

Evaluation de l'effet des Champs Electriques Pulsés (CEP) sur la production de biogaz à partir de déchets organiques

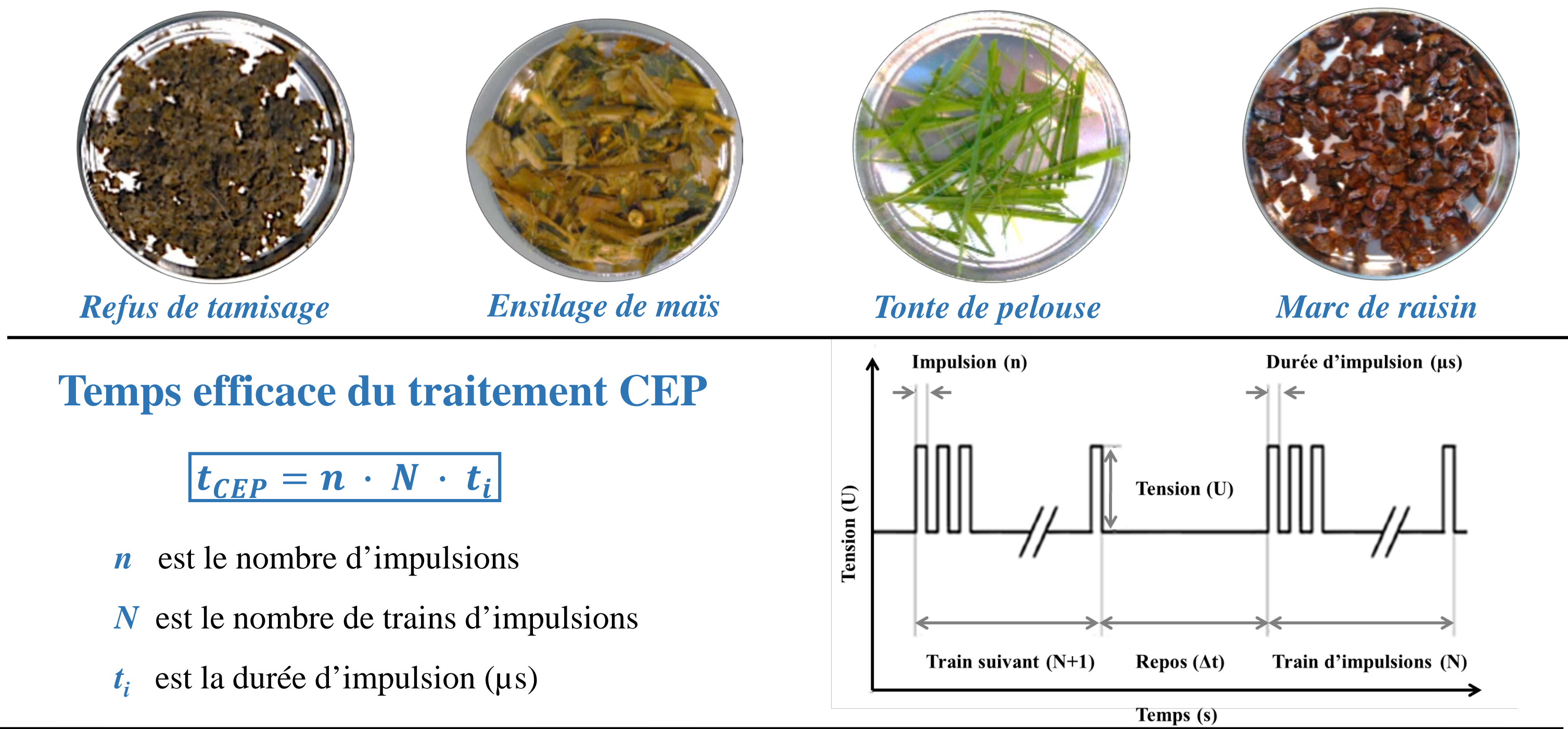
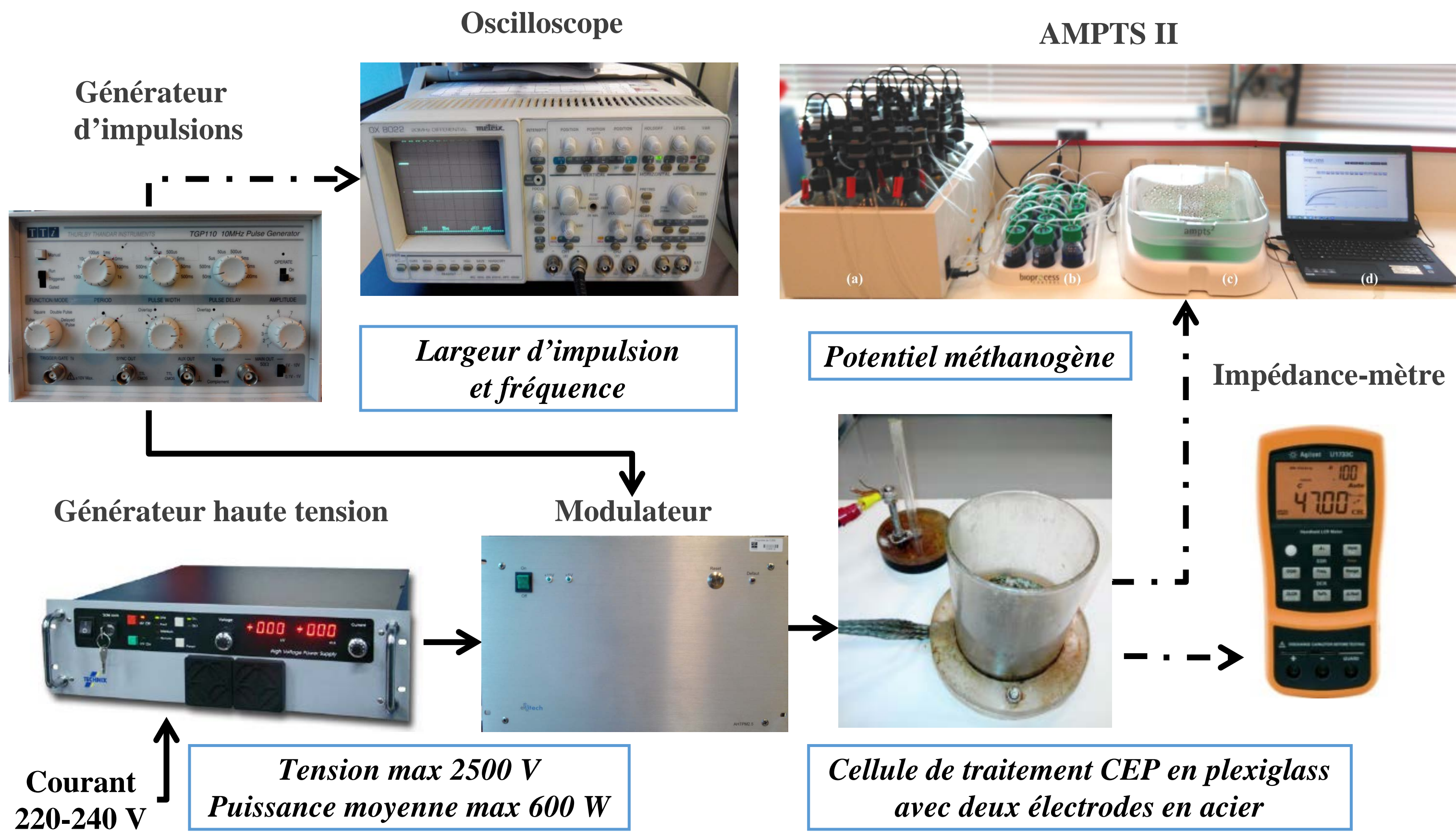
Mohamad-Amr CHAMAA, Thomas LENDORMI✉, Yves LEMÉE, Jean-Louis LANOISELLÉ

Univ. Bretagne Sud, CNRS FRE 3744, IRDL (Institut de Recherche Dupuy de Lôme), F-56300 Pontivy, France

L'objectif de ce travail, réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat financée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et en collaboration avec la Société d'Économie Mixte LIGER (Locminé, Morbihan, France), concerne l'évaluation de l'effet du traitement CEP sur différents substrats biodégradables en anaérobiose. Le traitement par CEP a été testé sur différents déchets issus des industries agroalimentaires (refus de tamisage d'abattoir de porc, marc de raisin), de l'agriculture (ensilage de maïs) ou encore de collectivités locales (déchets verts de tonte de pelouse). Les champs appliqués varient de 500 V·cm⁻¹ à 3600 V·cm⁻¹.

Matériels et méthodes

Schéma du système de traitement et outils de mesure des effets du traitement CEP



Temps efficace du traitement CEP

$$t_{CEP} = n \cdot N \cdot t_i$$

n est le nombre d'impulsions

N est le nombre de trains d'impulsions

t_i est la durée d'impulsion (μs)

Indice de désintégration (Z)

$$Z = \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_d - \sigma_i}$$

$Z = 0$ pour un échantillon intact

$Z = 1$ pour un échantillon totalement détruit

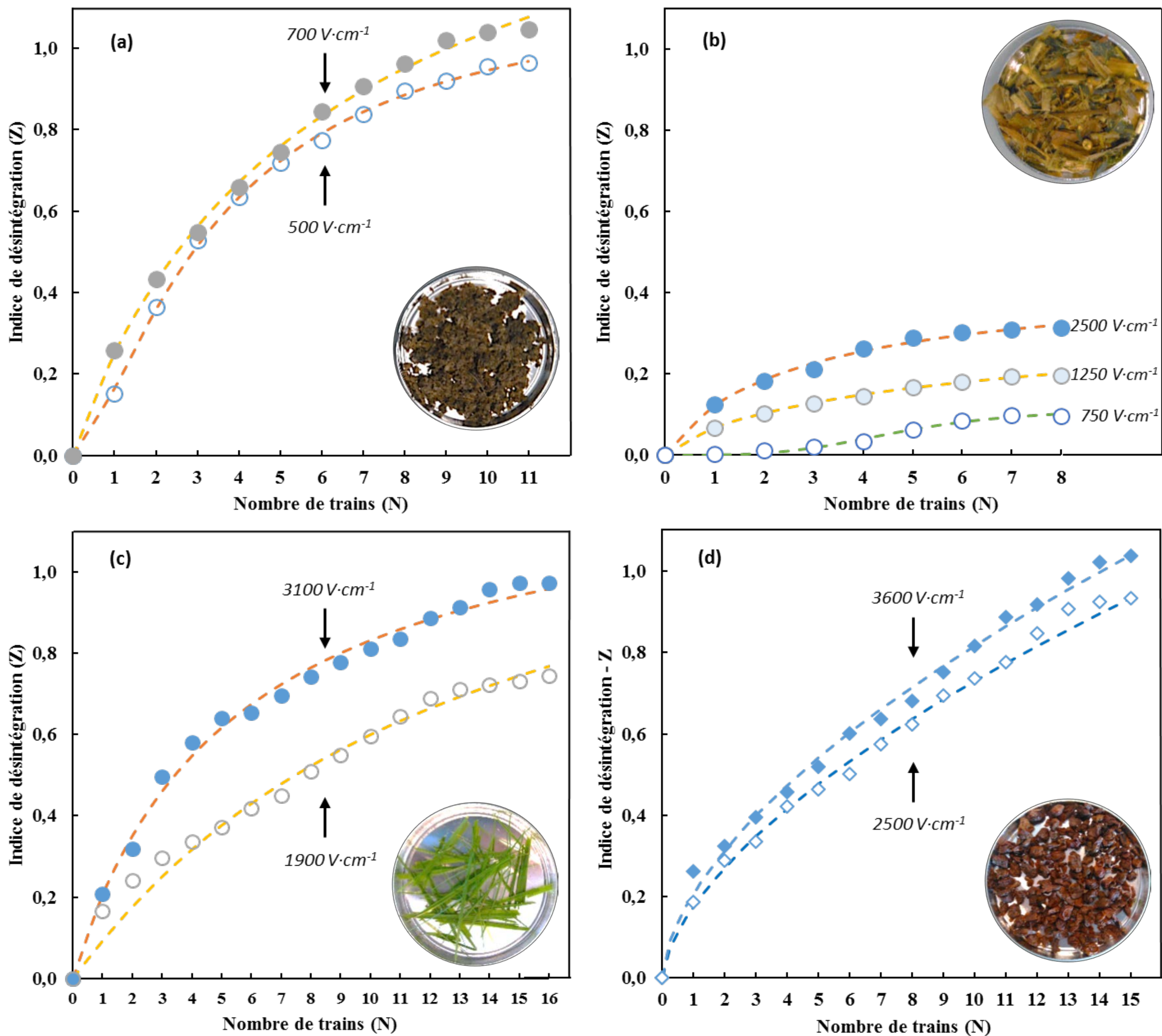
σ_m est la conductivité mesurée (S/m)

σ_i est la conductivité initiale (échantillon non traité) (S/m)

σ_d est la conductivité d'un échantillon ayant subi 3 cycles de congélation/décongélation et 1 cycle de chauffage par micro-ondes (échantillon totalement détruit)

Traitement CEP

Indice de désintégration Z pour les déchets organiques



Indice de désintégration Z en fonction de nombre de trains N, (a) pour le refus de tamisage (500 et 700 V·cm⁻¹), (b) pour l'ensilage de maïs (750, 1250 et 2500 V·cm⁻¹), (c) pour la tonte de pelouse (1900 et 3100 V·cm⁻¹), et (d) pour le marc de raisin (2500 et 3600 V·cm⁻¹) (lignes : modèle, marques : valeurs expérimentales).

Paramètres de la modélisation des courbes de l'indice de désintégration Z des déchets organiques (refus de tamisage, ensilage de maïs, tonte de pelouse et marc de raisin) traités avec une gamme d'intensité de 500 à 3600 V·cm⁻¹.

Substrat	Intensité V·cm ⁻¹	Z _∞	k	τ	Erreur ²
Refus de tamisage (a)	500	1,16	1,44	3,50	9,54 10 ⁻⁴
	700	1,72	0,955	6,38	2,16 10 ⁻³
Ensilage de maïs (b)	750	0,117	3,70	4,78	1,58 10 ⁻⁴
	1250	0,387	0,790	7,24	6,08 10 ⁻⁵
Tonte de pelouse (c)	1900	1,41	1,02	13,3	3,55 10 ⁻²
	3100	1,30	0,974	5,55	9,41 10 ⁻³
Marc de raisin (d)	2500	10,0	0,683	405	5,40 10 ⁻³
	3600	13,7	0,635	766	8,87 10 ⁻³

$$W_{CEP} = \sum_0^n \frac{U \cdot I \cdot t_{CEP}}{m}$$

Les calculs de l'énergie consommée par le traitement CEP ont été faits selon l'équation qui représente la somme d'énergie injectée pour traiter m la masse souhaitée du produit pour un nombre de trains n , en fonction de la tension appliquée U en (V), l'intensité du courant I en (A), et le temps spécifique du traitement CEP, t_{CEP} en (s)

Paramètres appliqués afin de réaliser les niveaux de traitement CEP (Z) pour les déchets organiques avec une durée d'impulsion de 50 μs.

Substrat	champ appliqué E (V·cm ⁻¹)	Traitement Z	Nombre de trains N	Fréquence f (Hz)	Nombre d'impulsions n	t _{CEP} (s)	W _{CEP} (KWh·tonne ⁻¹)
Refus de tamisage (a)	700	Z _{0,5}	3	24	720	0,036	5,44
		Z ₁	11		2640	0,132	21,2
Ensilage (b)	1250	Z _{0,25}	4	144	5760	0,288	3,82
		Z _{0,5}	8		11520	0,576	7,81
		Z _{0,75}	4		5760	0,288	36,8
		Z ₁	8		11520	0,576	79,5
Tonte de pelouse (c)	3100	Z _{0,5}	3	24	720	0,216	3,94
		Z ₁	16		3840	1,152	34,5
Marc de raisin (d)	3600	Z _{0,25}	1	144	1440	0,072	1,94
		Z _{0,5}	5		7200	0,36	11,4
		Z _{0,75}	9		12960	0,648	23,9
		Z ₁	14		20160	1	42,5

$$Z_t = Z_{\infty} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{N}{\tau}\right)^k}\right)$$

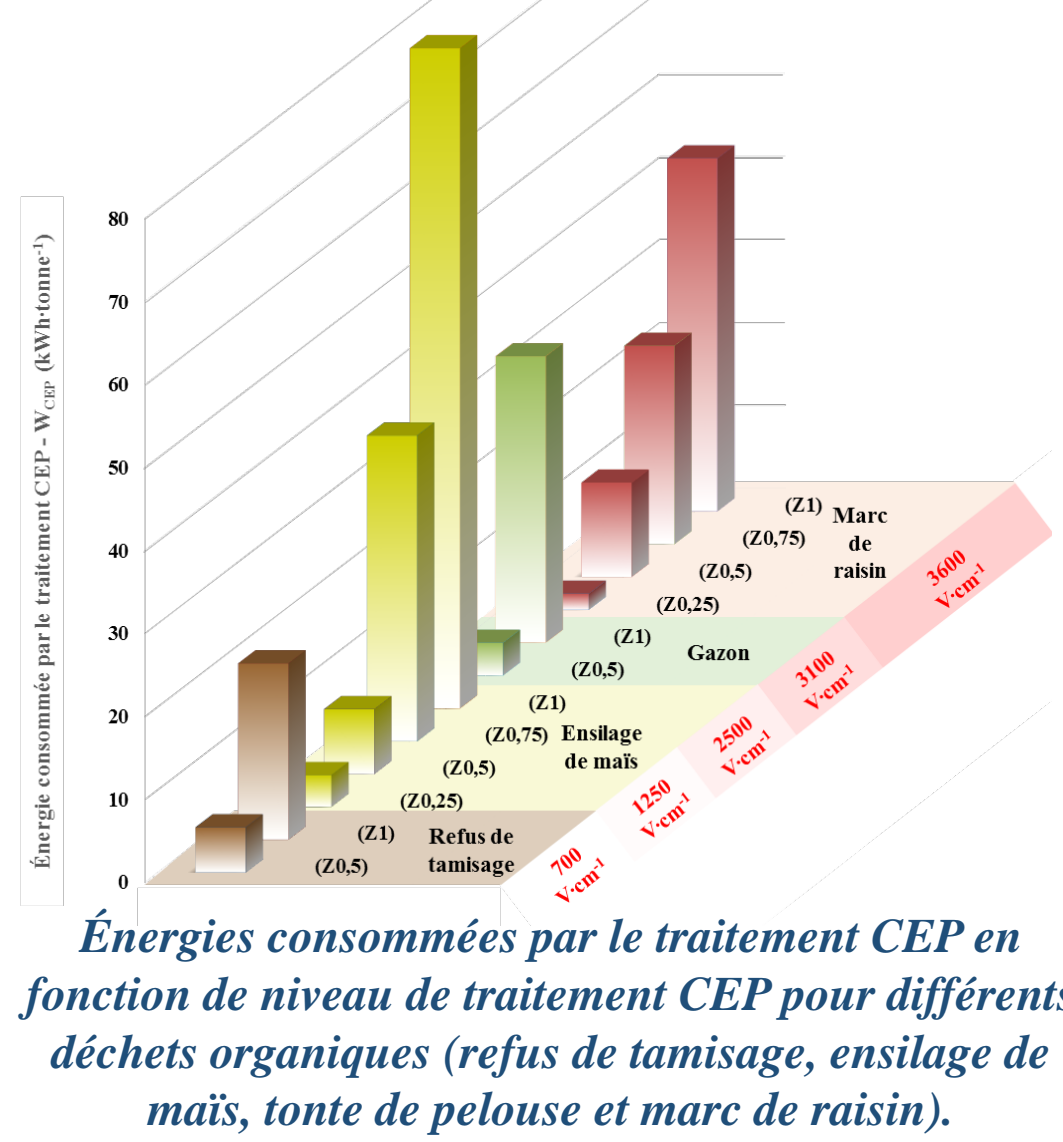
Z_t est l'indice de désintégration expérimentale.

Z_{∞} est l'indice de désintégration à l'infini.

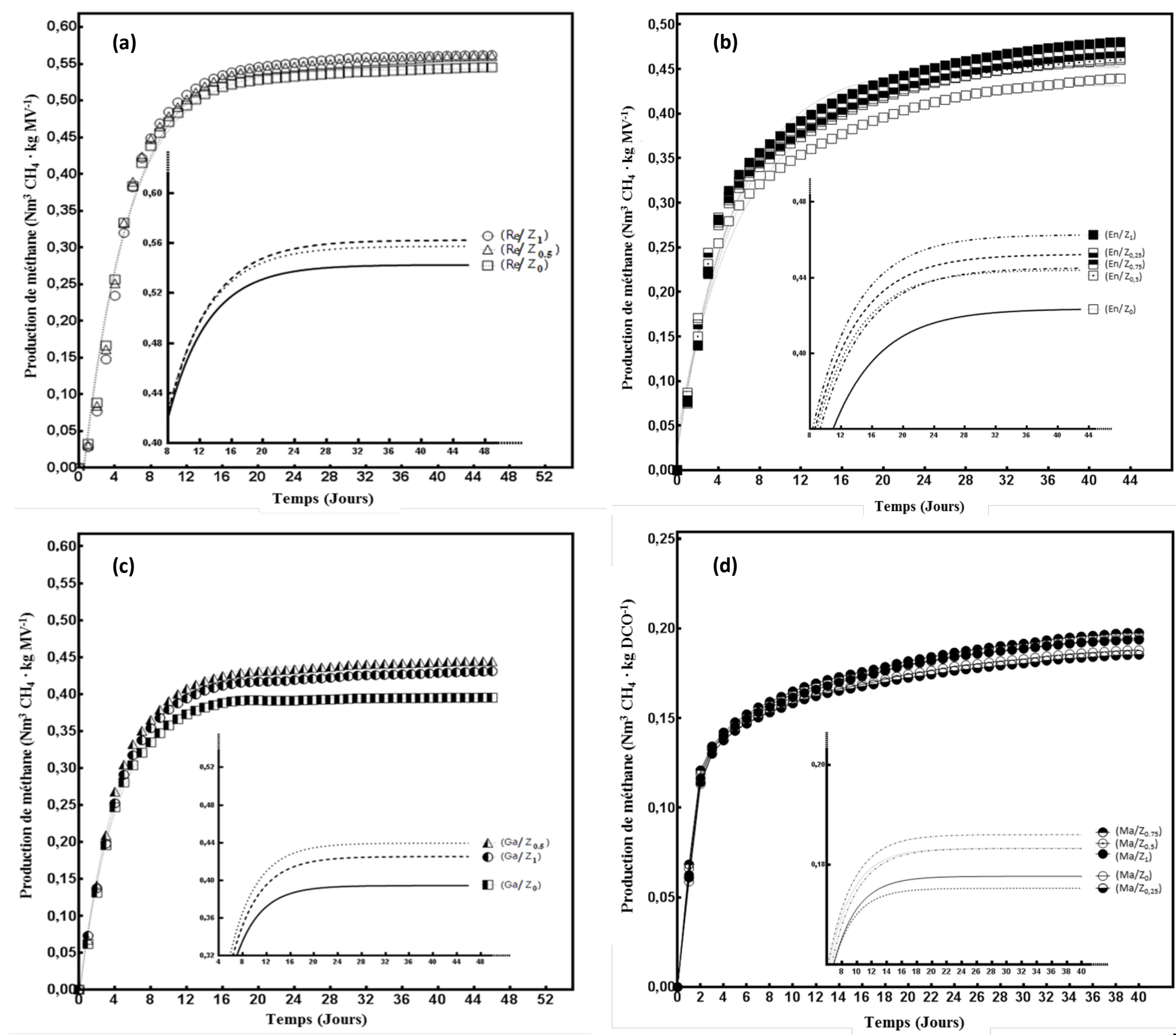
N est le nombre de trains.

τ est constant de temps.

k est un facteur empirique.



Production de méthane



Production accumulée de méthane (Nm³ CH₄ · kg MV⁻¹), (Nm³ CH₄ · kg DCO⁻¹) selon le niveau de traitement CEP appliqué (Z) pour le refus de tamisage d'abattoir de porc (a), l'ensilage de maïs (b), la tonte de pelouse (c) et le marc de raisin (d) (Lignes : modèle, Marques : valeurs expérimentales) (Zoom : courbes modélisées)

$$BMP_t = BMP_0 \cdot (1 - e^{(-k_h \cdot t)})$$

BMP_t est la production expérimentale du méthane.

BMP_0 est la production modélisée (Nm³ CH₄ · kg DCO⁻¹) ou (Nm³ CH₄ · kg MV⁻¹).

k_h est le facteur d'hydrolyse (jour⁻¹).

t est le temps (jour).

$$\text{Gain énergétique} = \frac{W_{CH_4+}}{W_{CEP}}$$

W_{CH_4+} est calculé en prenant en compte le pouvoir calorifique inférieur du méthane PCI = 9,94 kWh·Nm⁻³

Gain énergétique du traitement CEP pour les différents substrats et selon les différents protocoles réalisés

Substrat	Protocole	Augmentation de production % CH ₄	Énergie consommée W _{CEP} kWh·tonne ⁻¹	Énergie produite W _{prim} kWh·tonne ⁻¹	Gain énergétique W _{prim} produite / W _{CEP} consommée
Refus de tamisage (a)	Z = 0,5	2,80	5,44	46,52	8,55
	Z = 1	3,05	21,24	50,38	2,37
Ensilage de maïs (b)	Z = 0,25	6,96	3,82	78,41	20,50
	Z = 1	9,33	79,5	105,16	1,32
Tonte de pelouse (c)	Z = 0,5	12,45	3,93	78,13	19,90
Marc de raisin (d)	Z = 0,5	3,48	11,67	22,25	1,91
	Z = 0,75	5,10	23,89	32,67	1,37

Conclusion

- Les traitements CEP ont permis d'améliorer la production de biogaz des différents substrats. Les résultats obtenus montrent que la désintégration cellulaire et l'électroporation induites par le traitement CEP peuvent intensifier la production de biogaz (+ 3% à +12% de CH₄) de manière statistiquement significative.
- Seul l'ensilage de maïs a montré une hydrolyse plus rapide que les protocoles standards, avec +7,5% d'augmentation du k_H.
- Dans certaines conditions, les gains énergétiques liés au traitement CEP représentent jusqu'à 20 fois l'énergie injecté dans le produit. Le traitement CEP devient alors intéressant énergétiquement. L'indice de désintégration maximal, énergivore, ne correspond généralement pas à la solution la meilleure.
- Il convient donc d'optimiser le traitement électrique au regard du gain de production en méthane.