

Analyse du Cycle de Vie: Limites et développements pour les nanomatériaux

Bertrand Laratte, I2M, Arts et Métiers Bordeaux

Qui suis-je?

Bertrand LARATTE, Enseignant-chercheur

Centre des Arts et Métiers de Bordeaux – I2M – IMC

Thèmes de recherche:

- ACV et indicateurs environnementaux
- Material / Substance Flow Analysis
- Intégration des paramètres de spatio-temporalité dans les indicateurs d'impact environnementaux

I2M?

I2M (Institut de Mécanique et d'Ingénierie) research team (350 people) (Prof. J.C.Batsale) :

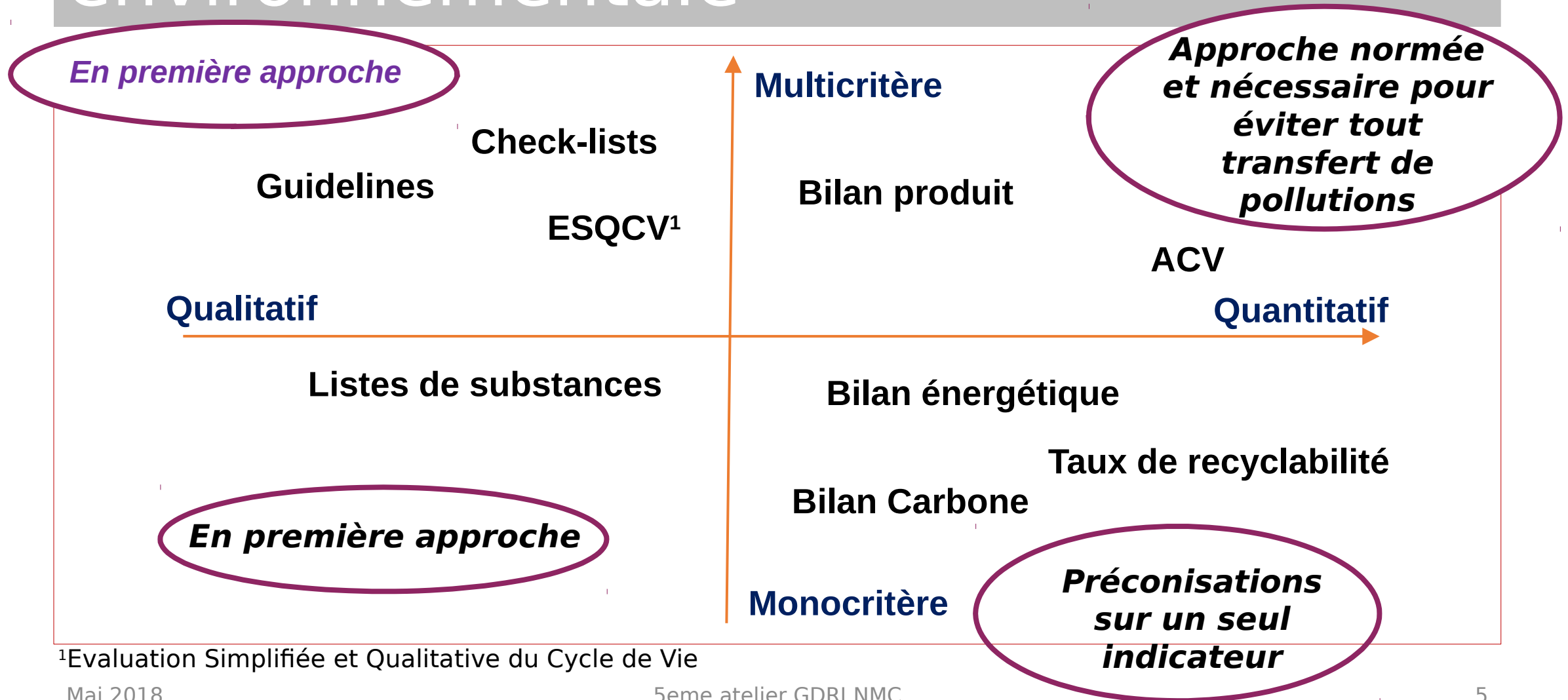
- Physical Acoustics (Dr. O.Poncelet)
- Civil and Environmental Engineering (Prof. N.Saiyouri)
- Fluids and Transfert (Prof. M.Azaiez)
- Durability of Materials, Assemblies and Structures (Prof. T.Palin-Luc)
- Materials Processes Interactions (Prof. E.Lacoste)
- **Mechanical Engineering and Design (Prof. N.Perry)**
 - innovation,
 - energetic and thermal systems,
 - medical articular devices,
 - composite and multi-material structures,
 - hybrid assemblies,
 - tolerancing and functional specifications,
 - ecodesign and circular economy



SOMMAIRE

- L'ACV : Rappels – Fonctionnement de calcul
- Limites: Donnée – Méthodes de calcul – Exemple
- Développements : Toxicité
- Conclusion

L'ACV au sein des outils d'évaluation environnementale

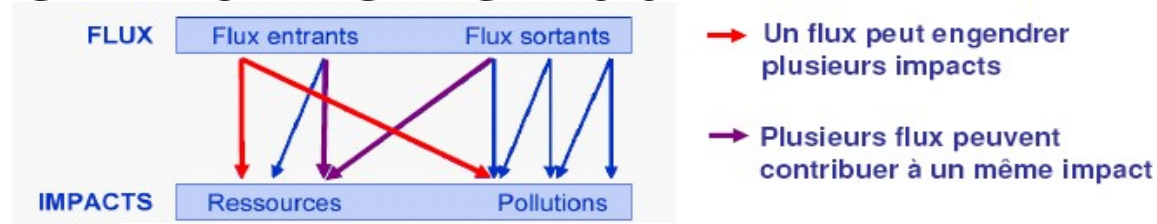


¹Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie

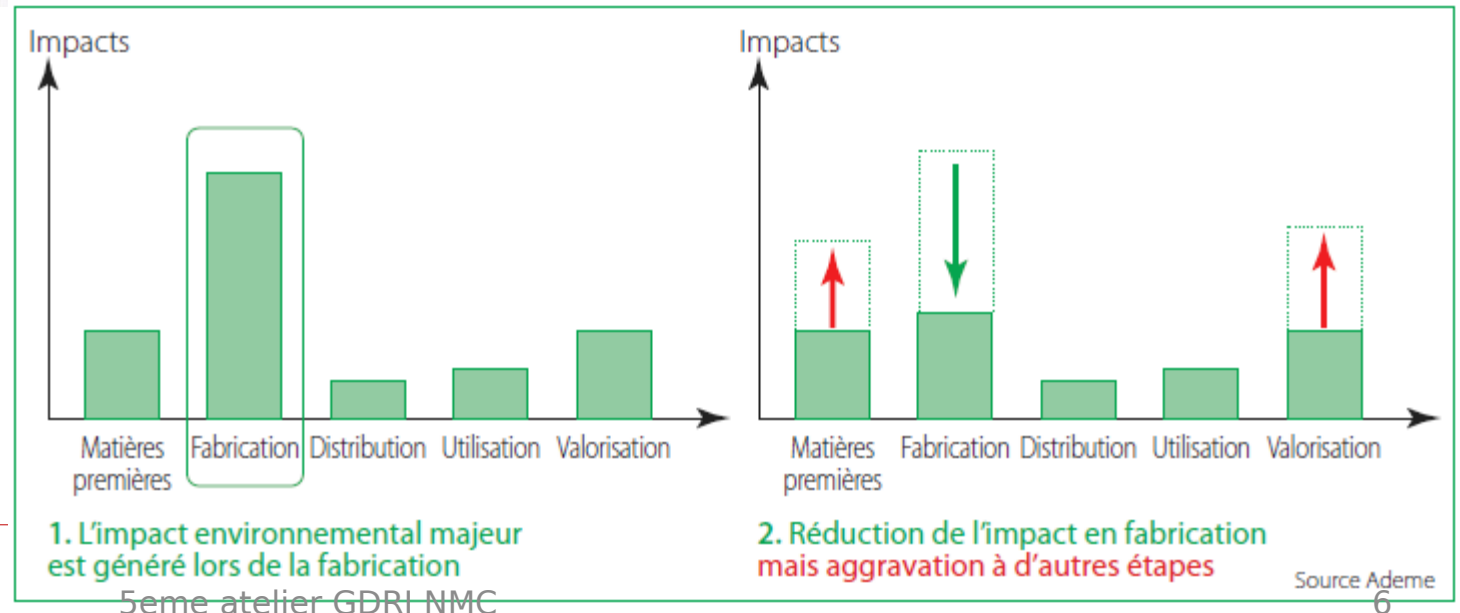
Une démarche multi-étapes pour...

- Prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie et tous les impacts environnementaux

Source : ADEME



- Éviter les transferts de pollution



Une démarche multi-critères pour éviter...

Comment produire de l'électricité sans impact sur le climat ?

Il n'est pas évident de la fabrication des réacteurs nucléaires jusqu'à leur installation, jusqu'à obtenir des réacteurs technologiquement performants pour produire de l'électricité sans émissions de CO₂.

Énergie nucléaire contrôlée, parmi les plus efficaces pour lutter contre le changement climatique. La sûreté, la production d'électricité d'origine nucléaire permet d'émettre 120 fois moins de gaz à effet de serre que celle issue du gaz, ou du pétrole.

Énergie	Emissions de CO ₂ (en g/kWh)
Charbon	264 à 355
Fuel	209 à 246
Gaz naturel	120 à 188
Solaire PhV	27 à 76
Hydraulique	6 à 65
Biomasse	6 à 17
Eolien	(à terre) 8 à 13
Nucléaire	2,5 à 5,7

De la conception à l'entretien des réacteurs nucléaires, AREVA crée des solutions qui limitent les émissions de CO₂. Avec une présence industrielle dans plus de 40 pays et un réseau commercial couvrant plus de 100 pays, AREVA propose à ses clients des solutions technologiques pour produire l'énergie nucléaire et sécuriser l'approvisionnement en toute fiabilité. www.areva.com

AREVA
EXPERTS EN ÉNERGIE

Emissions de CO ₂ (en g/kWh)	
Charbon	264 à 355
Fuel	209 à 246
Gaz naturel	120 à 188
Solaire PhV	27 à 76
Hydraulique	6 à 65
Biomasse	6 à 17
Eolien (à terre)	8 à 13
Nucléaire	2,5 à 5,7

Référence Spadaro et al. AIEA Bulletin, vol 42, Vienne

La méthodologie d'ACV : le cadre normatif

Eco-conception

Approche produit

- **ISO 14062** (2002): Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit
- **ISO 14006** (2011): Lignes directrices pour intégrer l'éco-conception

Approche site

- **ISO 14001** (2004- rev 2015): Systèmes de management environnemental -- Exigences et lignes directrices pour son utilisation

ACV

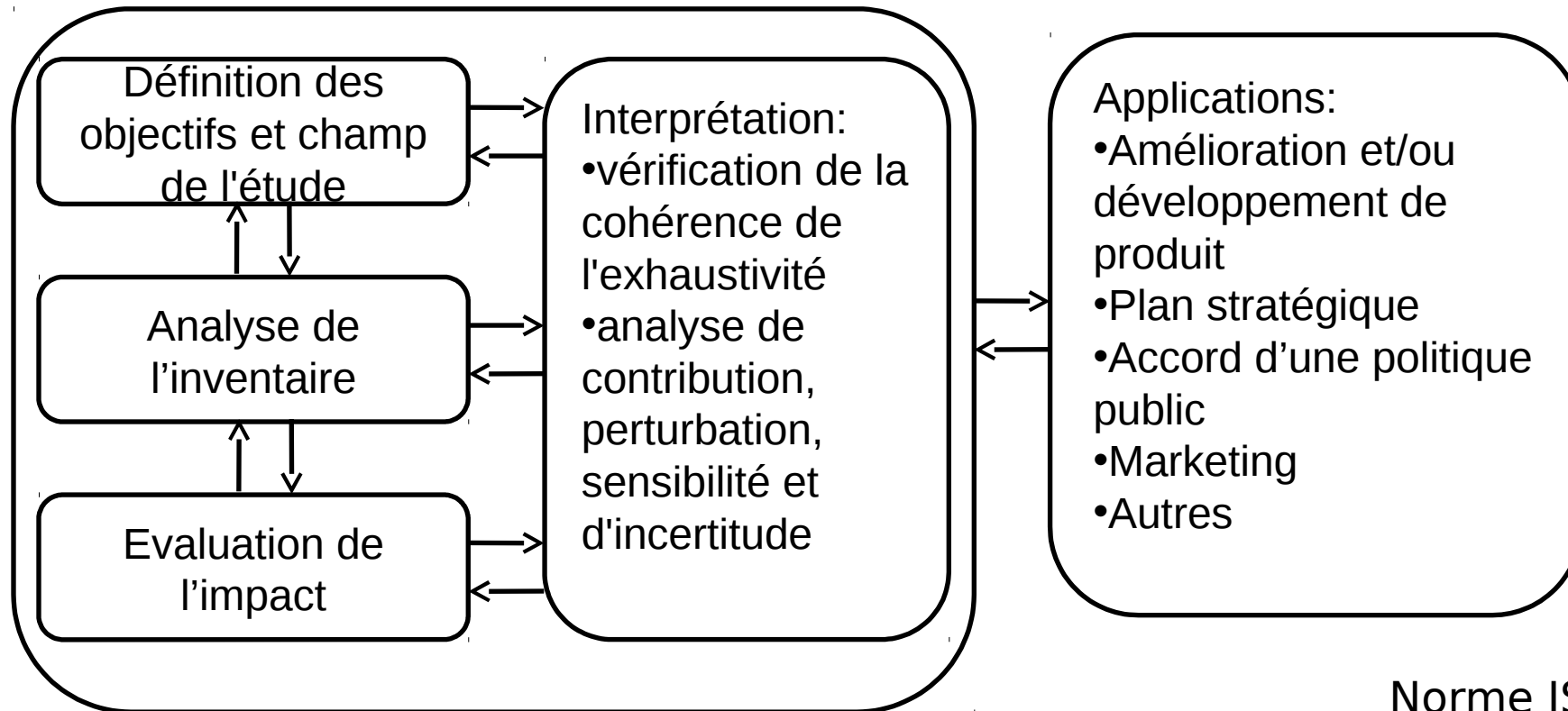
- **ISO 14040** (2006): Analyse du Cycle de Vie (ACV)- Principes et cadres
- **ISO 14044** (2006): Analyse du Cycle de Vie (ACV)- Exigences et lignes directrices
- **ISO 14048** (2000): format de documentation de données
- **ISO 14049** (2000): exemples d'analyse d'inventaire

Déclaration environnementale produit

- **ISO 14020** (2000): lignes directrices
- **ISO 14021** (1999-rev 2016): auto-déclarations environnementales (Type II)
- **ISO 14024** (1999): Ecolabels officiels (Type I)
- **ISO 14025** (2006): écoprofiles (Type III)

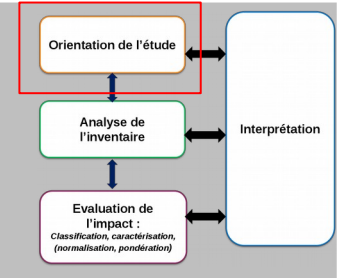
Les étapes de l'ACV

- Cadre général de la méthodologie d'ACV



Norme ISO 14040

Définition des objectifs et du champ de l'étude



L'ACV est « goal-dependant » :

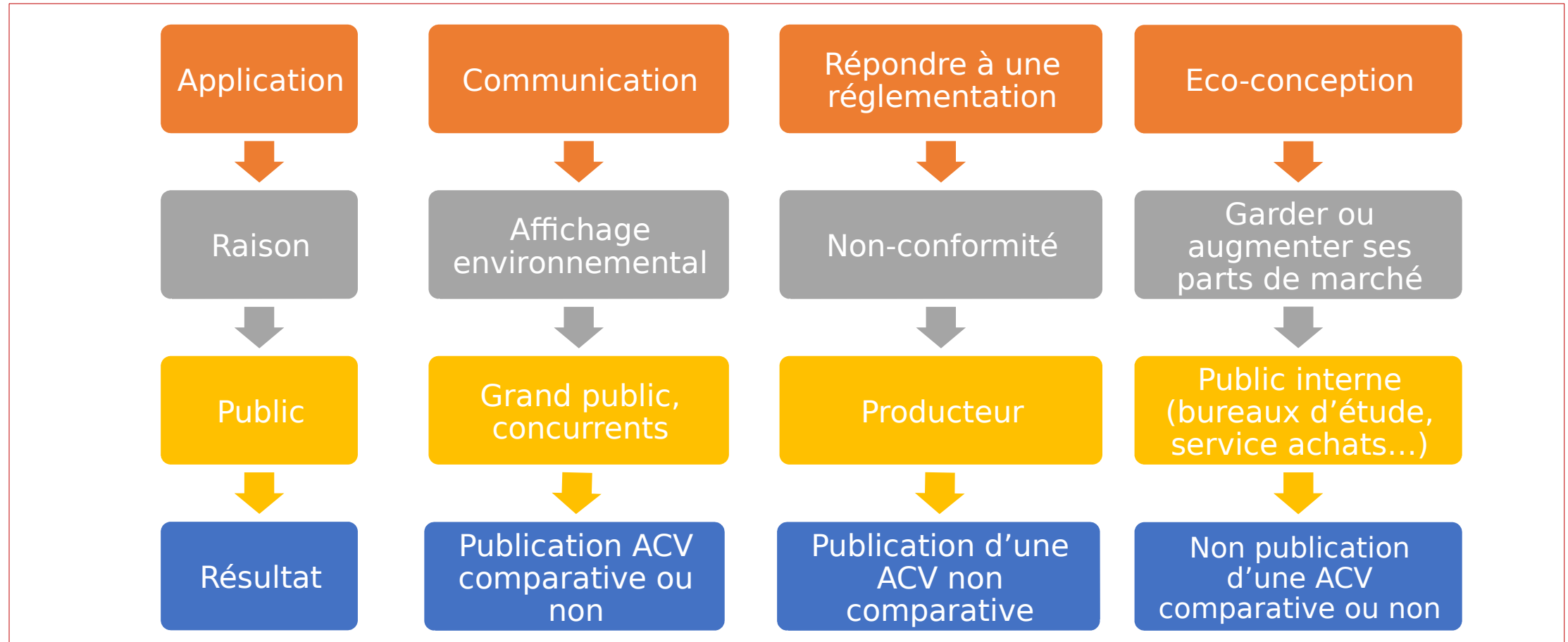
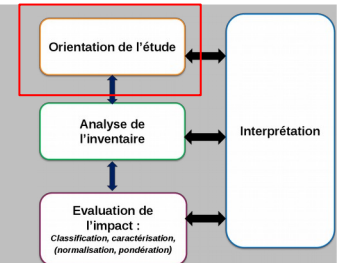
- Les choix méthodologiques à chaque étape de l'ACV dépendent des objectifs.

Par conséquent :

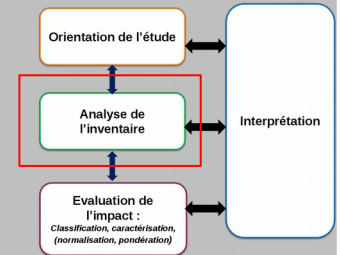
- Le choix des données à l'étapes d'inventaire de l'ACV dépend également des objectifs.

Source de ce chapitre : « L'ACV », article sur www.ademe.fr

Les objectifs de l'étude



L'Inventaire du Cycle de Vie



« Inventaire des flux » (étape appelée anciennement « écobilan »)

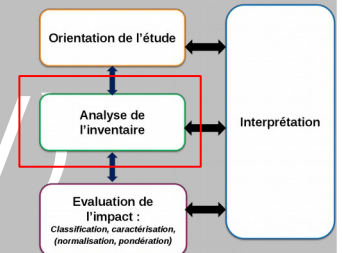
Identification et quantification des flux de matière et d'énergie entrant et sortant aux frontières du système.

L'évaluateur collecte des données auprès d'une ou plusieurs sources :

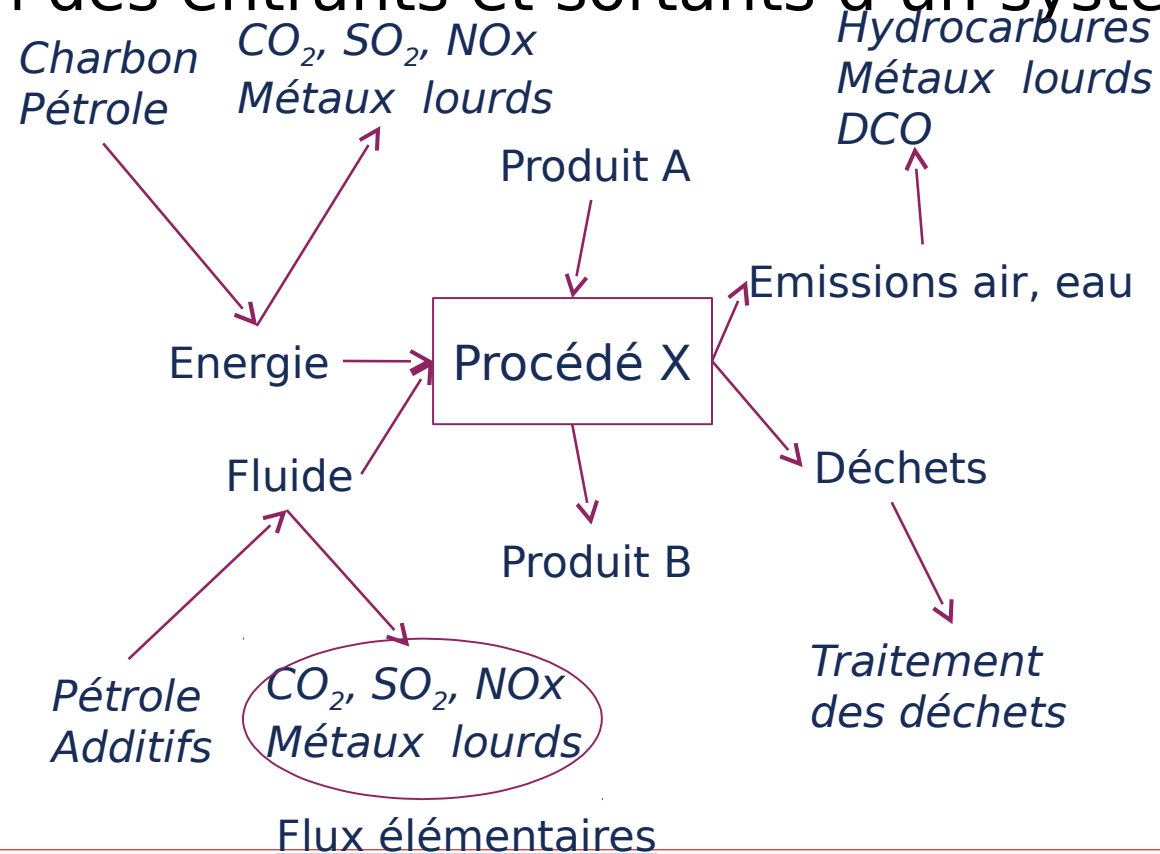
- sur site industriel,
- auprès d'experts,
- dans des bases de données d'inventaire de cycle de vie (BDD, laboratoires de recherche spécialisés, ...)
- ...

Les limites du système, l'étendue et la qualité des données d'inventaire à collecter dépendent des objectifs de l'ACV et des moyens.

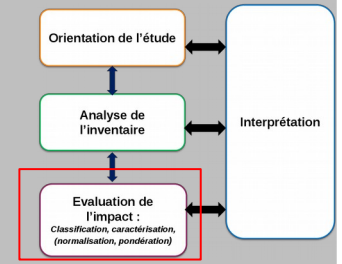
L'inventaire du Cycle de Vie (ICV)



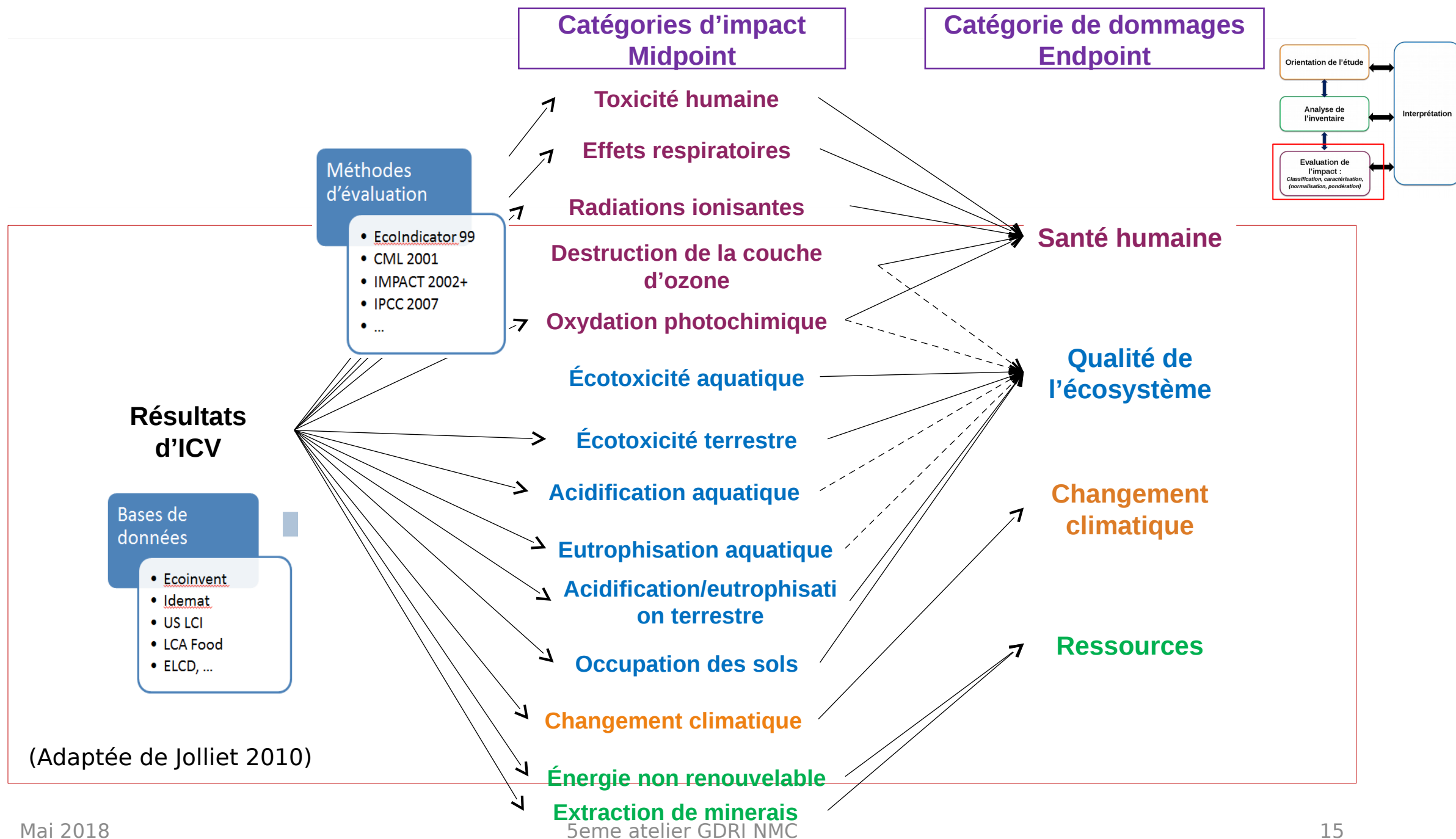
- Quantification des entrants et sortants d'un système



Evaluation des impacts

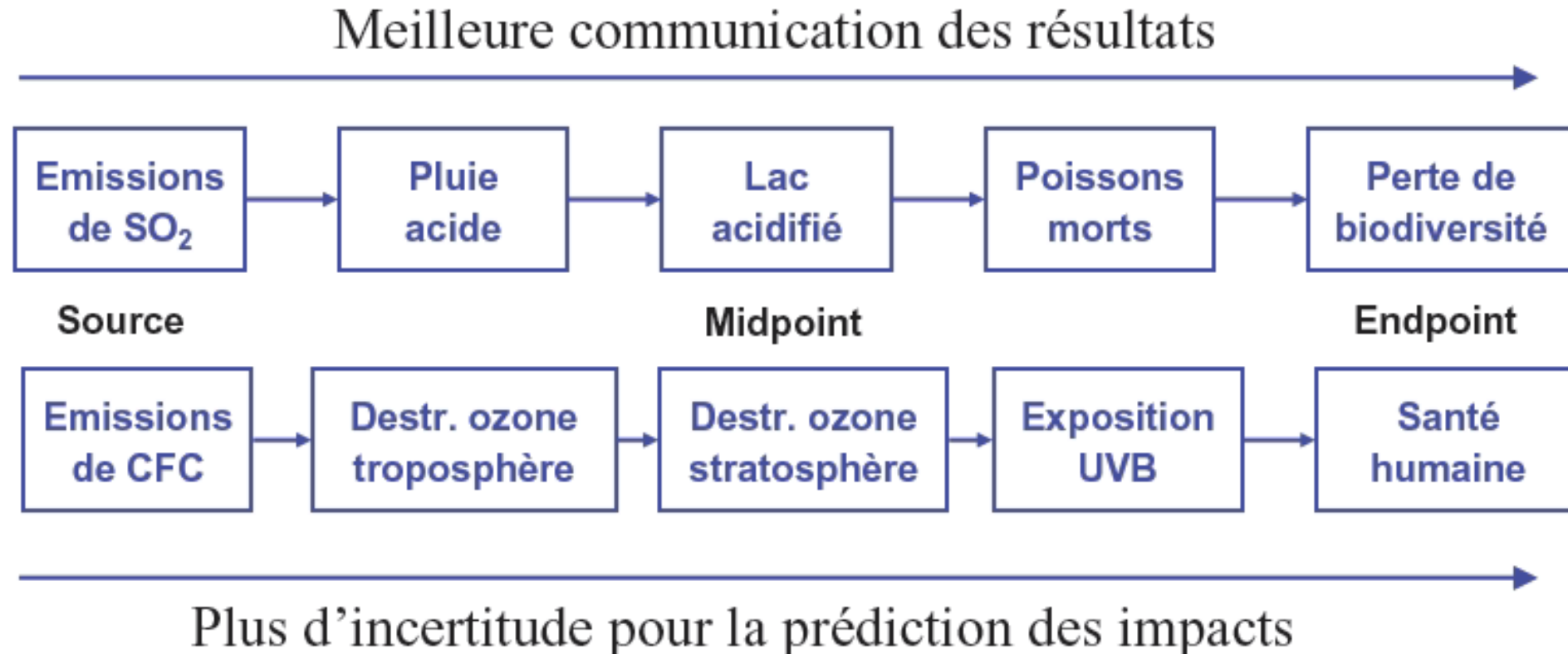


- « Traduire les consommations et les rejets recensés lors de l'inventaire en impacts environnementaux » :
- Processus :
 - Choix des catégories d'impacts : réalisé en fonction des objectifs de l'étude
 - Caractérisation des flux , à partir d'indicateurs, en impacts environnementaux.
- **Le choix des catégories d'impact et des indicateurs associés se font en relation avec les objectifs et les systèmes étudiés.**
(norme de référence ISO 14044)



Evaluation des impacts

- Des impacts aux dommages...

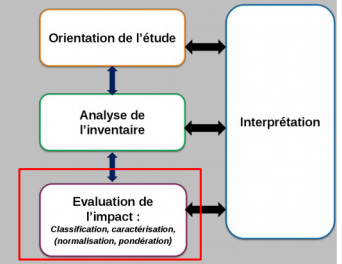


Evaluation des impacts

Inventaire	Changement Climatique IPCC 2007 100a	Acidification CML 2001	Toxicité Humaine CML 2001
1000g de CO ₂	x 1 = 1000		
10g de CH ₄	x 25 = 250		
10g de SO ₂		x 1 = 10	x 0,096 = 0,96
5g de NO _x		x 0,5 = 2,5	
10 ⁻⁹ g de dioxine			x 1,93 ^{E9} = 1,93
Total	1250g éq. CO ₂	12,5g éq. SO ₂	8,89g éq 1,4 DB

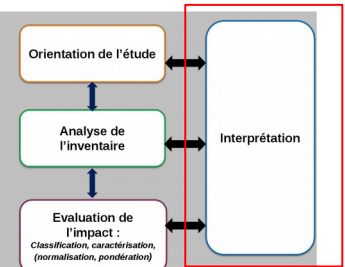
Facteur de caractérisation permettant de ramener chaque substance en unité commune sur les indicateurs environnementaux

Evaluation des impacts



- « Traduire les consommations et les rejets recensés lors de l'inventaire en impacts environnementaux » :
- Processus :
 - Choix des catégories d'impacts : réalisé en fonction des objectifs de l'étude
 - Caractérisation des flux , à partir d'indicateurs, en impacts environnementaux.
- **Le choix des catégories d'impact et des indicateurs associés se font en relation avec les objectifs et les systèmes étudiés.**
(norme de référence ISO 14044)

Interprétation



Les questions au stade de l'interprétation :

- Quels sont les principaux contributeurs d'impact?
- Quelle est la sensibilité des résultats. C'est-à-dire : si les hypothèses changent, est-ce que le résultat varie ?
- Les systèmes modélisés sont-ils complets (complétude, par exemple sur l'ensemble du cycle de vie) ?
- Sont-ils cohérents ? (entre produits comparés, par exemple)

ACV : les limites

Limites méthodologiques

Ne permet pas de modéliser tous les critères d'aide à la décision (aspects environnementaux, économiques, sociétaux...).

Peut manquer d'impartialité (étude orientée par les parties intéressées) : possibilité de réaliser une revue critique par une tierce partie.

Variabilité de l'UF (durée de vie), des frontières du systèmes

L'hétérogénéité des données constituant l'ICV (origine des données)

Risque de mauvaise interprétation, notamment par des acteurs externes à l'ACV : traite uniquement les aspects environnementaux identifiés dans les objectifs et le champs de l'étude.

ACV : les limites

Limites scientifiques

Quels indicateurs choisir, quelle méthode d'évaluation ACV?

Pour chaque ACV, se poser la question :
Quels sont les indicateurs pertinents ?
Comment les calculer pour traduire des impacts potentiels sur l'environnement ?

Diversité des méthodes d'évaluation

La validité scientifique peut être discutée.

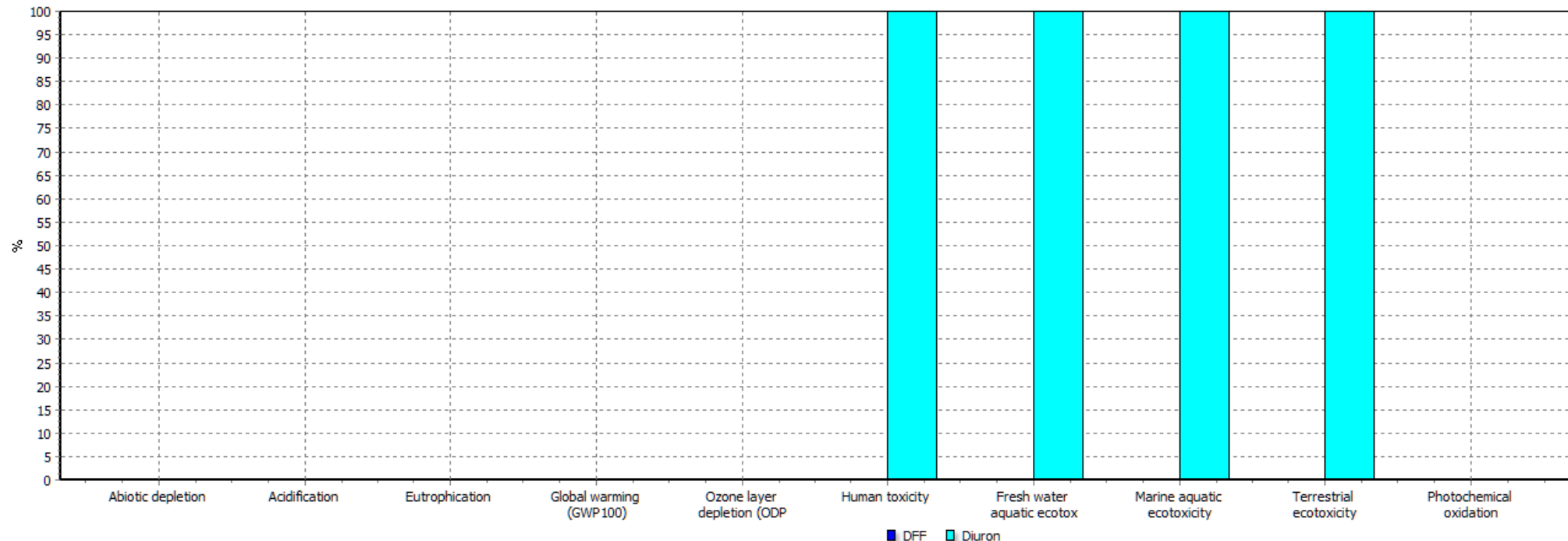
La méthode doit être actualisée (avancées scientifiques...).

Limites: Exercice

- Comparons les impacts environnementaux de 2 désherbants:
 - Diflufénican (Le diflufenicanil est un herbicide de formulation $C_{19}H_{11}F_5N_2O_2$)
 - Diuron (Le Diuron (de formule : 3-(3,4-dichlorophényl)-1,1-diméthyl-urée) est un biocide qui - jusqu'à son interdiction - a été très utilisé comme désherbant)
- Considérons 20g d'émission de chacune des substances dans l'eau, l'air et le sol
- Avec 5 méthodes d'évaluation différentes:
 - CML
 - EDIP
 - IMPACT 2002
 - ReCiPe
 - USEtox

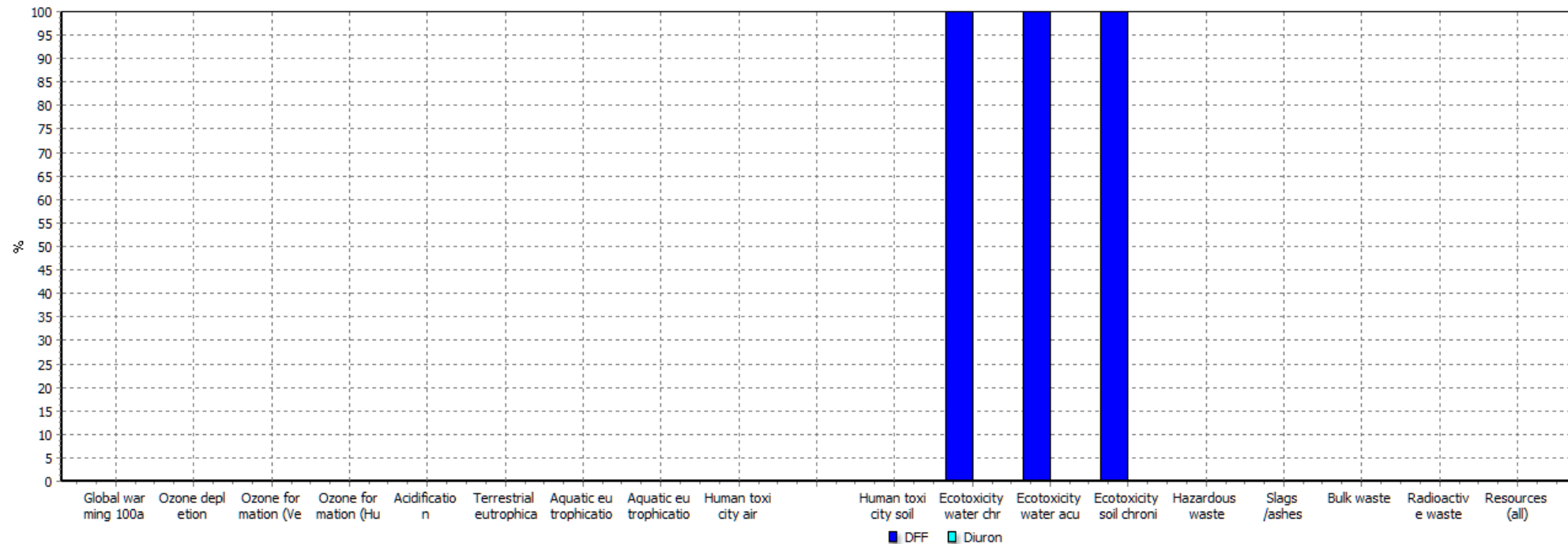
Limites: Exercice

Evaluation de désherbant: diflufénican vs Diuron
Avec CML (exprimé en 1,4 DB kg eq):



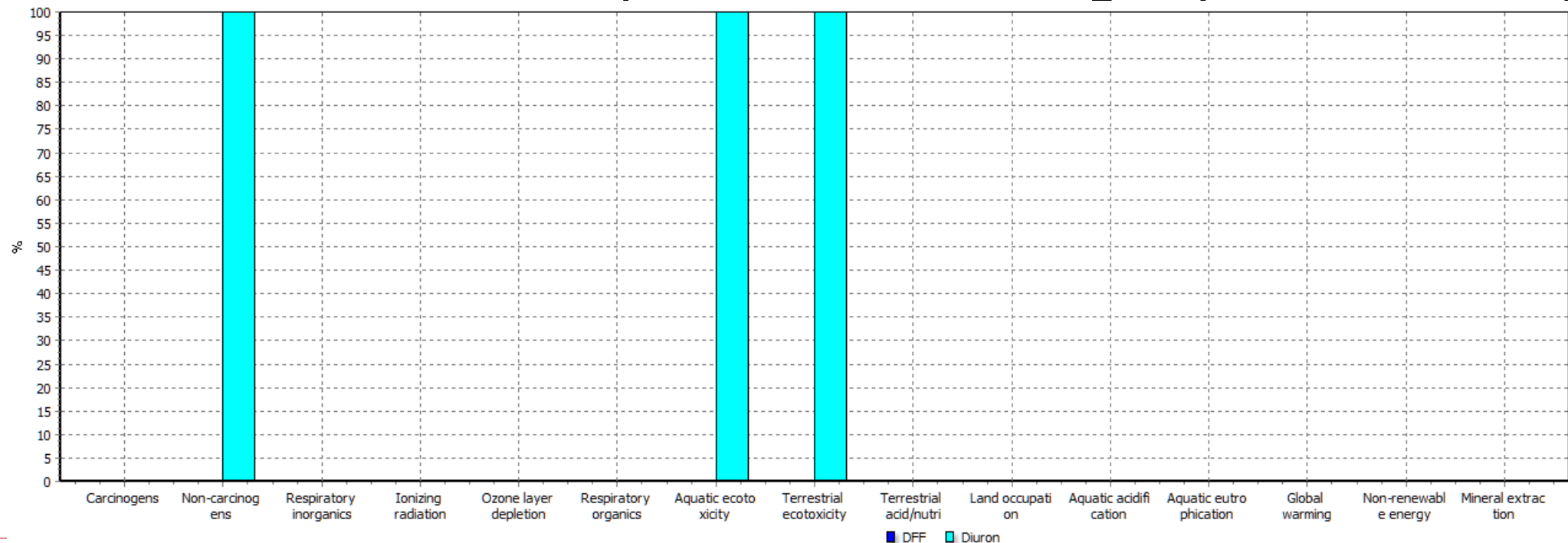
Limites: Exercice

Evaluation de désherbant: diflufénican vs Diuron
Avec EDIP (exprimé en m³ kg eq):



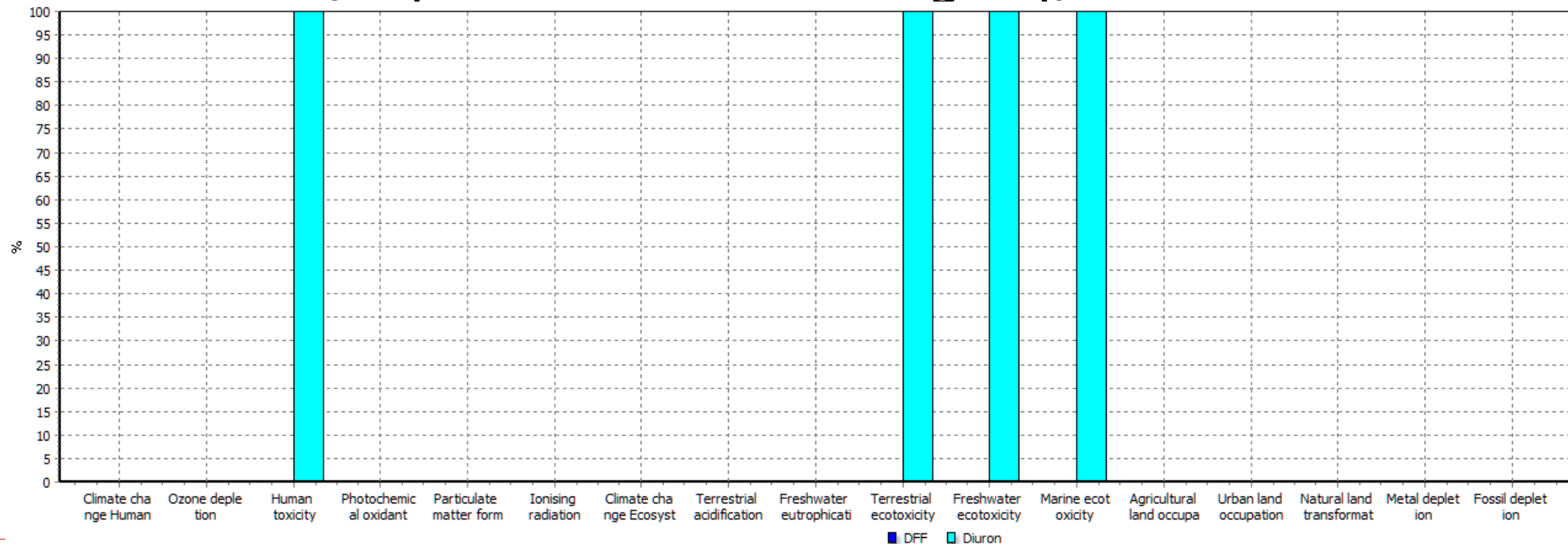
Limites: Exercice

Evaluation de désherbant: diflufénican vs Diuron
Avec IMPACT 2002 (exprimé en DALY/kg eq et en PDF/kg)



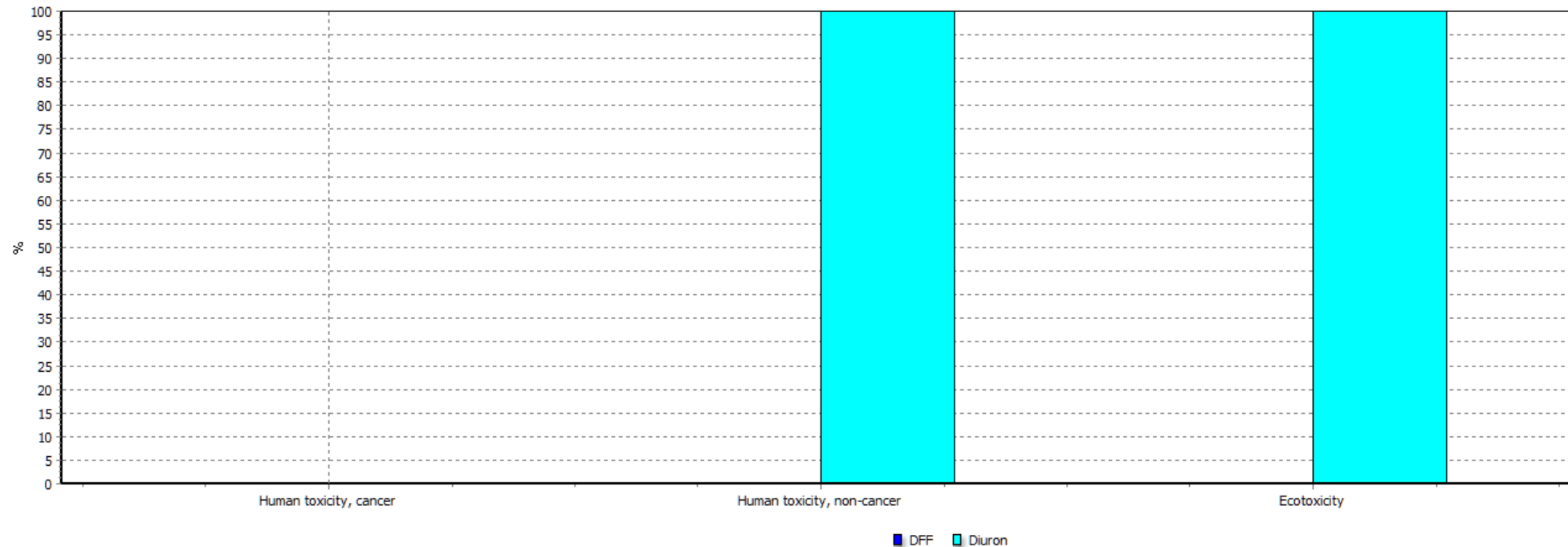
Limites: Exercice

Evaluation de désherbant: diflufénican vs Diuron
Avec ReCiPe (exprimé en 1,4 DB kg eq):



Limites: Exercice

Evaluation de désherbant: diflufénican vs Diuron
Avec USEtox (nb de cas affectés/kg de substances émises):

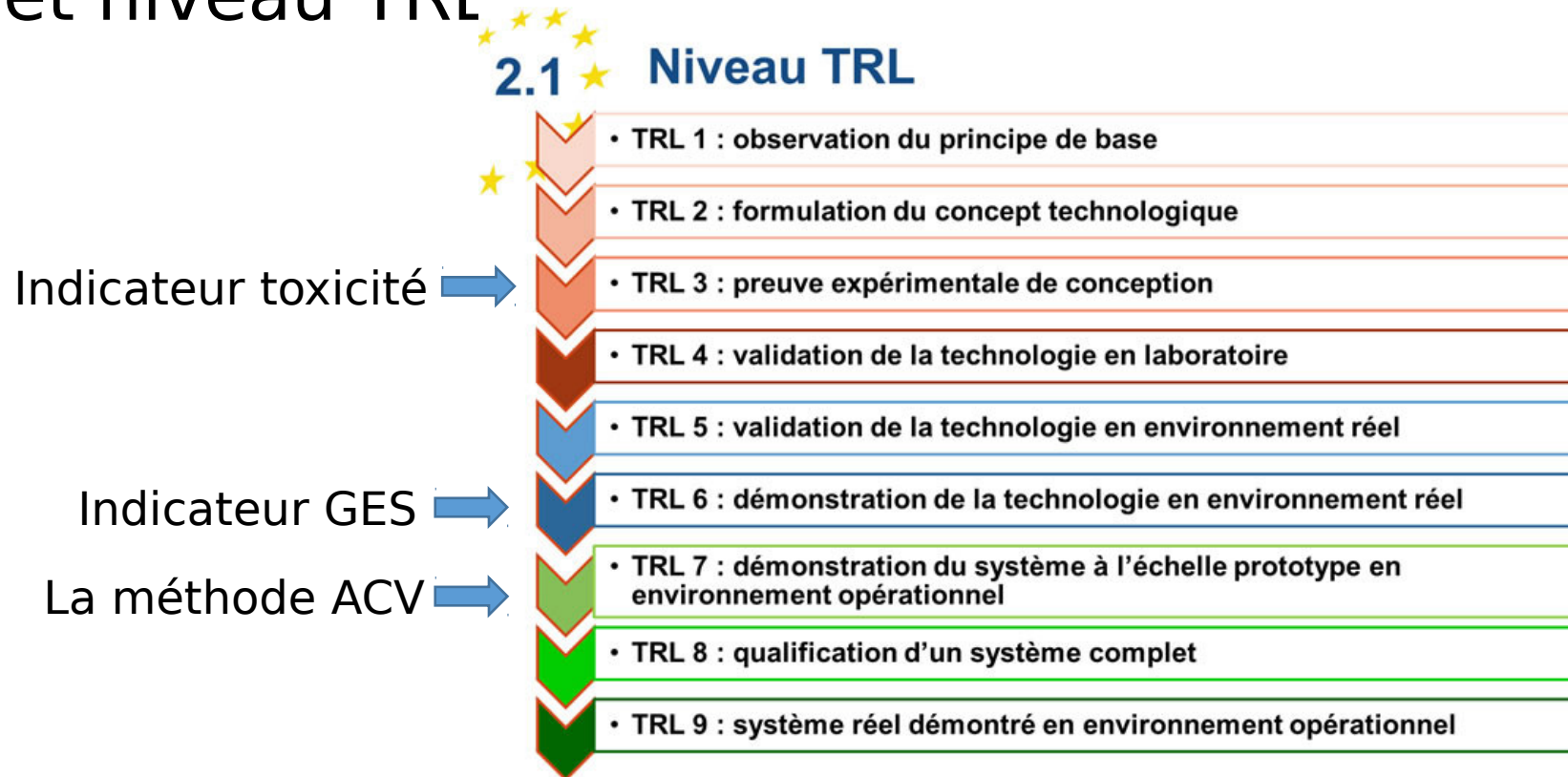


Exercice: conclusion

- Aucune méthode de calcul ne permet d'évaluer les 2 substances sur une même unité...
- Impossibilité de faire une ACV dans l'immédiat
- Proposition de monter un projet de recherche pour pouvoir déterminer le facteur d'impact des différentes substances
- Faire très attention aux substances qui sont considérées dans les méthodes de calcul!

Développements

- ACV et niveau TRL

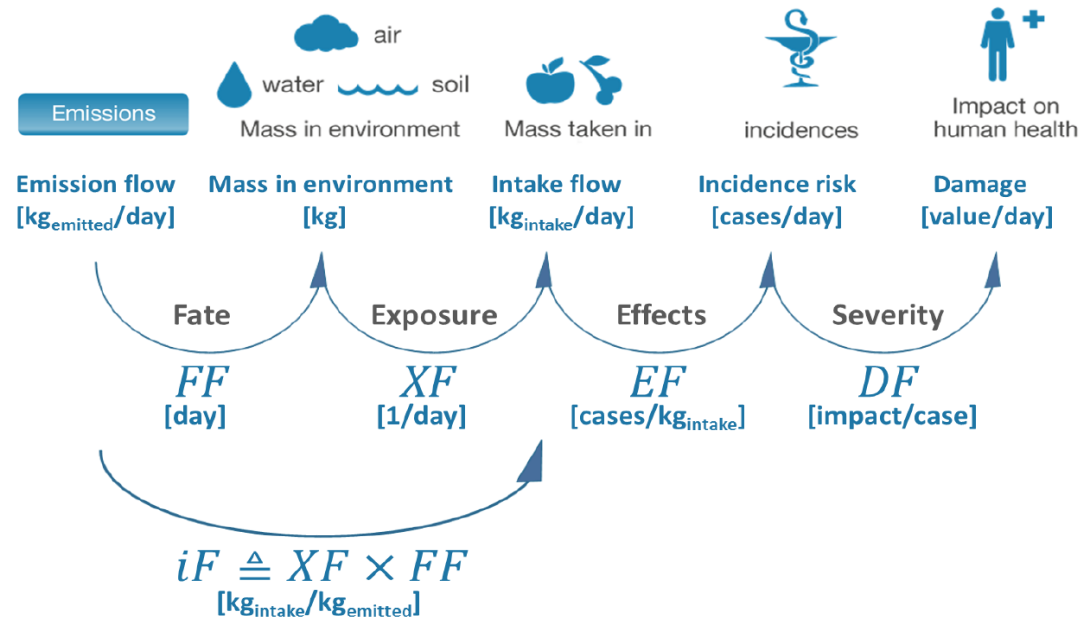


Développements

- Travail du JRC (Joint Research Centre) : prise de recul, évaluation des méthodes, recommandations
- Vers une standardisation des indicateurs utilisés, issus de l'évolution des méthodes précédentes
- Vers un besoin de compléments pour des besoins spécifiques ? (régionaux, secteurs spécialisés, ...)
- Développement d'indicateurs spatio-temporels
- ...

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : méthode de référence



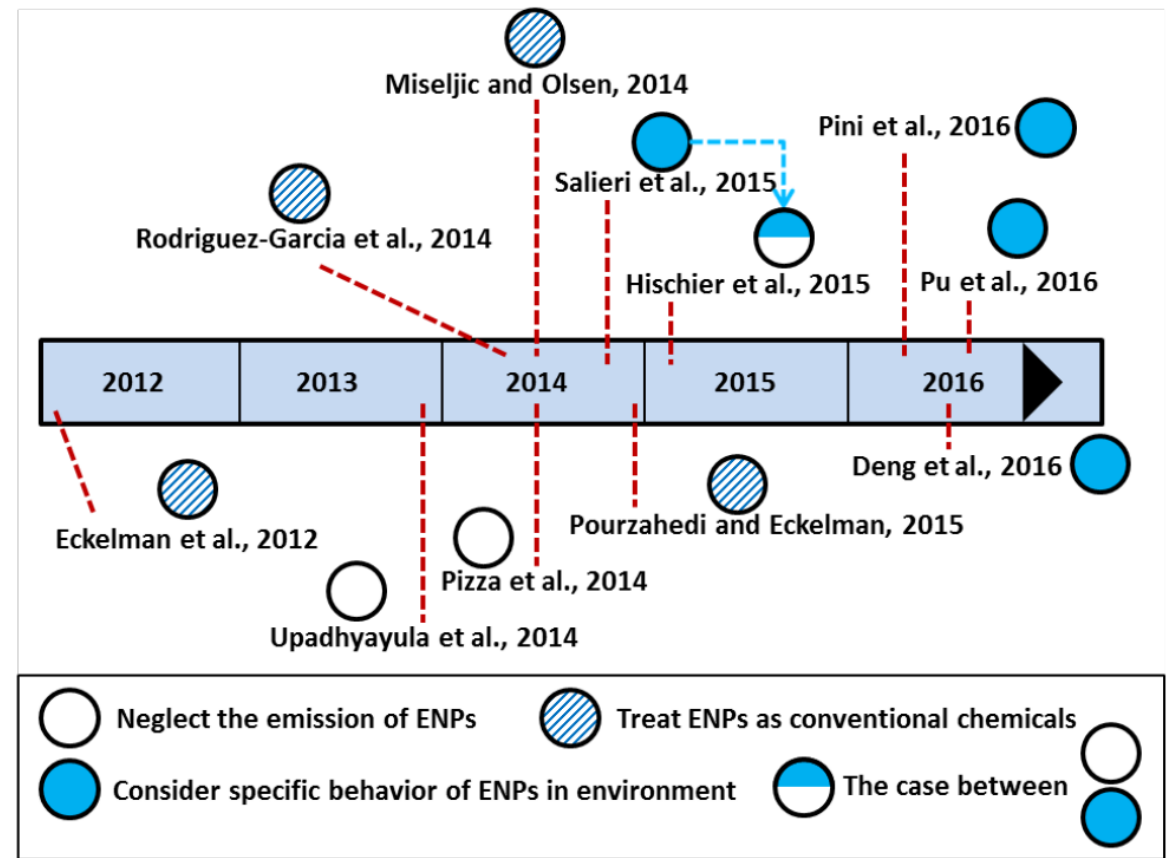
CF toxicité humaine = $EF \cdot iF$ avec $iF = FF \cdot XF$

CF écotoxicité = $EF \cdot FF \cdot XF$

$IS_x = \sum_i (CF_{xi}) \times M_i$, IS – score d'impact de toxicité

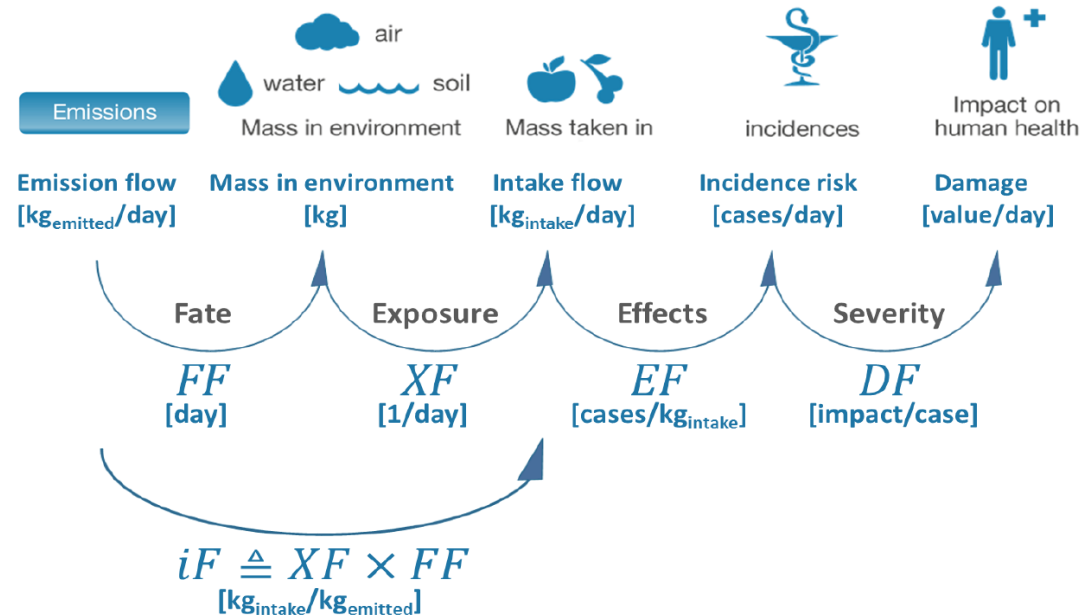
Exemple: Modèle de «tox.... »

- Où en est-on sur les évaluations environnementaux des nanos ?



Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : méthode de référence



Plusieurs limites pour chaque paramètres :

- FF : Considération temporelle limitée
- XF : Comment considérer une exposition potentielle ?
- EF : Sur quelle échelle temporelle ? Pour quel type de population ?
- MAIS surtout aucun facteur de caractérisation proposé pour les nanos dans le modèle !

Exemple: Modèle de «tox.... »

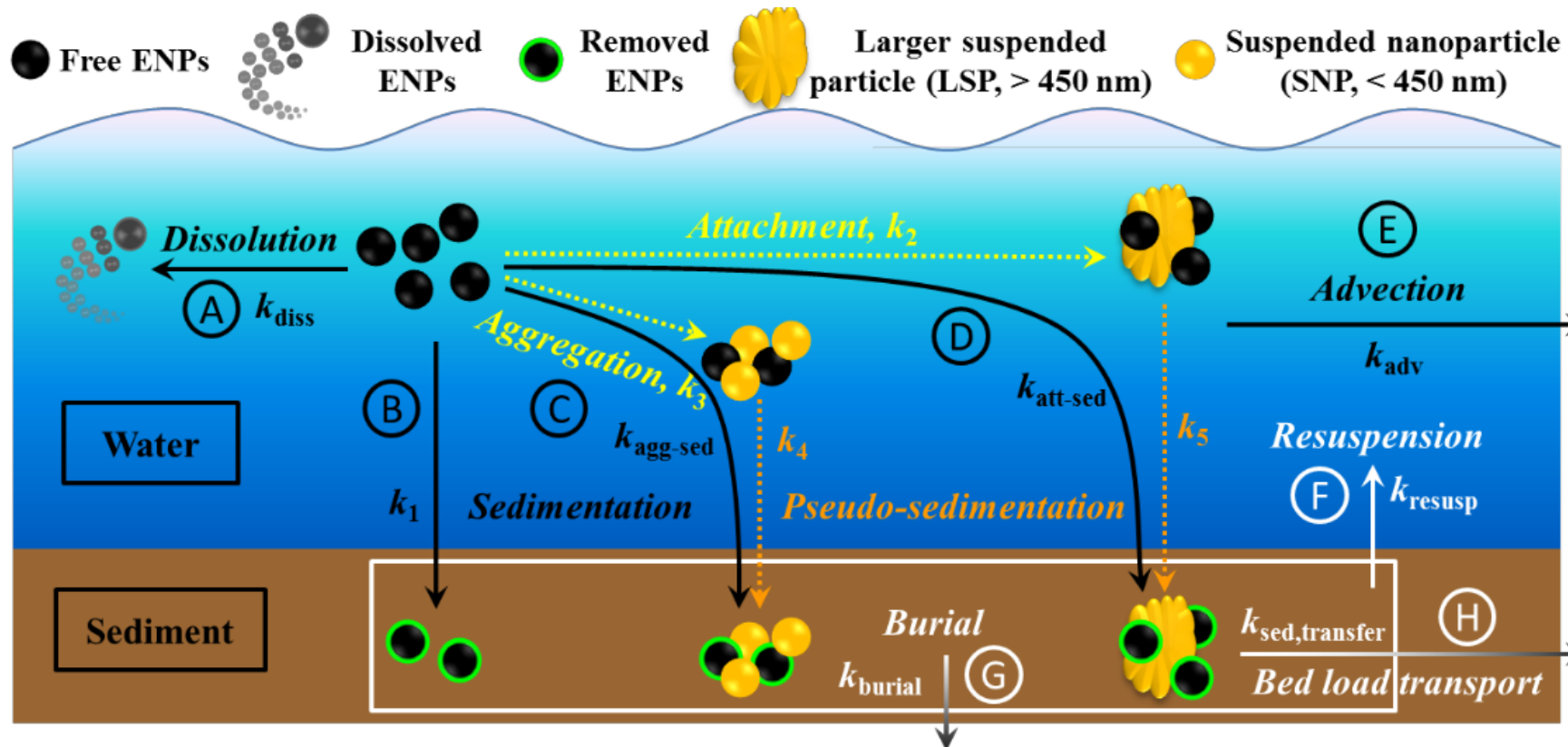
- USEtox : Proposition de facteur de caractérisation d'ENP pour l'homme (toxicité humaine) et l'eau (écotoxicité)
- Pour pouvoir se faire... développement et adaptation de chaque paramètres pour obtenir un impact potentiel :
 - « Fate Factor » spatialisé
 - « Exposure Factor » pour l'homme et l'eau
 - « Effect Factor » pour l'homme et l'eau

Exemple: Modèle de «tox.... »

- « Fate Factor » spatialisé

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : « Fate Factor »



+ 15 autres paramètres tel que le pH, densité, ...

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : « Fate Factor »

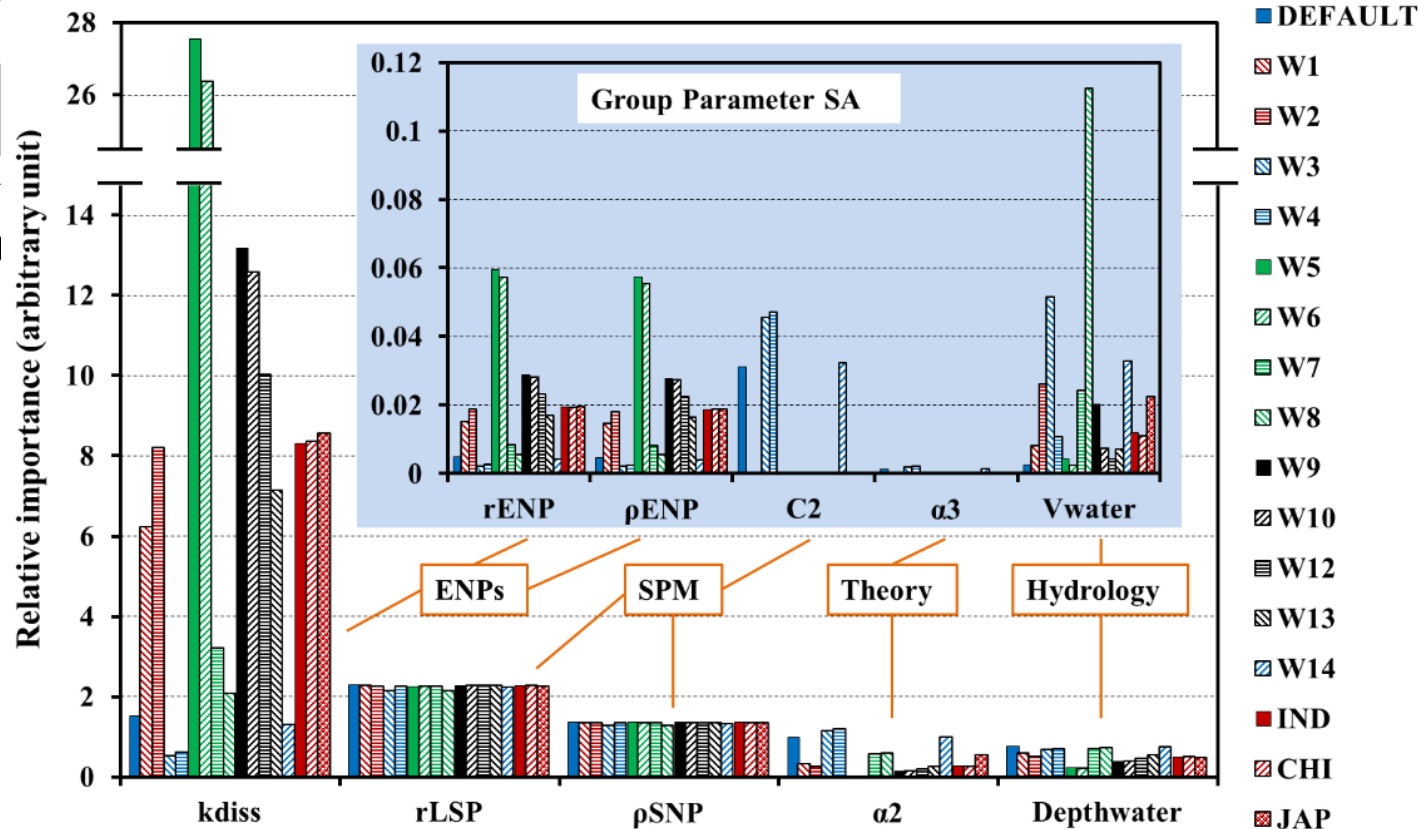


Regionalized world map visualized based on the USEtox model (Fantke et al., 2015) and a Ph.D. dissertation (Shaked, 2011)

DEFAULT Unknown region	W6 North, West, East and Central Africa	W13 Europe
W1 Central and west Asia	W7 Argentina+	W14 East Indies and Pacific
W2 Indochina	W8 Brazil+	IND India+
W3 Northern Australia	W9 Central America+ and Caribbean	CHI Eastern China
W4 Southern Australia and New Zealand	W10 USA & Southern Canada	JAP Japan and Korean peninsula
W5 Southern Africa	W12 Northern Europe and Northern Canada	

Exer

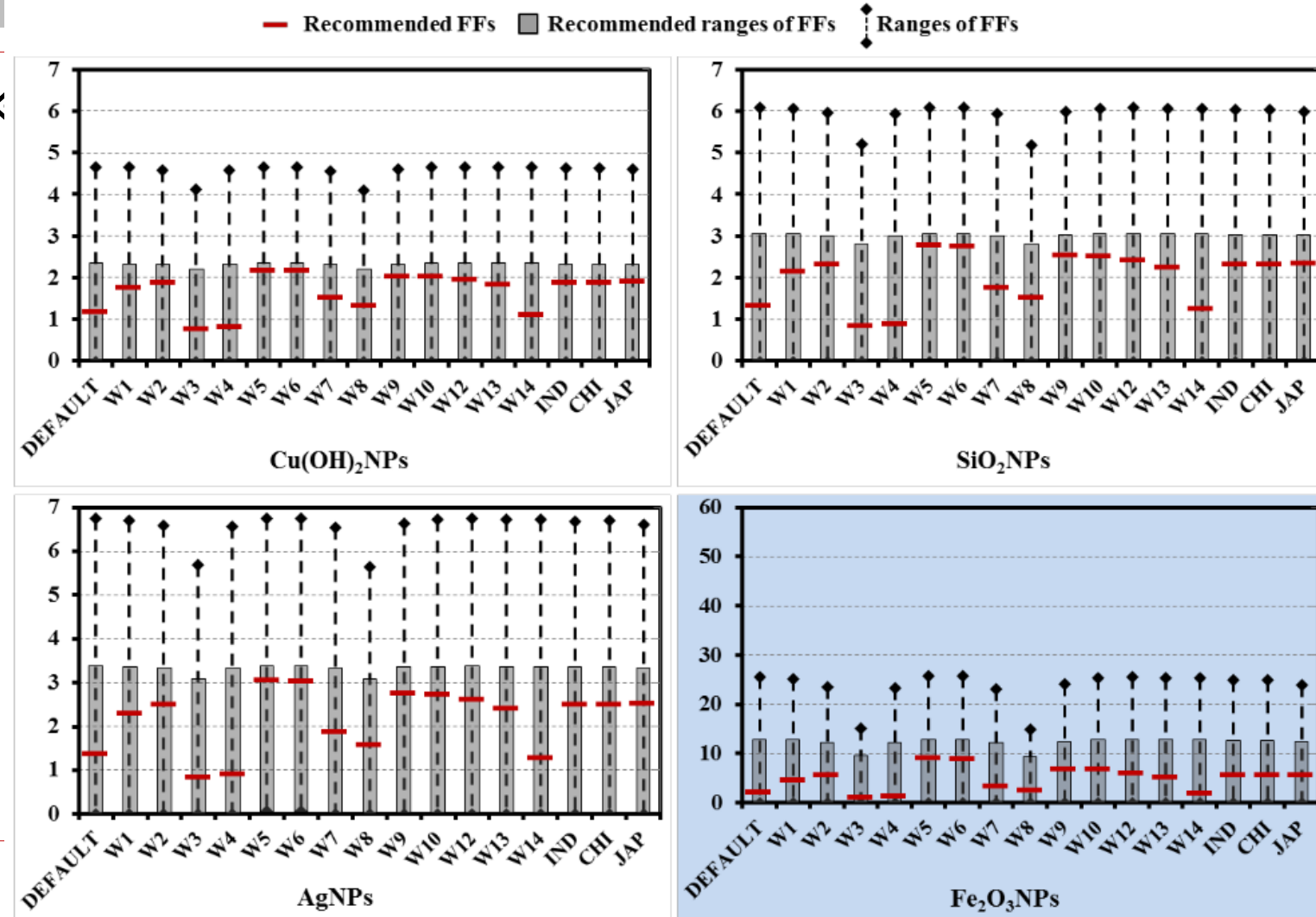
• USEto



Group	Parameters	Descriptions	Group	Parameters	Descriptions
ENPs	r_{ENPs}	Radius of ENPs	Theory	α_2	Attachment efficiency
	ρ_{ENPs}	Density of ENPs		α_3	Aggregation efficiency
	k_{diss}	Dissolution rate of ENPs	Hydrology	$Depth_{water}$	Depth of freshwater
SPM in freshwater	r_{LSPs}	Radius of larger suspended particles		T_{water}	Temperature of freshwater
	ρ_{SNPs}	Density of suspended particles		V_{water}	Volume of freshwater
	C_2	Concentration of larger suspended particles		$Depth_{sed}$	Depth of freshwater sediment
	C_3	Concentration of suspended nanoparticles			

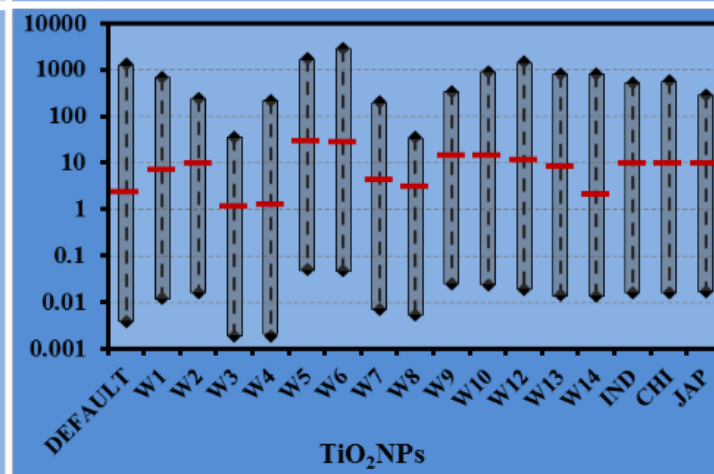
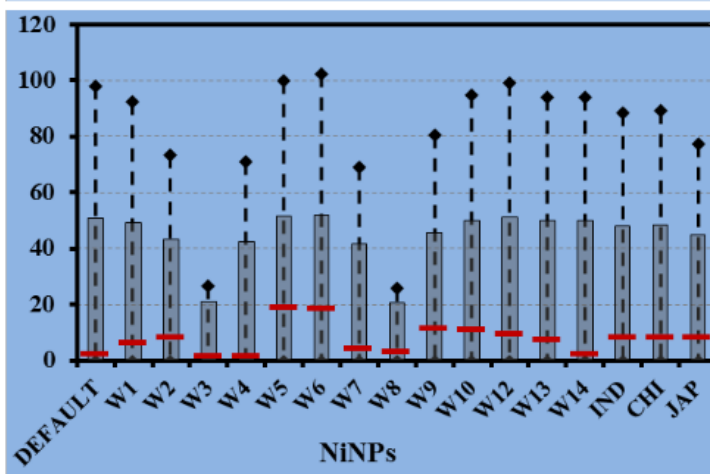
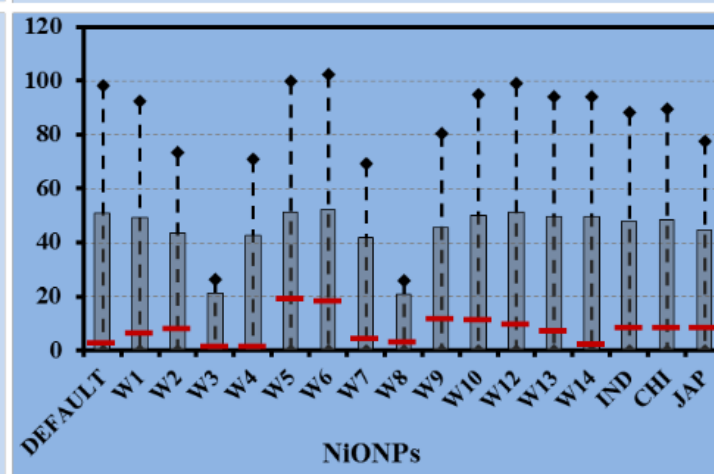
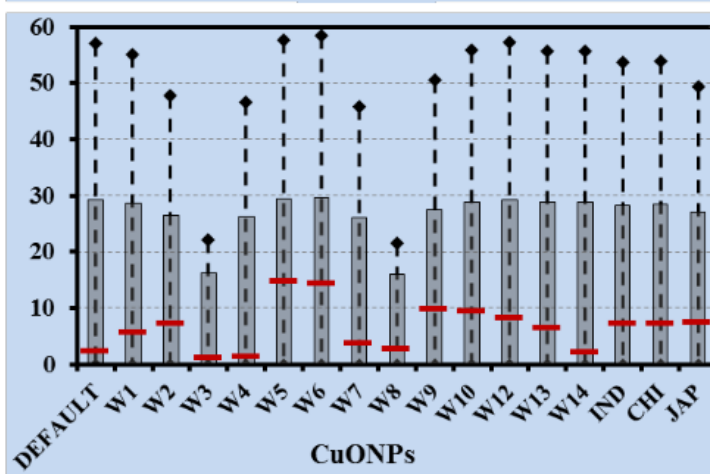
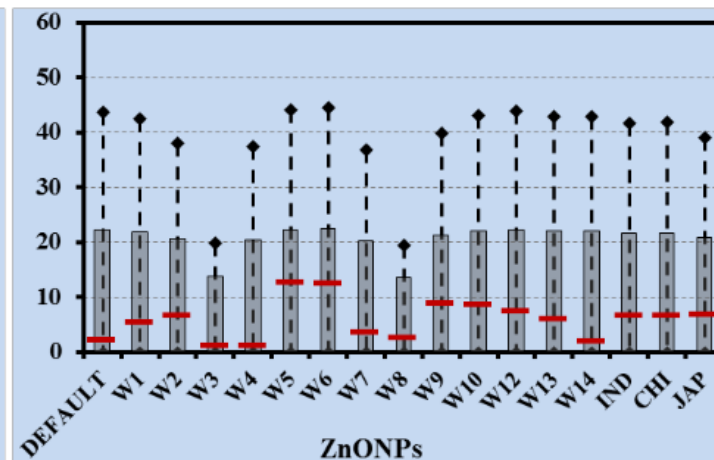
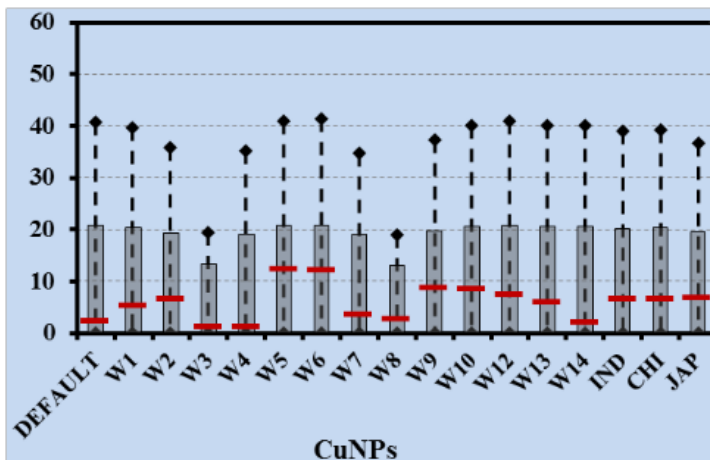
Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : <



Exemp

- USEtox :



Exemple: Modèle de «tox.... »

- « Exposure Factor » pour l'homme et l'eau

$$XF \text{ Indirect} = \frac{BAF \cdot IR}{\rho \cdot V} \cdot \text{population in the compartment}$$

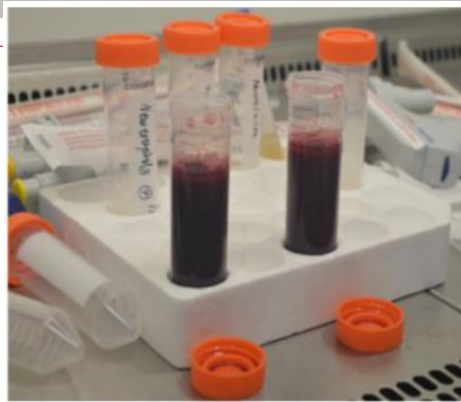
With:

- $BAF = \frac{C \text{ pollutant in the media (ex: } \frac{kg}{kg_{fish}} \text{)}}{C \text{ pollutant in the compartment (ex: } kg/kg_{water} \text{)}}$ as bioaccumulation factor in kg of compartment / kg of media
- $IR = \frac{kg \text{ of food}}{Day / Person}$ as the media or ingestion rate
- ρ as the density in kg (ex: water)/m³
- V as Volume in m³ where the substance is emitted (ex: water)

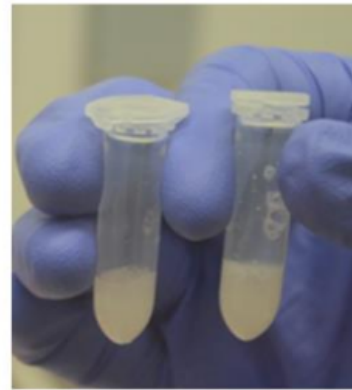
Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : « Exposure Factor » pour l'homme et l'eau
- Basé sur des mesures réalisées en laboratoire sur des neutrophiles de sang de porc pour l'homme
- Basé sur de la bibliographie pour l'eau

Exemple: Modèle de «tox.... »

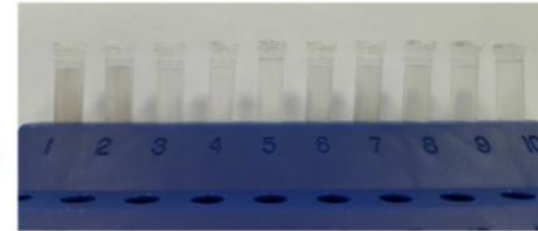


Freshly collected blood

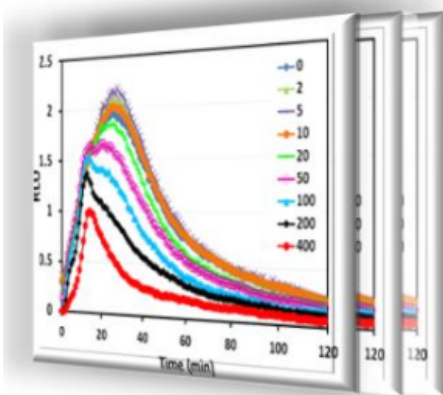


Porcine neutrophils

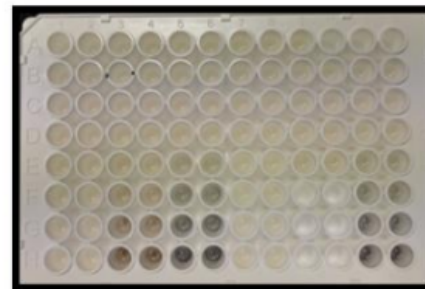
In vitro



Exposure neutrophils to ENPs under different conditions

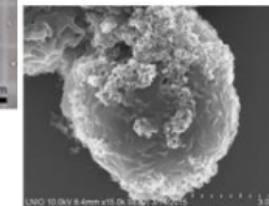
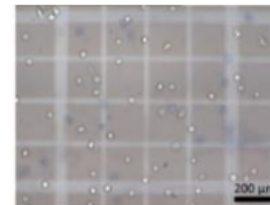


Chemiluminescence data



Mix with Luminol, zymosan, etc. in 96-well microtiter plate

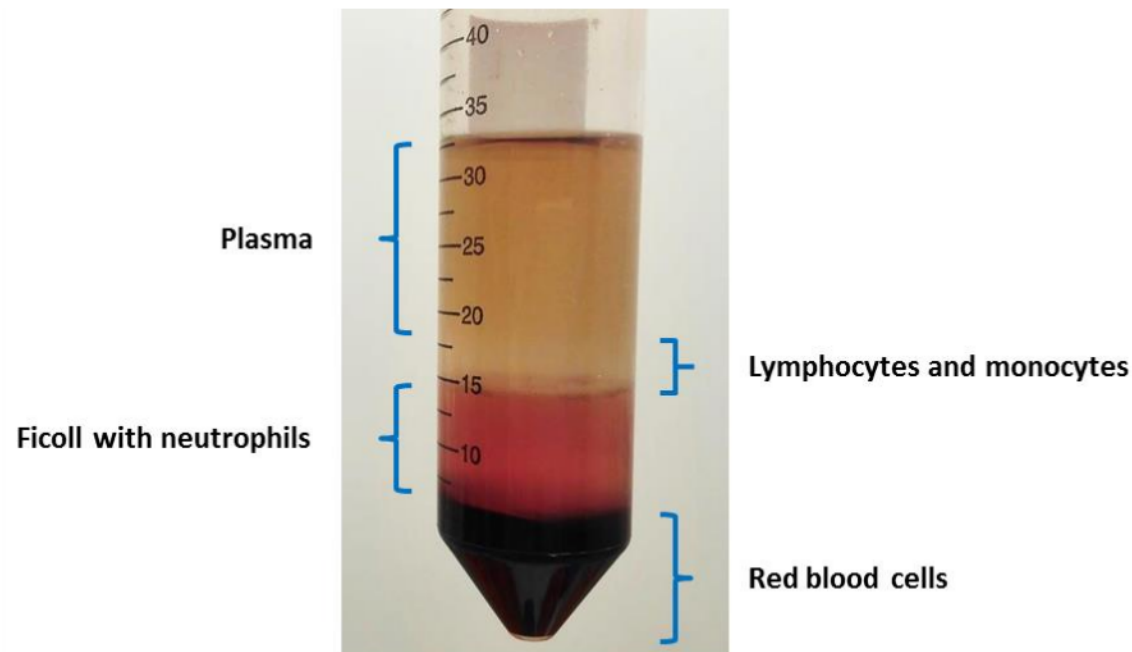
Mortality rate



Scanning electron microscope

Exemple: Modèle de «tox.... »

- Basé sur des mesures réalisées en laboratoire sur des neutrophiles de sang de porc pour l'homme

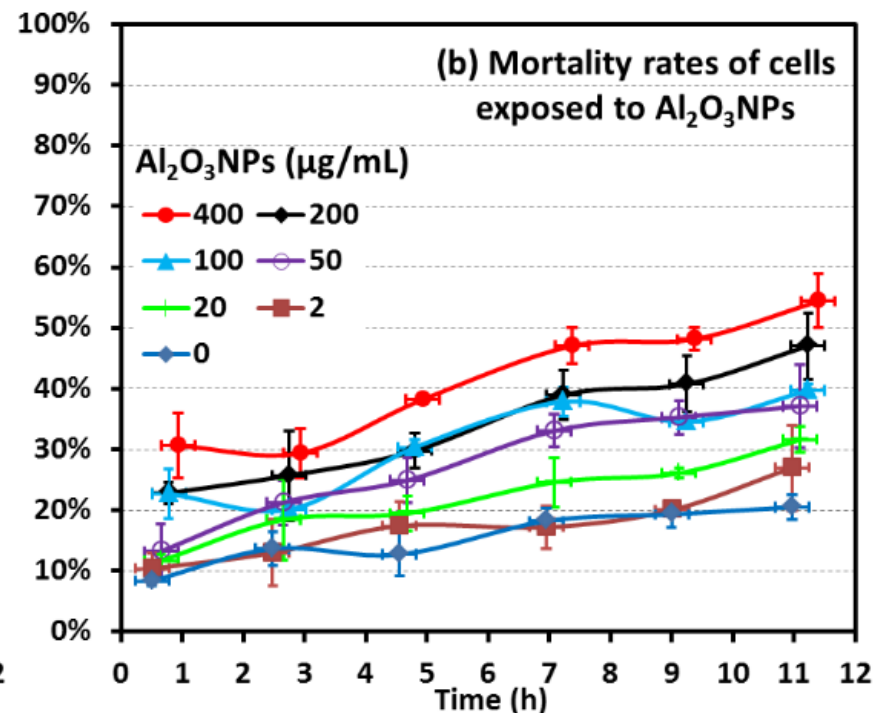
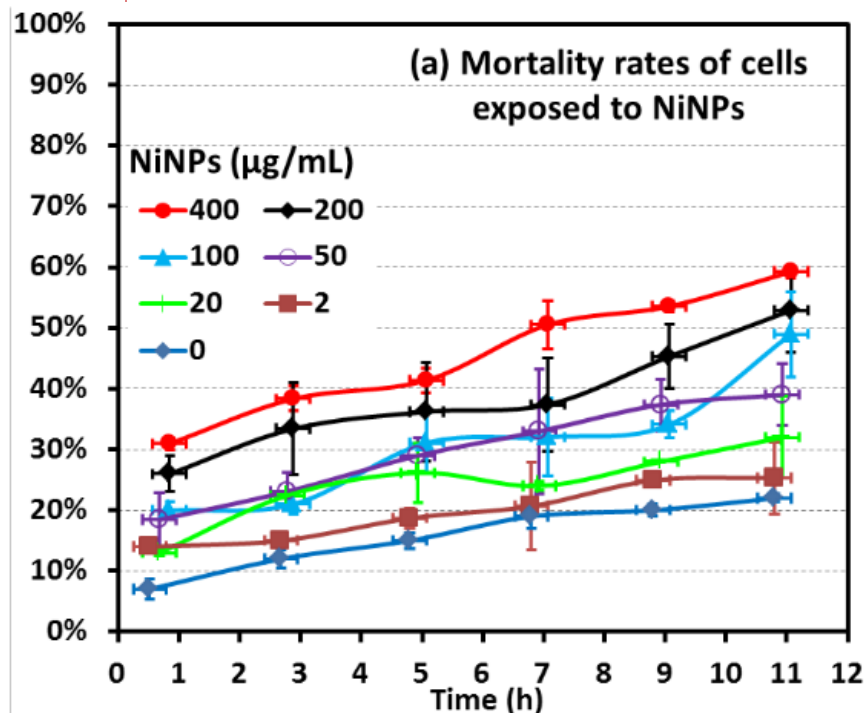


Nécessite de paramètres tel que :

- biocumulation
- biotransmission
- Concentration
- densité
- ...

Exemple: Modèle de «tox.... »

- Basé sur des mesures réalisées en laboratoire sur des neutrophiles de sang de porc pour l'homme



- Egalement le taux de mortalité des cellules

- D'après USEtox, sélection du taux à 9h

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : « Effect Factor » pour l'homme et l'eau

$$EF = \frac{\text{Number of case affected}}{\text{mg of pollutant taken}}$$

$$EF = \frac{0,5}{365 \left(\frac{\text{days}}{\text{year}} \right) \cdot 70 (\text{Human life time}) \cdot 70 (\text{weight of human}) \cdot ED_{50h}}$$

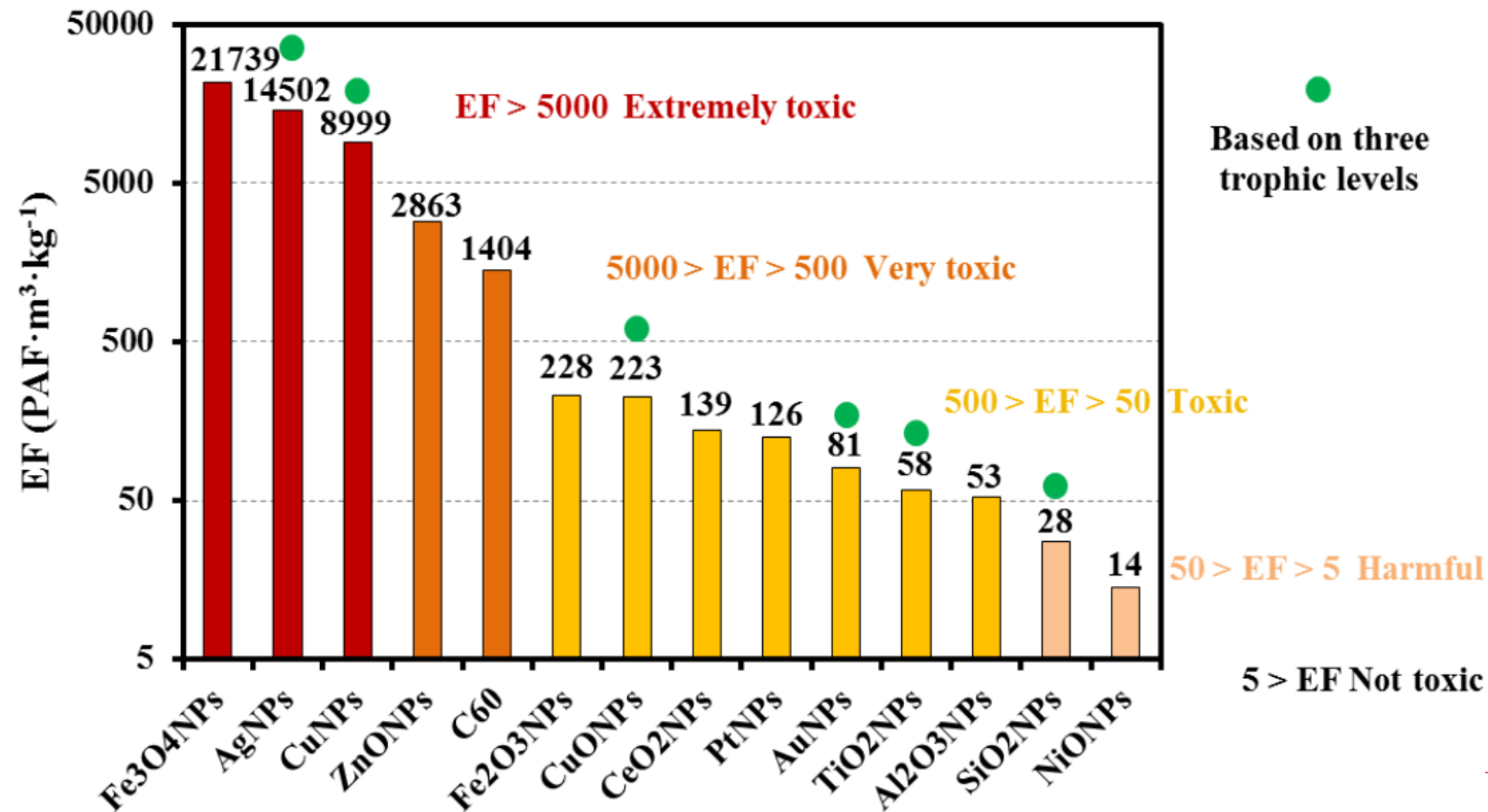
$$ED = \text{Effect Dose}$$

$$= \frac{\text{mg of pollutant}}{\text{kg person (70kg)/day}} \implies ED_{50h} = \text{Dose affecting 50\% of the population in Chronic}$$

$$ED_{50h} = \frac{ED_{50a}}{AF_t \cdot AF_a} \text{ with } ED_{50a} \text{ effect dose for animal, } AF_t \text{ the time (consult the timetable of USETox) and } AF_a \text{ the animal (in } \frac{\text{kg of person}}{\text{kg animal}} \text{)}$$

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : « Effect Factor » pour l'homme et l'eau

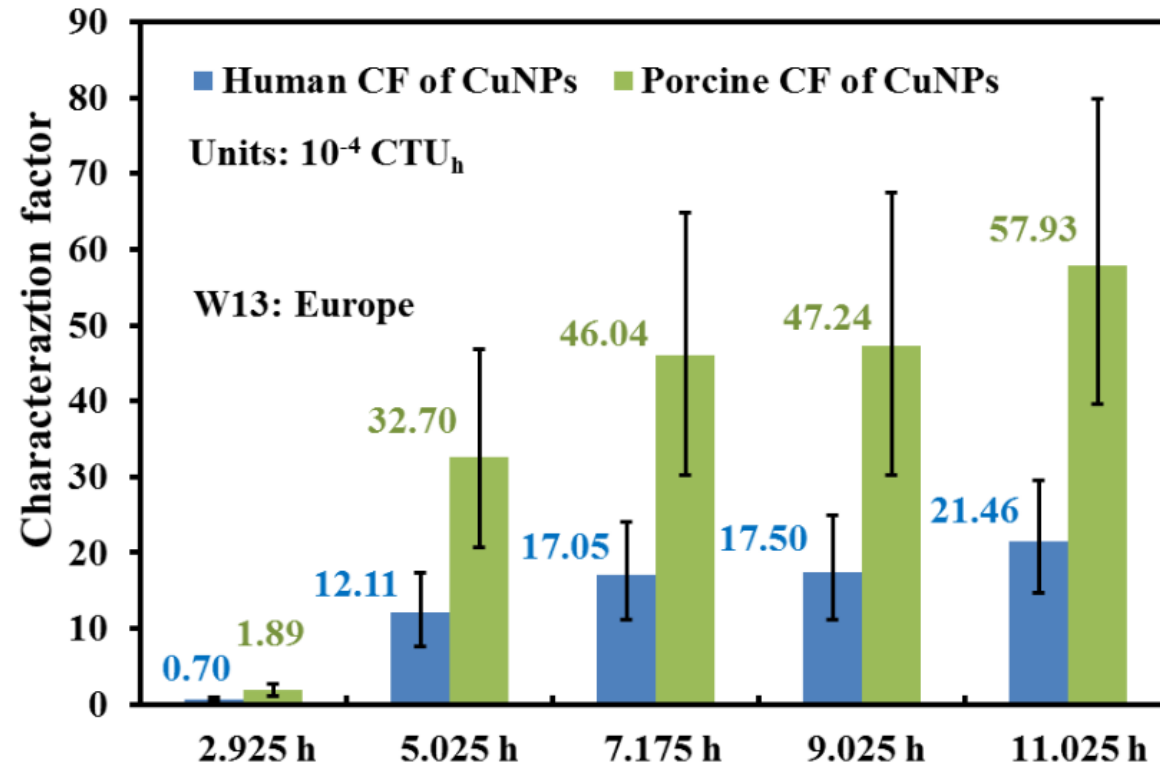


Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : Et enfin le facteur de caractérisation

Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : Et enfin le facteur de caractérisation

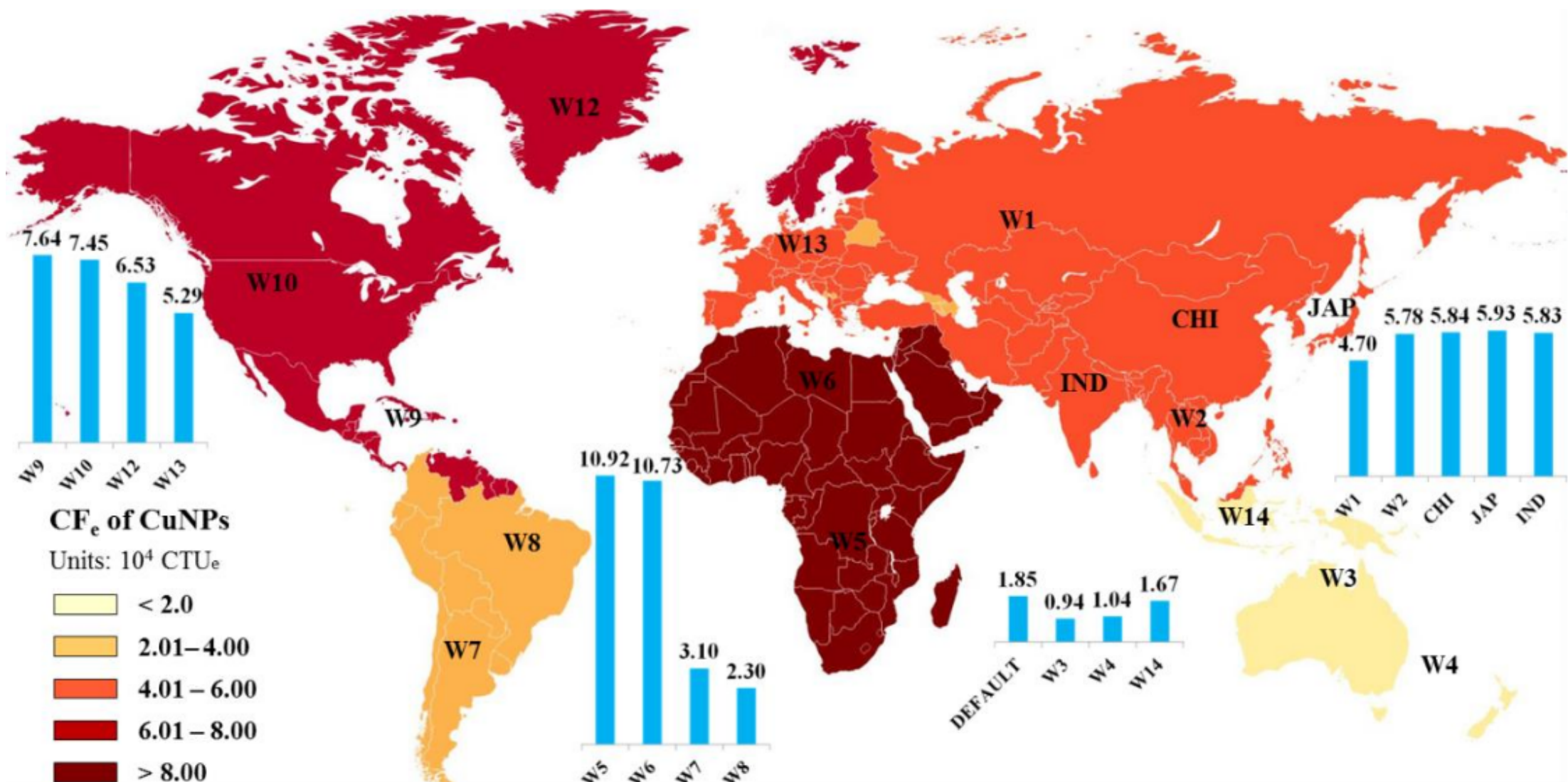


Human and porcine non-carcinogenic CFs of CuNPs for different exposure periods in Europe. Error bars represent the 95% confidence intervals.

	Human CF (10 ⁻⁴ CTU _h)					Porcine CF (10 ⁻⁴ CTU _h)				
	2.925 h	5.025 h	7.175 h	9.025 h	11.025 h	2.925 h	5.025 h	7.175 h	9.025 h	11.025 h
DEF.	0.2447	4.2415	5.9713	6.1268	7.5136	0.6606	11.4509	16.1207	16.5407	20.2846
W1	0.6209	10.7634	15.1529	15.5476	19.0668	1.6763	29.0583	40.9086	41.9744	51.4751
W2	0.7633	13.2311	18.6269	19.1121	23.4381	2.0606	35.7203	50.2874	51.5975	63.2764
W3	0.1246	2.1603	3.0413	3.1205	3.8269	0.3365	5.8322	8.2107	8.4246	10.3315
W4	0.1373	2.3803	3.3510	3.4383	4.2166	0.3707	6.4262	9.0469	9.2826	11.3836
W5	1.4426	25.0074	35.2057	36.1229	44.2992	3.8947	67.5131	95.0458	97.5219	119.5955
W6	1.4168	24.5591	34.5747	35.4754	43.5051	3.8249	66.3029	93.3421	95.7738	117.4518
W7	0.4098	7.1041	10.0012	10.2617	12.5844	1.1064	19.1790	27.0005	27.7039	33.9745
W8	0.3040	5.2692	7.4181	7.6114	9.3341	0.8206	14.2255	20.0268	20.5486	25.1996
W9	1.0091	17.4915	24.6248	25.2663	30.9853	2.7242	47.2223	66.4802	68.2122	83.6517
W10	0.9837	17.0519	24.0059	24.6313	30.2065	2.6557	46.0355	64.8094	66.4978	81.5493
W12	0.8625	14.9518	21.0493	21.5977	26.4862	2.3286	40.3657	56.8273	58.3078	71.5055
W13	0.6988	12.1127	17.0524	17.4967	21.4570	1.8865	32.7010	46.0369	47.2362	57.9279
W14	0.2210	3.8301	5.3921	5.5326	6.7849	0.5965	10.3403	14.5572	14.9364	18.3172
IND	0.7693	13.3363	18.7751	19.2642	23.6246	2.0770	36.0045	50.6875	52.0080	63.7798
CHI	0.7714	13.3712	18.8241	19.3145	23.6862	2.0825	36.0984	50.8198	52.1438	63.9463
JAP	0.7830	13.5722	19.1071	19.6049	24.0424	2.1138	36.6412	51.5840	52.9279	64.9078

Exemple: Modèle de «tox.... »

	Fe ₃ O ₄ NPs	AgNPs	CuNPs	ZnONPs	C ₆₀ NPs	Fe ₂ O ₃ NPs	CuONPs	CeO ₂ NPs	PtNPs	AuNPs	TiO ₂ NPs	Al ₂ O ₃ NPs	SiO ₂ NPs	NiONPs
DEF.	4.96E+04	1.98E+04	1.85E+04	5.94E+03	3.20E+03	4.43E+02	4.74E+02	3.18E+02	2.88E+02	1.84E+02	1.32E+02	1.21E+02	3.62E+01	3.10E+01
W1	1.51E+05	3.30E+04	4.70E+04	1.52E+04	9.76E+03	1.03E+03	1.26E+03	9.69E+02	8.76E+02	5.61E+02	4.01E+02	3.69E+02	5.89E+01	8.70E+01
W2	2.01E+05	3.59E+04	5.78E+04	1.88E+04	1.30E+04	1.23E+03	1.58E+03	1.29E+03	1.16E+03	7.46E+02	5.33E+02	4.91E+02	6.37E+01	1.11E+02
W3	2.40E+04	1.21E+04	9.44E+03	3.01E+03	1.55E+03	2.32E+02	2.38E+02	1.54E+02	1.39E+02	8.90E+01	6.37E+01	5.86E+01	2.25E+01	1.53E+01
W4	2.66E+04	1.30E+04	1.04E+04	3.32E+03	1.72E+03	2.55E+02	2.63E+02	1.70E+02	1.54E+02	9.86E+01	7.06E+01	6.49E+01	2.42E+01	1.69E+01
W5	6.23E+05	4.39E+04	1.09E+05	3.62E+04	4.02E+04	2.04E+03	3.27E+03	3.99E+03	3.61E+03	2.31E+03	1.65E+03	1.52E+03	7.66E+01	2.63E+02
W6	5.97E+05	4.37E+04	1.07E+05	3.55E+04	3.86E+04	2.01E+03	3.20E+03	3.83E+03	3.46E+03	2.22E+03	1.59E+03	1.46E+03	7.63E+01	2.56E+02
W7	8.97E+04	2.70E+04	3.10E+04	9.99E+03	5.79E+03	7.14E+02	8.10E+02	5.75E+02	5.20E+02	3.33E+02	2.38E+02	2.19E+02	4.87E+01	5.42E+01
W8	6.33E+04	2.27E+04	2.30E+04	7.39E+03	4.09E+03	5.42E+02	5.93E+02	4.06E+02	3.67E+02	2.35E+02	1.68E+02	1.55E+02	4.14E+01	3.91E+01
W9	3.09E+05	3.96E+04	7.64E+04	2.50E+04	2.00E+04	1.55E+03	2.15E+03	1.98E+03	1.79E+03	1.15E+03	8.21E+02	7.55E+02	6.98E+01	1.59E+02
W10	2.96E+05	3.93E+04	7.45E+04	2.44E+04	1.91E+04	1.52E+03	2.09E+03	1.90E+03	1.72E+03	1.10E+03	7.87E+02	7.24E+02	6.92E+01	1.54E+02
W12	2.41E+05	3.76E+04	6.53E+04	2.13E+04	1.55E+04	1.36E+03	1.81E+03	1.54E+03	1.40E+03	8.93E+02	6.39E+02	5.88E+02	6.64E+01	1.30E+02
W13	1.77E+05	3.47E+04	5.29E+04	1.72E+04	1.15E+04	1.14E+03	1.43E+03	1.14E+03	1.03E+03	6.58E+02	4.71E+02	4.33E+02	6.17E+01	1.00E+02
W14	4.43E+04	1.85E+04	1.67E+04	5.36E+03	2.86E+03	4.02E+02	4.27E+02	2.84E+02	2.57E+02	1.65E+02	1.18E+02	1.08E+02	3.39E+01	2.78E+01
IND	2.03E+05	3.60E+04	5.83E+04	1.89E+04	1.31E+04	1.24E+03	1.59E+03	1.30E+03	1.18E+03	7.54E+02	5.40E+02	4.96E+02	6.39E+01	1.12E+02
CHI	2.04E+05	3.61E+04	5.84E+04	1.90E+04	1.32E+04	1.24E+03	1.60E+03	1.31E+03	1.18E+03	7.57E+02	5.42E+02	4.98E+02	6.39E+01	1.13E+02
JAP	2.08E+05	3.63E+04	5.93E+04	1.93E+04	1.35E+04	1.26E+03	1.62E+03	1.34E+03	1.21E+03	7.74E+02	5.53E+02	5.09E+02	6.43E+01	1.15E+02



Exemple: Modèle de «tox.... »

- USEtox : Et enfin le facteur de caractérisation

	CF Ecotoxicité (Fresh water)		CF Humaine Toxicité	
	Particule	Nano-P	Particule	Nano-P
Cu	5,50E+04	1,85E+04	8,60E-07	6,13E-04
Ag	1,90E+05	1,98E+04		

Exemple: Modèle de «tox.... »

- Ces travaux font suites à la thèse de Yubing PU (Development of characterization factor in USEtox model of Nano-substances), co-encadré par Elena IONESCU et Bertrand LARATTE (soutenue en 2017)
- Publications
 - Y. Pu, B. Laratte, R. Marks, R.E. Ionescu, Impact of copper nanoparticles on porcine neutrophils: Proposition of an ultrasensitive characterization factor using chemiluminescence information and USEtox assessment model, Materials Today Communications 11, 68-75. Elsevier, 2017
 - Y. Pu, F. Tang, P.M. Adam, B. Laratte, R.E. Ionescu, Fate and Characterization Factors of Nanoparticles in Seventeen Sub- Continental Freshwaters: A Case Study on Copper Nanoparticles. Environmental Science & Technology 50(17), 9370-9379. ACS Publications, 2016
 - Y. Pu, B. Laratte, R.E. Ionescu, Influence of Dissolution on Fate of Nanoparticles in Freshwater, International Journal of Environmental Science and Development 8 (5), 347
 - Y. Pu, B. Laratte, R.E. Ionescu, Freshwater Sediment Characterization Factors of Copper Oxide Nanoparticles, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 51 (1), 012020

Conclusions

Encore beaucoup de limites :

- Spatialisation encore beaucoup trop large
- Non prise en compte de la géologie
- Non prise en compte des typologies génétiques de l'homme
- Non prise en compte des aspects temporels
- Extrapolation des tests animaux vers l'homme peu robuste
- ...

Merci de votre attention



Bertrand Laratte, I2M, Arts et Métiers ParisTech Bordeaux
Esplanade des Arts et Métiers
33405 TALENCE
Bertrand.laratte@ensam.eu

