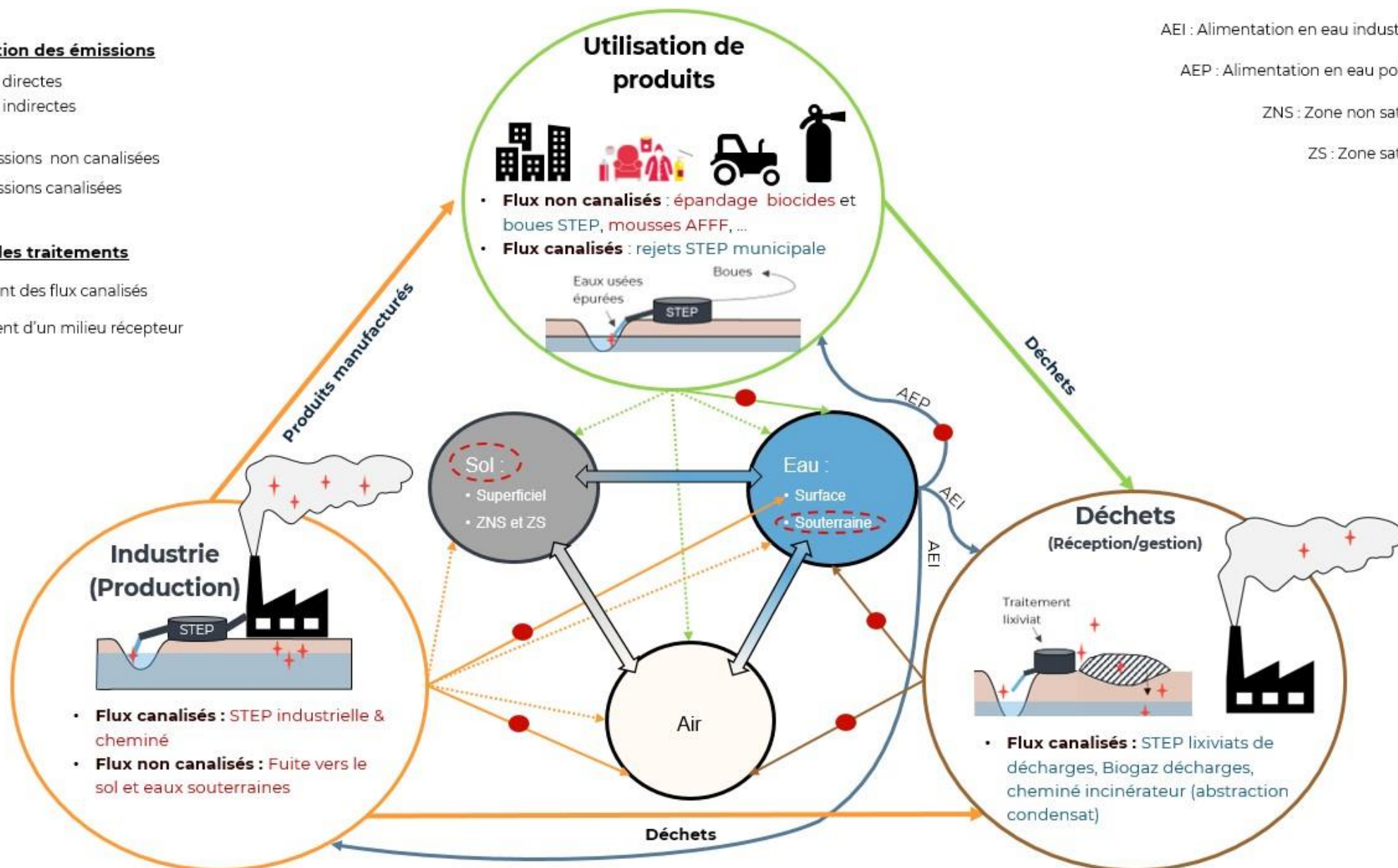
○ Traitement d'un milieu récepteur

AEI : Alimentation en eau industrielle

AEP : Alimentation en eau potable

ZNS : Zone non saturée

ZS : Zone saturée



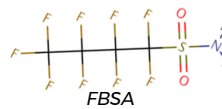
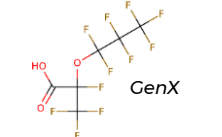
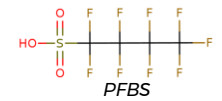
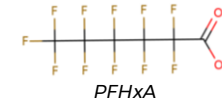
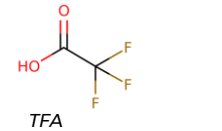
4- Molécules Sélectionnées

Sélection de **36 composés** de **14 groupes ou sous groupes** différents selon :

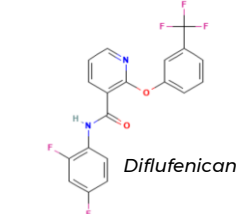
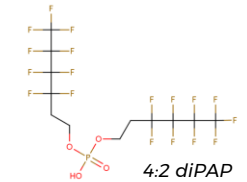
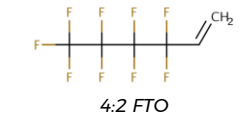
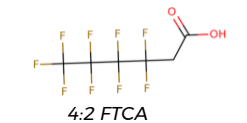
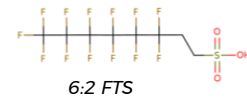
- Présence au niveau des sources, en considérant des groupes, sous-groupes et molécules identifiés
- Diversité des propriétés physico-chimiques et de la structure moléculaire,
- Prépondérance dans les matrices après transformation des précurseurs ;
- Disponibilité des informations (Propriétés physico-chimiques, composés analysés etc.).

Annexe 1 : Liste des composés potentiellement retrouvés dans chaque type de sources

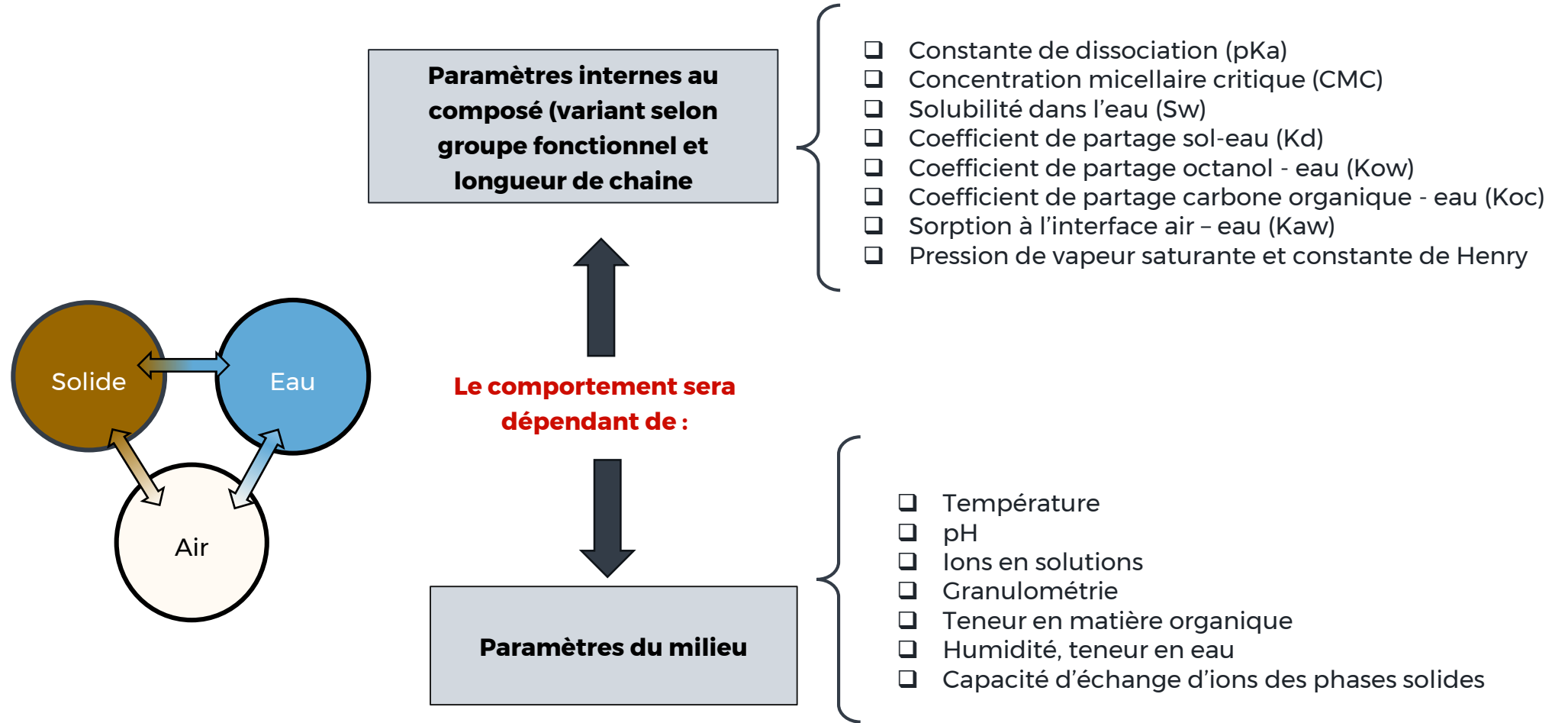
Sous-Gruppe	Composés inclus dans l'étude	
Ultra-courts	TFA	Anionique
	TFMS	Anionique
PFCAs	PFBA	Anionique
	PFPeA	Anionique
	PFHxA	Anionique
	PFHpA	Anionique
	PFOA	Anionique
PFSAs	PFBS	Anionique
	PFHxS	Anionique
	PFOS	Anionique
PFECAs et H-PFECAs	Gen x	Anionique
	ADONA	Anionique
PFESAs	PFEESA	Anionique
	PFESA BP1	Anionique
FASAs	FBSA	Anionique
	FOSA	Anionique



Sous-Gruppe	Composé inclus dans l'étude	
FTSs	6:2 FTS	Anionique
	8:2 FTS	Anionique
FTCAs	4:2 FTCA	Anionique
	5:3 FTCA	Anionique
	7 :3 FTCA	Anionique
	8:2 FTCA	Anionique
FTACs	4:2 FTAC	Neutre
	8:2 FTAC	Neutre
FTOs	4:2 FTO	Neutre
	8:2 FTO	Neutre
FTOHs	4:2 FTOH	Neutre
	8:2 FTOH	Neutre
FTBs	5:3 FTB	Zwitterionique
	9:3 FTB	Zwitterionique
PAPs	4:2 PAP	Anionique
	8:2 PAP	Anionique
diPAPs	4:2 diPAP	Anionique
	8:2 diPAP	Anionique
Pesticides	Diflufenican	-
	Flufénacet	-



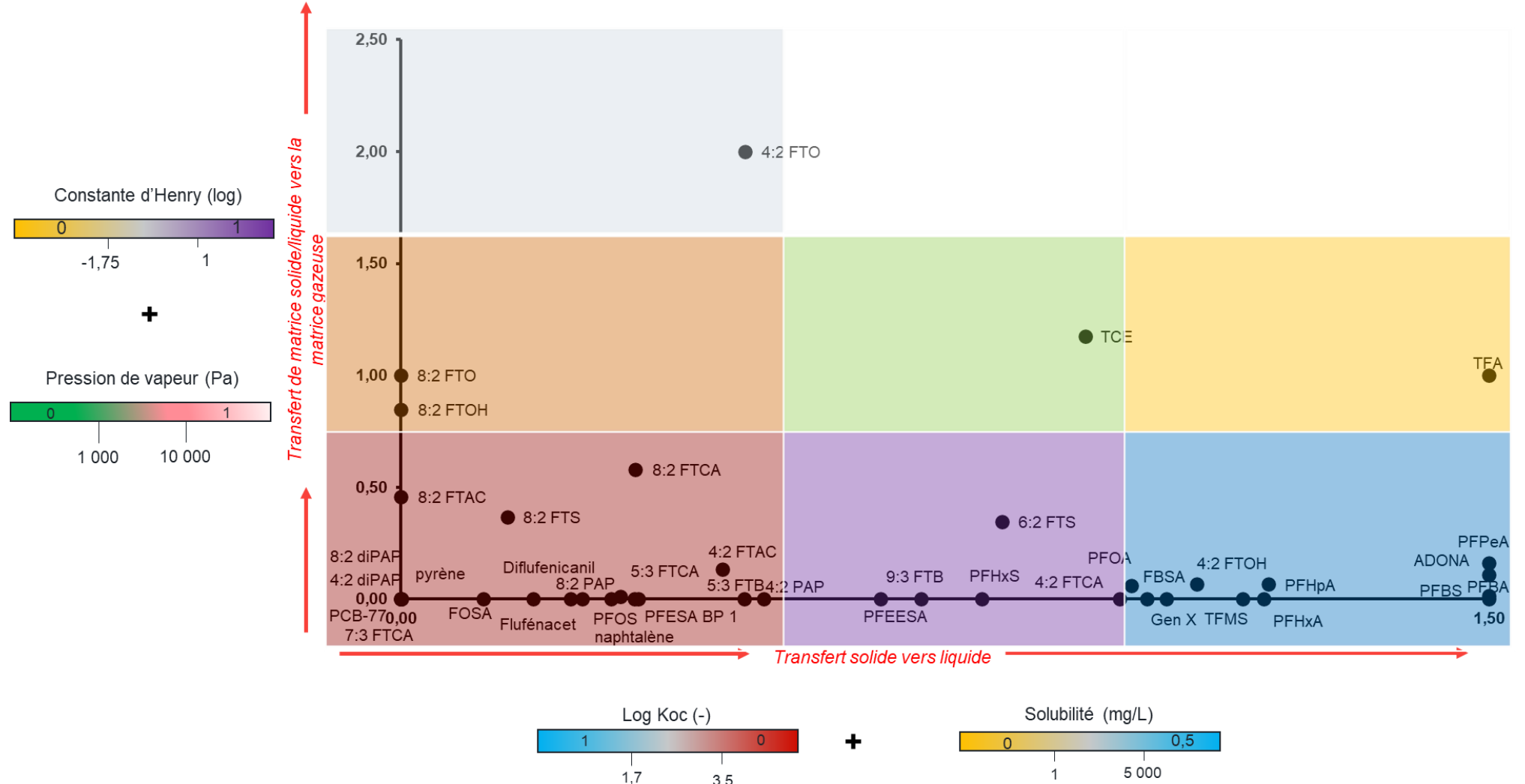
5- Comportement des PFAS dans l'environnement et les traitements usuels



Annexe 3 : Tableau des propriétés chimiques des composés sélectionnées (expérimentales vs modélisées)
Tableau 9 : Effet des conditions du milieu sur le comportement de chaque famille de PFAS

5- Comportement des PFAS dans l'environnement et les traitements usuels

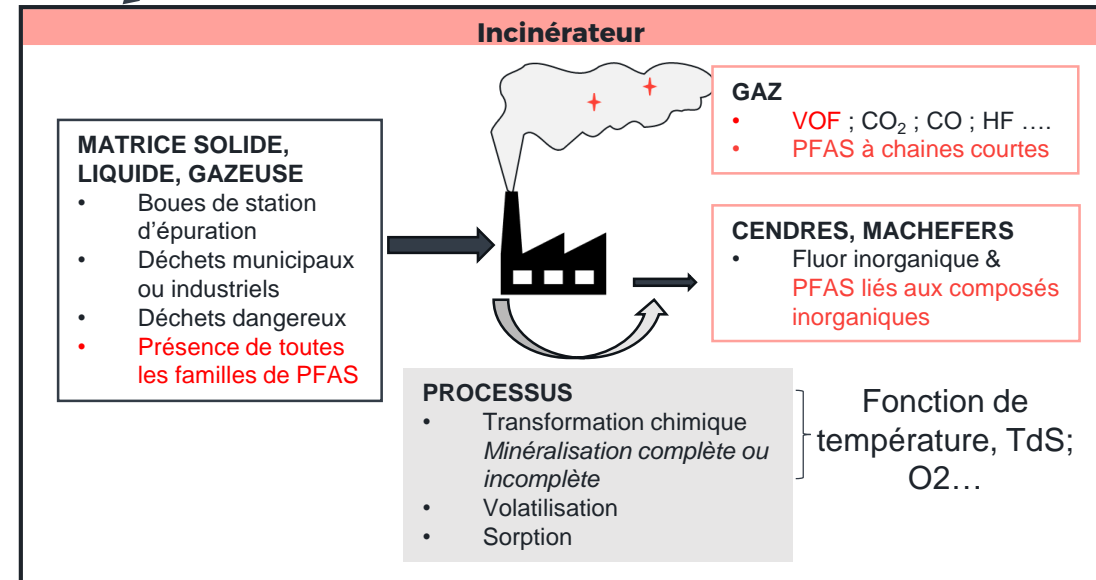
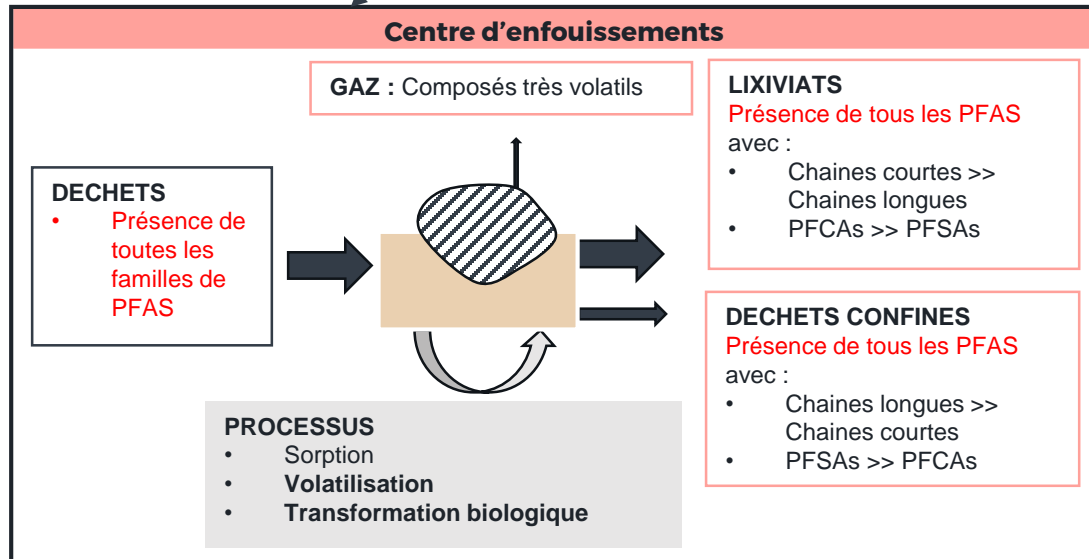
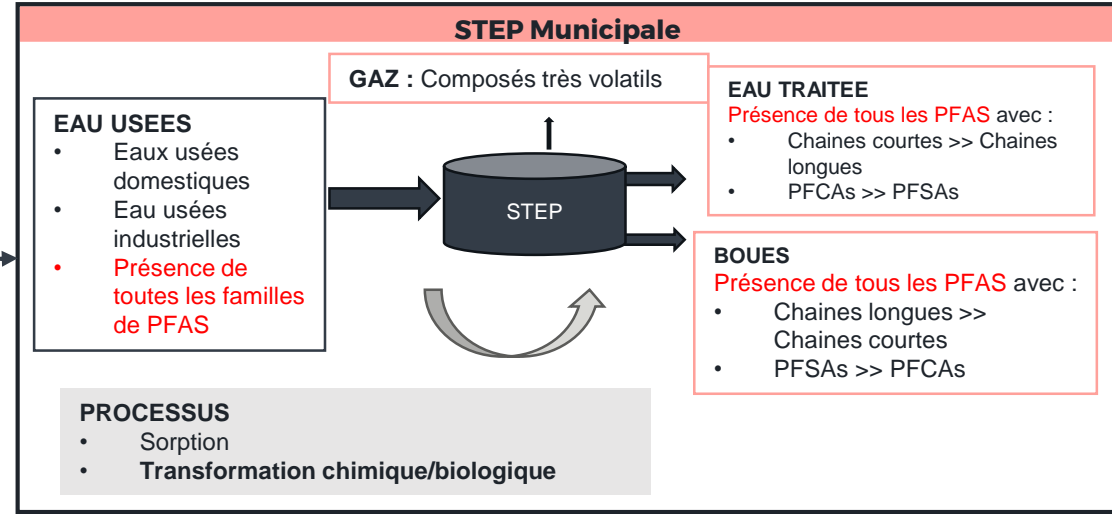
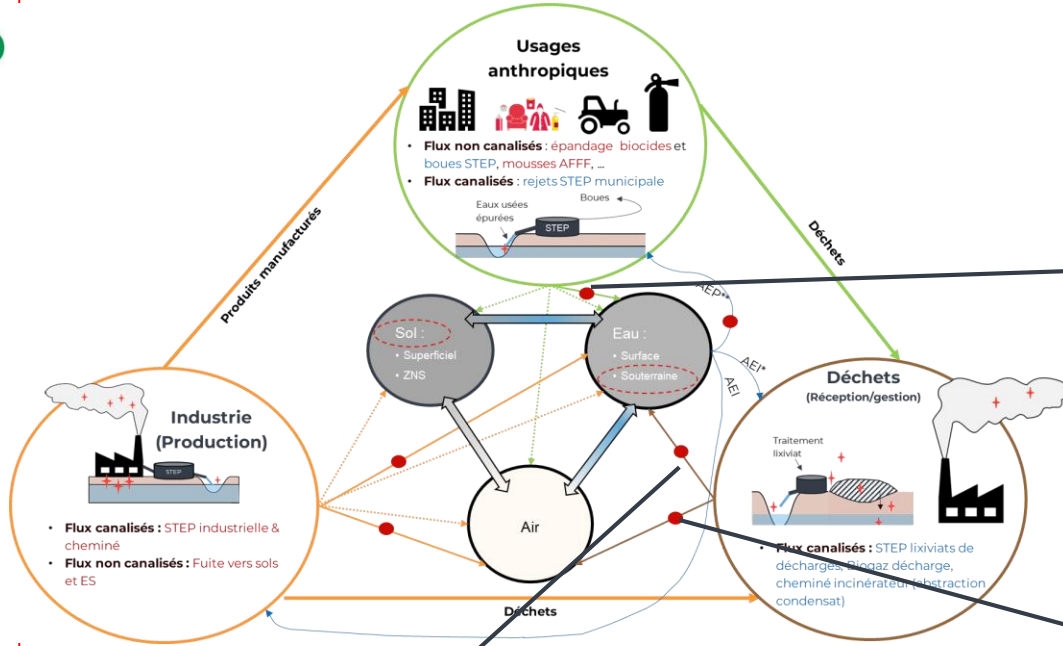
Influence des paramètres internes des composés - Graphique bilan



Représentation des comportements des composés sélectionnés et comparaison à ceux des composés types dont on connaît le comportement : TCE, Naphtalène, Pyrène, PCB-77.

6- Devenir des PFAS dans les dispositifs de traitement usuels

Projet Record : « Technologies de traitement et d'élimination des PFAS »



7- Technologies de traitement des PFAS – Vue d'ensemble

Technologie	Niveau TRL	Matrice		
		Liquide	Solide	Gazeuse
Séparation/ concentration				
Adsorption sur charbon actif (CAG et PAC)	TRL 9	x		x
Adsorption sur résines échangeuses d'ions (IX et R-IX)	TRL 9	x		
Adsorption via d'autres adsorbants (zéolites, biochar, minéraux argileux)	TRL 3 à TRL 9	x		
Osmose inverse / nanofiltration	TRL 9	x		
Fractionnement par mousse	TRL 9	x		
Coagulation/Floculation	TRL 3-7	x		
Lavage des sols <i>ex situ</i>	TRL 9		x	
Lavage des sols <i>in situ</i>	TRL 6-7		x	
Désorption thermique	TRL 7-8		x	
Phytoextraction	TRL 3-5		x	
Destruction				
Incinération (oxydation thermique)	TRL 9	x	x	x
Combustion dans des fours à ciment	TRL 7	x	x	
Gazéification hydrothermale	TRL 6-7			
Pyrolyse / thermolyse / gazéification	TRL 4-7		x	
Smoldering	TRL 4-7	x ⁵	x	
Oxydation en eau supercritique (SCWO)	TRL 9	x	x ⁶	
Traitement alcalin hydrothermal (HALT)	TRL 7-8	x	x	
Oxydation électrochimique (EO)	TRL 4-9	x		
Destruction en Plasma non thermique	TRL 4 -7	x		
Oxydation sonochimique	TRL 3-4	x		
Autres techniques de réduction ou d'oxydation	TRL 3-4	x	x ⁶	
Ball milling	TRL 5-7		x	
Bioremédiation	TRL 3-5	x	x	
Immobilisation/confinement				
Stabilisation - Solidification	TRL9		x	
Barrière perméable réactive (BPR)	TRL9	x		
Confinement	TRL9	x	x	

7- Technologies de traitement des PFAS – Vue d'ensemble

Points abordés pour chaque technologie dans le rapport :

- Les **matrices** compatibles avec la technologie ;
- Le **descriptif général** de la technologie ;
- La **maturité** / le niveau de développement et de commercialisation ;
- L'**efficacité théorique** de la technologie pour les PFAS (selon les données de la partie III.2 et III.3) ;
- L'**efficacité démontrée** de la technologie pour les PFAS (selon les données bibliographiques disponibles) ;
- Les **déchets** générés ;
- Les **coûts** (selon les données disponibles) ;
- Les **limites** de la technique et axes de développement.

ANNEXE V : Descriptif des techniques

Synthèse des informations recueillies sur chacune des technologies de traitement étudiées

8- Exemple pour une technologie de séparation / concentration

Consolidé

Fractionnement par mousse

Contexte de traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Flux liquides concentrés • Capacité de traitement jusqu'à 40 m³/h selon la technologie
Paramètres dimensionnants	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs réacteurs en série pour augmenter le FCV • FCV entre 50 000 et 2 000 000 fois la concentration initiale
Efficacité PFAS	<ul style="list-style-type: none"> • > C6 • En développement pour C4<PFAS< C6 -> Ajout de tensioactifs • Traitement de finition (CA, IX...) nécessaire pour atteindre les seuils fixés
Déchets de traitement	Concentrat incinération ou traitement alternatif de destruction (plasma, SCOW etc.)
Coûts estimés cas installation mobile	<ul style="list-style-type: none"> • 10 000 euros/mois pour 3m³/h • 30 000 et 45 000 euros/mois pour 20 à 40 m³/h. • coût inférieur à 1 €/m³ de lixiviat (Malovanyy et al. 2023)



Coldep 

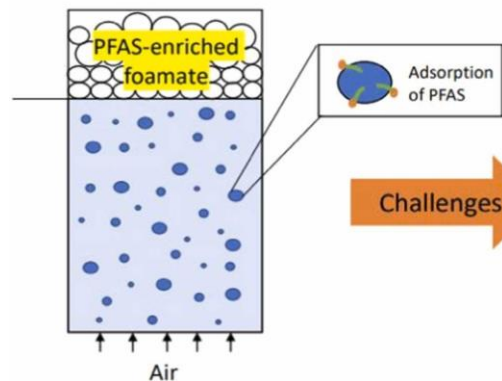
Procédé breveté - flottation sous vide



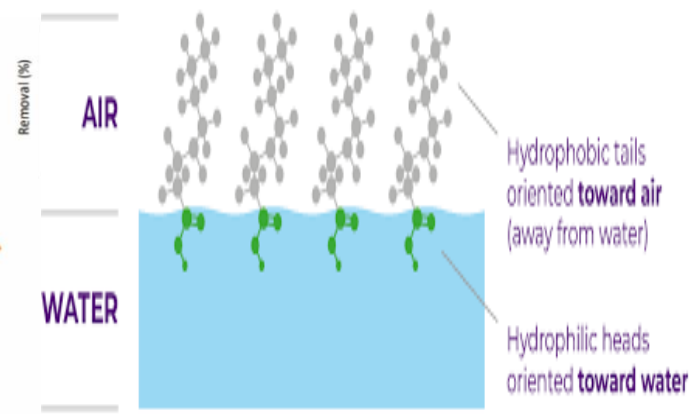
Ozofractionative
Catalysed Reagent
Addition (OCRA) -
Procédé breveté



Couplage fractionnement de mousse à contre-courant inter-étage et du plasma de vapeur thermique (technologie destructive)



Challenges



8- Exemple pour une technologie de destruction

Oxydation en eau supercritique (SCWO)

Contexte de traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Flux concentrés (solides ou liquides) • Capacité de traitement selon la technologie : <ul style="list-style-type: none"> • Annihilator jusqu'à 25 m³/h à grande échelle et 0,08 m³/h système mobile • iSCWOTM • AirSCWO jusqu'à 0,04 m³/h (utilisé pour traiter CAG et IX) • SuperOx : 0,2 m³/h
Paramètres dimensionnants	Temps de résidence
Efficacité PFAS	Tous les composés
Déchets de traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Résidus en phase gazeuse (CHF₃, HF etc.).
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de données coûts • Peu d'électricité nécessaire • Apport de carbone (ex carburant à 2%) si la solution à traiter à [C] < à 20 g/L • CAPEX : 3-5 M€

374WATER^o



ANNIHILATOR[®]

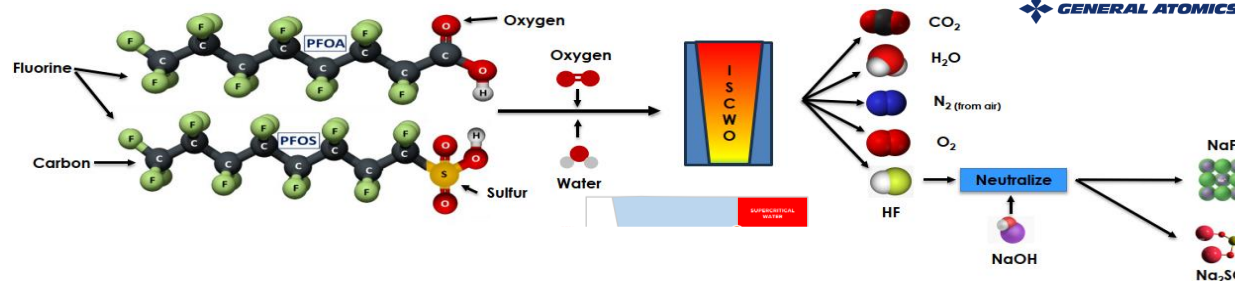
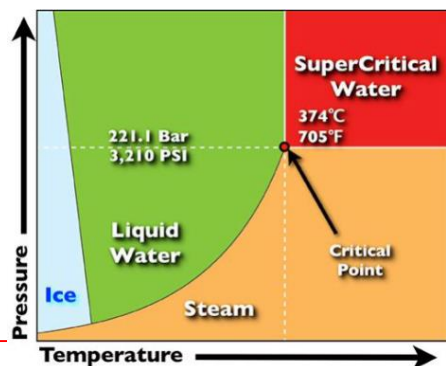
US



Danemark



ELIXIR[™]



ANNEXE IV : Bilan des performances

(analysé ou modélisé)

Evaluation de l'efficacité des technologies de traitement vis-à-vis des 36 composés PFAS sélectionnés

?	Non connu / non supposé
P	Technique non adaptée selon les retours d'expériences
S	Technique supposée non adaptée
P	Technique moyennement adaptée selon les retours d'expériences
S	Technique supposée moyennement adaptée
P	Technique adaptée selon les retours d'expériences
S	Technique supposée adaptée

- ❑ Utilisation des données bibliographiques présentées dans le rapport (P) et extrapolation pour les composés ne présentant pas de données (S)

Groupe	Sous-groupe	Composé	Forme ionique	Type de traitement	Séparation/concentration			Destruction	
				Matrice	liquide			Liquide/Solide	
					Adsorption sur CA	Adsorption sur Résine IX	Osmose Inverse	Fractionnement par mousse	HALT
PFAAs	PFCAs	TFA	Anionique	P	P	P	S	P	P
		TFMS	Anionique	S	S	P	S	P	S
		PFBA	Anionique	P*	P	P	P	P	P
		PFPeA	Anionique	P	P	P	P*	P	P
		PFHxA	Anionique	P	P	P	P	P	P
		PFHpA	Anionique	P	P	P	P	S	P
	PFSAs	PFOA	Anionique	P	P	P	P	P	P
		PFBS	Anionique	P	P	P	P*	P	P
		PFHxS	Anionique	P	P	P	P	S	P
PFEAs et PolyFEAs	PFESAs	PFOS	Anionique	P	P	P	P	P	P
		Gen x	Anionique	P	S	P	S	S	P
FASAs	PFECAs et H-PFECAs	ADONA	Anionique	S	S	S	S	S	S
		PFESAs	PFEEA	Anionique	S	S	S	S	S
FASAs	PFESAs	PFESA BP1	Anionique	S	S	S	S	S	S
		FBSA	Anionique	P**	P	S	S*	P	S
Fluoro-télomères	FTSs	FOSA	Anionique	P	P	P	S	S	P
		6:2 FTS	Anionique	P	P	P	P	S	P
	FTCA	8:2 FTS	Anionique	P	P	S	P	S	S
		4:2 FTCA	Anionique	S	S	S	S	S	S
		5:3 FTCA	Anionique	S	S	S	S	S	S
		7:3 FTCA	Anionique	S	S	S	S	S	S
	FTACs	8:2 FTCA	Anionique	S	S	S	S	S	S
		4:2 FTAC	Neutre	S	S	S	S	S	S
	FTOs	8:2 FTAC	Neutre	S	S	S	S	S	S
		4:2 FTO	Neutre	S***	S*	S	S	S	S
	FTOHs	8:2 FTO	Neutre	S***	S*	S	S	S	S
		4:2 FTOH	Neutre	S***	S*	S	S	S	S
	FTBs	8:2 FTOH	Neutre	S***	S*	S	S	S	S
		5:3 FTB	Zwitterionique	S	S	S	S	S	S
	PAPs	9:3 FTB	Zwitterionique	S	S	S	S	S	S
		4:2 PAP	Anionique	S	S	S	S	S	S
	diPAPs	8:2 PAP	Anionique	S	S	S	S	S	S
		4:2 diPAP	Anionique	S	S	S	S	S	S
	Pesticides	8:2 diPAP	Anionique	S	S	S	S	S	S
		Diflufenican	-	?	?	?	S	S	S
	Flufénacet	-	?	?	?	S	S	S	

- ❑ **L'étude fournit des outils** pour :
 - ❑ Aider à définir un programme analytique adapté à chaque source (Annexe 1)
 - ❑ Evaluer le comportement de composé PFAS encore peu étudiés (environnement/ filières de traitement courantes) ;
 - ❑ Evaluer les performances des technologies sur des composés pas étudiés ;
 - ❑ Orienter les choix techniques (type d'effluent, géochimie, PFAS etc.) ;
- ❑ Aujourd'hui, **les solutions pour traiter les PFAS existent**. Pour les toutes les matrices, tous type d'effluents. Il existe maintenant d'autres voies de **gestion des déchets** que les traitements usuels, applicables sur site;
- ❑ Les solutions de gestion, spécifiques à chaque effluent, combinent de la **concentration** et de la **destruction**
- ❑ Le rapport est une aide à la décision pour les gestionnaires de la meilleure solution de gestion des PFAS
- ❑ **Mais**, chaque situation nécessite :
 - ❑ Un BCA spécifique, car les performances, les OPEX et les contraintes varient fortement selon le contexte ;
 - ❑ Des essais laboratoires pour sécuriser et affiner les choix
- ❑ Le secteur est en rapide **évolution** → les outils produits devront être mis à jour régulièrement

The logo for RECORD features the word "RECORD" in a bold, green, sans-serif font. The letter "O" is stylized as a circular arrow pointing clockwise, symbolizing a circular economy or continuous process.

RECHERCHE COOPÉRATIVE
EN ENVIRONNEMENT ET
ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Pour retrouver nos travaux www.record-net.org

Pour rester informé [Newsletter](#) et [LinkedIn](#)

Les programmes
RECORD font l'objet
d'un soutien de l'ADEME



Journée de restitution RECORD

Présentation des derniers résultats issus de ses programmes d'études et de recherche

Les membres de **RECORD**



22 janvier 2026
Maison de la Chimie, Paris