



HAL
open science

Capteur de gaz à base de graphène dédié au bilan carbone du cOMPOSTage de proximité

V. Astié, Nicolas Brun, Christophe Coillot, Sylvie Contreras, J.M. Decams, J. Fossati, V. de la Forest Divonne, S. Jouan, A. Jourdan, S. Juillaguet, et al.

► To cite this version:

V. Astié, Nicolas Brun, Christophe Coillot, Sylvie Contreras, J.M. Decams, et al.. Capteur de gaz à base de graphène dédié au bilan carbone du cOMPOSTage de proximité. ID en action!, Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires du CNRS (MITI), Nov 2022, Paris, France. hal-04209570

HAL Id: hal-04209570

<https://hal.science/hal-04209570>

Submitted on 18 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Capteur de gaz à base de graphène dédié au bilan carbone du **COMPOST**age de proximité.



V. Astié (Annealsys), N. Brun (ICGM), C. Coillot (L2C), S. Contreras (L2C), J-M. Decams (Annealsys), J. Fossati (FDE), V. de la Forest Divonne (FDE), S. Jouan (FDE), A. Jourdan (Compost Motion), S. Juillaguet (L2C), P. Landois (L2C/FDE), M. Mayne (CEA) & A. Mehdi (ICGM).



ID EN ACTION !

Changement climatique : du constat aux leviers d'action

Le projet COMPOST :
Objectifs : scientifique, environnemental &
pédagogique

Conclusion & perspectives

Changement climatique : du constat aux leviers d'action

Le projet COMPOST :
Objectifs : scientifique, environnemental &
pédagogique

Conclusion & perspectives

6eme rapport des experts internationaux sur le climat (IPCC)

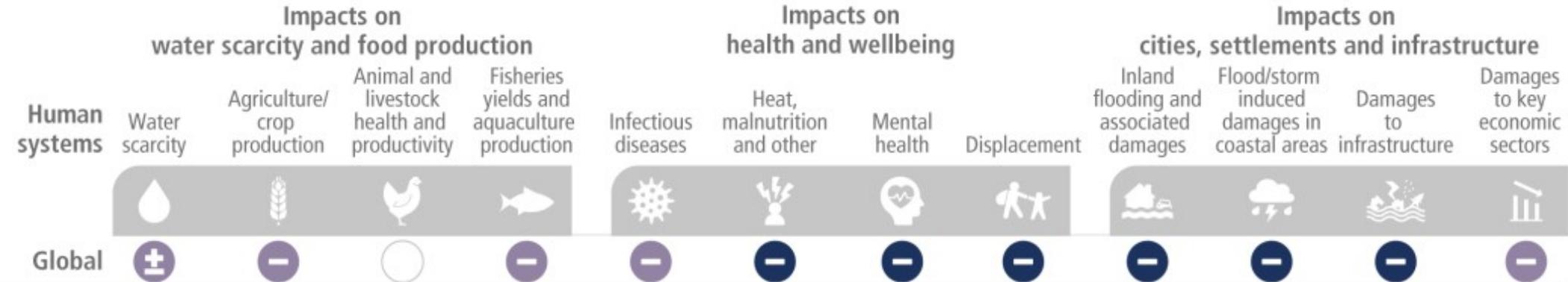
A.1 It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

*IPCC(2021) : IPCC (WG1),
Climate Change 2021 - The
physical Science Basis, 2021.*

Changement climatique : du constat aux leviers d'action

6eme rapport des experts internationaux sur le climat (IPCC)

A.1 It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.



Impacts majeurs sur les sociétés humaines

IPCC(2021) : IPCC (WG1), Climate Change 2021 - The physical Science Basis, 2021.

IPCC(2022) : IPCC (WG2), Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and vulnerability, 2022.

Répartition des émissions de GES en France (CITEPA(2022))

Bilan GES en France 2021 (d'après CITEPA(2022))	en MTCO ₂ e	en %
Energie	45	10,8
Industrie	75	18,0
Usage des Batiments (résidentiel & tertiaire)	75	18,0
Agriculture	81	19,4
Déchets	15	3,6
Transports	126	30,2
TOTAL (hors UTCATF)	417	

CITEPA(2022) : CITEPA, Bilan des émissions en France de 1990 à 2021, 2022.

Répartition des émissions de GES en France (CITEPA(2022))

Bilan GES en France 2021 (d'après CITEPA(2022))	en MTCO2e	en %
Energie	45	10,8
Industrie	75	18,0
Usage des Batiments (résidentiel & tertiaire)	75	18,0
Agriculture	81	19,4
Déchets	15	3,6
Transports	126	30,2
TOTAL (hors UTCATF)	417	

CITEPA(2022) : CITEPA, Bilan des émissions en France de 1990 à 2021, 2022.

Incinération => ~3.5 % des émissions de GES (CO2)

Enfouissement => ~3,6 % des émissions de GES (CH4)

Nos déchets : d'où viennent-ils ? Que deviennent-ils ?

Ordures Ménagères Résiduelles en France (ADEME(2019)) :

- ~570 kg/an/habitant
- ~1/3 de ces déchets sont des **biodéchets**

Les déchets sont : incinérés, enfouis ou recyclés

ADEME(2019) : Déchets chiffres-clés - L'essentiel 2018, (mars 2019)

Gontard & Seingier (2020) : N. Gontard & H. Seingier, Plastique, le grand emballement, éd Stock, (2020).

Nos déchets : d'où viennent-ils ? Que deviennent-ils ?

Ordures Ménagères Résiduelles en France (ADEME(2019)) :

- ~570 kg/an/habitant
- ~1/3 de ces déchets sont des **biodéchets**

Les déchets sont : incinérés, enfouis ou recyclés

Le **compostage** permet de réduire de 160 kg/an/habitant !

N.B.1 : « valorisation » = Incinération & recyclage

N.B.2 : Recyclage plastique < 2 % (Gontard & Seingier (2020))



ADEME(2019) : Déchets chiffres-clés - L'essentiel 2018, (mars 2019)

Gontard & Seingier (2020) : N. Gontard & H. Seingier, Plastique, le grand emballage, éd Stock, (2020).

Compostage : Méthode de gestion des biodéchets inspirée des processus naturels.

Compostage : Méthode de gestion des biodéchets inspirée des processus naturels.

- La matière organique est dégradée en condition **idéalement aérobique**
- Microfaune : bactéries, champignons=> activité microbienne => $T \uparrow \sim 55^{\circ}\text{C}$ (Ermolaev et al., 2015)
- Macrofaune : vers, cétoine,...
- Matière résiduelle décomposée en **humus riche en matière organique** (fertilisant naturel)



La nature recycle tout : le déchet de l'un est la nourriture de l'autre !

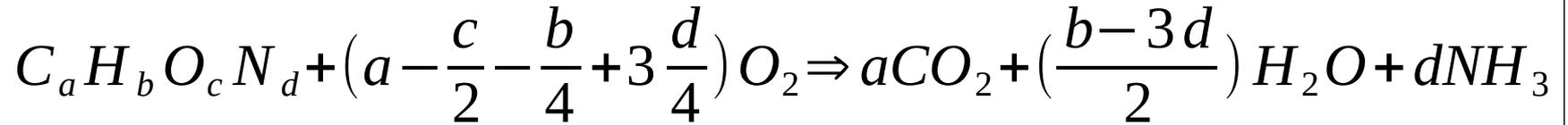


Ermolaev et al. (2015) : Nitrous oxide and methane emissions from food waste composting at different temperatures. Waste Manag. Vol 46.

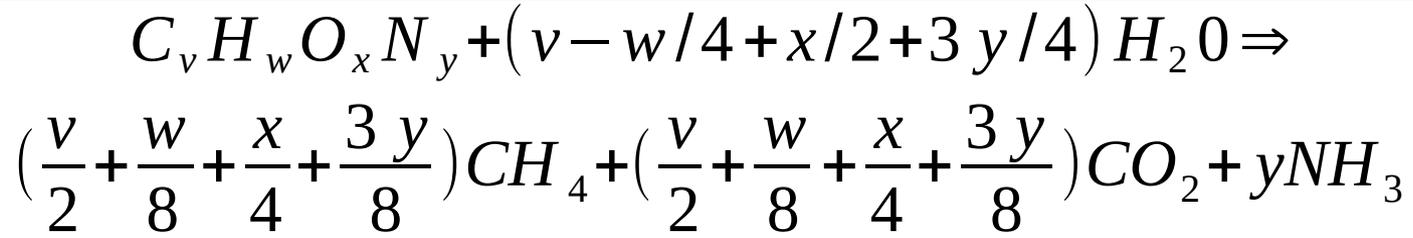
Compostage : un processus à optimiser ?

Brown et al.(2008) , J. of Environmental Quality.

- Situation **aérobique**



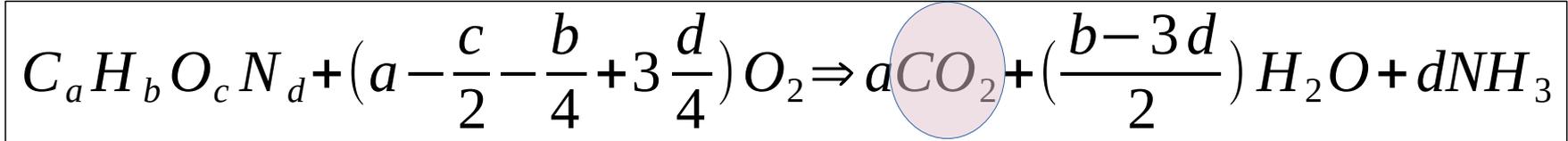
- Situation **anaérobique**



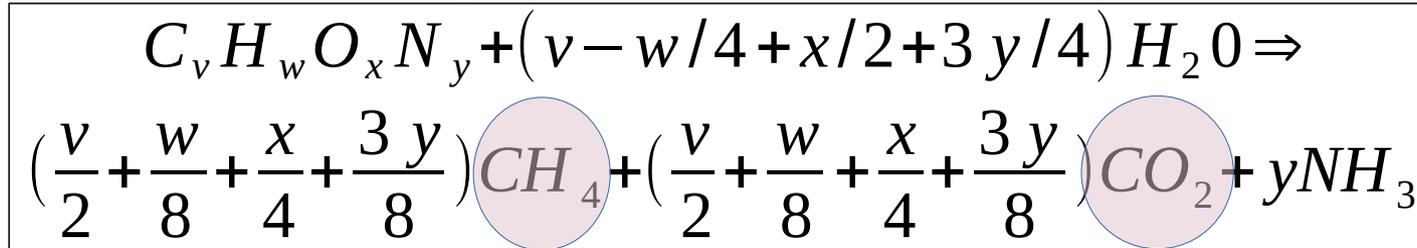
Compostage : un processus à optimiser ?

Brown et al.(2008) , J. of Environmental Quality.

- Situation **aérobique**



- Situation **anaérobique**



3 gaz à effet de serre : CO₂, CH₄ & N₂O

→ émissions CO₂ : CO₂b (cycle court) + **séquestration de C**

→ **éviter la méthanisation** : $PRG_{CH_4} = 28 \times PRG_{CO_2}$

→ NH₃ converti en N₂O (nitrification → dénitrification)

Température, humidité, aération...

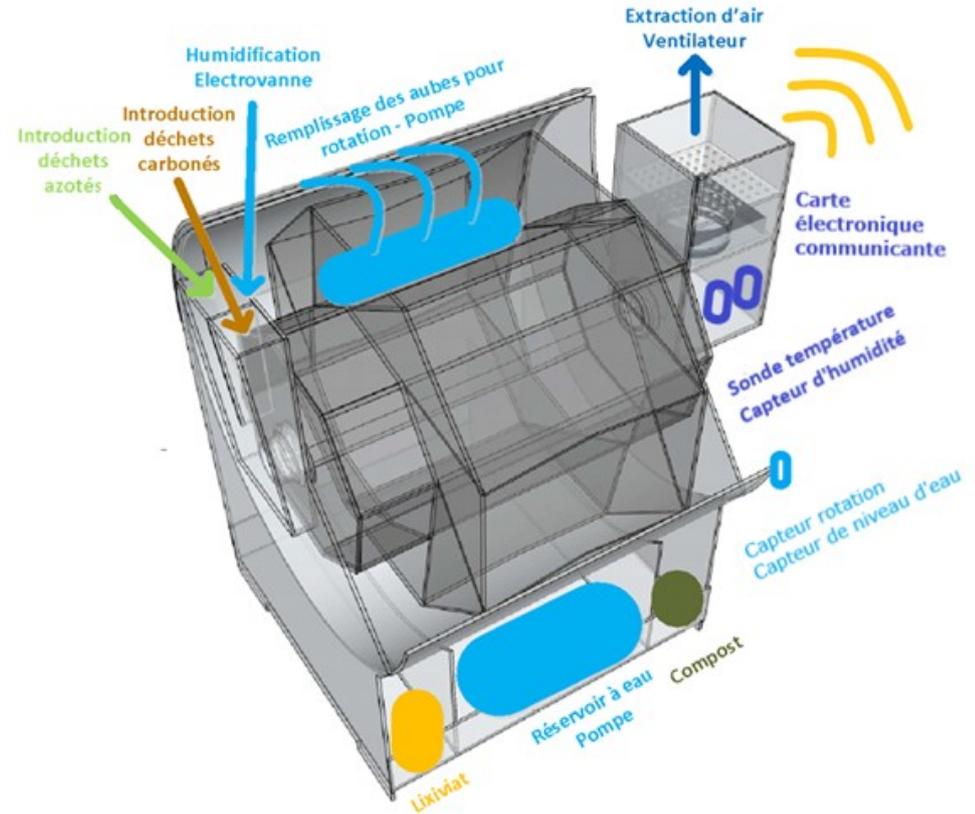
Changement climatique : du constat aux leviers d'action

Le projet COMPOST :

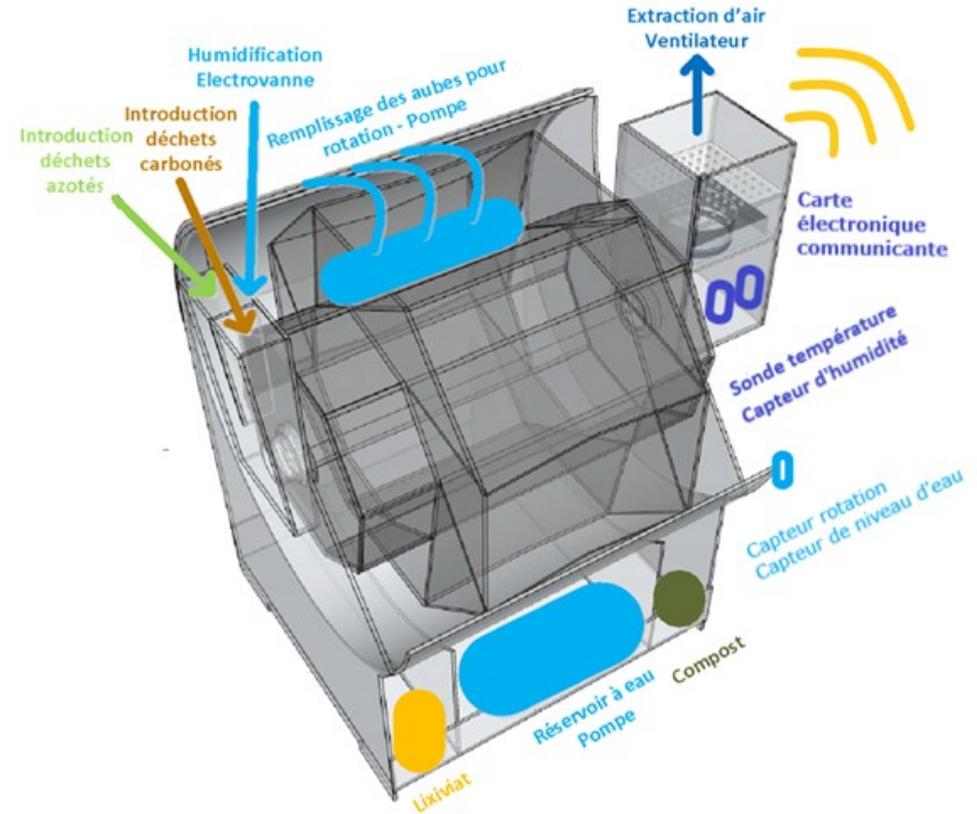
Objectifs : scientifique, environnemental &
pédagogique

Conclusion & perspectives

- Objectif **scientifique**: capteur graphène
- Objectif **environnemental**: bilan carbone d'un composteur collectif
- Objectif **pédagogique** : implantation d'un **composteur fontaine rotatif** en milieu universitaire



- Objectif **scientifique**: capteur graphène
- Objectif **environnemental**: bilan carbone d'un composteur collectif
- Objectif **pédagogique** : implantation d'un **composteur fontaine rotatif** en milieu universitaire

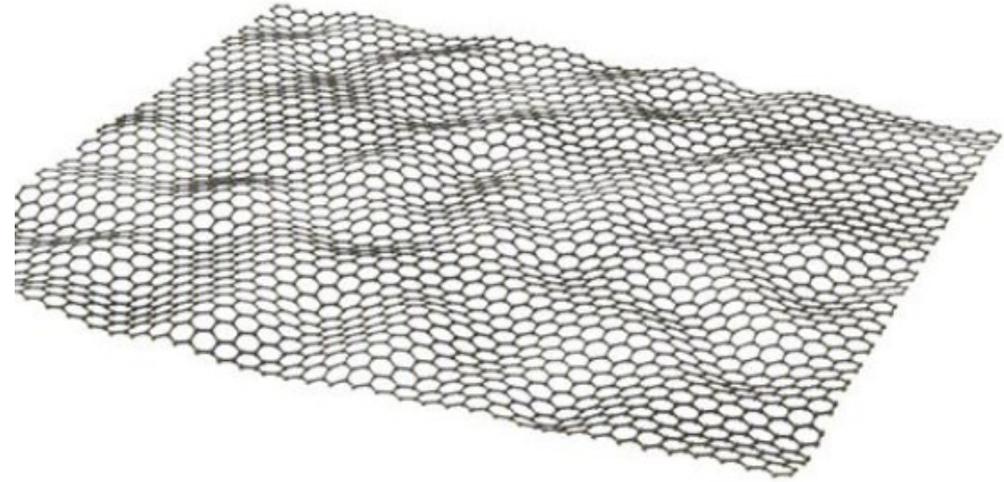


Graphène : prix Nobel de physique 2010 (Geim & Novoselov)

Monocouche d'atomes de carbone (épaisseur 0,346 nm)

Structure en nid d'abeille

Matériau semi-conducteur



Novoselov et al.(2004) : *K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov et al., Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, Science, vol. 306, (2004).*

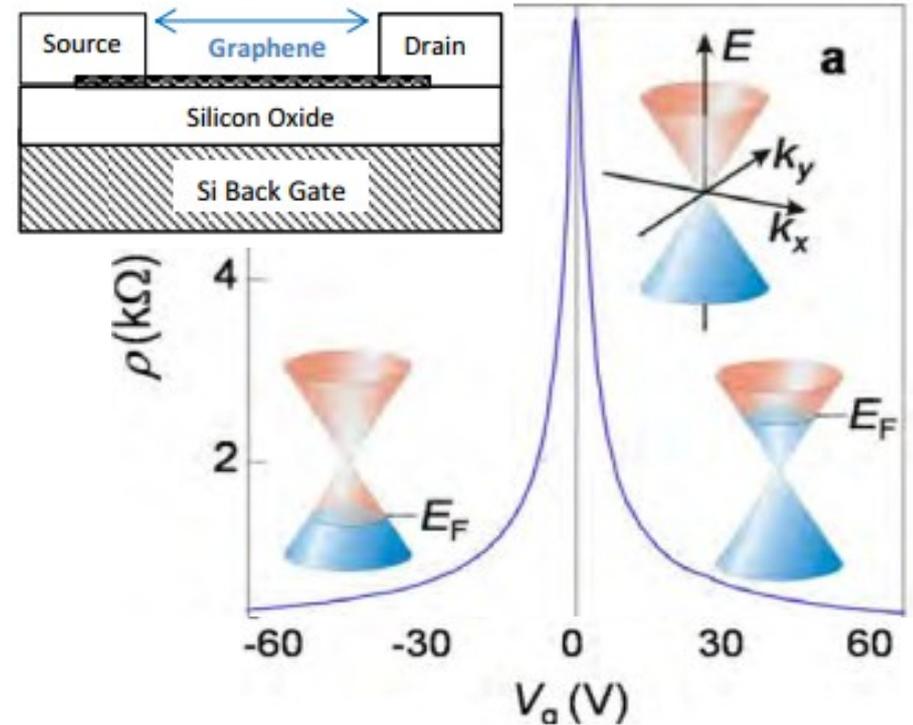
Graphène : prix Nobel de physique 2010 (Geim & Novoselov)

Monocouche d'atomes de carbone (épaisseur 0,346 nm)

Structure en nid d'abeille

Matériau semi-conducteur

Propriétés électroniques remarquables



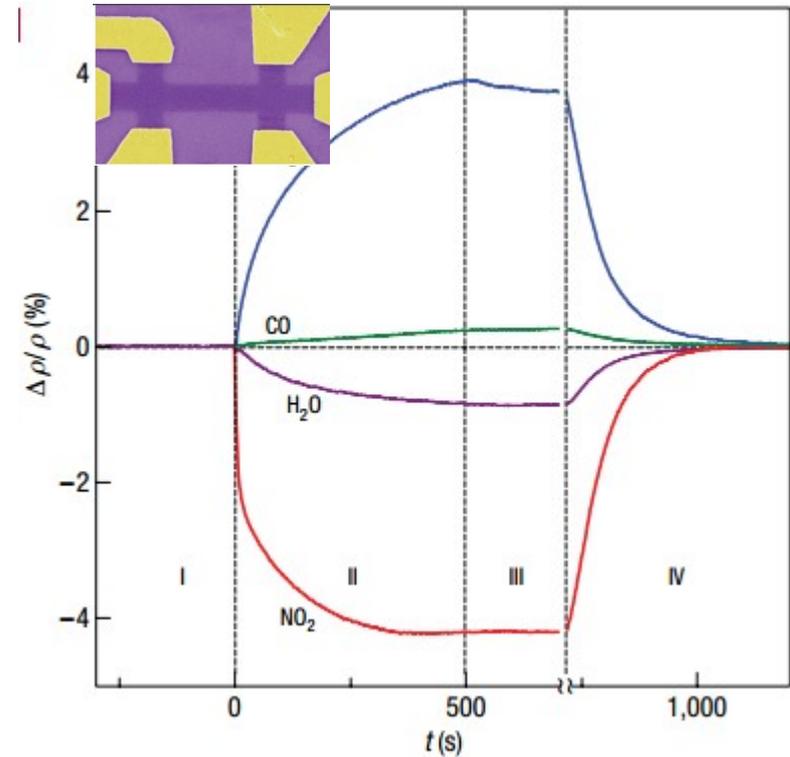
Geim, Novoselov, The rise of graphene. Nature Mater, 183-191 (2007)..

😊 **Transistor graphène (sur Si/SiO₂)**

☹️ **Extrême sensibilité aux molécules gazeuses**

😊 Sensibilité aux molécules gazeuses (Schedin et al.(2007)) :

=> Affinité « naturelle » à certains gaz
 NO_2 , NH_3 , CO ...

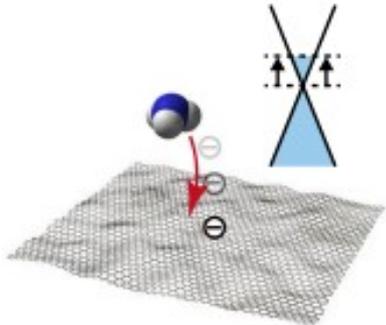


Schedin et al. (2007) : *Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene, Nature Materials, Vol. 6 (2007).*

☺ Sensibilité aux molécules gazeuses (Schedin et al.(2007)) :

=> Affinité « naturelle » à certains gaz NO_2 , NH_3 , CO ...

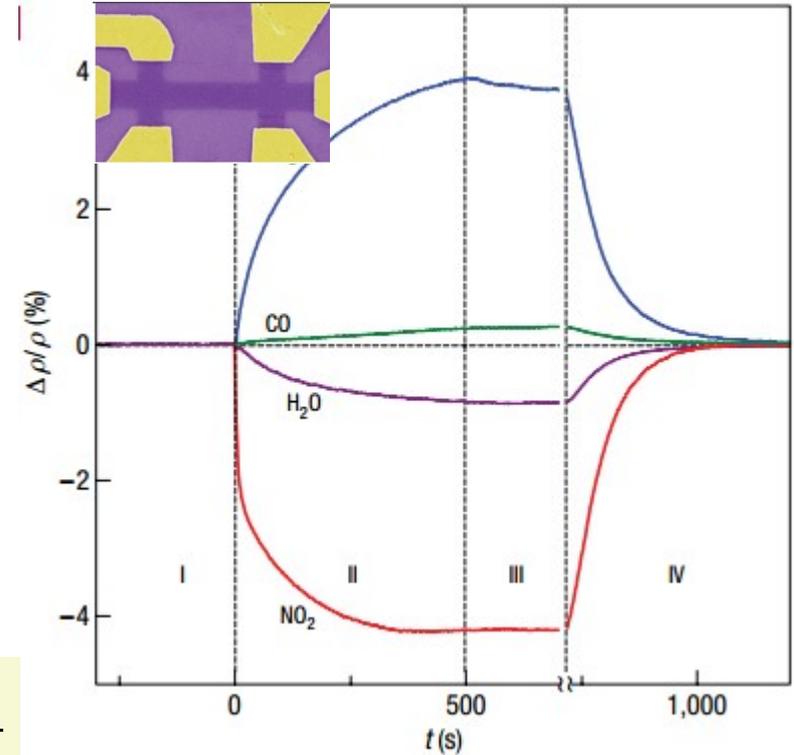
=> modification de la conductivité en fonction des molécules gazeuses adsorbées à la surface



$$n(\text{gaz}) = n_0 + (\delta n)$$

$$R(n(\text{gaz})) = \frac{1}{(n_0 + \delta n) q \mu} \frac{L}{S}$$

Hayasaka et al. Microsystems & Nanoengineering (2020)



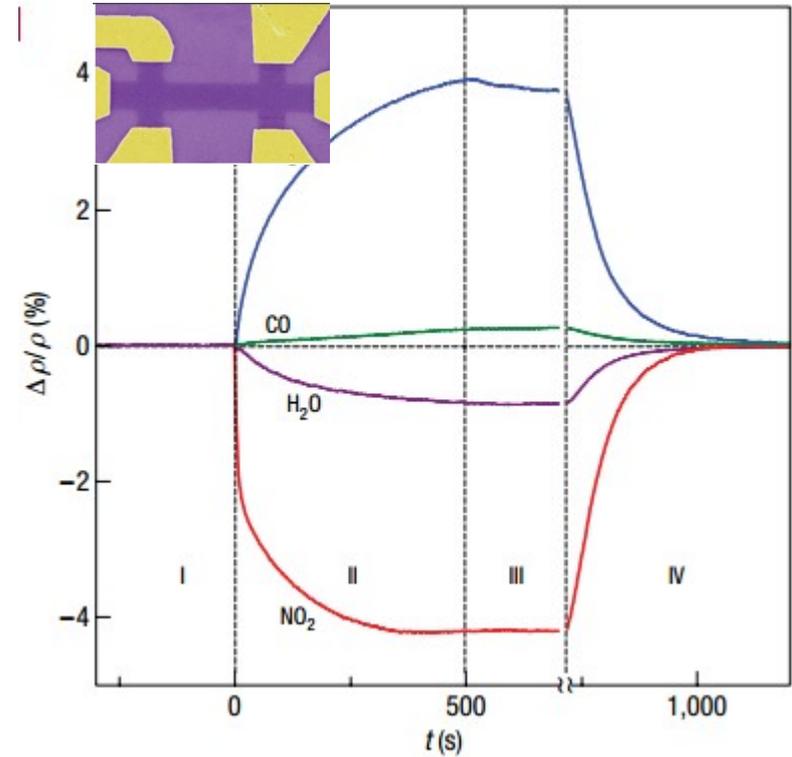
Schedin et al. (2007) : *Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene, Nature Materials, Vol. 6 (2007).*

😊 Sensibilité aux molécules gazeuses (Schedin et al.(2007)) :

=> Affinité « naturelle » à certains gaz
 NO_2 , NH_3 , CO ...

=> modification de la conductivité en fonction des molécules gazeuses adsorbées à la surface

Peut-on fonctionnaliser le graphène pour le rendre sélectif & sensible au CH_4 ?



Schedin et al. (2007) : *Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene, Nature Materials, Vol. 6.*

Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre



Graphène : du matériau au capteur

Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre

Dépôt polymère en surface

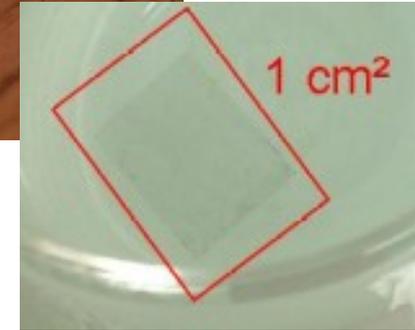


Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre

Dépôt polymère en surface

Dissolution chimique



Graphène : du matériau au capteur

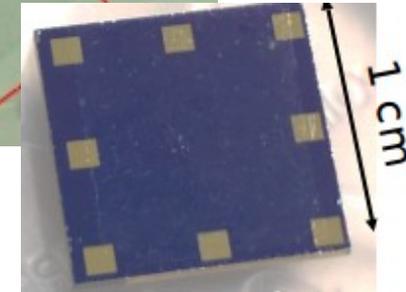
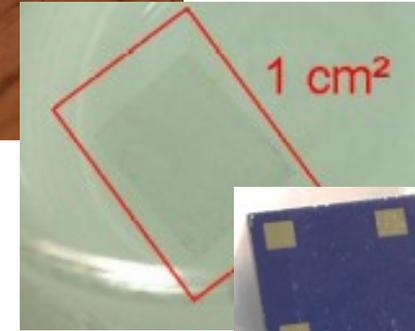
Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre

Dépôt polymère en surface

Dissolution chimique

Transfert sur Si/SiO₂



Etapes de fabrication des capteurs graphène

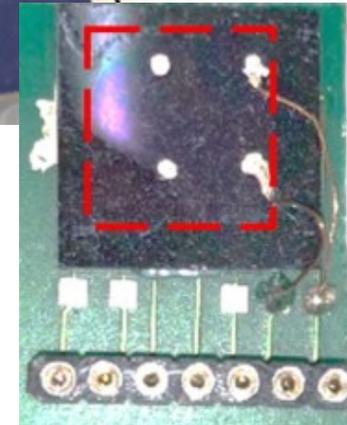
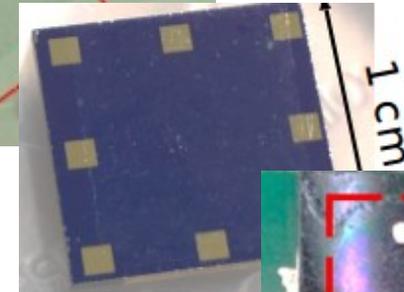
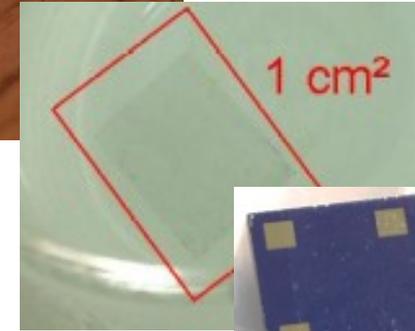
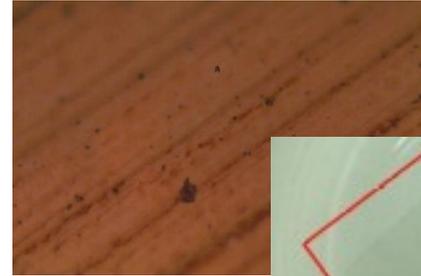
Croissance graphène sur cuivre

Dépôt polymère en surface

Dissolution chimique

Transfert sur Si/SiO₂

Intégration sur circuit imprimé + « chauffage »



Graphène : du matériau au capteur

Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre

Dépôt polymère en surface

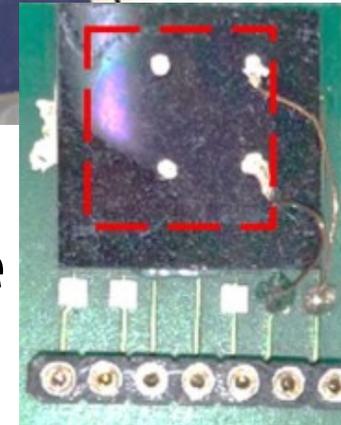
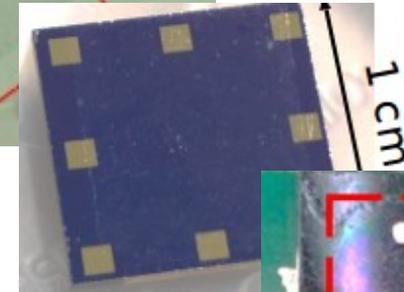
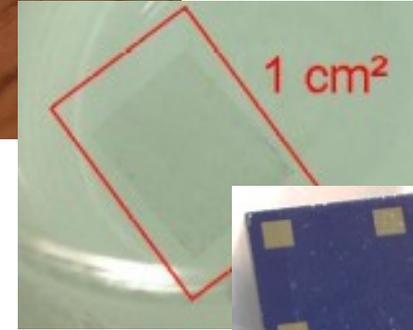
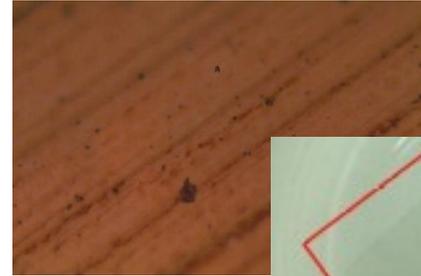
Dissolution chimique

Transfert sur Si/SiO₂

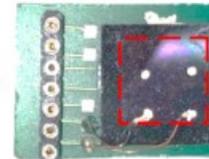
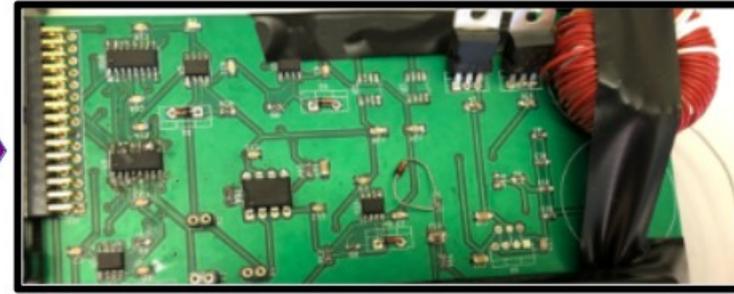
Intégration sur circuit imprimé + « chauffage »

Fonctionnalisation silice poreuse + nanoparticules d'or = **capteur graphène**

Mowbray et al. (2013) : *Gold and Methane: A Noble Combination for Delicate Oxidation*, *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 4.



Banc de test du CEA – mesure résistive & évolution courbe ambipolaire

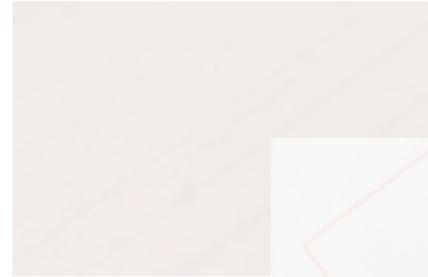


**☹ Pas de signature du méthane (10 à 1000 ppm)
Température de fonctionnement insuffisante ?**

Graphène : du matériau au capteur

Etapes de fabrication des capteurs graphène

Croissance graphène sur cuivre
(par CVD)



ANNEALSYS

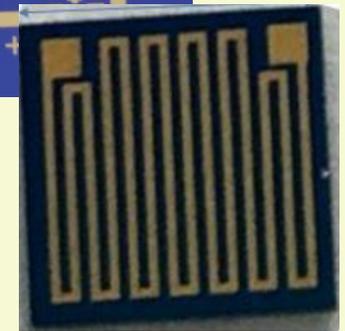
Dépôt polymère en surface
+
Dissolution chimique



Conception de capteurs graphène
(photolitho+gravure)

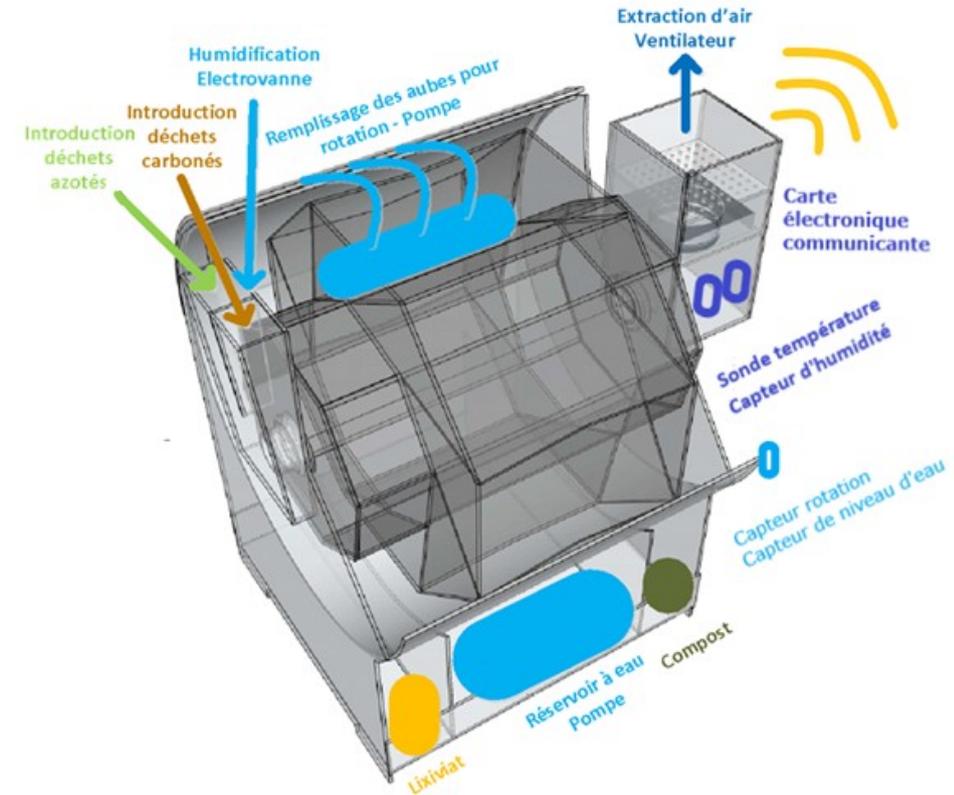


Intégration d'un circuit
chauffage sur Si/SiO₂



under progress....

- Objectif **scientifique**: capteur graphène
- Objectif **environnemental**: bilan carbone d'un composteur collectif
- Objectif **pédagogique** : implantation d'un **composteur fontaine rotatif** en milieu universitaire

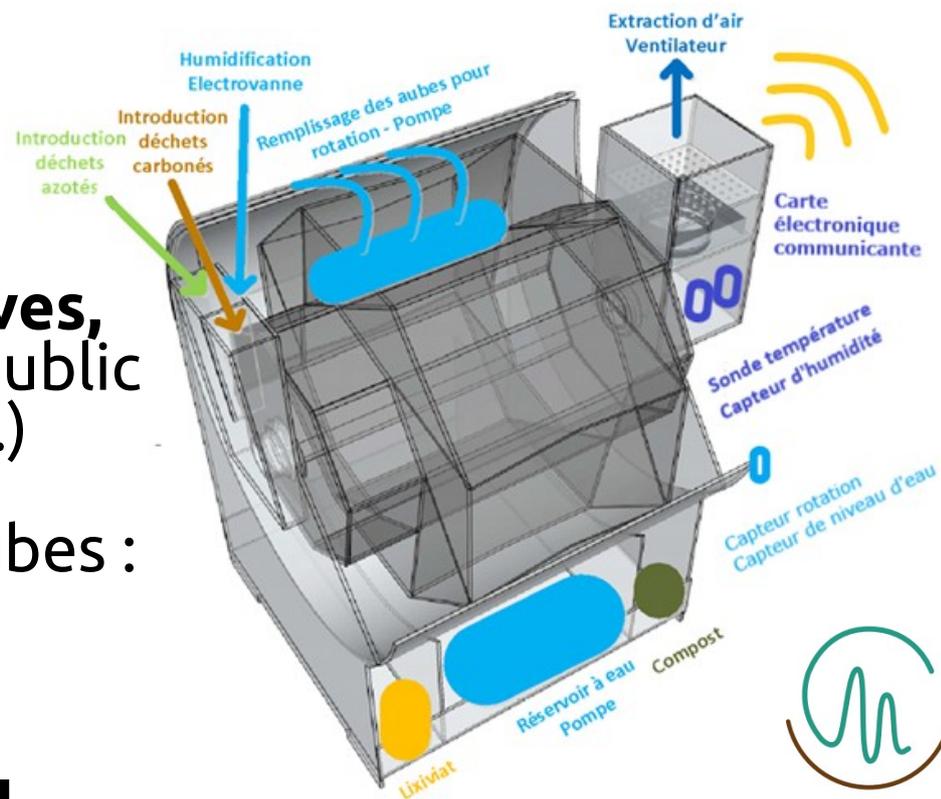


Composteur fontaine rotatif « Compost Motion » à la faculté d'éducation (FDE)

=> adapté aux **structures collectives**,
immeubles & lieux accueillant du public
(par ex. université & **DR du CNRS...**)

=> fontaine entraîne une roue à aubes :
brassage de la matière organique

=> Conditions de compostage
contrôlées : **mesure de GES in situ**



Bilan carbone d'un composteur de proximité

Caractérisations de technologies de capteurs de gaz

Infrarouges

Electrochimique

Semiconducteur

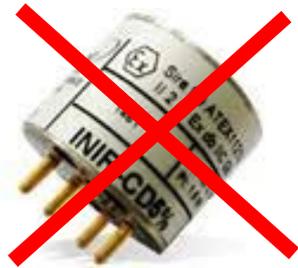


Type de capteur - Paramètres	Infrarouge	Electrochimique	Semi-conducteur
Référence	INIRCD05/ME5	SEN0159	MQ4
Gaz cible	CO2/CH4	CO2	CH4
Résolution	10 ppm	10 ppm	50 ppm
Consommation	50 mW	1,2 W	0,75 W
Limitations	Fragilité	Reproductibilité	Stabilité

Bilan carbone d'un composteur de proximité

Caractérisations de technologies de capteurs de gaz

Infrarouges



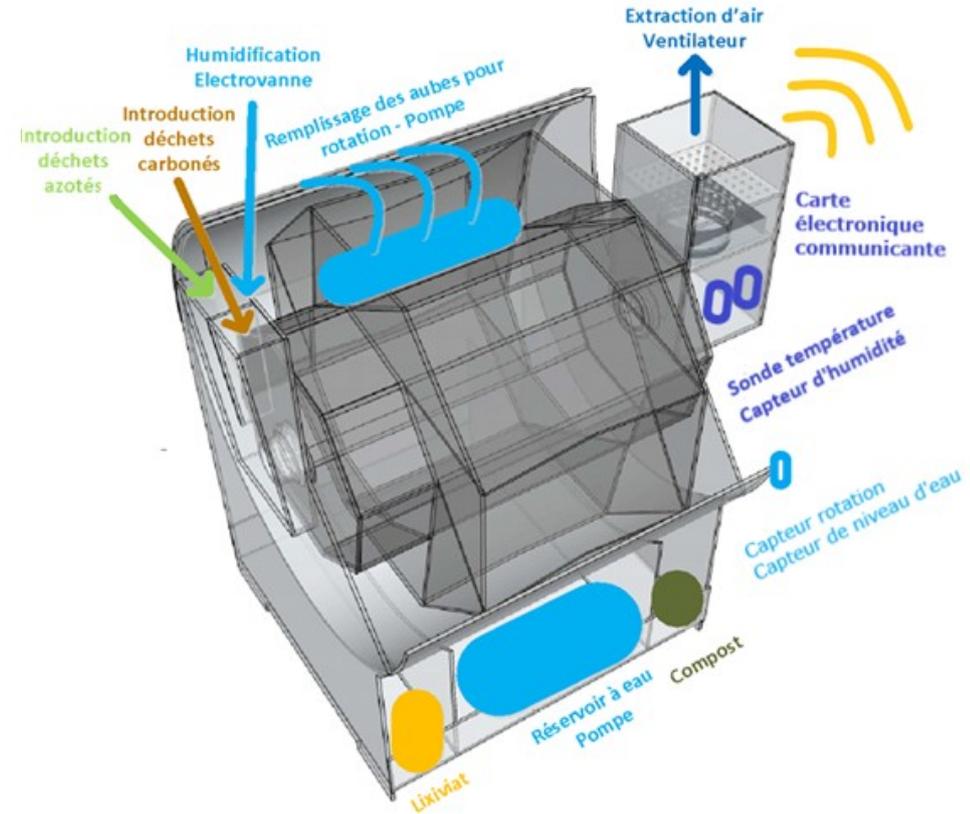
Electrochimique

Semiconducteur



Type de capteur - Paramètres	Infrarouge	Electrochimique	Semi-conducteur
Référence	INIRCD05/ME5	SEN0159	MQ4
Gaz cible	CO2/CH4	CO2	CH4
Résolution	10 ppm	10 ppm	50 ppm
Consommation	50 mW	1,2 W	0,75 W
Limitations	Fragilité	Reproductibilité	Stabilité

- Objectif **scientifique**: capteur graphène
- Objectif **environnemental**: bilan carbone d'un composteur collectif
- Objectif **pédagogique** : implantation d'un **composteur fontaine rotatif** en milieu universitaire



Implication des étudiant.e.s :
questionnaire, supports de communication, etc.



Le composteur
Adopte le bon compost'ment



Qu'est-ce qu'on y met ?

Tous les biodéchets naturellement dégradables sont autorisés : restes alimentaires et emballages en papier/carton.

- les fruits et les légumes,
- les restes carnés (os, arêtes, viande, poisson)
- le marc de café
- les restes de pain, pâtes, riz
- les restes de yaourts, fromage
- les végétaux du jardin (tontes, feuille, petites branches)
- les mouchoirs en papier, feuille, carton (en petits morceaux), sachets de thé

Interdiction du plastique




Composteur fontaine rotatif de la Faculté d'Education (FDE)



Connexion FDE & FDS: de la réflexion autour de l'enseignement ... au module **ÉTÉ** (L2)

Soutenu par le
Labex NUMEV



Connexion FDE & FDS: de la réflexion autour de l'enseignement ... au module **ÉTÉ (L2)**

Soutenu par le
Labex NUMEV



Au module doctoral « **Impact environnemental de la recherche** »

Soutenu par
l'Ecole Doctorale



[Présentation](#) [Formations](#) [Informations pratiques](#)

8.4 Impact environnemental de la recherche | FR uniquement

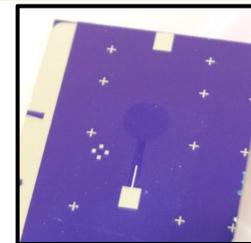
Cette formation vise à présenter les enjeux planétaires du 21ème siècle au travers d'une synthèse de l'état de l'art des connaissances scientifiques de ce domaine et de l'ensemble des débats sociétaux qu'ils impliquent.

⌚ 18 h | *Fondamental* | [Plus d'informations](#)

Changement climatique : du constat aux leviers d'action

Le projet COMPOST :
Objectifs : scientifique, environnemental &
pédagogique

Conclusion & perspectives



- Synthèse de **capteurs graphène**
- **Fonctionnalisation** du graphène au CH₄
- **Synergie** avec projet **MIGRASENS** (financement ANR 2021) :
Détection de micropolluants à base d'électrodes graphène
- Implantation du **composteur fontaine** instrumenté **en cours**
- Module **Education à la Transition Ecologique**

COMPOST : un projet « fertile » ?



- Synthèse de **capteurs graphène**
- **Fonctionnalisation** du graphène au CH₄
- **Synergie** avec projet **MIGRASENS** (financement ANR 2021) :
Détection de micropolluants à base d'électrodes graphène
- Implantation du **composteur fontaine** instrumenté **en cours**
- Module **Education à la Transition Ecologique**

COMPOST : un projet « fertile » ?

Les graines qui germent ne sont pas toujours celles qui ont été semées.

Merci de votre attention !

REMERCIEMENTS :

@ L2C : S. Nanot, H. Peyre, T. Cohen, C. Consejo

@ FDE : F. Cristol, V. Munier, J. Fossati

@CEA : G. Le Chevallier - @ CTM. : R. Felix

Etudiant.e.s : Y. Pain (EPF), B. Chevance (M2), S. Benlemqansa (M2), J. Aasine (M2), N. Augarde (DUT), F. Pagès (L3), H. Elmajdoub (M2).

@ Annealsys : J-M. Decams, V. Astié

@ Compost Motion : F. Georges

Co-financement banc de test et stagiaires (Labex NUMEV & L2C)

& la MITI

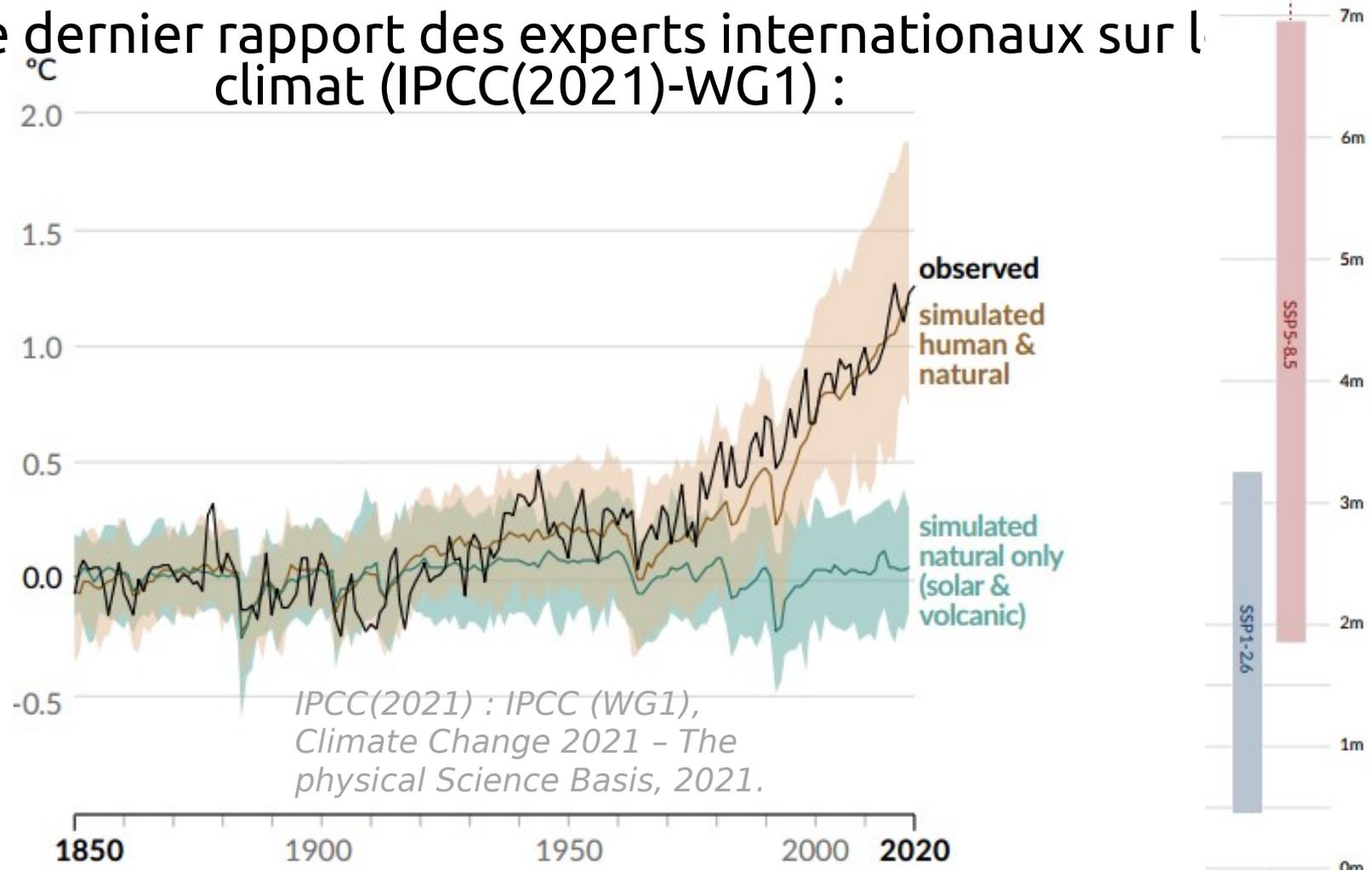
**MITI - Mission pour les initiatives transverses
et interdisciplinaires**

Changement climatique : du constat aux leviers d'action



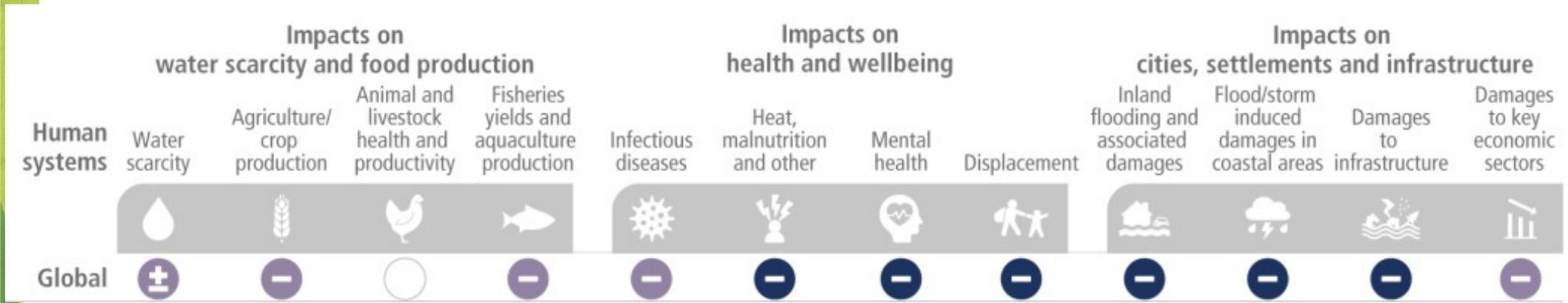
D'après le dernier rapport des experts internationaux sur le climat (IPCC(2021)-WG1) :

Impacts majeurs sur les sociétés humaines



Changement climatique : du constat aux leviers d'action

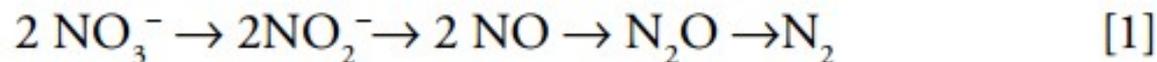
D'après le dernier rapport des experts internationaux sur le climat (IPCC(2022)-WG II) :



IPCC(2022) : IPCC (WG2), Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and vulnerability, 2022.

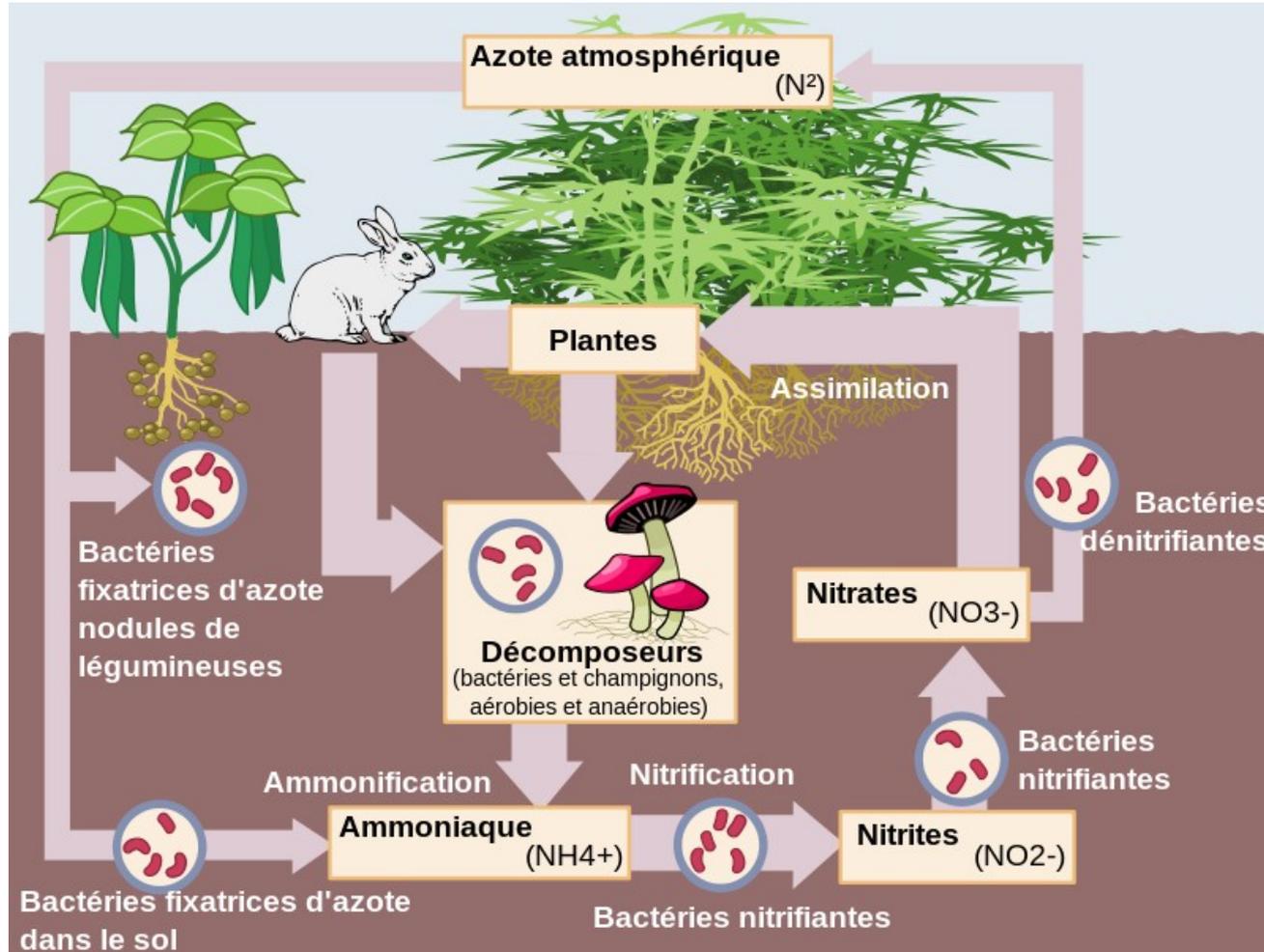
Back-up

The conditions favorable to the formation of N_2O are not as well understood (Béline et al., 1999). Nitrous oxides can be formed during nitrification (conversion of NH_3 to NO_3^-) and denitrification (conversion of NO_3^- to N_2) reactions, although they are much more commonly associated with denitrification (Brady and Weil, 2001). Denitrification involves the following transformations:

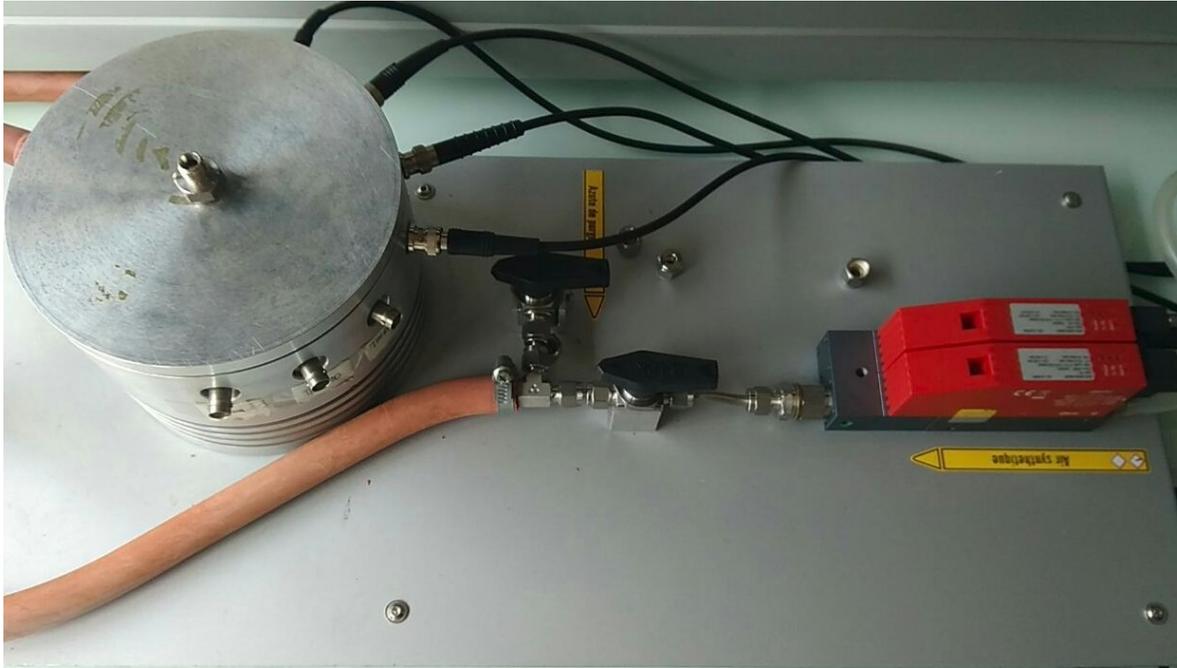


In soil systems, N_2O is much more likely to form and volatilize when the carbon to nitrogen (C/N) ratio of soil organic matter is low (<20:1), and denitrification is much more likely to occur under anaerobic conditions (Brady and

Back-up



Développement d'un banc de test Air/CO₂/CH₄



MFC faible débit => mélange CO₂ ou CH₄ de 10 à 1000 ppm
 Enceinte de test
 Pilotage par carte Analog Discovery

Quelle détection électronique associée au capteur ?

- **mesure résistive** : $R = \frac{1}{nq\mu} \frac{L}{S} \Rightarrow V(\Delta n) = \left(R_0 + \frac{\partial R}{\partial n} \Delta n \right) I$

- **effet Hall** (champ magnétique B) :

=> Suppression des bruits 1/f
=> Champ magnétique élevé....

$$V_H = \frac{IB}{nq} \Rightarrow V(\Delta n) = \frac{\partial V}{\partial n} \Delta n$$

- **comportement ambipolaire**
=> mesure résistive asservie au point de fonctionnement optimal

$$R(V_g) = \frac{R_0}{\epsilon + (V_g - \alpha n_0)}$$

$$\Rightarrow V(\Delta n) = \left(R_0 + \frac{\partial R}{\partial n} \Big|_{V_{g_{opt}}} \Delta n \right) I$$

Quelle détection électronique associée au capteur ?

- **mesure résistive** : $R = \frac{1}{nq\mu} \frac{L}{S} \Rightarrow V(\Delta n) = \left(R_0 + \frac{\partial R}{\partial n} \Delta n \right) I$

- **effet Hall** (champ magnétique B) :

=> Suppression des bruits 1/f
=> Champ magnétique élevé....

$$V_H = \frac{IB}{nq} \Rightarrow V(\Delta n) = \frac{\partial V}{\partial n} \Delta n$$

- comportement ambipolaire
=> mesure résistive asservie au point de fonctionnement optimal

$$R(V_g) = \frac{R_0}{\epsilon + (V_g - \alpha n_0)}$$

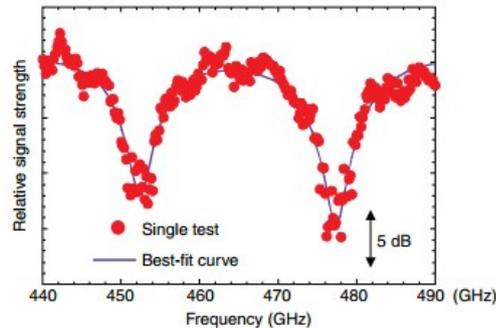
$$\Rightarrow V(\Delta n) = \left(R_0 + \frac{\partial R}{\partial n} \Big|_{V_{g_{opt}}} \Delta n \right) I$$

Carte électronique CO₂/CH₄ pour le composteur

Capteur électrochimique (CO₂) & semiconducteur (CH₄)



Mesure du **N₂O** par spectroscopie THz (Shimizu et al.(2009))

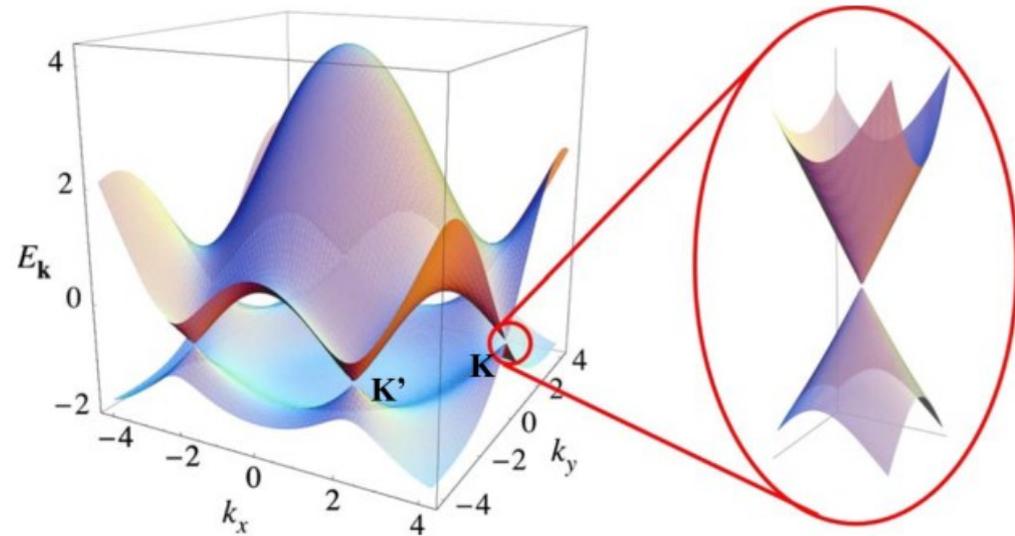


Shimizu et al. (2009) : *Gas Detection Using Terahertz Waves, NTT Technical Review, Vol.7, 2009.*

Graphène : prix Nobel de physique 2010 (Geim & Novoselov)

Monocouche d'atomes de carbone (épaisseur 0,346 nm)
Structure en nid d'abeille

Matériau semi-conducteur à **gap nul**



Castro Neto et al.(2009) : H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov, and A. K. Geim. The electronic properties of graphene. Rev. Mod. Phys., 81(1) :109, 2009.

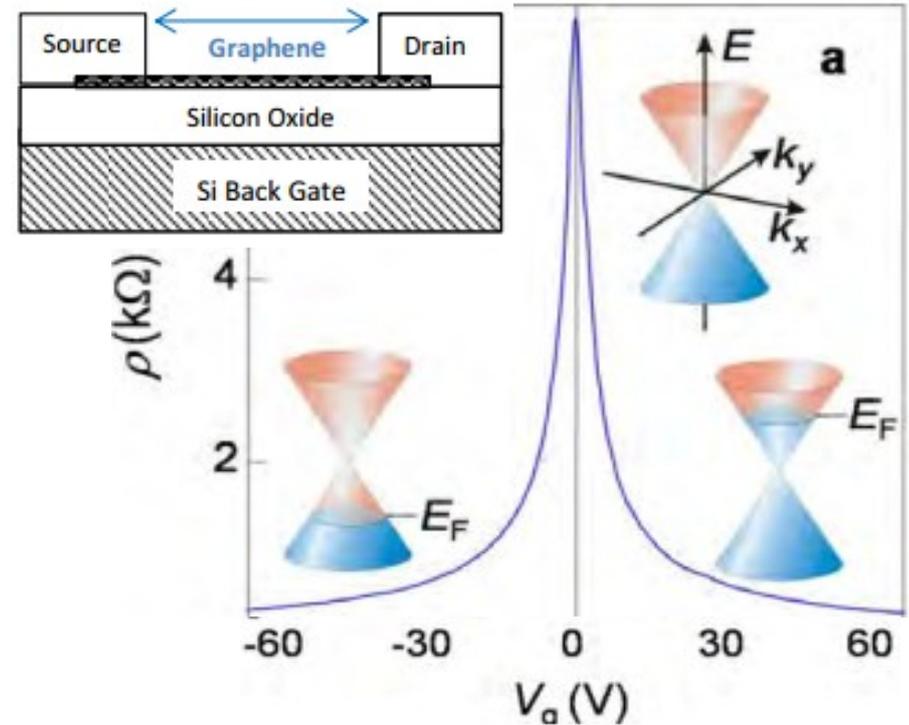
Graphène : prix Nobel de physique 2010 (Geim & Novoselov)

Monocouche d'atomes de carbone (épaisseur 0,346 nm)
Structure en nid d'abeille

Matériau semi-conducteur

Propriétés électroniques remarquables:

- Mobilité électronique élevée
- Comportement « ambipolaire »



Geim, Novoselov, The rise of graphene. Nature Mater, 183-191 (2007)..

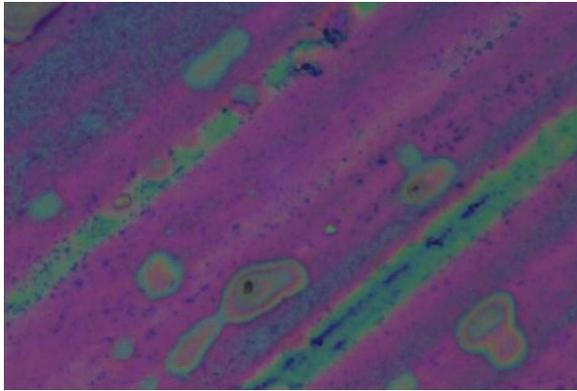
😊 **Transistor graphène**

☹️ **Extrême sensibilité aux molécules gazeuses**

Etapes de fabrication des capteurs graphène

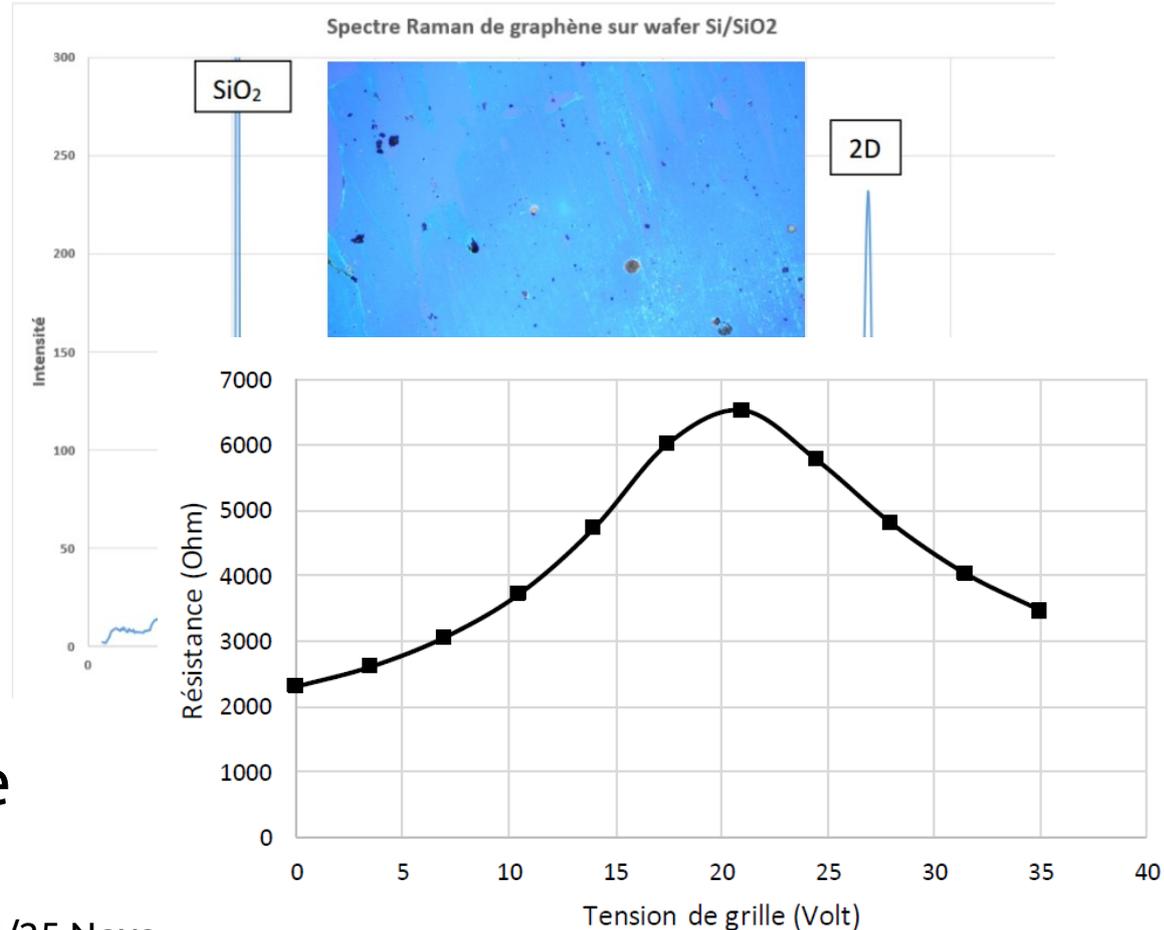
Caractérisation optique :

- spectroscopie Raman



Caractérisation électrique :

- magnétotransport
- comportement ambipolaire



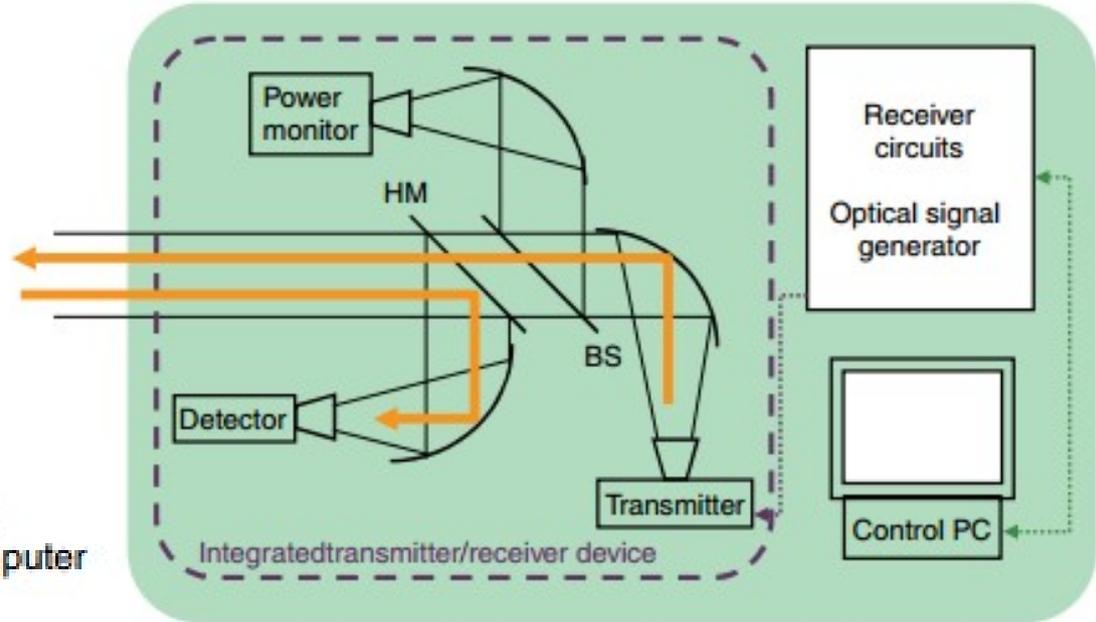
Mesure du N₂O par spectroscopie THz (Shimizu et al.(2009))

Shimizu et al. (2009) : *Gas Detection Using Terahertz Waves, NTT Technical Review, Vol.7, 2009.*

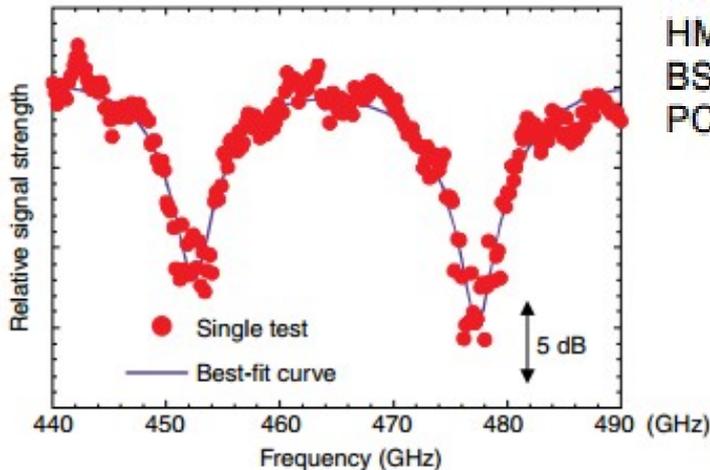
Wall (mirror or house outer wall)



Gas cell (1 m)



HM: half mirror
BS: beam splitter
PC: personal computer



Banc en cours d'installation
=> caractérisation par prélèvement

De 1979 (**Charney et al.(1979)**)

=> *Commande de la Maison Blanche à l'académie des Sciences Américaines*

Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment

The conclusions of this brief but intense investigation may be comforting to scientists but disturbing to policymakers. If carbon dioxide continues to increase, the study group finds no reason to doubt that climate changes will result and no reason to believe that these changes will be negligible. The

à 2021 (**IPCC(2021)**)

A.1 It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

*Charney et al.(1979) : Carbon Dioxide and Climate, National Academy of Science (1979)
IPCC(2021) : IPCC (WG1). Climate Change 2021 – The physical Science Basis, (2021).*

Introduction : objectifs de la formation (S. Jouan, FDE)

Menaces sur la Biodiversité & services « Ecosystémiques » (P. Ganault, CEFE)

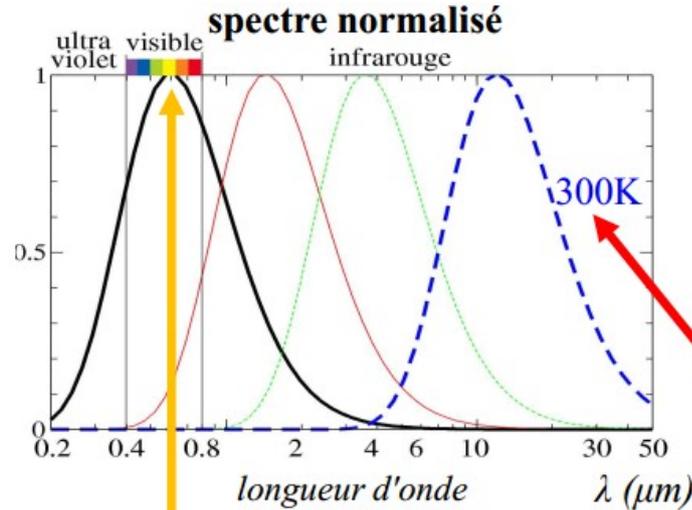
Cycle de l'eau (C. Peugeot, HydroSciencesMontpellier)

Limites à la croissance (A. Tiberj, L2C)

- Bases physiques (T. Guillet, P. Landois, S. Juillaguet, L2C)
- Modèles du climat: état des lieux (C. Coillot (L2C), P. Landois (L2C), S. Jouan (FDE))
- Eco-citoyenneté (A. Jeziorski, LIRDEF)

- Bases physiques (T. Guillet, P. Landois, S. Juillaguet, L2C)

Mesurer le rayonnement Infrarouge thermique



Visible



IR thermique



Transition Ecologique a) Comprendre

- Réflexions sur l'anthropocène (V. Maris, CEFE)



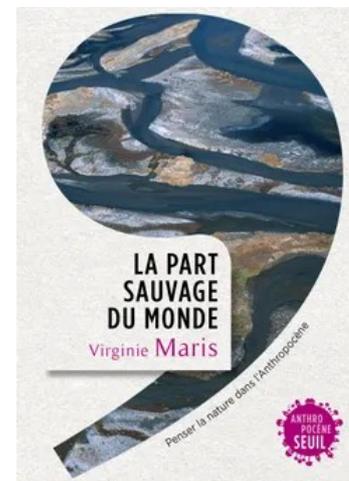
LA TÊTE AU CARRÉ

Philosophie de la biodiversité

23 févr. 2016 Par Mathieu Vidard

Sciences Idées

<https://www.franceinter.fr/emissions/la-tete-au-carre/la-tete-au-carre-23-fevrier-2016>



- Les Plantes : meilleures alliées pour le climat (J-L. Verdeil, AGAP-CIRAD)

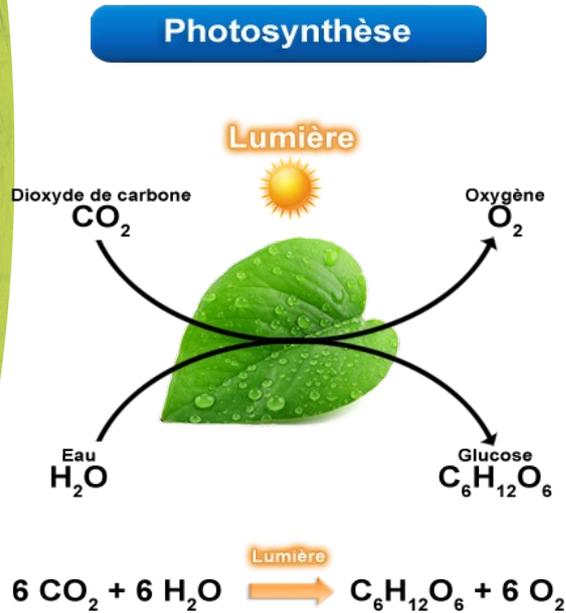
- Agroécologie & agrobiodiversité (A. Barnaud, DIADE-IRD)

- Penser une économie au service de la transition (B. Prevoist, ART-Dev)

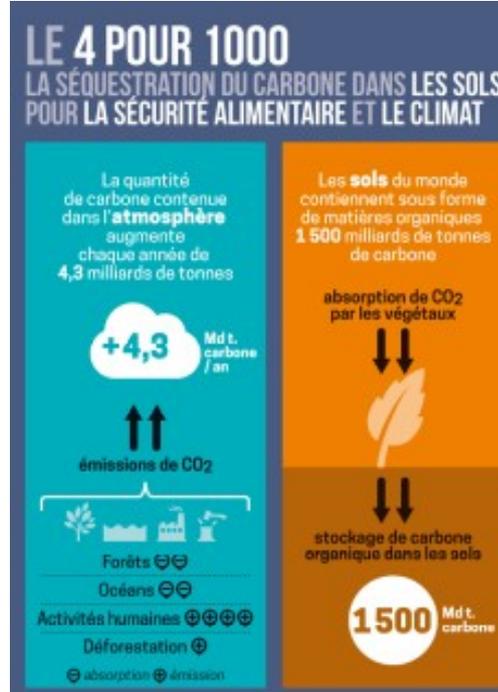
- Gérer, coopérer et sciences participatives (N. Ferrand, Geau-INRAE)

Les Plantes : meilleures alliées pour le climat (J-L. Verdeil, CIRAD)

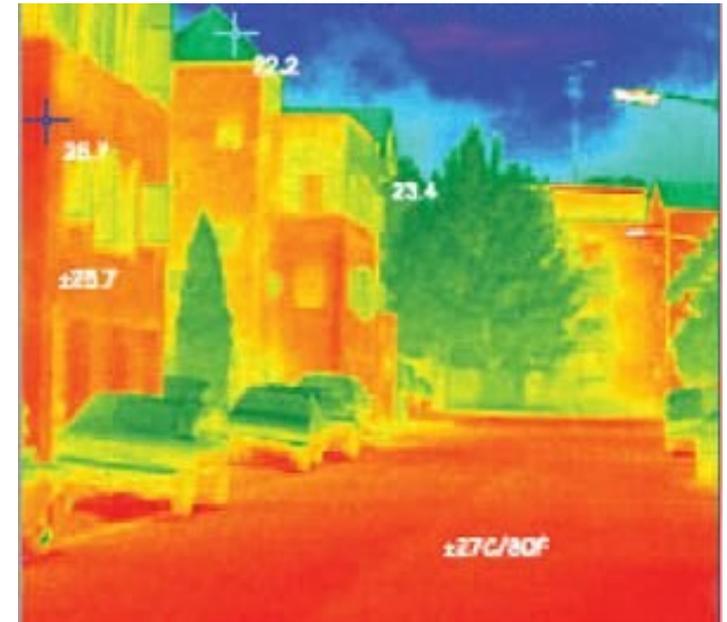
La feuille : siège de la photosynthèse



La séquestration de carbone dans les sols



L'arbre comme « climatisation » naturelle dans les villes

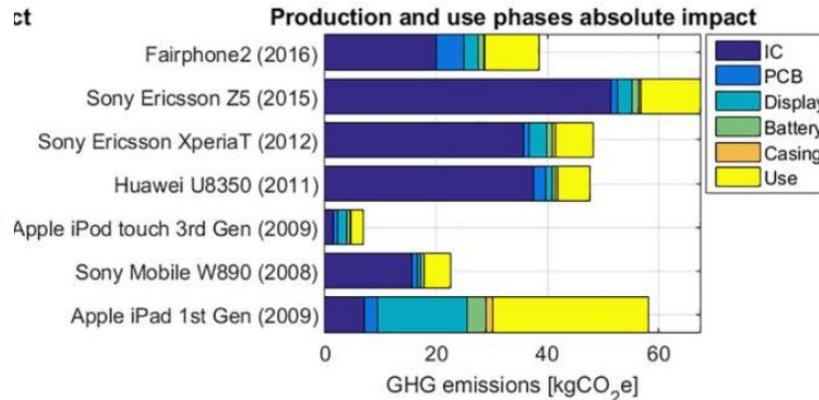


Transition Ecologique b) Transformer

- Modes de vie « zéro déchet » : de l'individu aux politiques collectives (*T. Turchet, Métropole Montpellier*)
- Eco-conception : bases de l'analyse du cycle de vie (*J-L. Bantignies, L2C*)
- Eco-conception : solutions autour de la durabilité des produits (*S. Le Floch, LMGC*)
- Sobriété Numérique (*F. Rodhain, MRM-Polytech*)

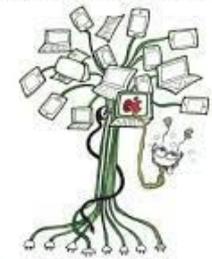


ct



FLORENCE RODHAIN

LA NOUVELLE RELIGION DU NUMÉRIQUE
LE NUMÉRIQUE EST-IL ÉCOLOGIQUE ?



CNRS

Chart Science

Transition Ecologique b) Transformer

- Conversion d'énergie - (*B. Chenaud, L2C*)
- Sensibilisation à l'utilisation du bois comme matériau écologique (*S. Bardet, LMGC*)
- Faire un bilan carbone (*P. Valvin & C. Coillot, L2C*)



Mini-Projets

Présentation de projets de recherche &/ou solutions citoyennes
(P. Canadas et J-F. Dubé, LMGC)

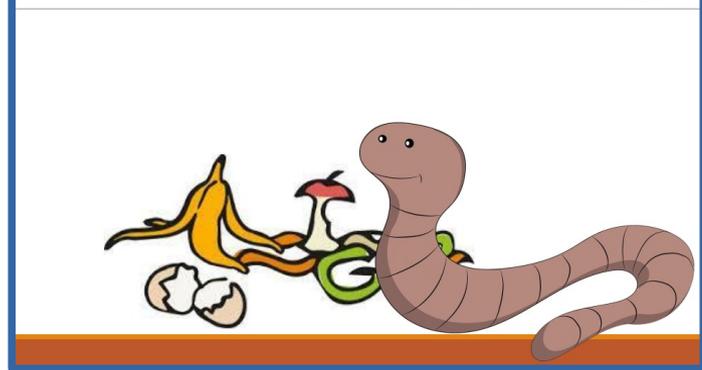
Comprendre le GIEC et ses rapports

La dépollution par les plantes.

Les cheveux : un outil de dépollution ?

Urbanisme pour une ville cyclable

Le Lombricompostage



Projet pédagogique autour du levain.

Projet DuraBloc : réduction des déchets au CHU de Nimes

Comment éviter sa première voiture ? De l'échelle de l'individu à celle de l'état.