

# Emballages alimentaires :

innover pour la sécurité et la durabilité

► Jeudi 8 juin 2017



# Impact environnemental et devenir des (micro) – plastiques dans l'environnement

► F. Faure & L. F. de Alencastro



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

ENAC IIE GR-CEL

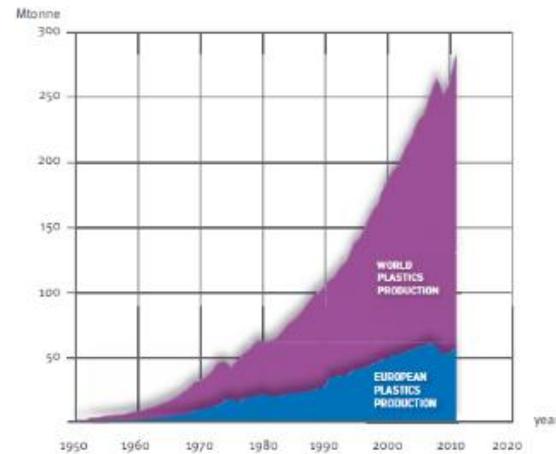


# Déroulement

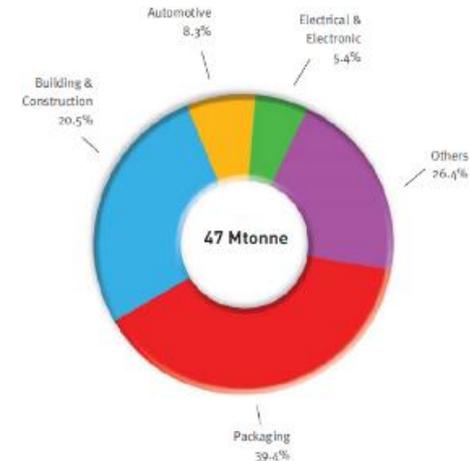
- Contexte
  - Les microplastiques
  - Étendue et dynamique
  - Impacts environnementaux
- Etat des connaissances
- Recherches GR-CEL
  - Buts et méthodes
  - Résultats étude microplastiques en Suisse
- Perspectives

# Usages et déchets

- Des millions de types de produits
- Déchets plastiques en Suisse:
  - Incinération 83 %
  - Recyclage 10%
  - Valorisation énergétique 7%
- Pas de plastique en décharge (= pas de problème ?)



Evolution de la production de plastique *PlasticsEurope 2011*



Demande européenne de plastique *PlasticsEurope 2011*

# Microplastiques

- < 5 mm, limite inférieure ?
- Primaires ou secondaires
- Nature et état divers
- Densités variables : 70% coulent
- Contiennent des additifs
- Interagissent avec des micropolluants hydrophobes

Type	Applications	Specific gravity
Polyethylene	Plastic bags, six-pack rings, fishing gear	0.91-0.95
Polypropylene	Rope, caps, gear, strapping	0.90-0.92
Polystyrene (expanded)	Bait boxes, caps, floats	0.10-1.05
Polystyrene	Utensils, containers	1.04-1.09
Polyvinyl chloride	Film, pipes, containers	1.16-1.30
Polyamide/nylon	Gear, rope	1.13-1.15
Polyethylene terephthalate (PET)	Bottles, strapping, gear	1.34-1.39
Polyester resin & glass fibres		>1.35
Cellulose acetate	Cigarette filters	1.22-1.24

Densité de plastiques courants. *Andrady, 2011*

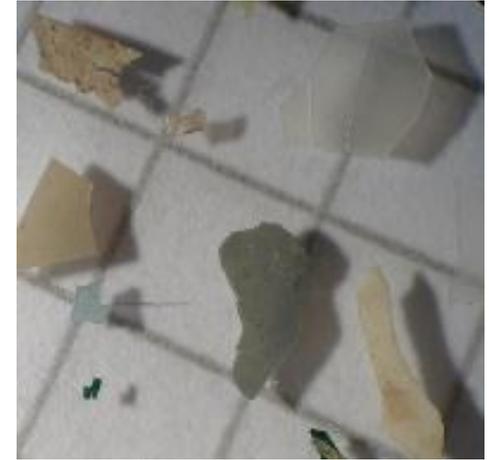
# Microplastiques



Microplastiques primaires - billes



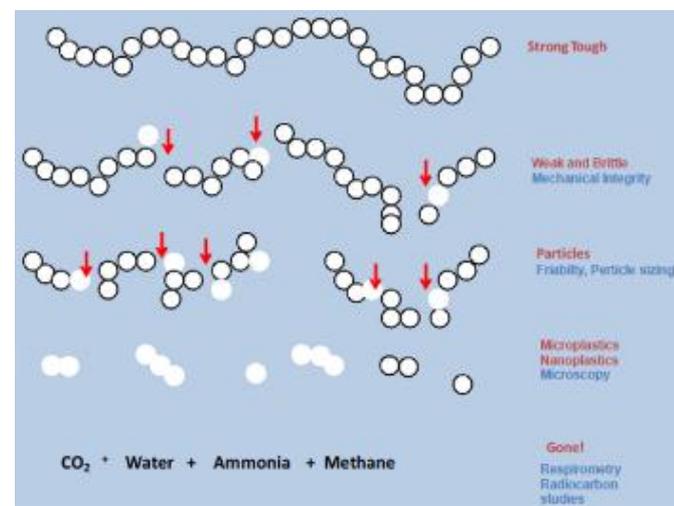
Microplastiques secondaires -  
fragments



Microplastiques secondaires -  
films

# Devenir des particules

- Dégradation
  - UV
  - Chaleur
  - Oxygène
- Fragmentation
- Vitesse dépendante du substrat:  
plages > surface > fond



Dégradation des polymères. Andrady 2011



Bouteilles, rade de Nice. *Bouteillesalamer.org*, 2012

# Impacts physiques

- Voies respiratoires
- Voies digestives
- Filtration
- Photosynthèse
- A toutes les échelles



Zooplancton et microplastiques. *Cole et al. 2013*



Tortue marine. *Algalita 2010*

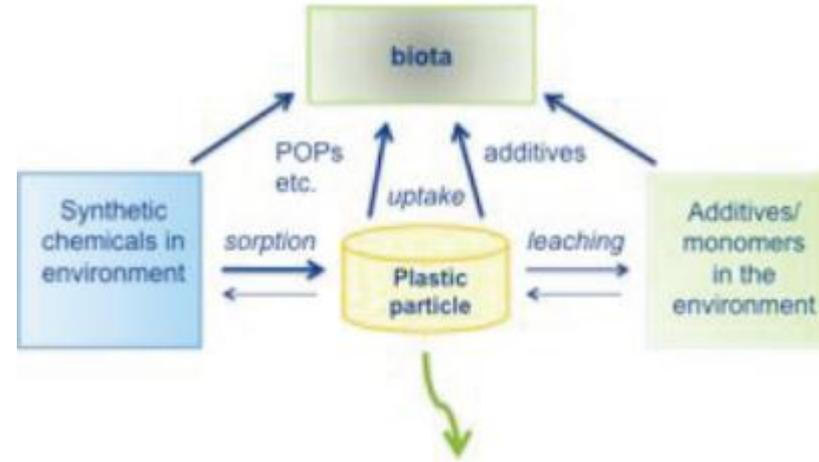
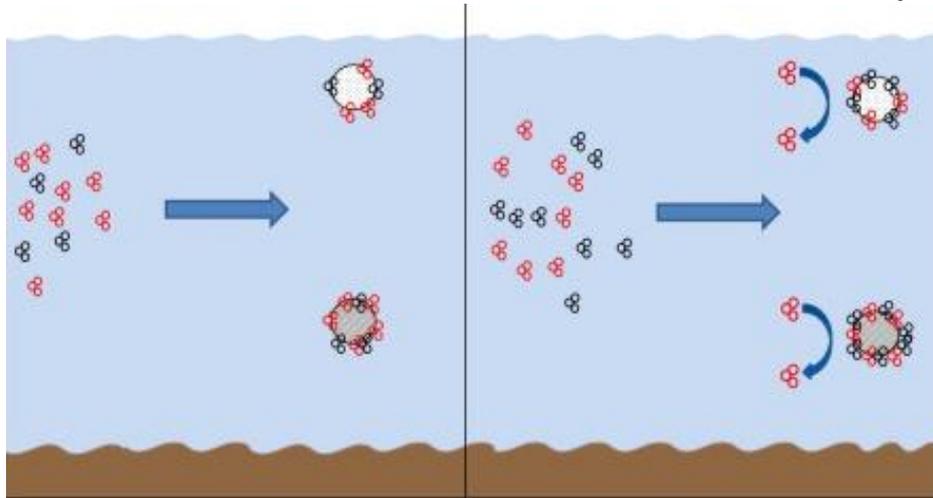


Restes de jeune albatros. *Wikipedia 2013*

+ Atteintes au paysage !

# Impacts chimiques potentiels

- Sorption de POPs
- Additifs potentiellement toxiques
- Lessivage et largage des polluants ?
- Assimilation et bioaccumulation en question



Interactions des microplastiques dans l'environnement.  
GESAMP, 2012

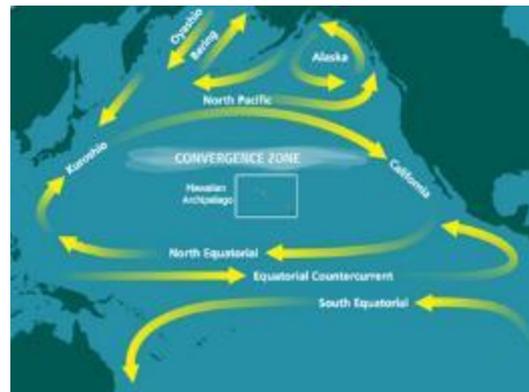
Sorption de micropolluants. *Bakir et al., 2012*

# Historique

- Premières observations début 70
- Vortex du Pacifique Nord: fin 90



Plage de Hawaï. *Algalita* 2013



Gyre du Pacifique Nord et zone de convergence. *Wikipedia* 2013

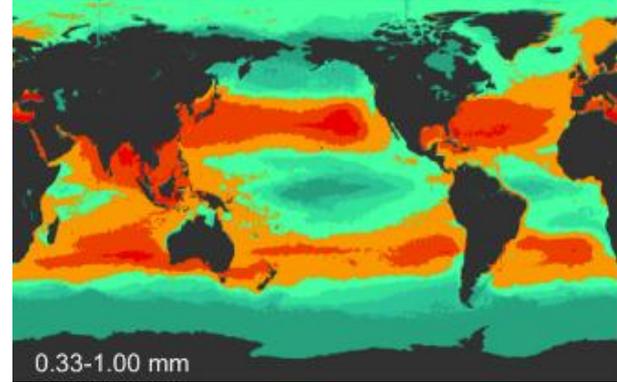
- Prise de conscience et intérêt croissants
- État des lieux en cours: 250'000 tonnes dans les océans ?

# Répartition globale

- Continents de pastiques vs. soupe de plastique
- Des concentrations très variables



Pollution côtière. *Susan Casey, 2010*



Modèle de concentrations. *Eriksen et al. 2014*

- Des flux constants
- Evolution temporelle incertaine: fragmentation, biofouling, ...
- Une origine terrestre (à 80% ?)



# Echantillonnage de surface

- Filet Manta
  - Usage standard, facile d'utilisation
  - Chalut flottant, volume constant
- Transects dans différentes zones
- Oxydation de la matière organique
- Tri, identification et quantification manuels



Manta trawl: 60\*18cm, 15kg, 300 um mesh.



Filtrat



Plancton et plastique



Microplastiques isolés

# Echantillonnage des plages

- Différentes expositions, fréquentation, substrats
- Quadrats: 0.3\*0.3\*0.05 m
- Rinçage
- Séparation par densité
- Oxydation M.O.
- Tri, etc.



Quadrat



Sédimentation

# Faune

- Dissection et analyse du tractus digestif
- 5 espèces de poissons du Léman : ablette, perche, gardon, vandoise, corégone - \*10 individus
- 10 oiseaux d'eaux : héron, cygnes, canards
- Tamisage, séchage, oxydation M.O.



Plastic in fish guts. *Algalita, 2010*



Pelote de réjection de mouette, Léman.  
*Corbaz, 2010*

# Caractérisation des particules

- Polymères synthétiques par spectroscopie FT-IR-ATR
  - Composition (PE, PP, ...)
  - Propriétés (densité, etc.)
- Typologie
  - Aspect et nature (usage)
  - Indications de l'origine
- Comportements différents
  - Dégradation
  - Adsorption



*Fragments*



*Pellets*



*Films*



*Mousses*

# Analyse des polluants

- Polluants adsorbés et contenus:
  - PCBs, PAHs, pesticides organochlorés
  - BPA, PBDEs (ignifuges), Nonylphénol, Phtalates
- Echantillonnage adapté
  - Contenants
  - Stockage
  - Blancs
- Extraction
- Purification
- GC-MS/LC-MS

Extraction Soxhlet, purification, GC-MS



# Surface - aperçu

- Concentrations considérables
  - Tous les échantillons contenaient des microplastiques
  - Grande variabilité entre les lacs, et en leur sein
- Influence du vent et de la pluie sur les mesures
- Situation comparable à la pollution océanique
  - Grosses concentrations en nombre de particules, mais faibles masses

Water Body	Area [km <sup>2</sup> ]	Residence		micro			meso	
		time [y]	Population	[#/km <sup>2</sup> ]	[mg/km <sup>2</sup> ]	max [#/km <sup>2</sup> ]	[#/km <sup>2</sup> ]	[mg/km <sup>2</sup> ]
Lake Geneva	581.3	11.4	1040000	184054	34109	393860	2304	41034
Lake Constance	536	0.08	1448000	61084	44750	72219	831	15751
Lake Neuchâtel	217.9	8.25	260000	49662	5931	62409	429	2897
Lake Maggiore	212.3	4.12	550000	218337	68662	392242	6502	167797
Lake Zurich	68.15	1.4	330000	10945	3685	14772	579	12889
Lake Brienz	29.8	2.69	26600	35781	4502	67336	945	27899
Lake Erie	25744	2.6	12400000	105503		466305		
Lake Hovsgol	2760	400	6000	19213		34564		

# Plages - aperçu

- Concentrations localement élevées
  - Plastiques dans tous les échantillons, certaines zones préservées
- Importance de l'exposition aux vents et courants
  - Question du dépôt / resuspension
- Proximité des affluents



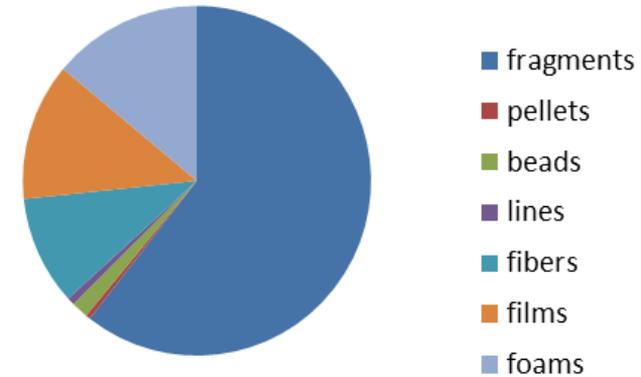
Lac de Brienz, embouchure de l'Aar

Water Body	micro		meso	
	[#/km <sup>2</sup> ]	[mg/km <sup>2</sup> ]	[#/km <sup>2</sup> ]	[mg/km <sup>2</sup> ]
Lake Geneva	2083	959	156	18146
Lake Constance	319	244	8	1274
Lake Neuchâtel	706	922	17	6383
Lake Maggiore	1163	433	31	15898
Lake Zurich	464	6313	3	691
Lake Brienz	131	20	272	16549
Lake Garda (max)	108-1108		8.3-483	
Marine, total	0.21-77000 #/km <sup>2</sup>			

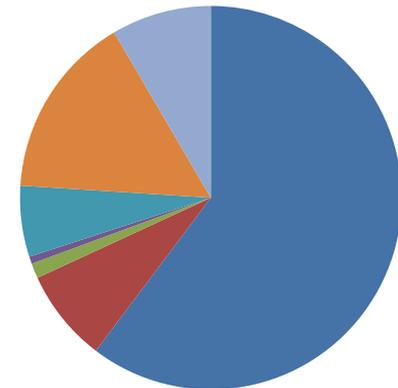
# Typologie, aperçu

- Surtout des fragments
- Mixage différencié à la surface
- Fraction restreinte de microplastiques primaires, i.e. venant de l'industrie

Microplastic types,  
surface, #

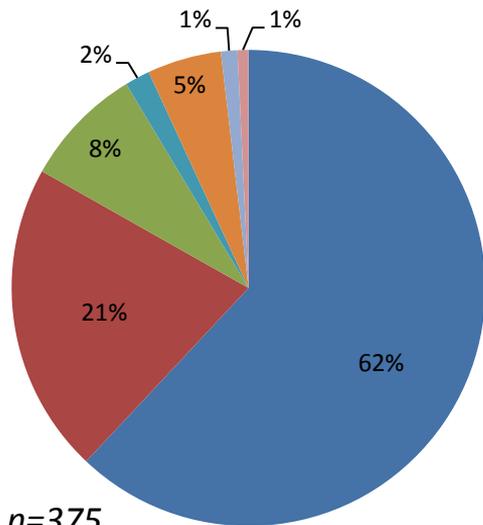


Microplastic types, surface, mg

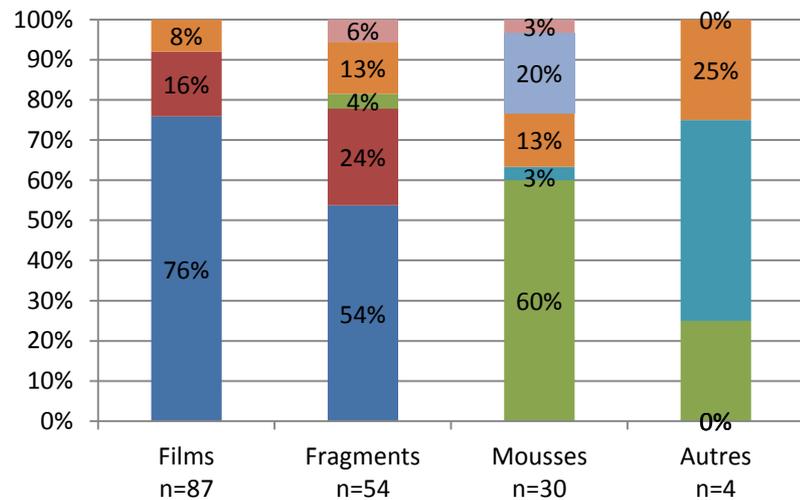
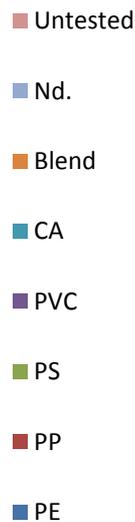


# Composition

- Spectroscopie FT-IR sur les échantillons les plus abondants
- Accent sur les gros microplastiques ( > 1 mm)
- < 2 % non identifiés



6 locations, n=375

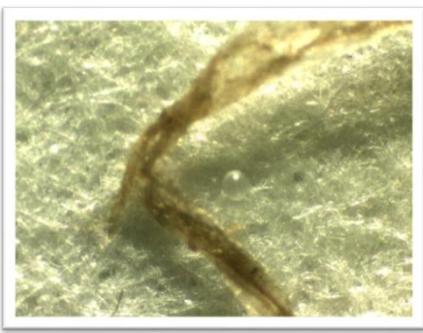


# Polluants

- Tous supérieurs à la LOD, la plupart à la LOQ
- Particules plus petites plus contaminées
- Microplastiques comme sources d'additifs, puits de polluants hydrophobes

	Mean	Median	Interval	LOD	LOQ	N. Pacific Gyre	Beach, San Diego	Mediterranean
	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]	[ng/g]
<b>PCBs</b> (Σ7)	97.6	32.5	<b>0.4-548.2</b>	0.2-1.4	0.4-2.3	0-2856	2.5-47	
<b>OCPs</b> (DDTs, Mirex, HCB)	187.3	37.5	<b>1.4-2'715</b>	0-0.7	0-2.0	0.02-2700	0.56-75	
<b>PAHs</b> (Σ14)	1'202	523	<b>86-5'714</b>	0-13.0	0-27.9	1-14500	18-1900	
<b>PBDEs</b> (Σ13)	125.9	107.2	<b>0.2-419.1</b>	0-35.8	0-96.0			
<b>Bisphénol A</b>	16.6	-	<b>4.8-28.3</b>	0	0	0-800		
<b>Nonylphénol</b>	199.3	92	<b>0-612.2</b>	0	0	0-4000		
<b>Phtalates</b> (Σ7)	18'039	8'924	<b>528-111'604</b>	0-1'721	0-3'346.0			5-172

# Faune

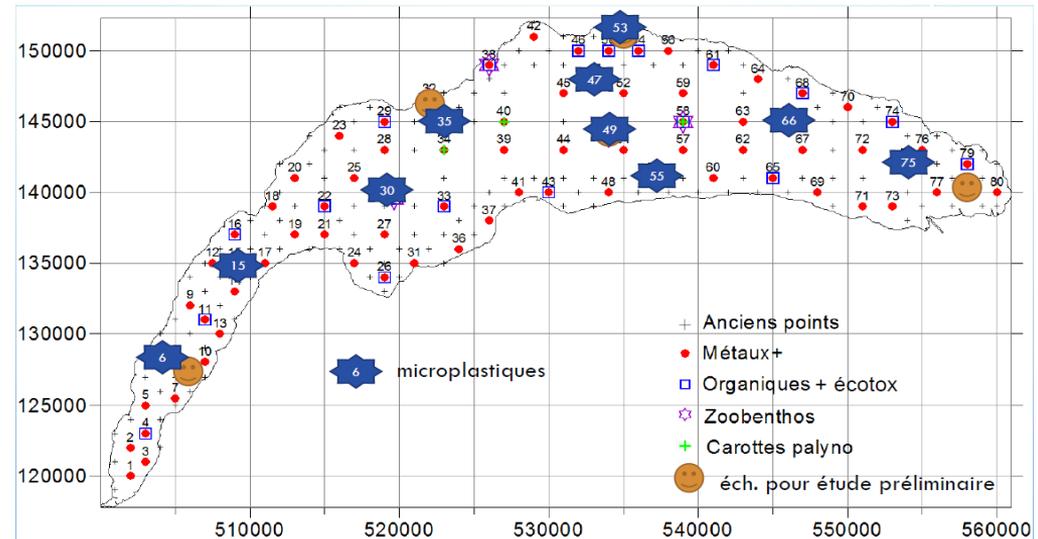


Pelote de réjection de mouette,  
Léman. Corbaz, 2010

- Dissection et analyse des voies digestives
- 4 espèces de **poissons** du Léman, 40 individus
  - 3 contenaient du plastique (7.5 %, rivières française: 12 % -Sanchez et al 2014). **Gougeons** 2016: 60% (50µm tamis, fibres surtout)
- 8 des 9 **oiseaux** étudiés avaient avalé du plastique
- Fibres et microbilles trouvées dans des **moules zébrées**
- Besoin d'évaluations écotoxicologiques sérieuses, y compris avec des particules et organismes plus petits

# Sédiments du Léman

- Prélèvement par benne (CIPEL)
- Rinçage, tamisage, décantation dans solution saturée NaI (densité 1.8)
- Comptage, pesage
- Tri: types et composition



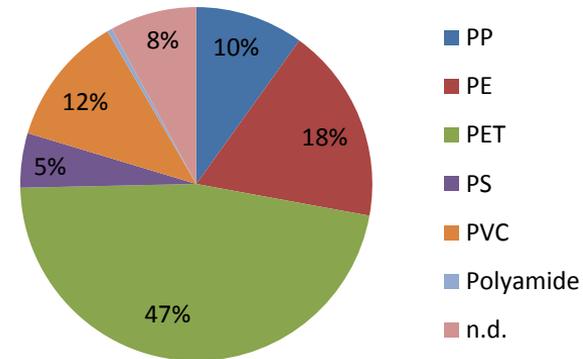
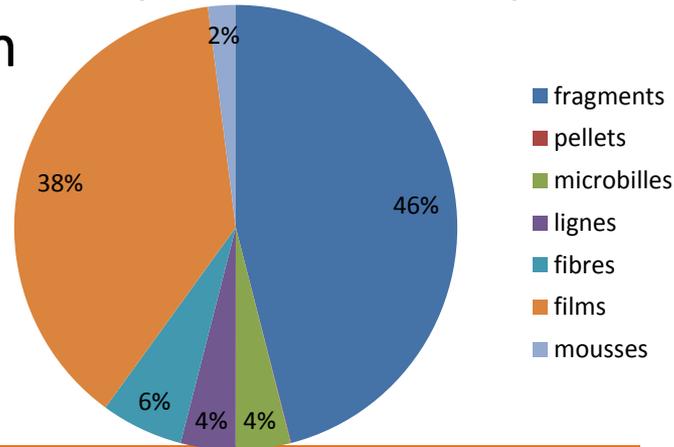
# Résultats

- Grande variabilité
- Concentrations significatives en nombre et masse
- Apparemment de plus grandes concentrations proches des berges (et baie de Vidy), mais faible significativité statistique

Echantillon	6	15	30	35	47	49	50	53	54	55	66	75
#	15	22	31	110	12	7	102	189	401	79	54	208
mg	253,2	222,5	361,4	670,8	110,1	51,7	303,3	508,9	802,5	602,2	412,6	512,9
MS [g]	123,2	100,1	200,1	145,3	171,3	142,3	164,8	172	210,2	104,3	202,1	99,2
#/g MS	0,1	0,2	0,2	0,8	0,1	0,0	0,6	1,1	1,9	0,8	0,3	2,1
mg/g MS	2,06	2,22	1,81	4,62	0,64	0,36	1,84	2,96	3,82	5,77	2,04	5,17

# Types et composition

- Fragments et films bien plus nombreux, surtout en masse (mais pellets assez denses et significatifs en proportion massique)
- Composition correspondante à la production et la consommation



# Sources potentielles

- Ruissellement, déversoirs
- STEPs
- Industries
- Chantiers
- Agriculture
- Déchets sauvages



Industrie

Décharges sauvages



Agriculture

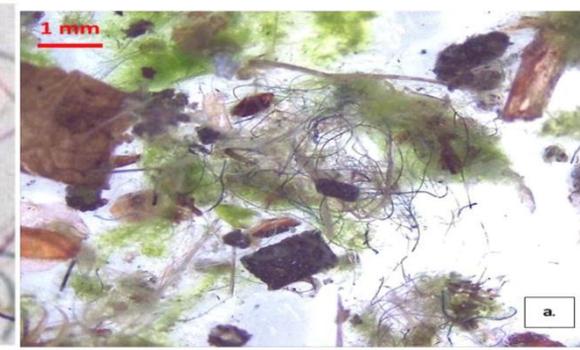
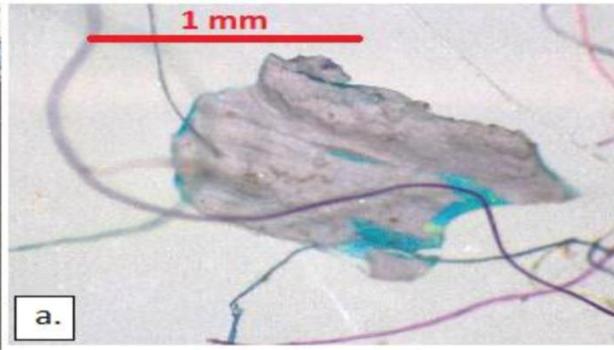


# Flux

- STEP
  - Apport mineur mais constant de particules primaires et secondaires
  - La plupart des plastiques sont retenus
  - Fibres synthétiques (lave-linges).
- Déversoirs d'orage, eaux de ruissellement urbaines
  - Toutes catégories, proportion importante de mousses
  - Evènements ponctuels mais apports considérables
  - Questions sur les réseaux séparatifs/unitaires
- Apports éoliens (fibres synthétiques, déchets, ...)

# Déposition atmosphérique (2016)

- Entonnoirs (42,2 cm diam.), 3 emplacements Vaud.
- Dépôt humide et sec, pendant 50 jours.
- Filtré à 300  $\mu\text{m}$ . FT-IR-ATR identification.
- Principalement des fibres
- Entre 731 (rural) et 3'660 (urbain) fibres synthétiques/m<sup>2</sup>/y.
- Directement sur le lac:  $4.3 \times 10^{11}$ /y ou 34 kg/y



# Plastiques dans les composts

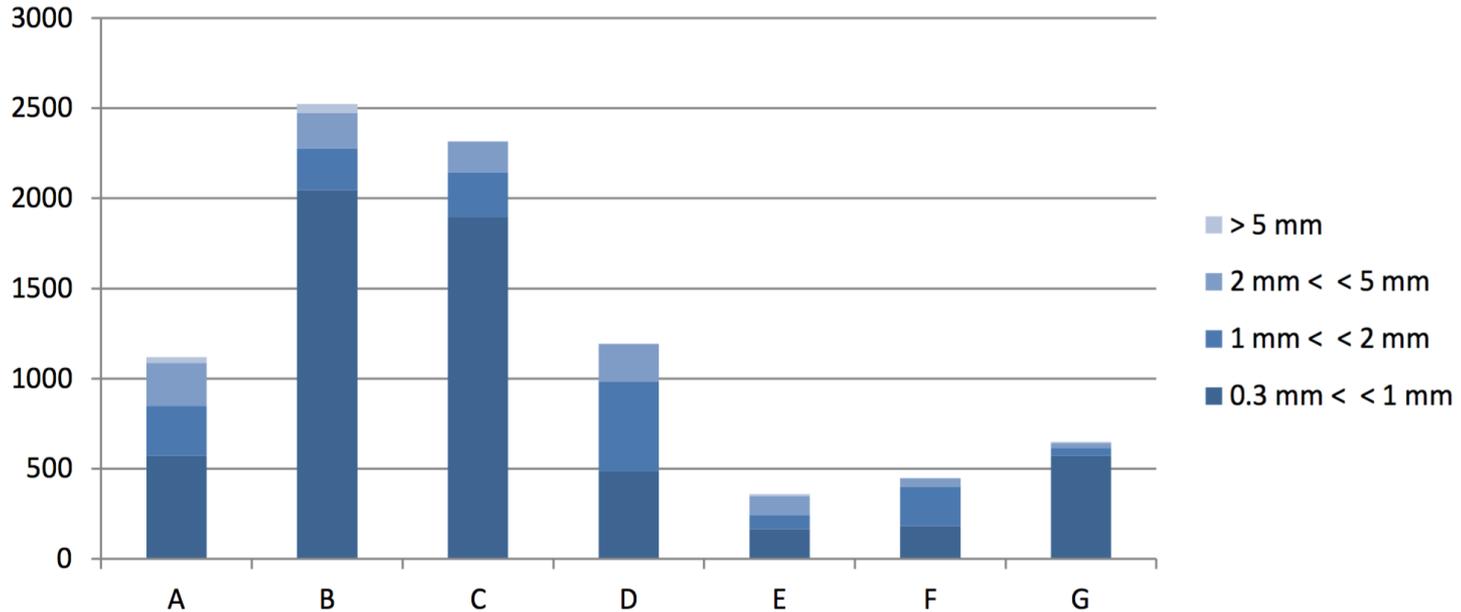


Figure 5 : Concentrations en nombre de particules de plastiques [# /kg MS] par échantillon et par fraction de taille

# Plastiques dans les composts

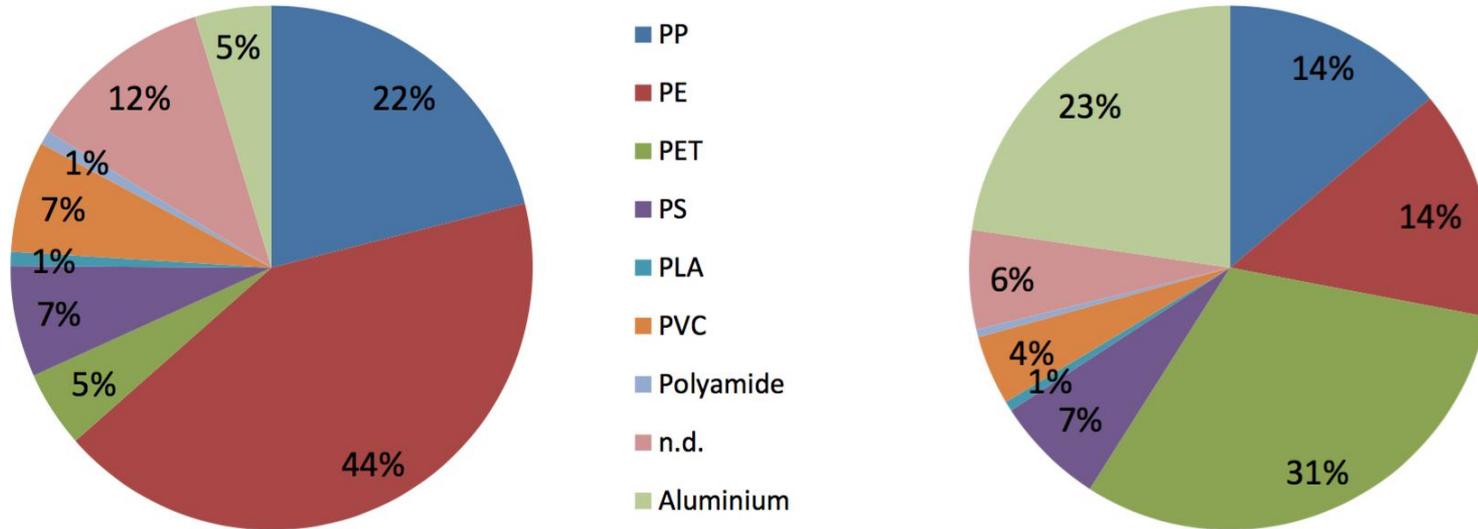


Figure 9 : Résultats des analyse spectroscopique sur les particules de plus de 2 mm, en nombre (gauche, n=226) et masse (droite, m=2631 mg)

# Conclusions

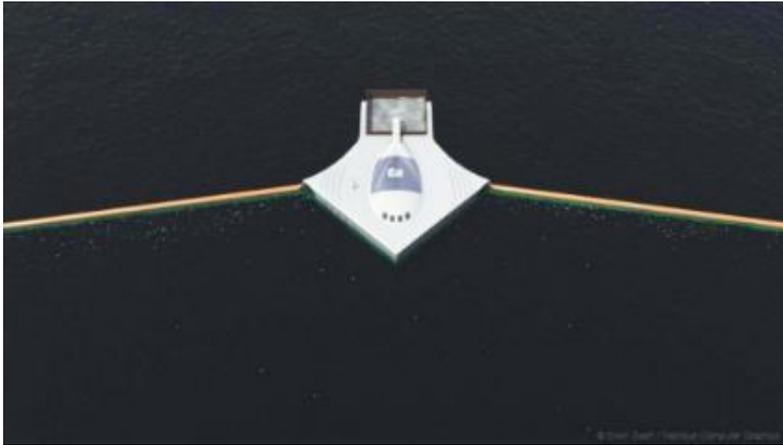
- Pollution microplastique existante en Suisse
  - Tous les compartiments impliqués
  - Questions ouvertes concernant les polluants associés
- Toxicité discutée, exposition de la faune confirmée
- Besoin de quantification et d'analyses plus précises
- **... Et les nano-plastiques?**

# Que faire? (pistes)

- . Education !
- . Gestion (déchets, eaux pluviales, ...)
- . Alternatives (polymères fragmentables, bio-polymères, ...)
- . 3R: Reduce, Reuse, Recycle
- . 5R: + Recover (energy), Redesign (Thompson et al., 2009)
- . 7R: + Refuse, Rethink (Ivar do Sul & Costa, 2014)

# Récupération

- Nettoyage de plages...
- Divers projets +/- réalistes
- Difficultés techniques, économiques, ...



- Réduction des émissions, mais où ?

FRANCE

# Un projet d'armada pour nettoyer les océans

Yvan Bourgnon – «Le Manta »

Un centaine de quadrimarans 60m long x 49m  
large x 50m mâts.

« grand peigne » nettoyeur 1.50m.

Stockage 600m<sup>3</sup> - 15 millions € (?) - 2021.

Science & Vie, 1193, 2017



Une flotte d'une centaine de quadrimarans pourrait nettoyer les côtes polluées par le plastique grâce à d'immenses herSES (en orange) plongeant à 1,50 m de profondeur.



# 1985



# 2013



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT



CARREFOURS  
DE L'INNOVATION AGRONOMIQUE



Inde, 2013



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT



Planète conso  
Nhat Vuong \*



## Une vie sans plastique, est-ce imaginable?

**U**ne salle romande a diffusé la semaine dernière un film documentaire intitulé 2050.

Odyssée du plastique. Ce dernier raconte les péripéties d'un groupe de chercheurs étudiant l'étendue de la pollution plastique en naviguant sur les océans de la planète.

Selon les résultats de ces investigations, les chercheurs estiment que seulement 15% de ce type de déchets seraient visibles à la surface des mers du globe. 85% du plastique se trouverait donc hors de portée des humains.

Ces débris, qui se sont déposés dans les fonds marins, empoisonnent la faune et les poissons, par exemple, les confondent avec de la nourriture. Ce même plastique affecte négativement la santé des êtres humains, car nous nous trouvons au bout de la chaîne alimentaire. Le président de Race for Water, qui orchestre ces recherches, estime qu'il sera malheureusement impossible pour les générations futures de nettoyer tout ce plastique.

Si nous continuons à polluer au rythme actuel, les océans contiendront plus de kilos de

plastique que de poisson d'ici à 2050.

Malgré ces tristes prédictions, il faut rester optimiste. Certains supermarchés vendent désormais leurs produits sans emballages plastiques. Des marques de grande consommation consentent, de leur côté, à des efforts de recherche afin de développer de nouveaux matériaux d'emballage.

«Au rythme actuel, les océans contiendront plus de kilos de plastique que de poisson d'ici à 2050»

Chaque consommateur doit absolument jouer un rôle crucial dans cet effort. En favorisant l'achat de produits respectueux de l'environnement. Et en mettant la pression sur les grandes marques pour qu'elles changent leurs procédés de production, afin de les rendre plus durables.

\* Online Marketing Consultant chez Digital Inspiration

# Merci pour votre attention

Et à

- L'OFEV pour le soutien financier
- Tous les services ayant aidé à l'échantillonnage
- Toute l'équipe du GR-CEL et ses étudiants

Détails dans *Faure et al. (2015): Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. Environmental Chemistry* 12(5) 582-591

Contact: [felippe.dealencastro@epfl.ch](mailto:felippe.dealencastro@epfl.ch)

