

Le projet de recherche *NatAdGES*



pour une réduction des émissions de protoxyde d'azote induites par les sols

INRAE

Catherine Hénault
Camille Rousset

ORECA EST PILOTÉ PAR

COORDONNÉ PAR ALTERRE EN PARTENARIAT
AVEC ATMO BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

ORECA S'APPUIE SUR LA
PLATEFORME OPTEEER

AVEC LE PARTENARIAT
SCIENTIFIQUE DE

Le projet de recherche *NatAdGES*



pour une réduction des émissions de protoxyde d'azote induites par les sols

INRAE

Catherine Hénault
Camille Rousset



Donnons goût à l'innovation!



ORECA EST PILOTÉ PAR

COORDONNÉ PAR ALTERRE EN PARTENARIAT
AVEC ATMO BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

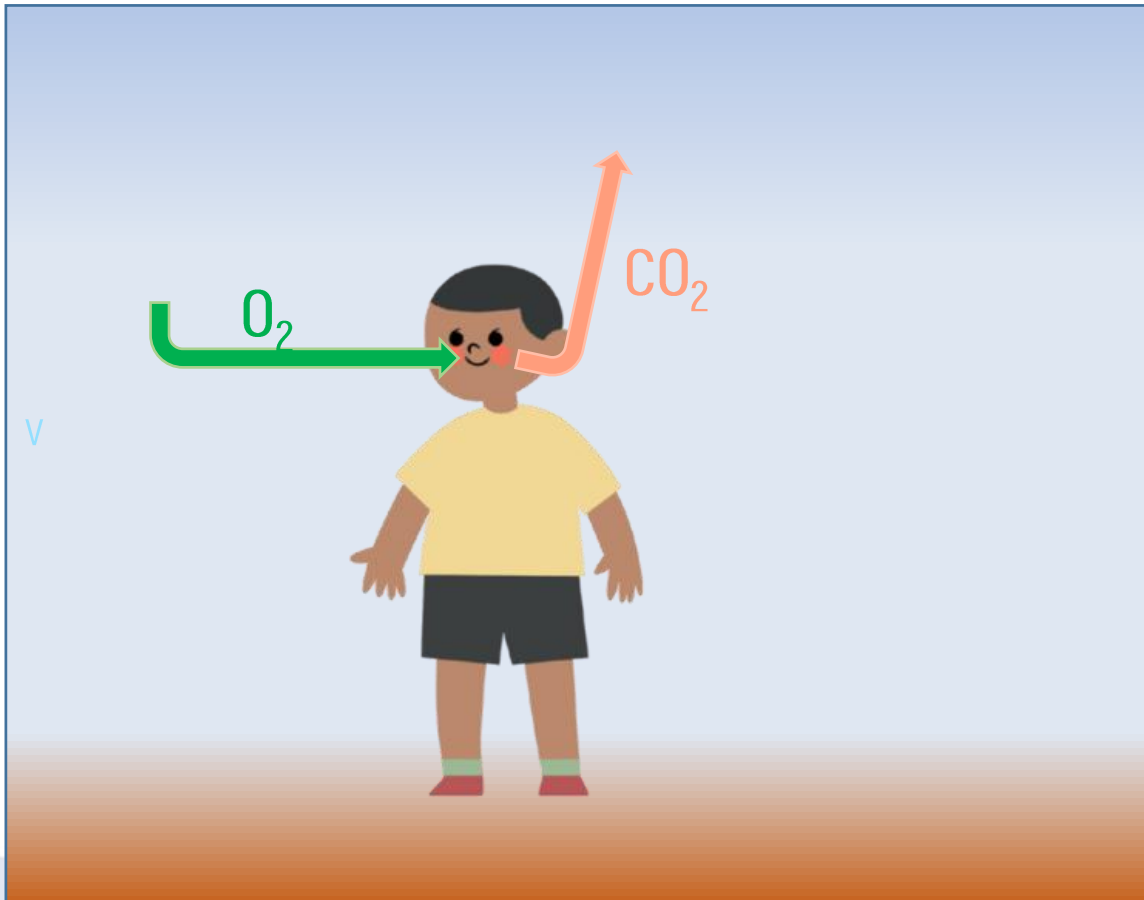
ORECA S'APPUIE SUR LA
PLATEFORME OPTER

AVEC LE PARTENARIAT
SCIENTIFIQUE DE

Respirations



Respirations



Respirations

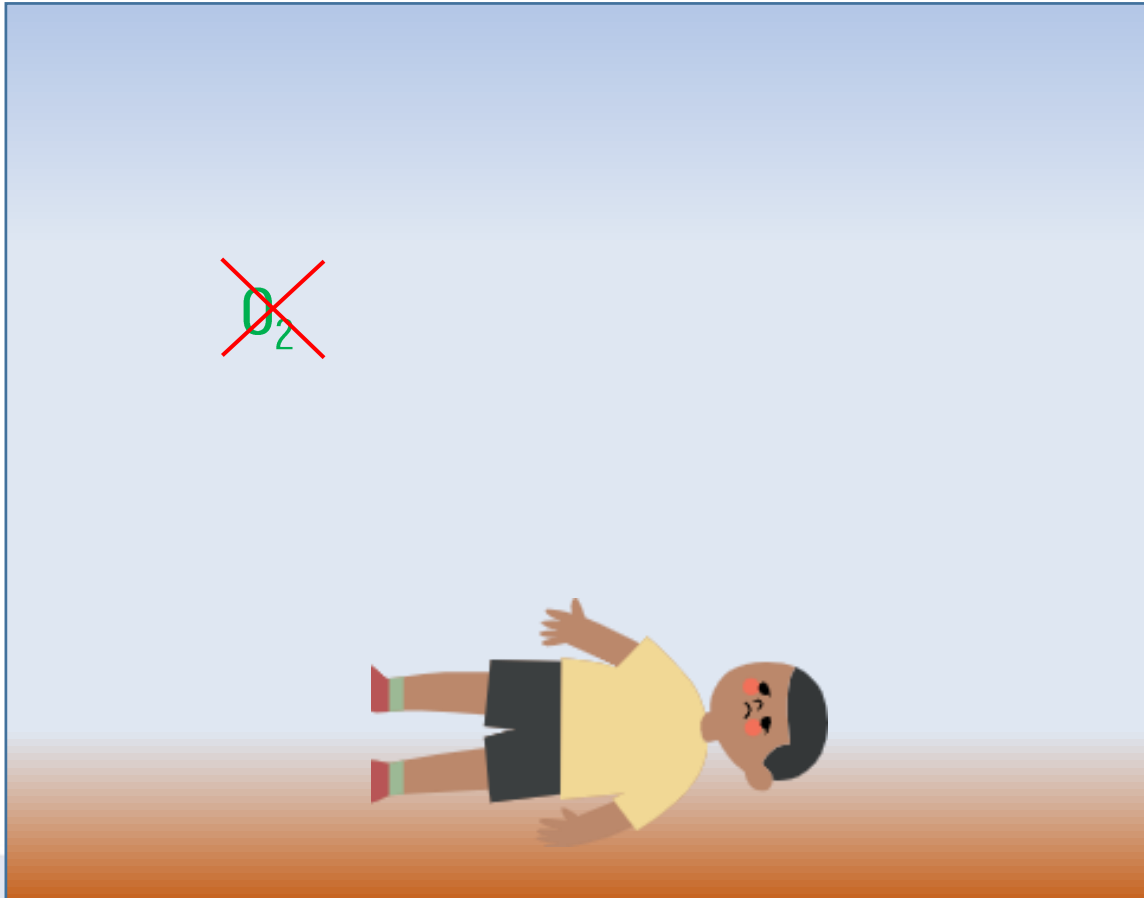


~~O₂~~

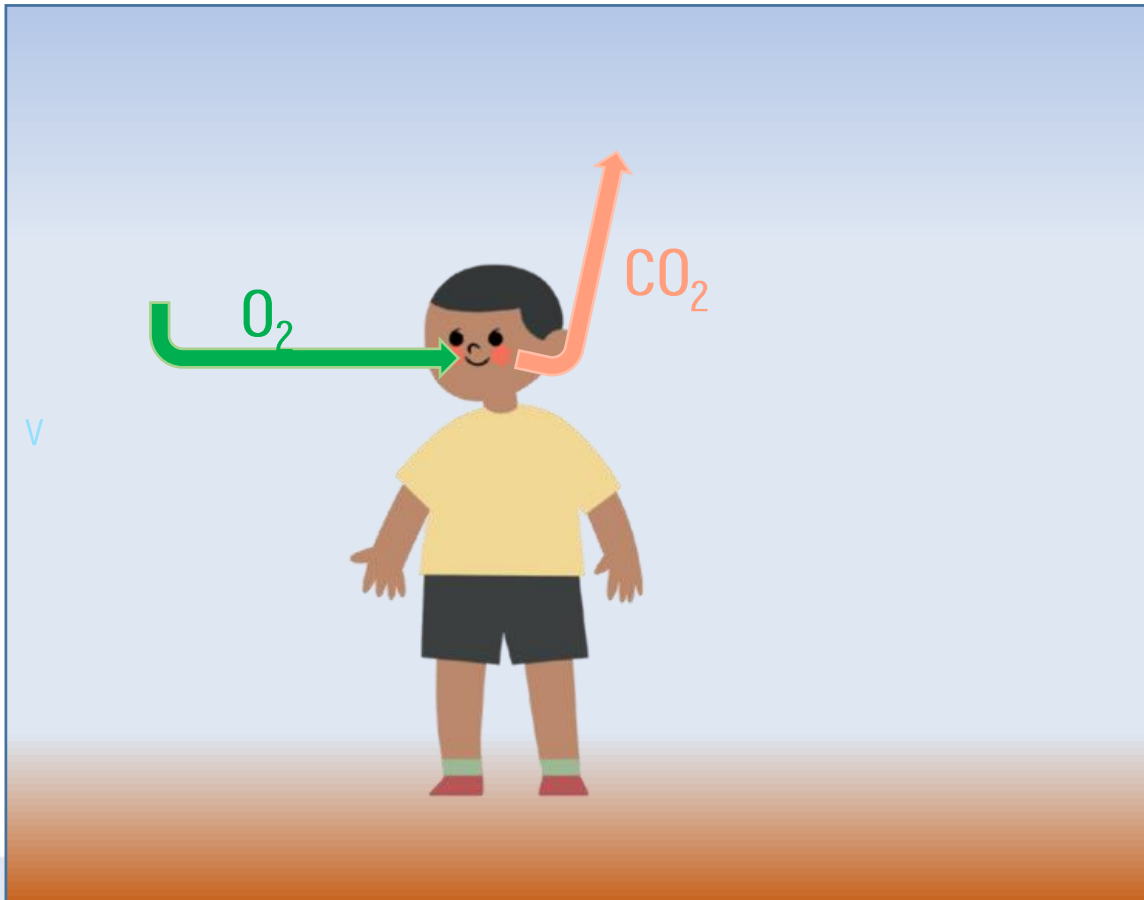
The diagram shows a large rectangular box representing a soil profile. The top half is light blue, and the bottom half is brown. A green 'O₂' is crossed out with a red 'X' in the blue section. In the background, there are faint silhouettes of hills, a tractor, and a factory with smokestacks.



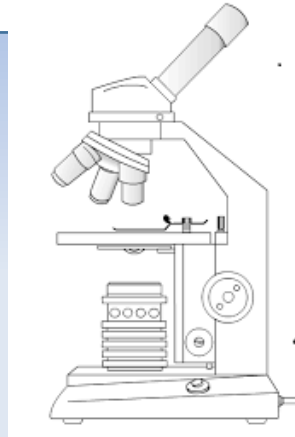
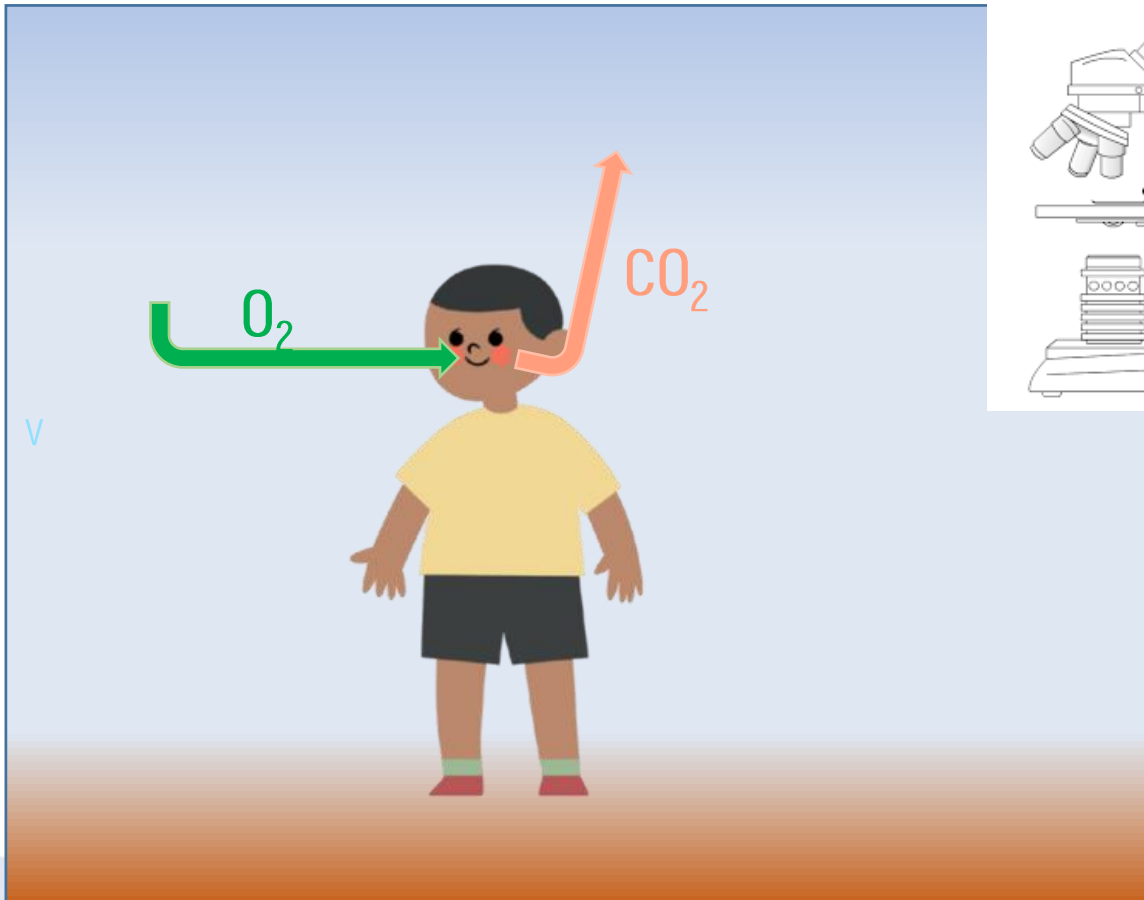
Respirations



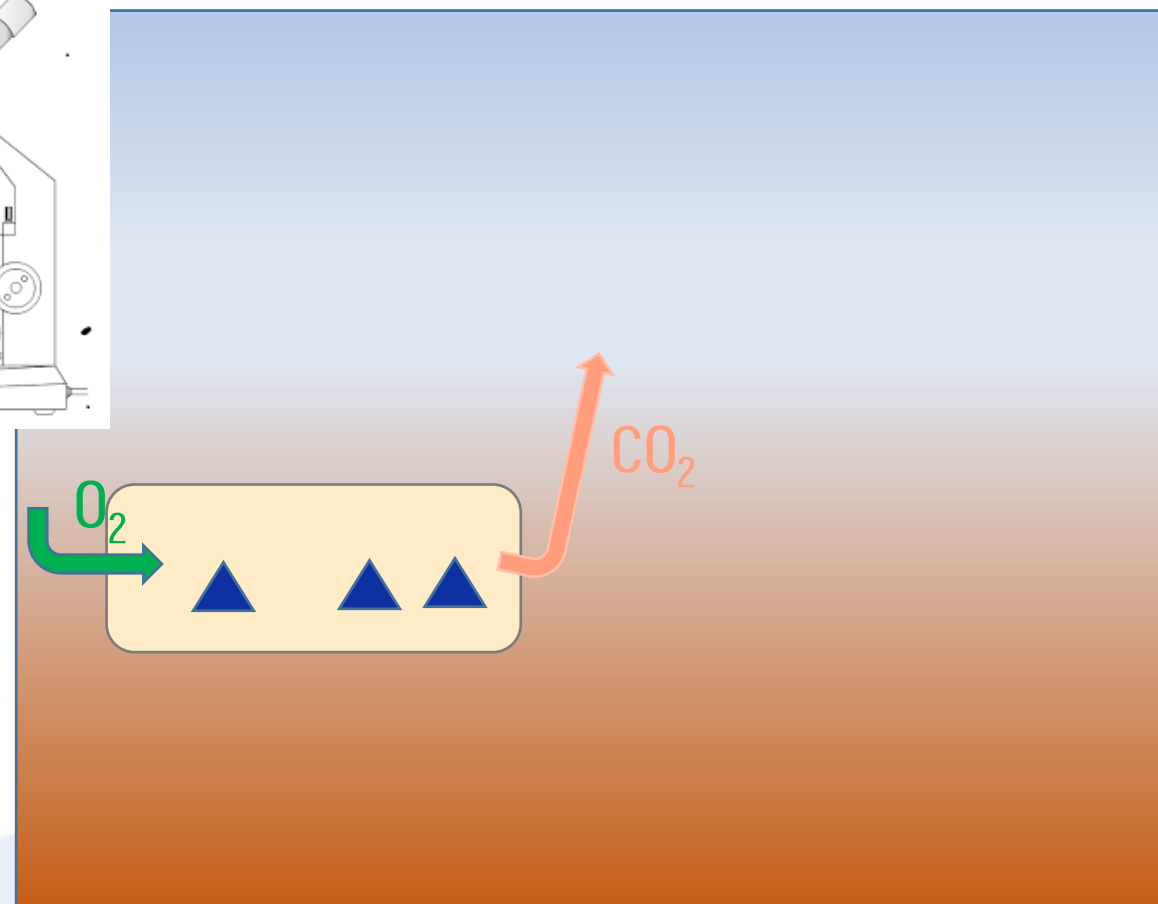
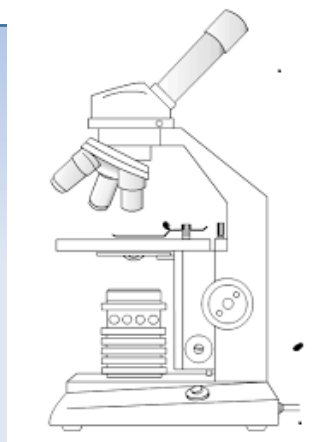
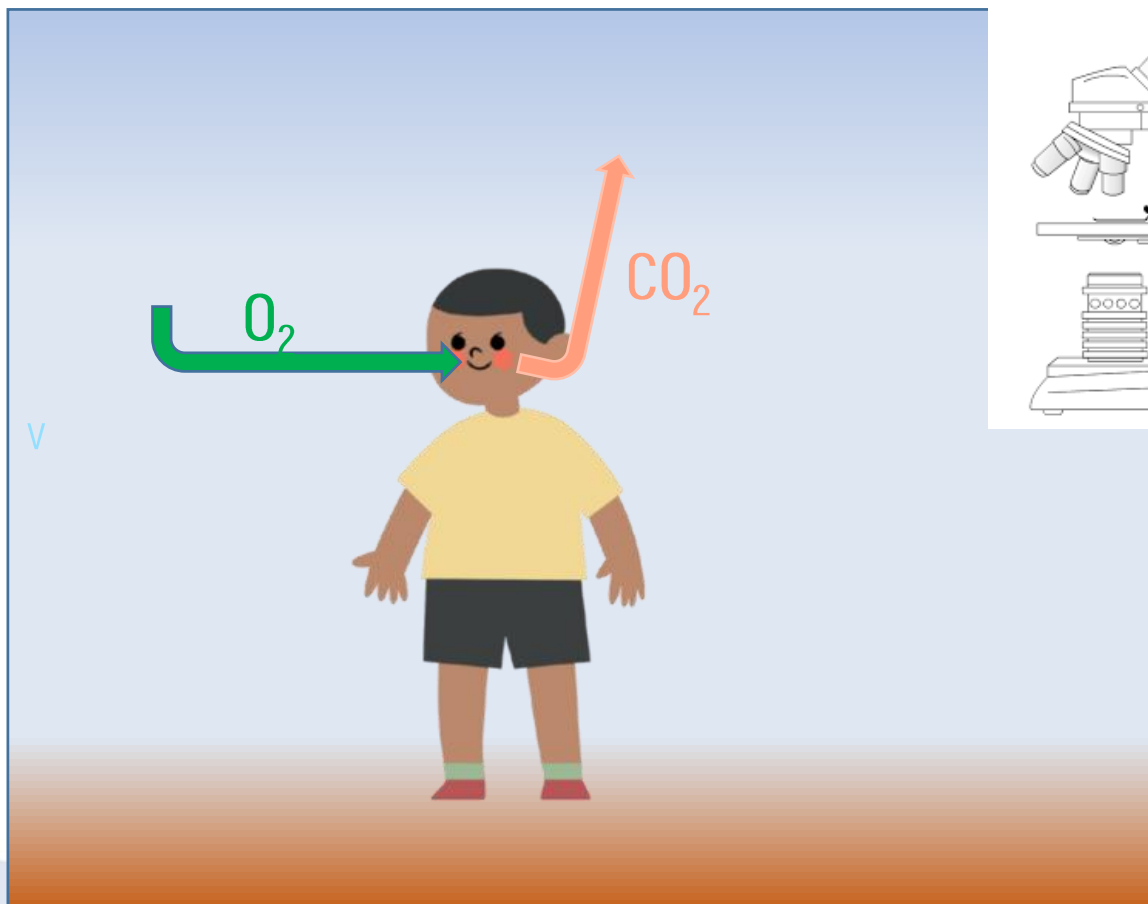
Respirations



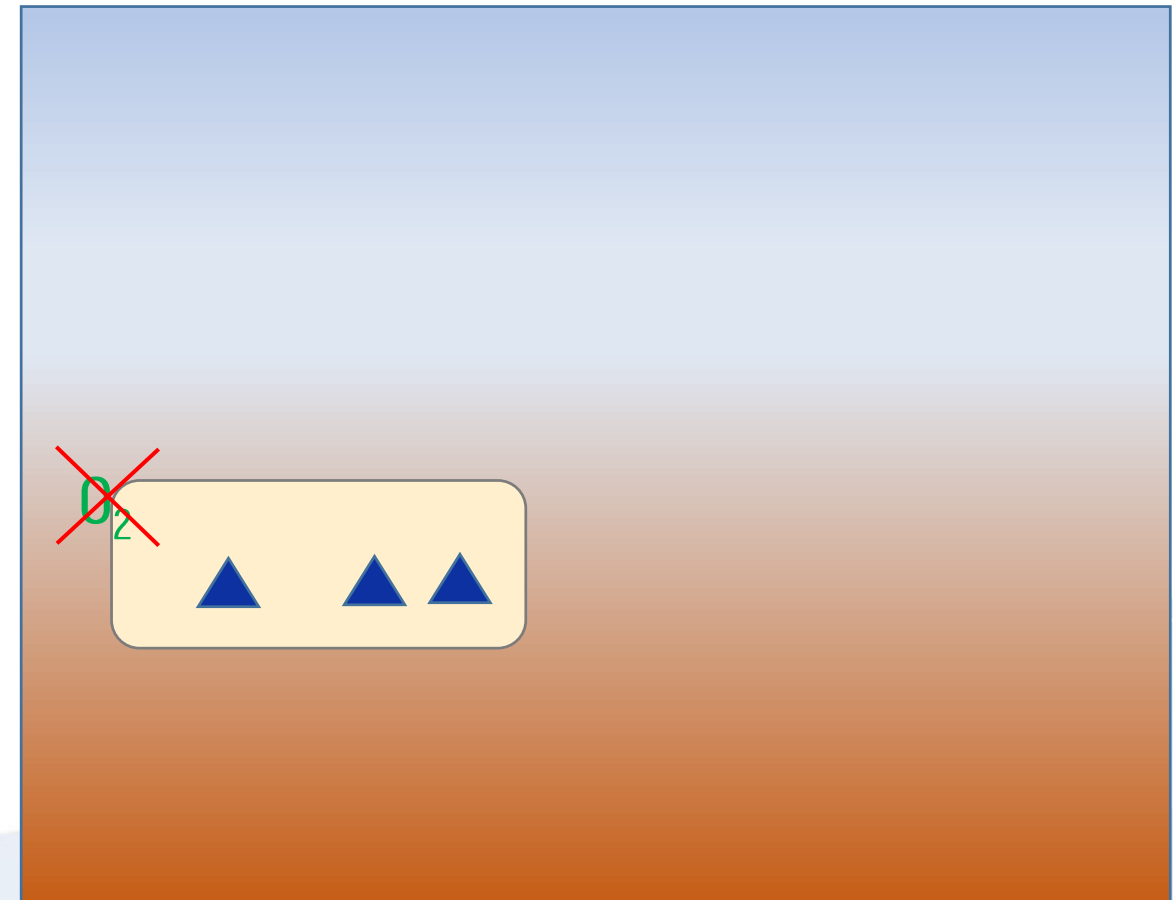
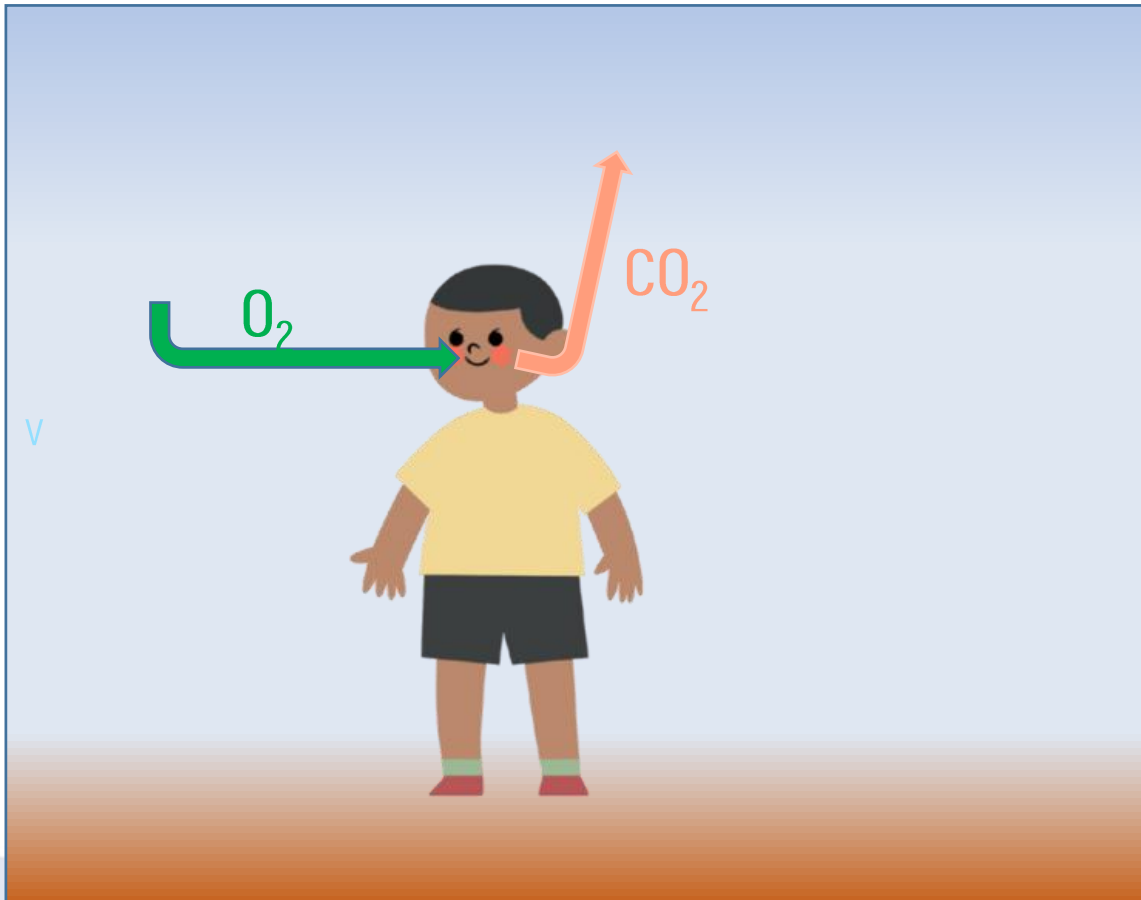
Respirations



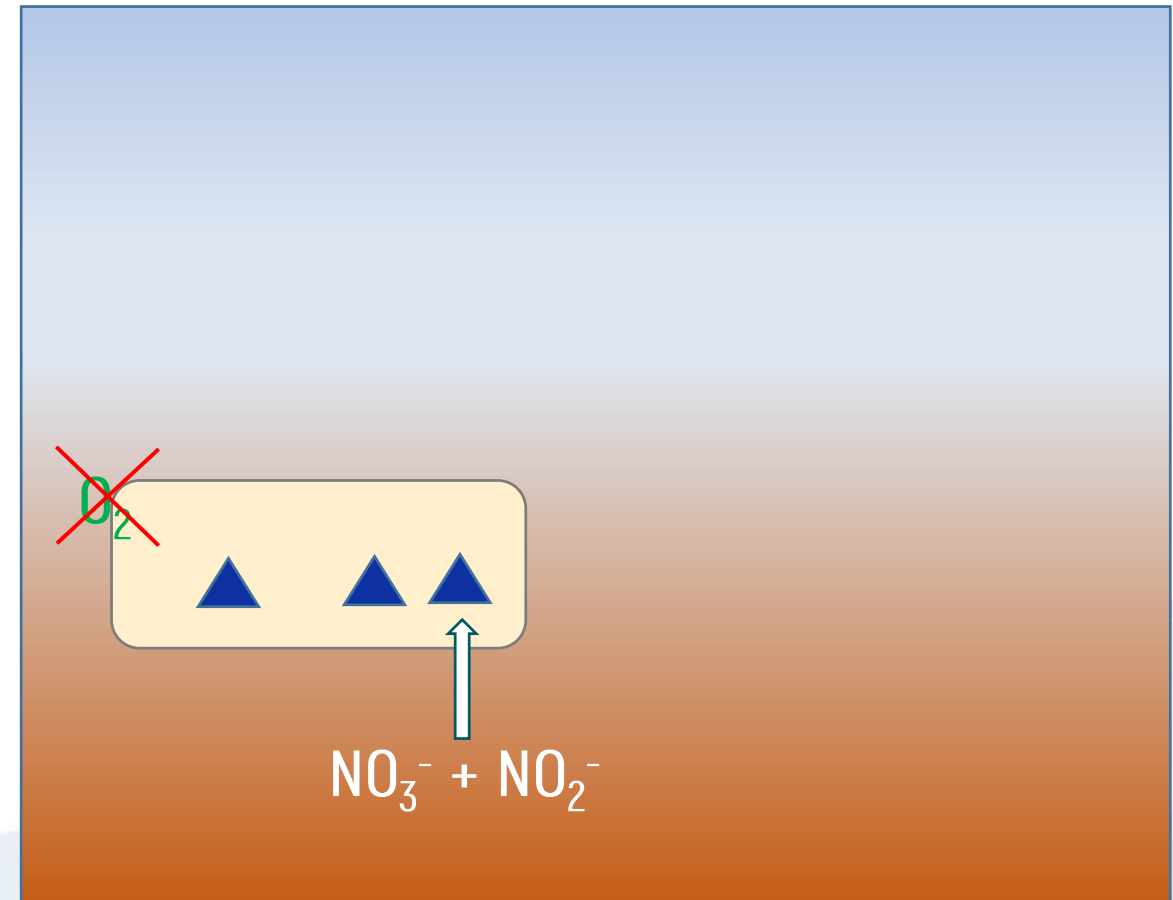
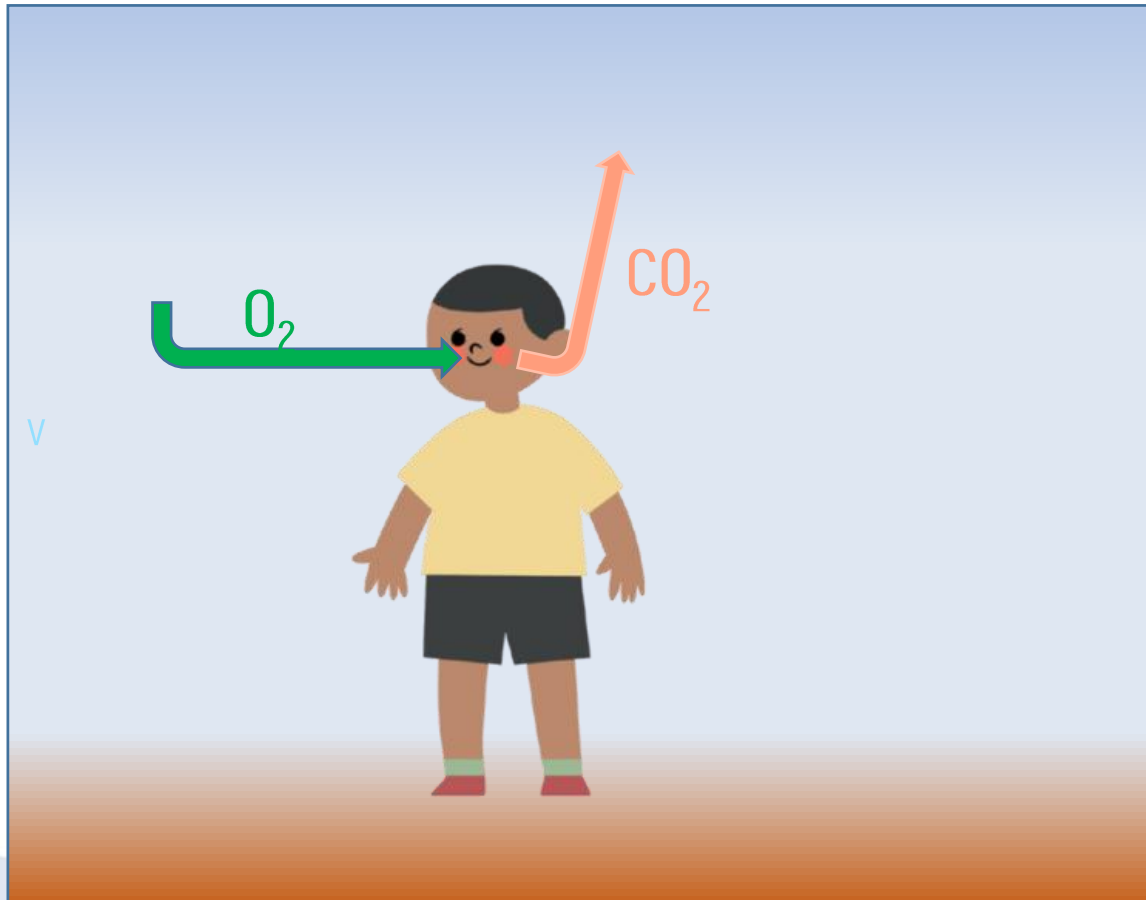
Respirations



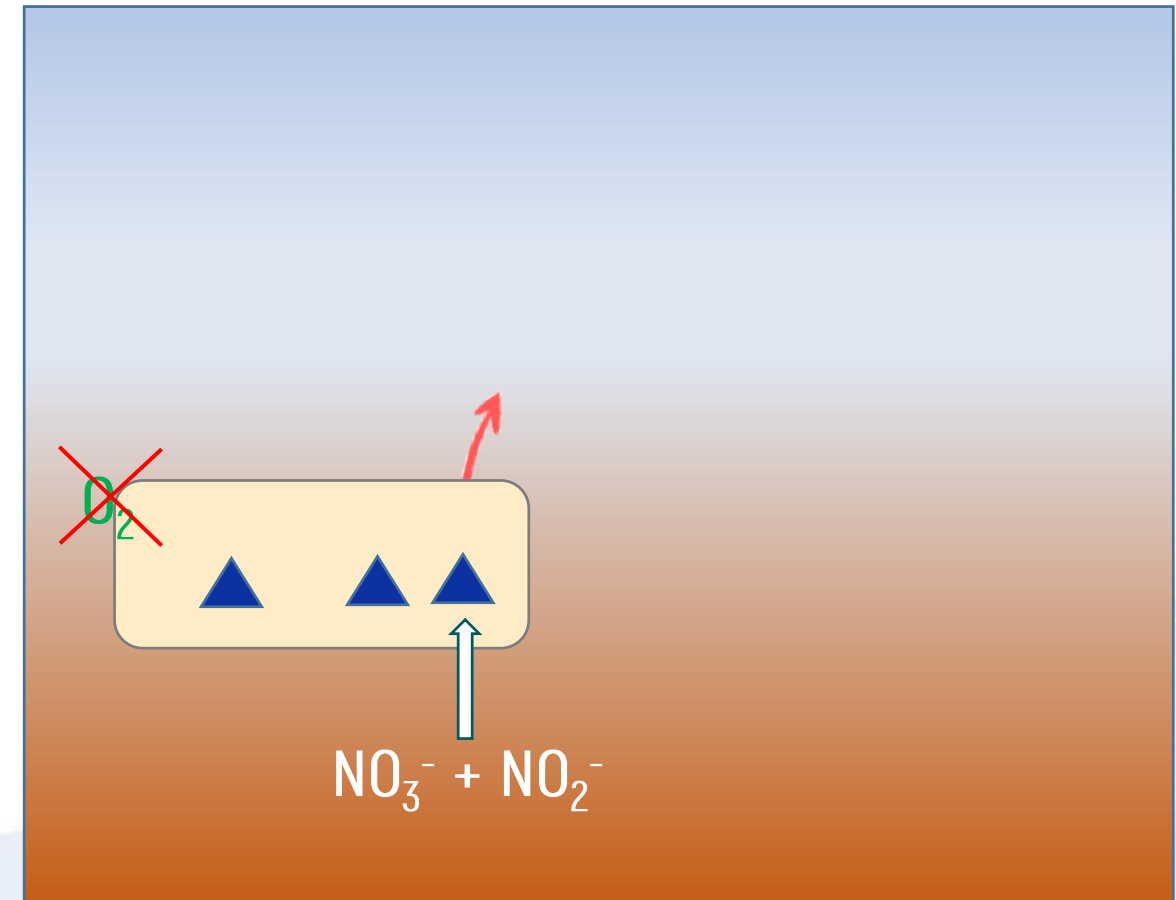
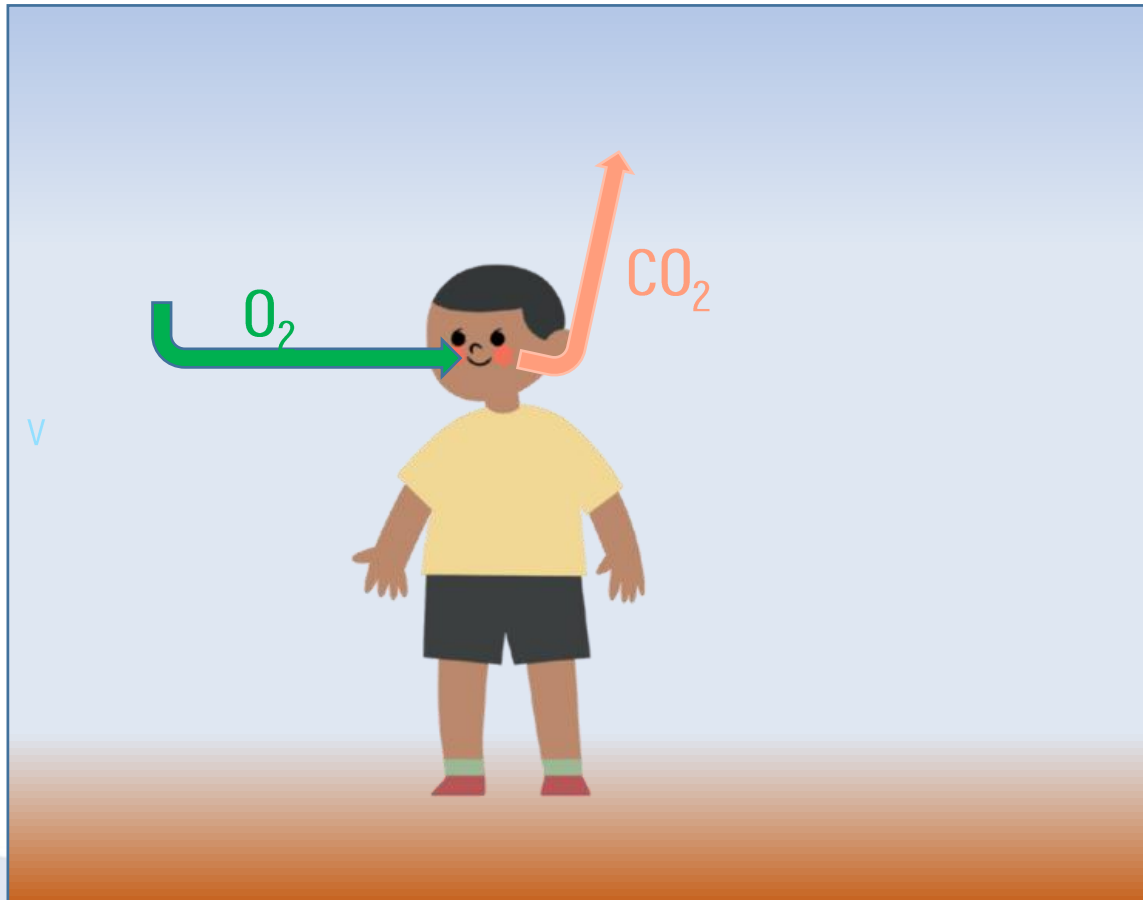
Respirations



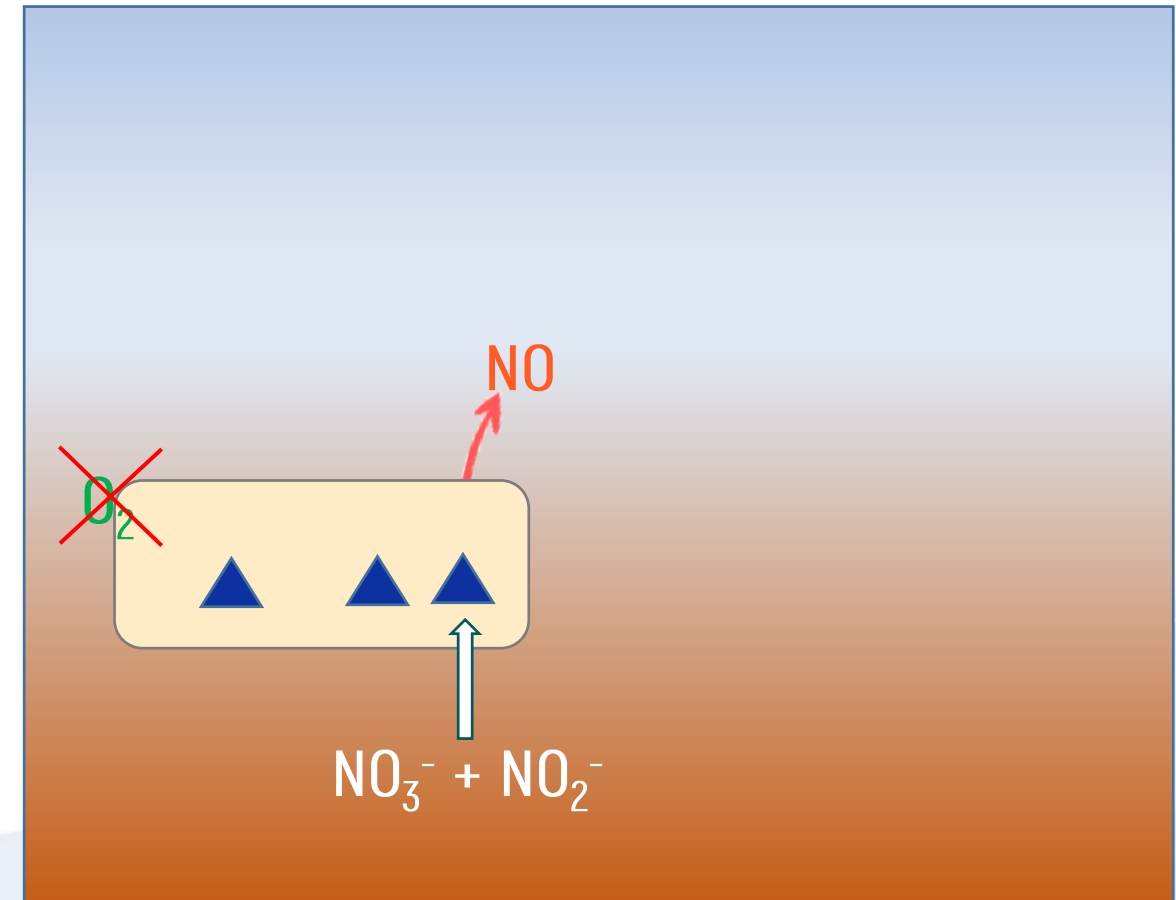
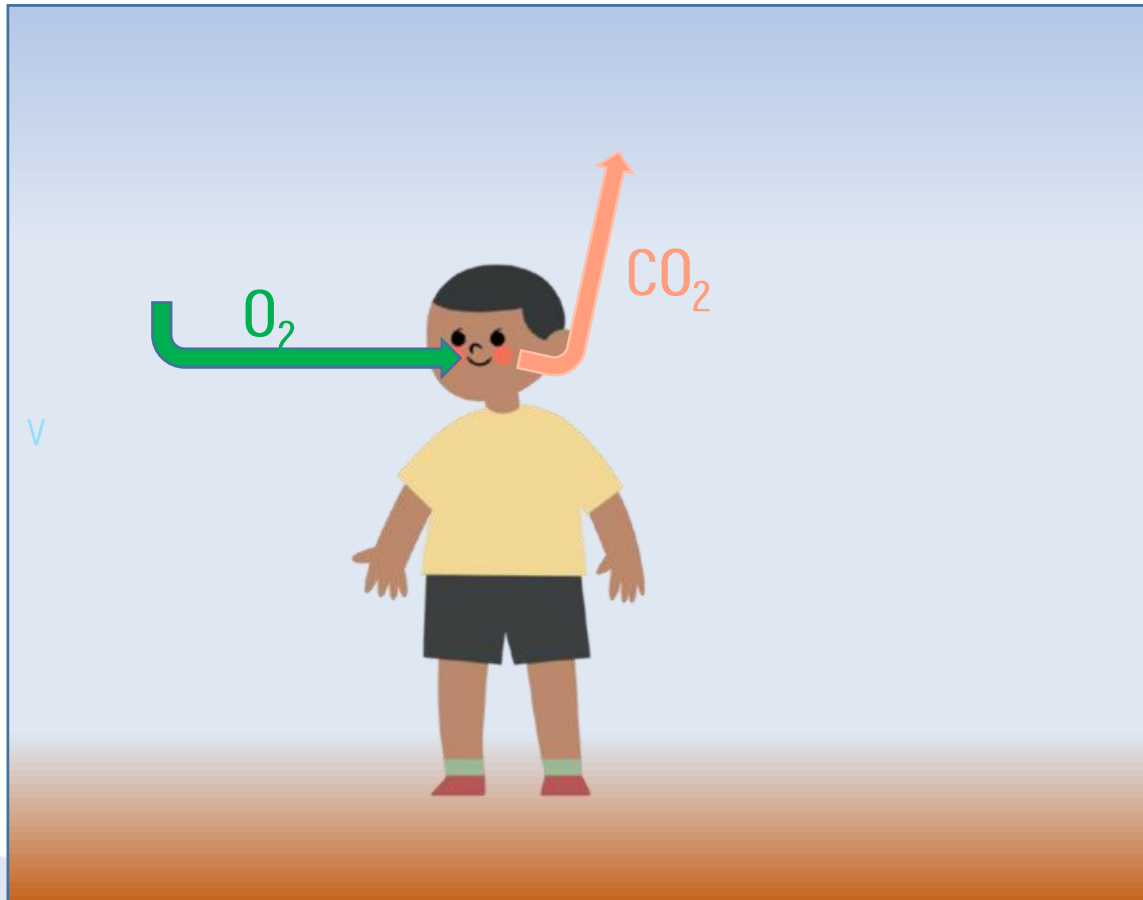
Respirations



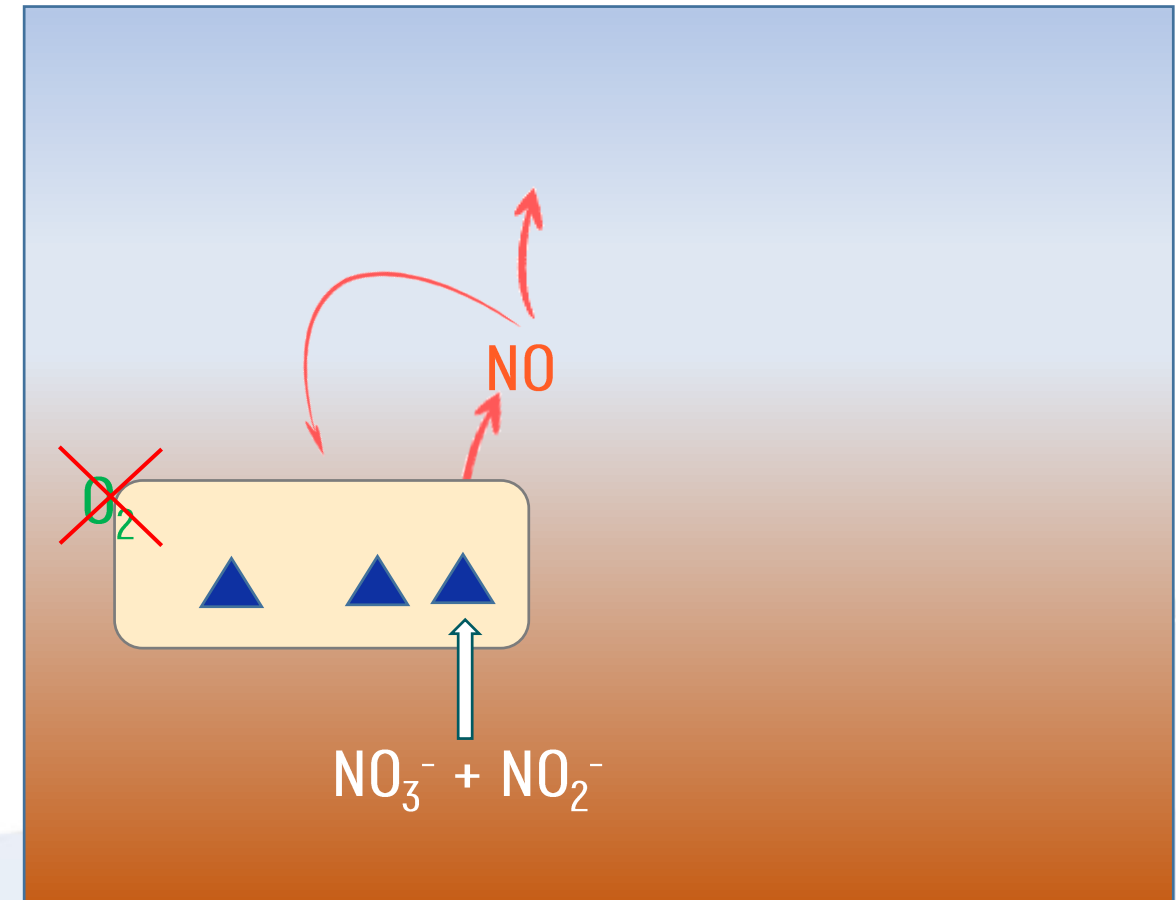
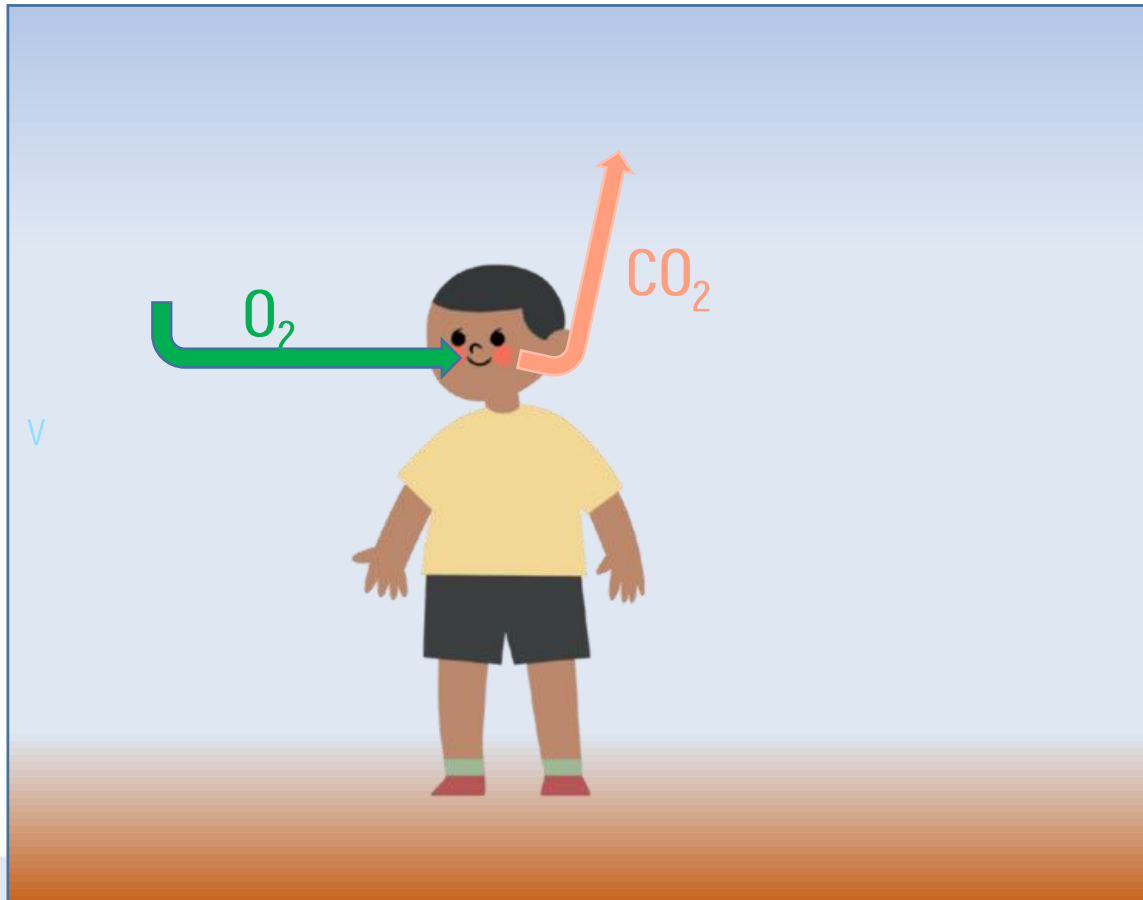
Respirations



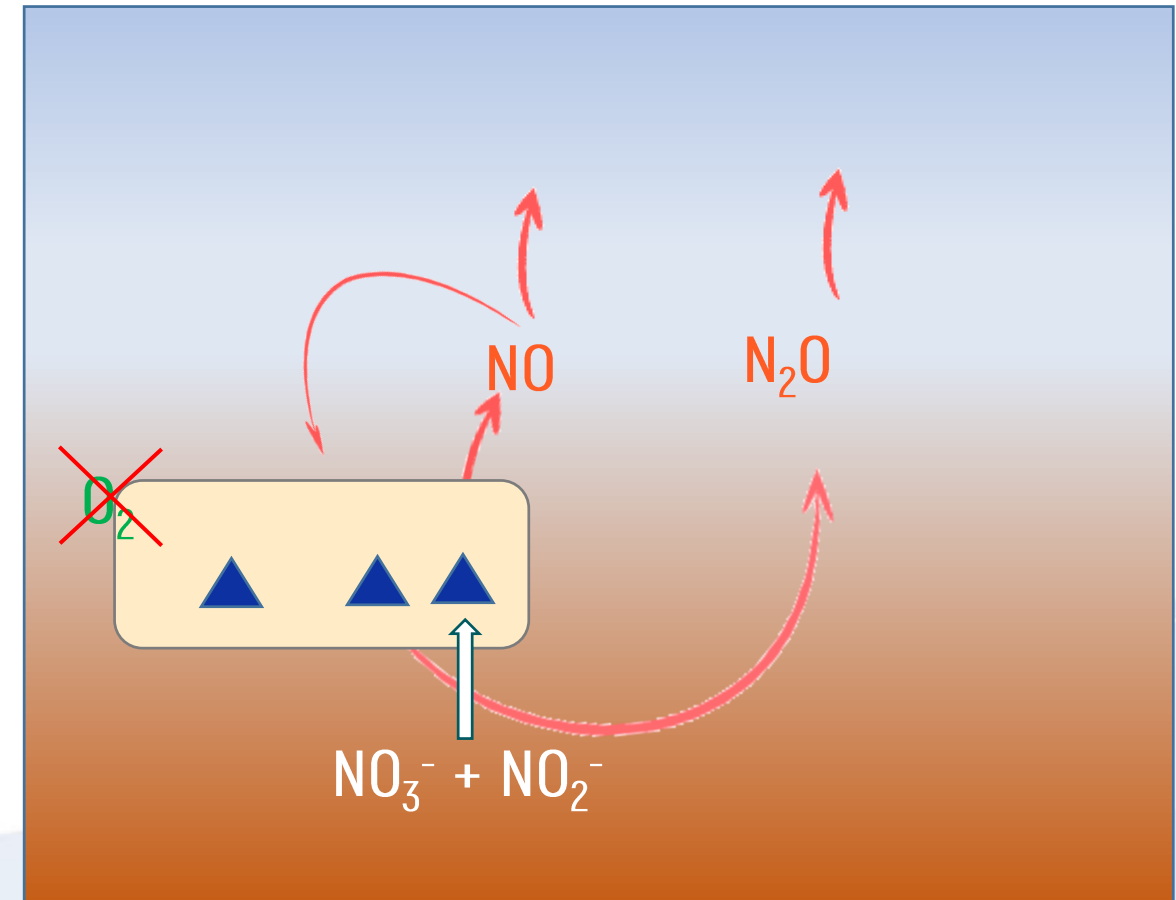
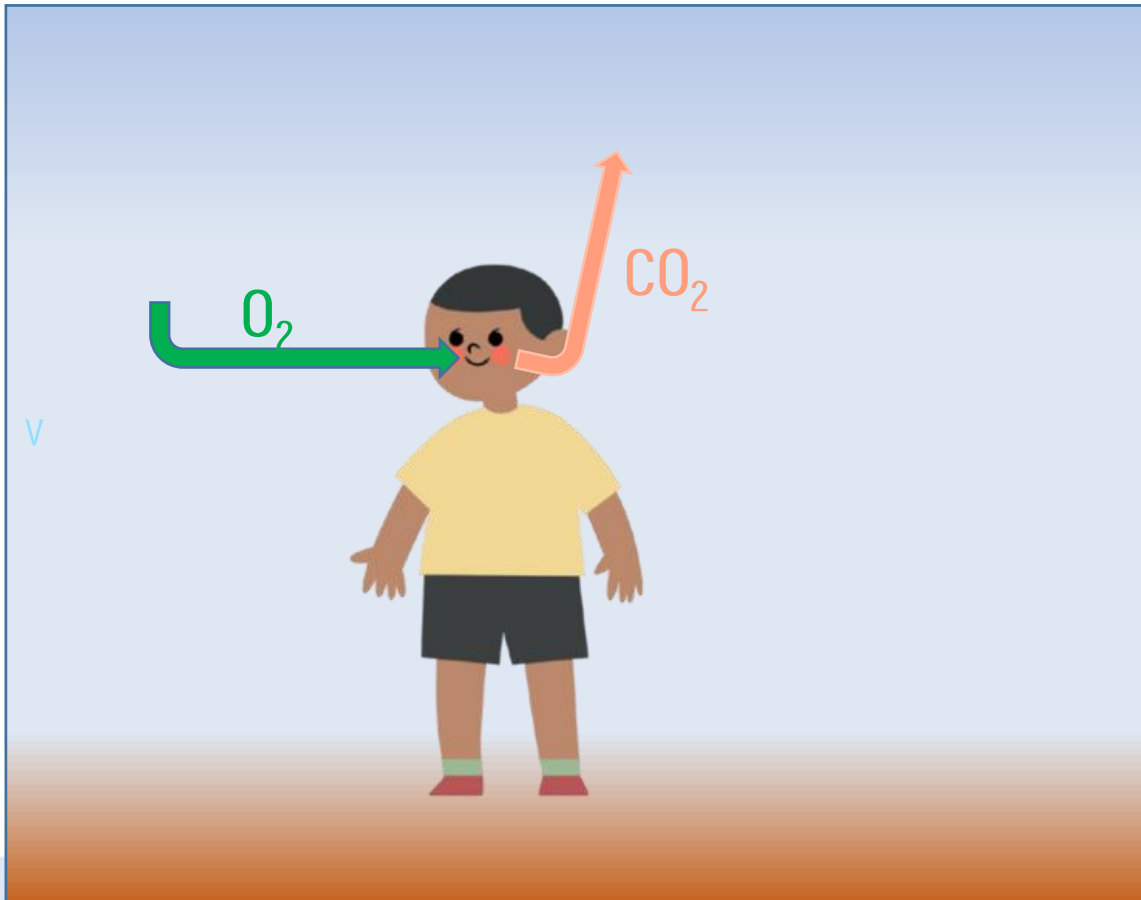
Respirations



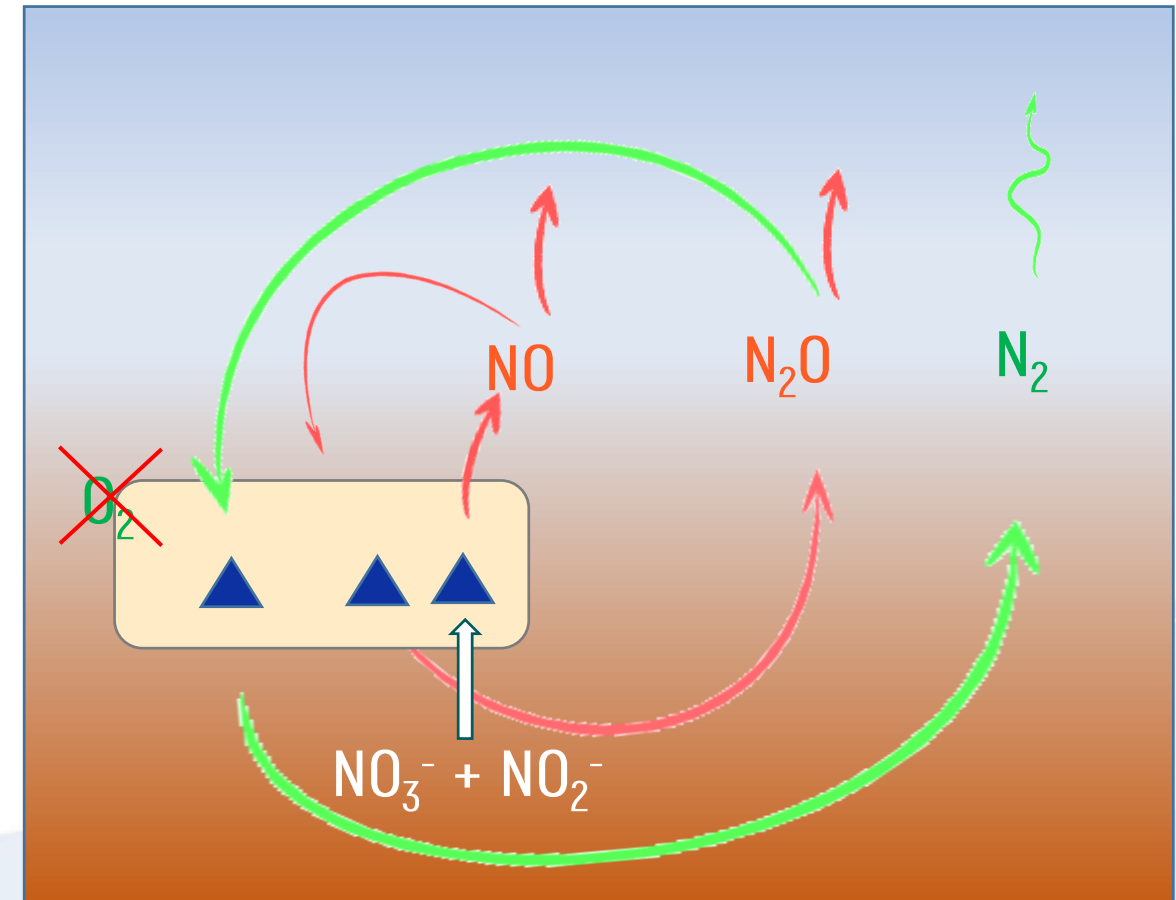
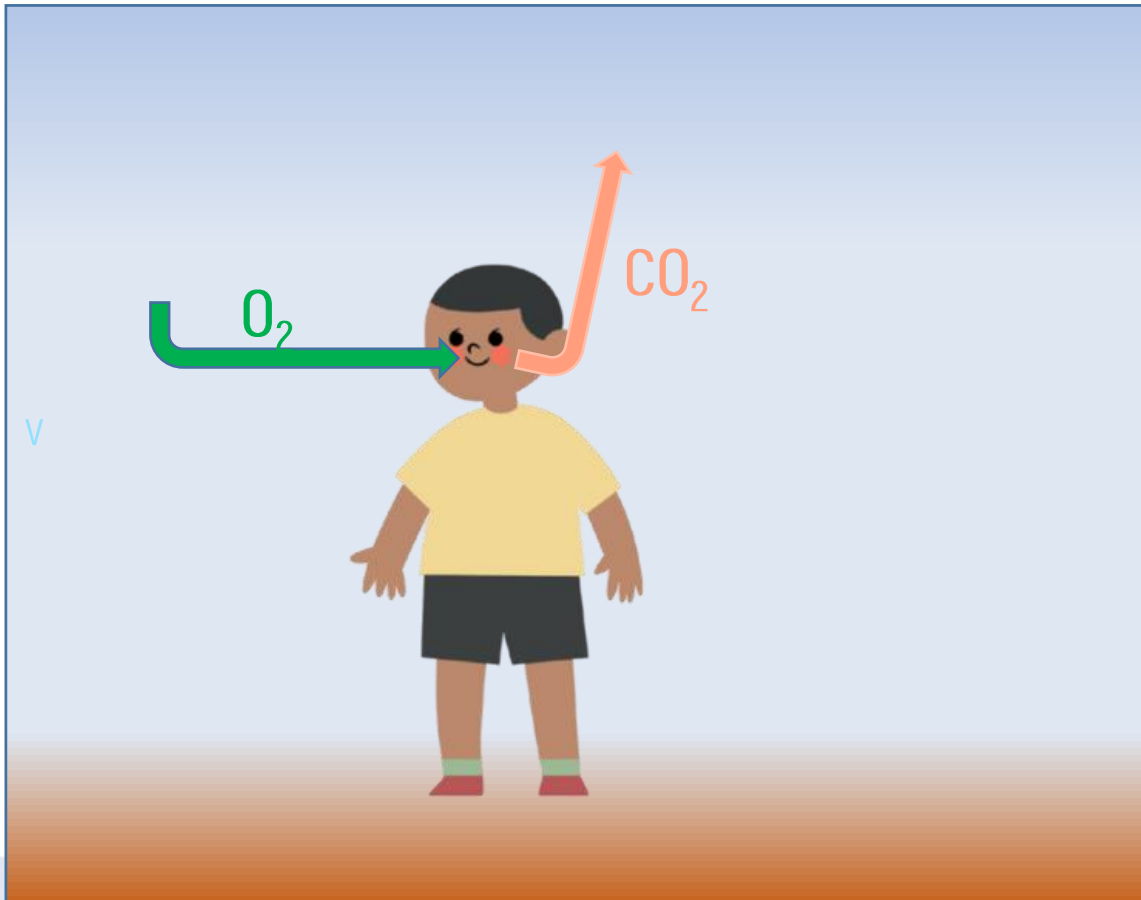
Respirations



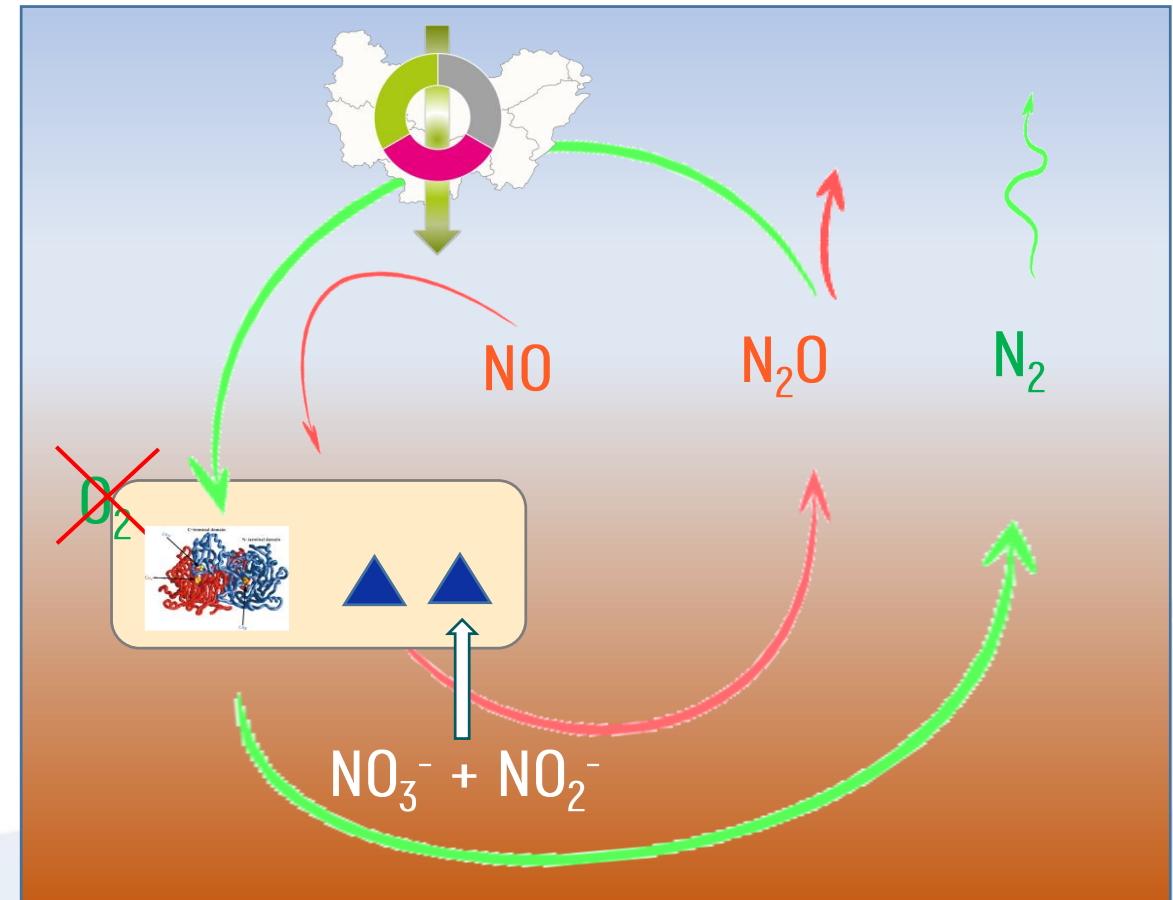
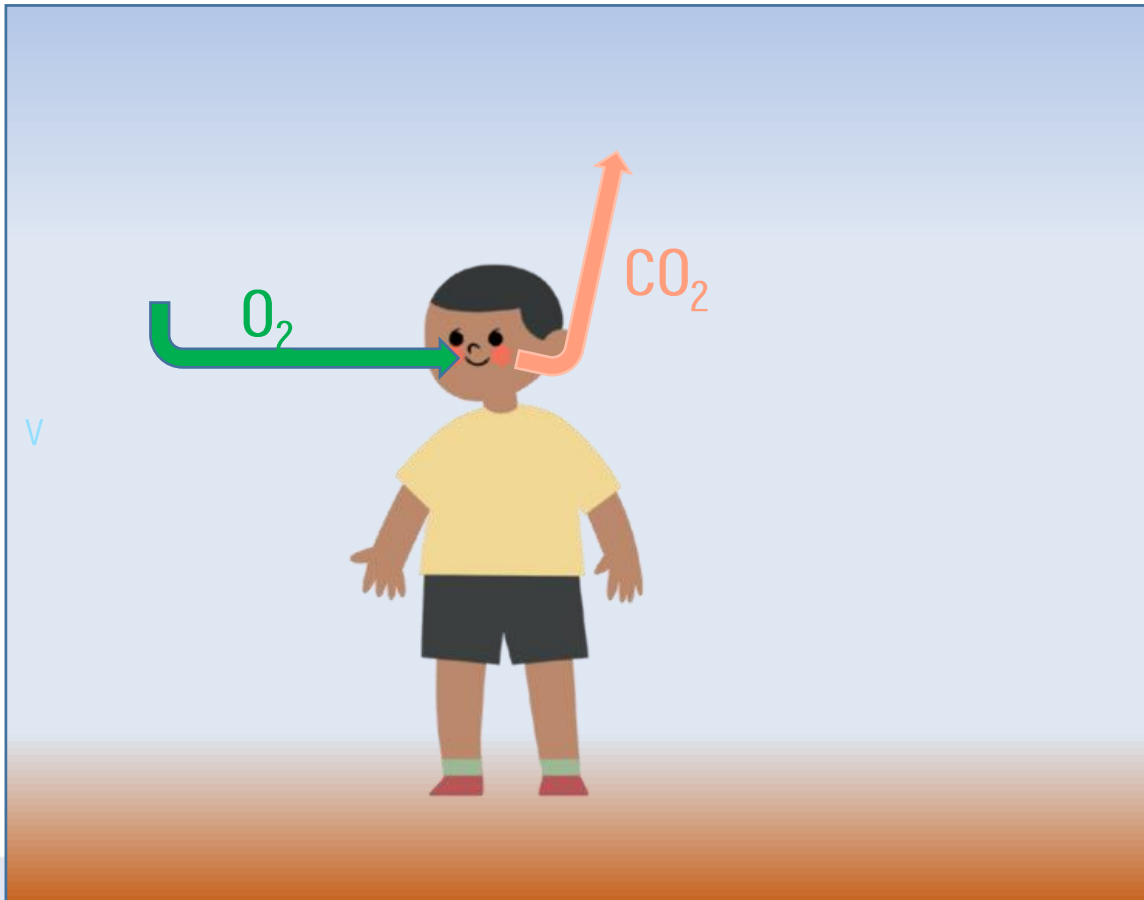
Respirations



Respirations



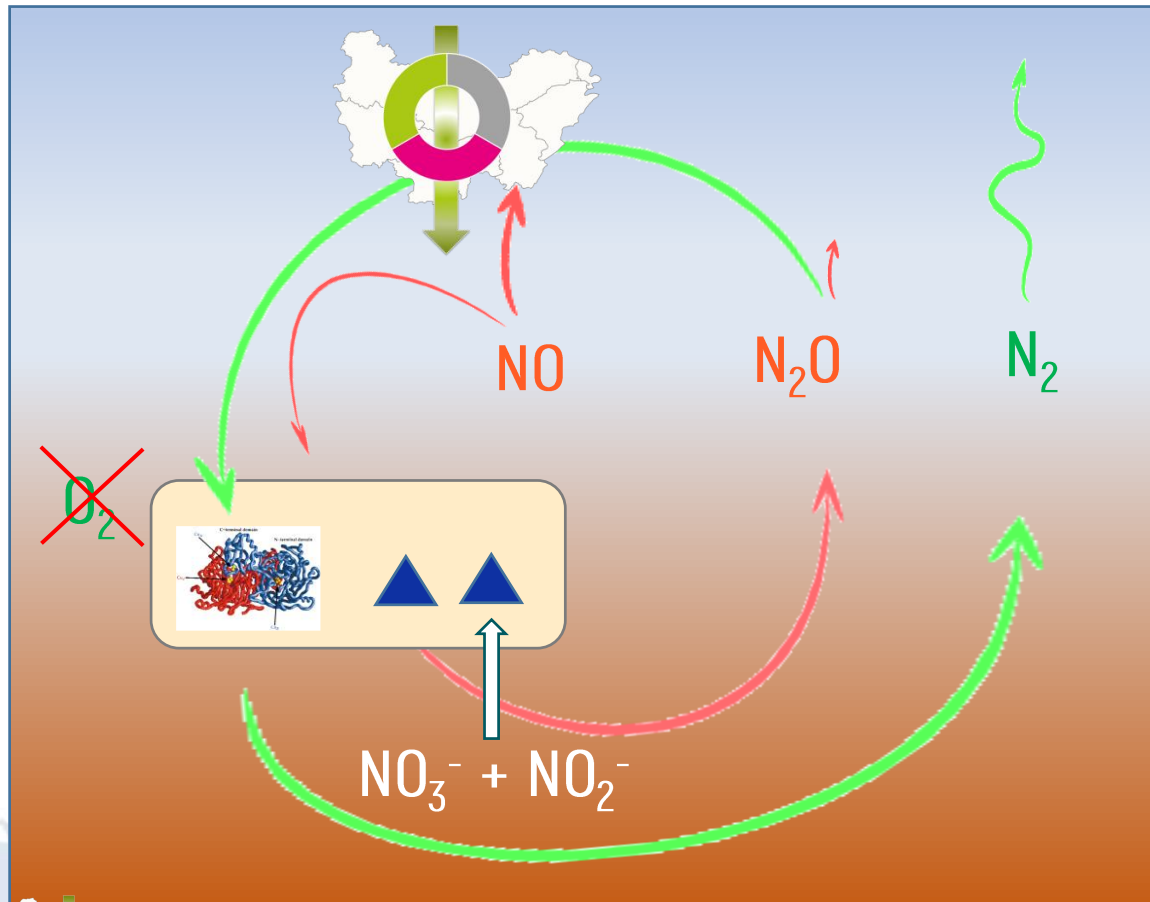
Respirations



The diagram illustrates the nitrogen cycle. At the top, a map of China is shown with a circular arrow indicating a cycle. A green arrow points down from the map to a yellow box representing a bacterial cell. Inside the box, there is a protein structure and two blue triangles. A white arrow points up to the triangles from the text $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$. A green arrow points from the box to the text N_2 on the right. A red arrow points from the box to the text N_2O above it. A red arrow points from the box to the text NO above it. A green arrow points from the box to the text O_2 on the left, which is crossed out with a red X. A green arrow points from the text N_2 back to the map at the top.

⇒ Augmenter la capacité des sols à réduire N_2O en N_2

✓ Introduction de bactéries possédant le gène *nosZ*

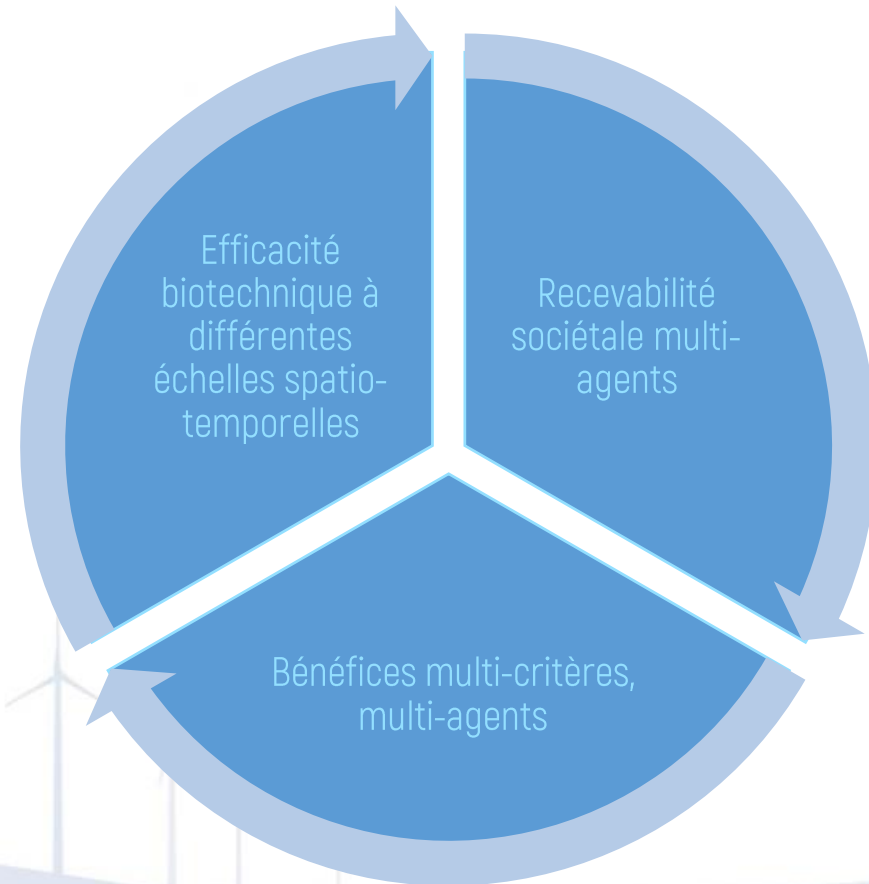




support



- ✓ Modification des propriétés physico-chimiques des sols



⇒ Augmenter la capacité des sols à réduire N_2O en N_2

✓ Introduction de bactéries possédant le gène *nosZ*

Stratégie : utiliser des légumineuses comme support à l'introduction des souches d'intérêt

✓ Modification des propriétés physico-chimiques des sols



Rhizobia-Légumineuses réduisant N₂O



C. Revellin, V. Bourion, A. Hartmann, D. Garmin, Iheb, Hamza

Intervention sur les propriétés physico-chimiques des sols

- Développement biotechnique



D. Mathieu, Ivan, Anne-Lise



M. Arkoun

- Changement d'échelles et dissémination



S. Thiam



S. François



Rhizobia-légumineuses réduisant N₂O

Démarche initiée sur le soja

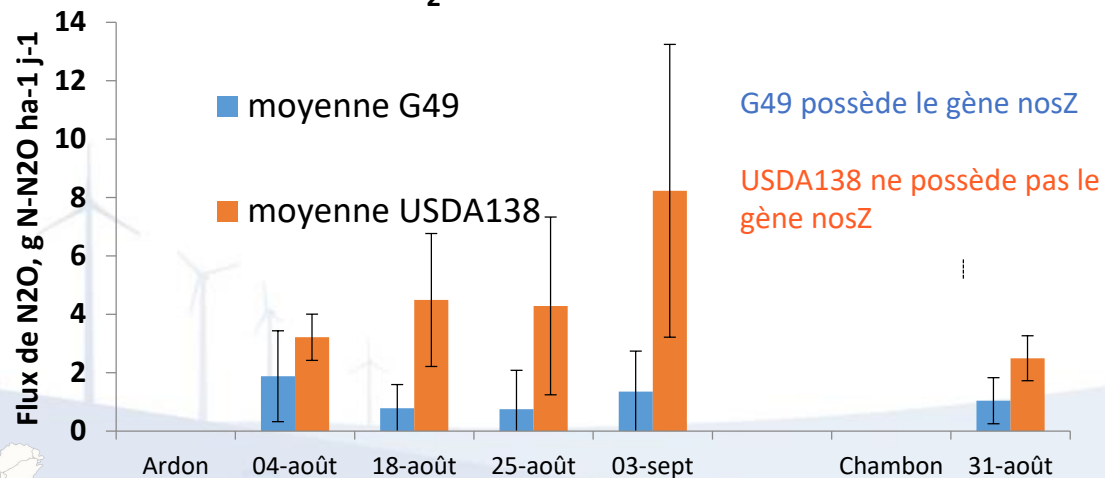


Rhizobia-légumineuses réduisant N_2O

Démarche initiée sur le soja



Emissions de N_2O dans les essais conduits en 2015



Rhizobia-légumineuses réduisant N₂O

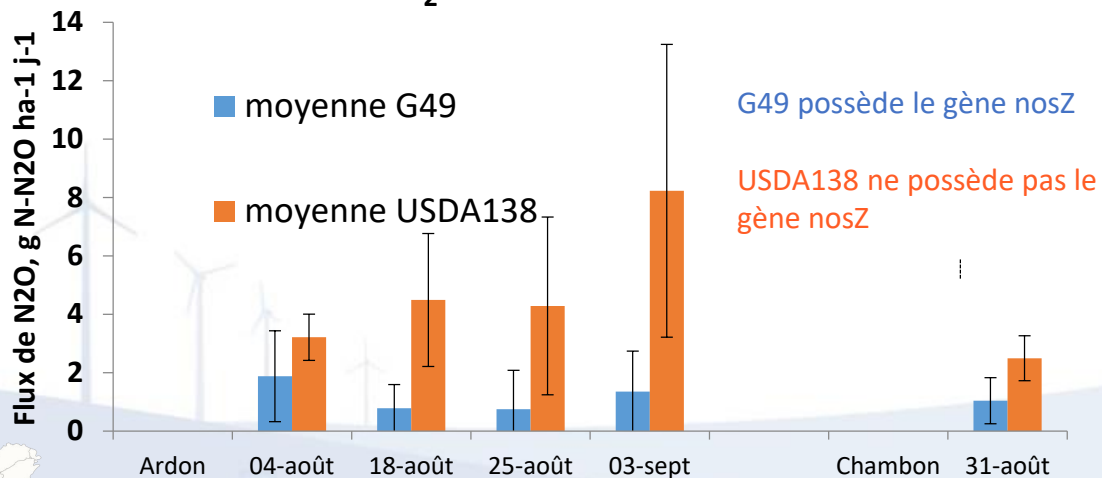
Démarche initiée sur le soja



Démarche étendue au pois qui représente 75 % des protéagineux en France



Emissions de N₂O dans les essais conduits en 2015



Actuellement, nous avons isolé plusieurs souches symbiotes du pois capables de réduire N₂O.

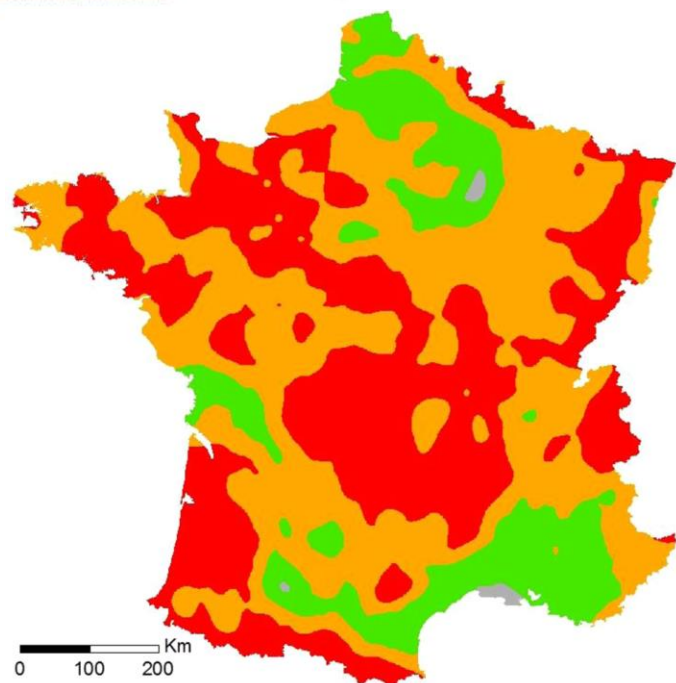
Nous recherchons le meilleur compromis :

- Fixation N
- Réduction N₂O
- Compétition à la nodulation

Gestion des propriétés PC des sols



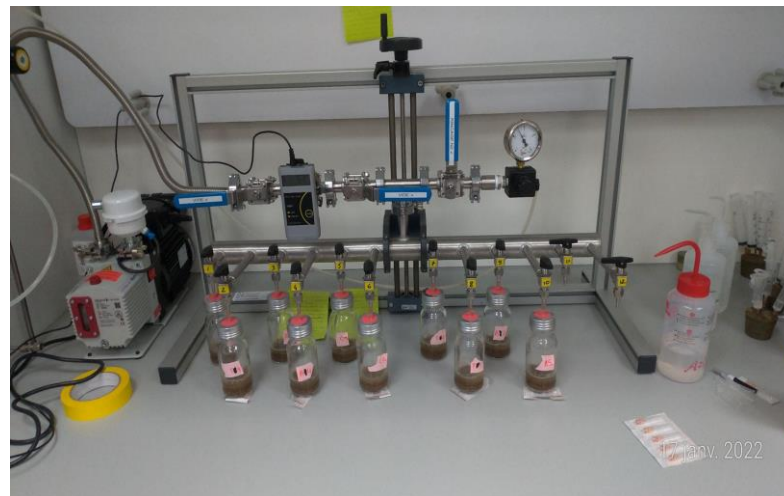
Capacité des sols à réduire N₂O



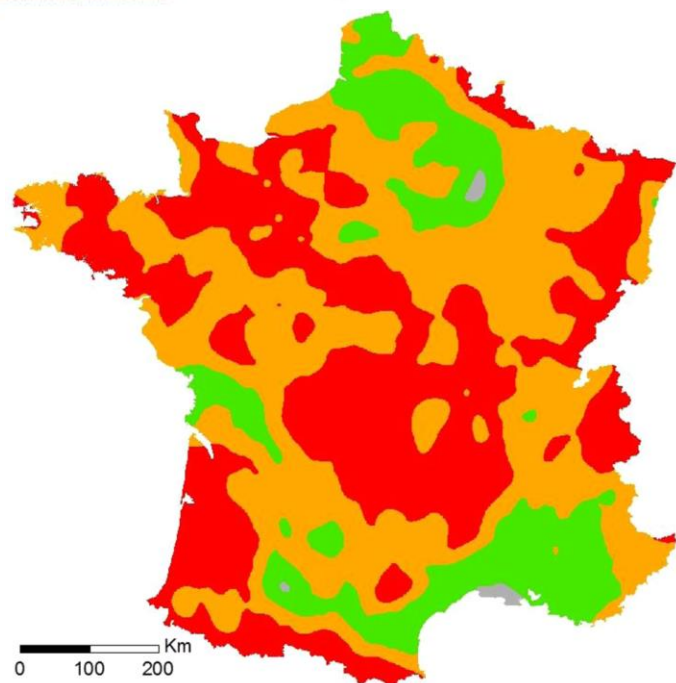
- Soil-PHN2ORED- (38% of the total area)
- Soil-PHN2ORED+ (15% of the total area)
- Soil-PHN2ORED± (47% of the total area)
- Nodata



Capacité des sols à réduire N₂O

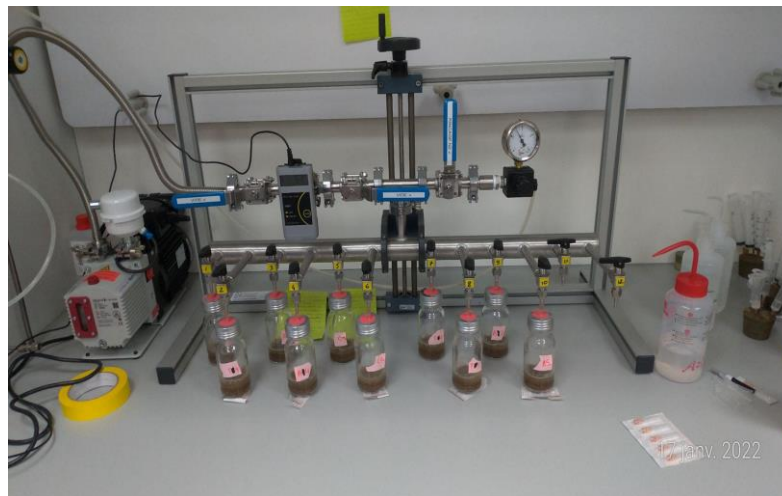
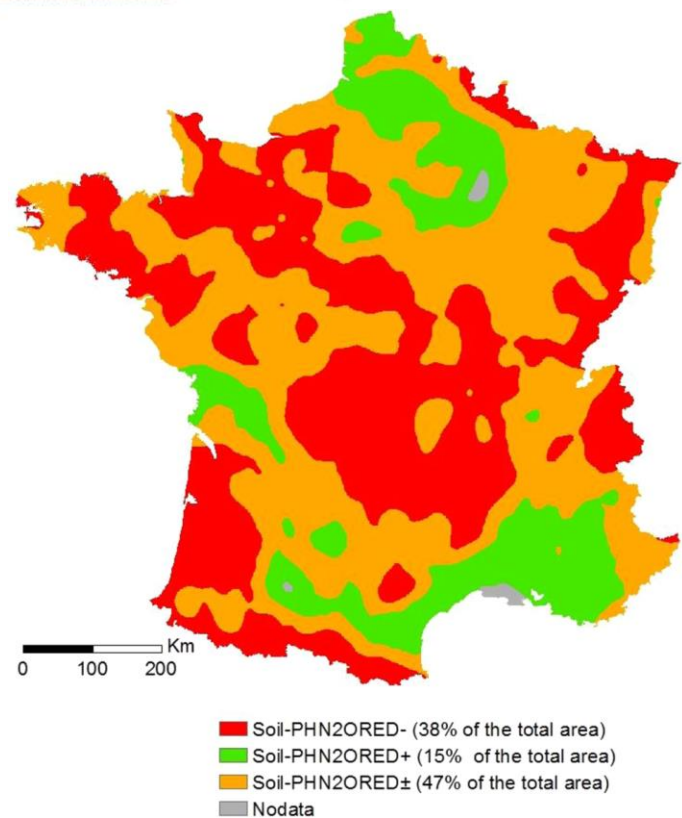


Le résultat du test est l'indicateur r_{\max} dont la valeur diminue avec la capacité du sol à réduire N₂O

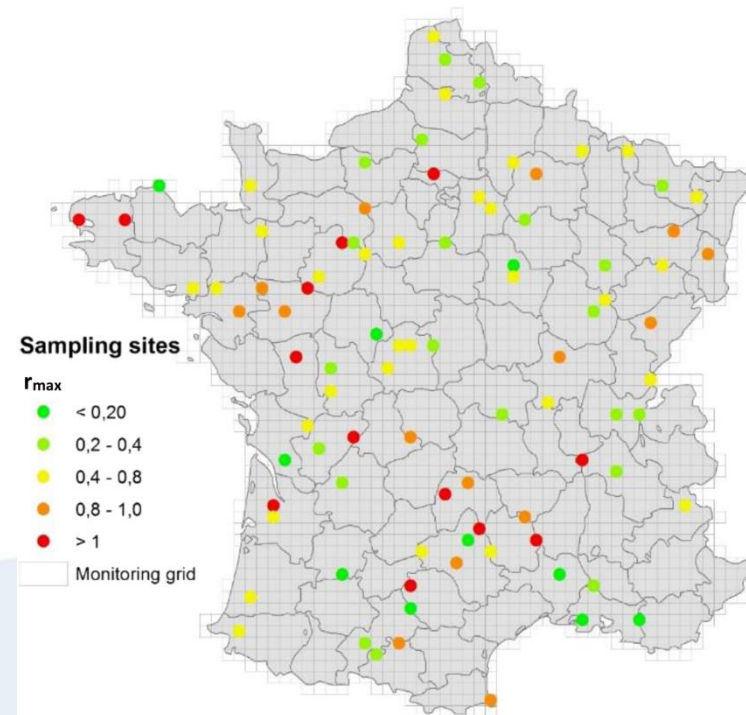


- Soil-PHN2ORED- (38% of the total area)
- Soil-PHN2ORED+ (15% of the total area)
- Soil-PHN2ORED± (47% of the total area)
- Nodata

Capacité des sols à réduire N₂O



Le résultat du test de laboratoire s'exprime par l'indicateur r_{\max} dont la valeur diminue avec la capacité du sol à réduire N₂O



Capacité des sols à réduire N₂O

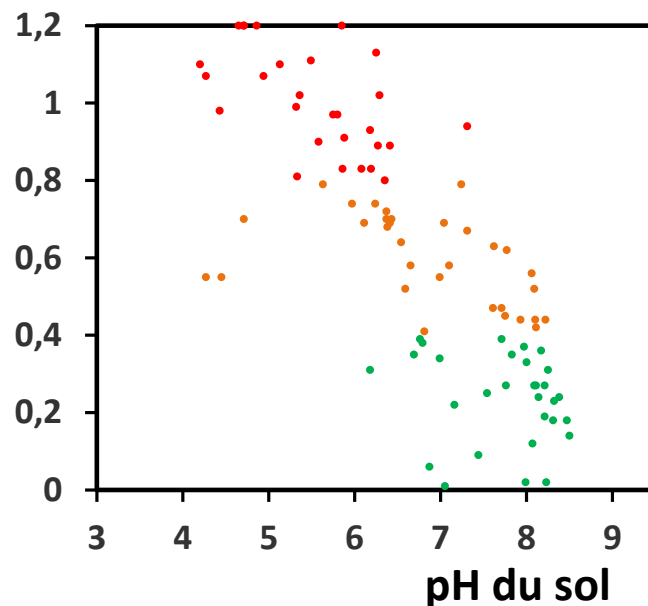
RMQS site number	Land Use	C content		
		pH _{water}	‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

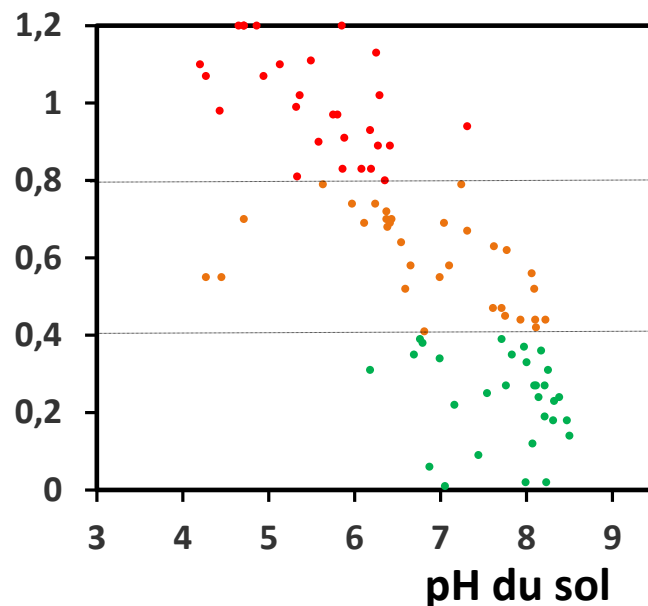
r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

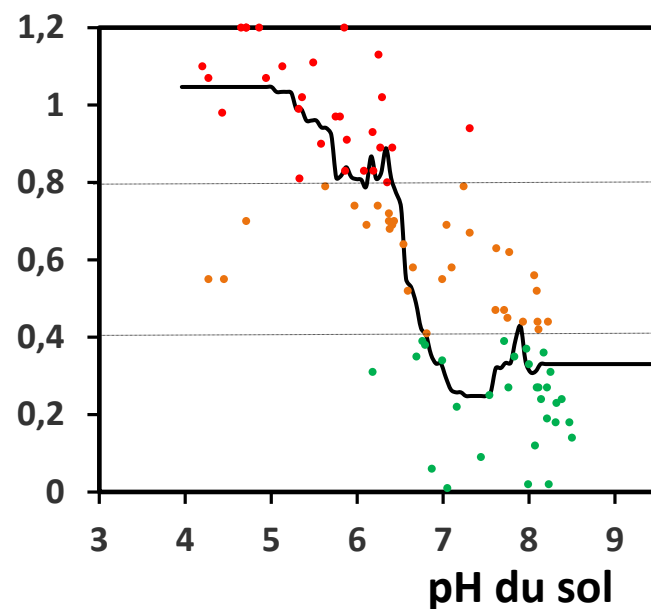
r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

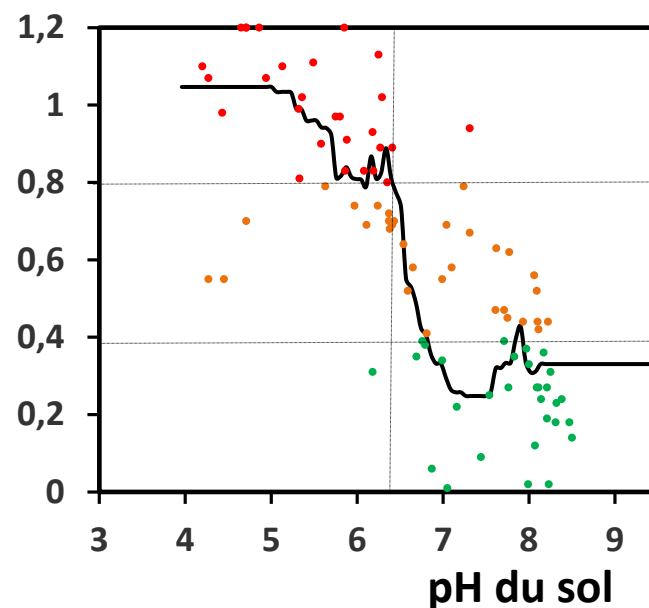
r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

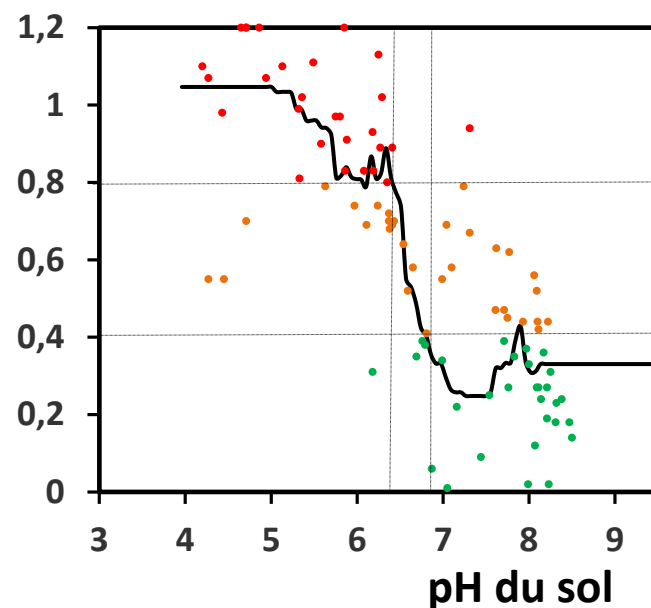
r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

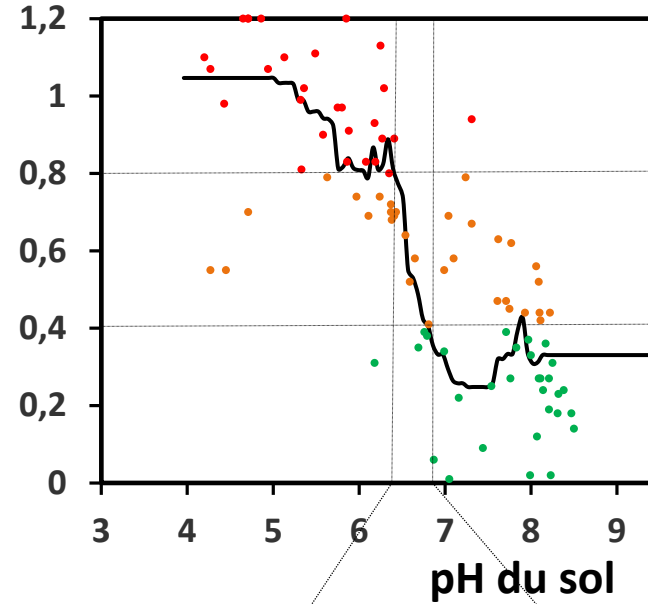
r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Capacité des sols à réduire N₂O

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Chaulage agro-pédologique

Chaulage climatique

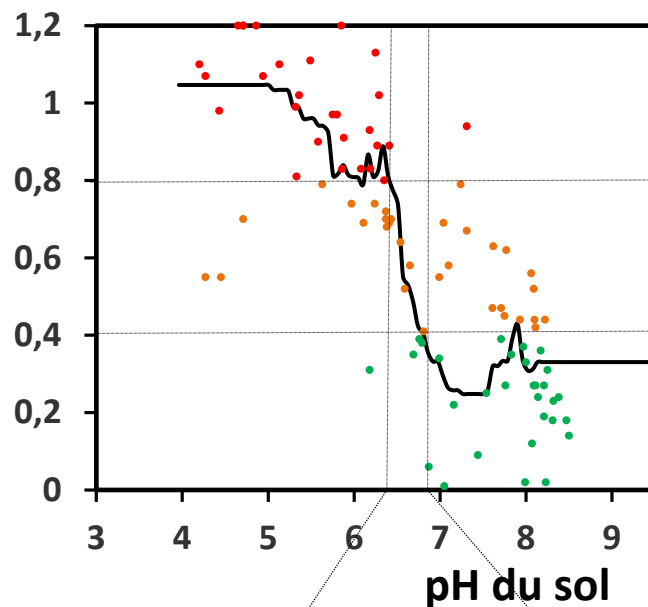
pH 6,5

pH 6,8

Le chaulage climatique

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Chaulage agro-pédologique

Chaulage climatique

pH 6,5

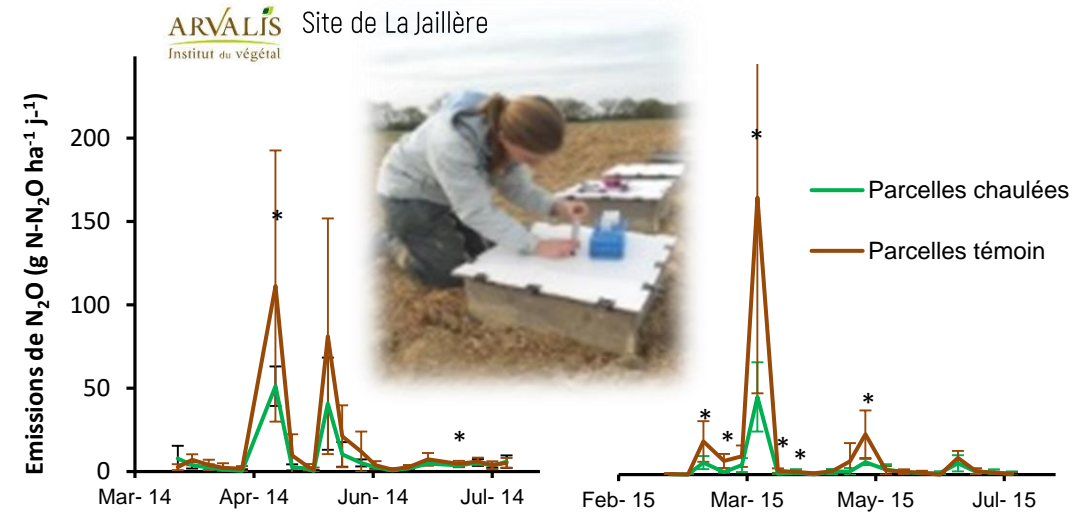
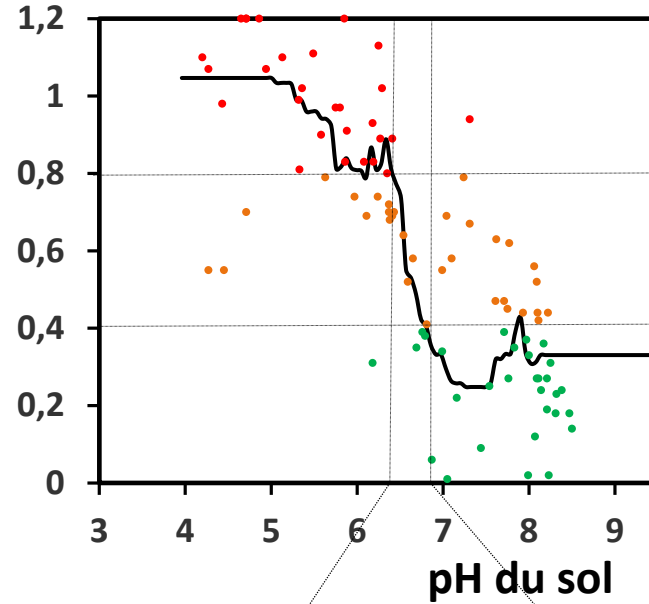
pH 6,8



Le chaulage climatique

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)



Chaulage agro-pédologique

Chaulage climatique

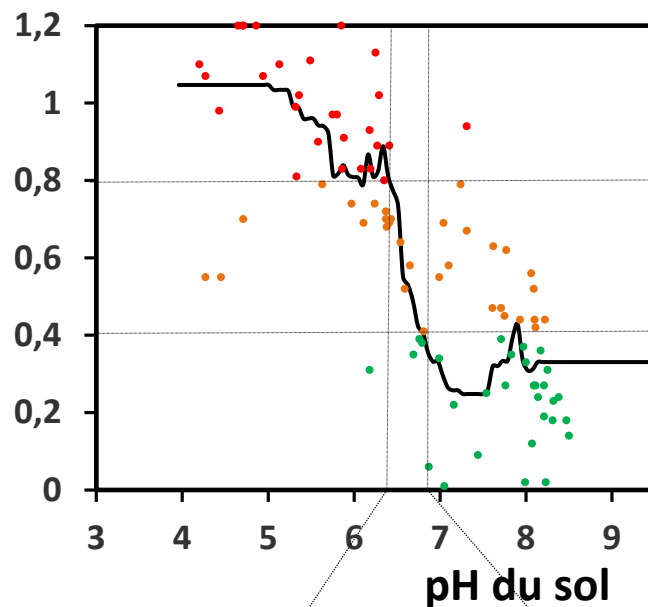
pH 6,5

pH 6,8

Le chaulage climatique

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)

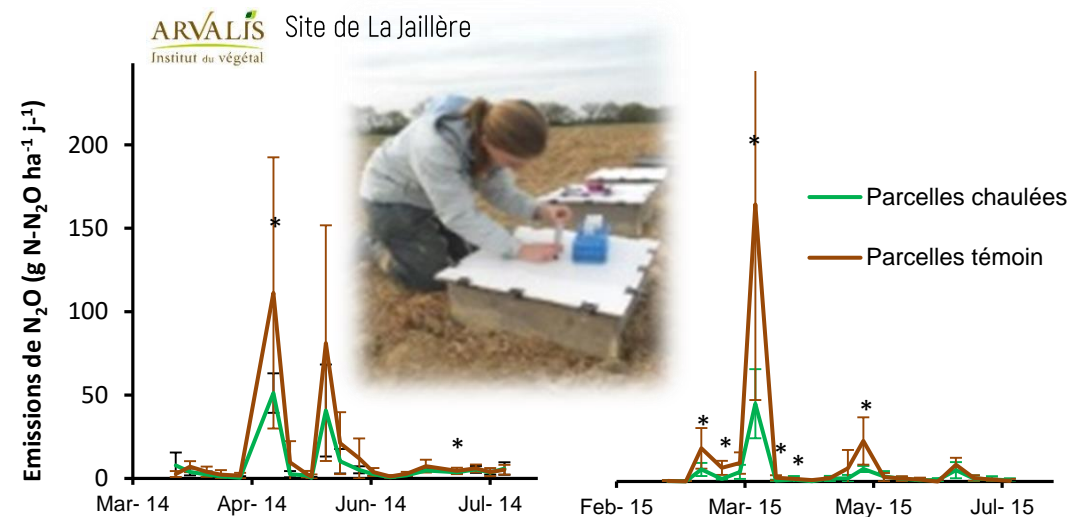


Chaulage agro-pédologique

Chaulage climatique

pH 6,5

pH 6,8



Source : Hénault *et al.*, 2019 – Projet SOLGES (ADEME) INRAE, TI, Arvalis

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)



LABEL BAS CARBONE

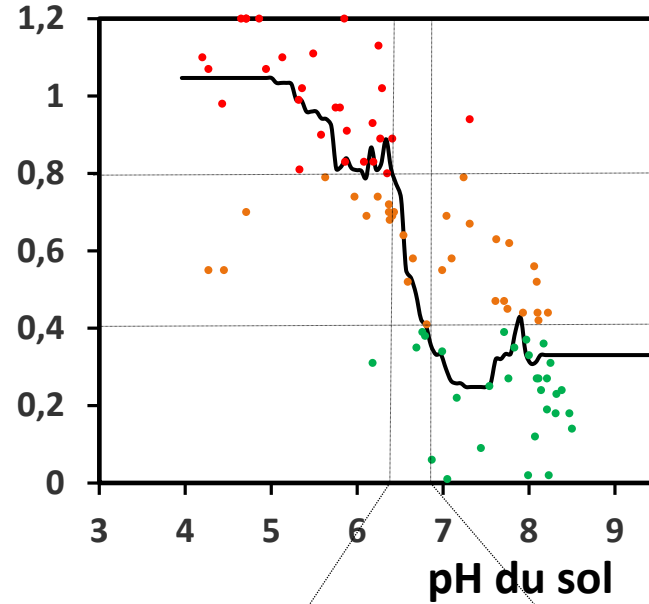
LABEL BAS-CARBONE

Méthode Grandes Cultures

Le chaulage climatique

RMQS site number	Land Use	pH _{water}	C content ‰	r _{max}
10	Crop	6.43	11.9	0.7
27	Crop	7.83	17.1	0.35
53	Grassland	7.97	44	0.37
63	Grassland	8.09	28.6	0.52
158	Crop	7.76	12.9	0.27
211	Crop	8.22	20.6	0.44
215	Forest	7.61	54.9	0.47
231	Crop	6.99	14.2	0.34
244	Crop	7.24	10.4	0.79
280	Forest	4.2	16.6	1.1
312	Crop	7.05	14.6	0.01
316	Crop	6.65	14.6	0.58
352	Grassland	6.79	36.1	0.38
394	Crop	6.41	8.9	0.69
413	Grassland	7.93	24.8	0.44
445	Crop	6.35	15.4	0.8
456	Crop	7.75	10.7	0.45
480	Grassland	5.36	32.6	1.02

r_{max} (indicateur de la capacité des sols à réduire N₂O)

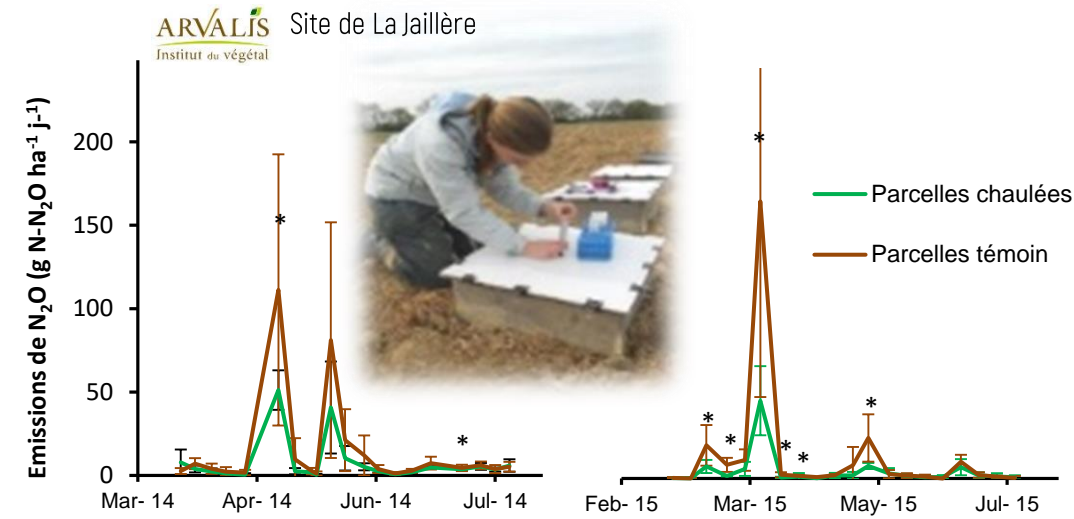


Chaulage agro-pédologique

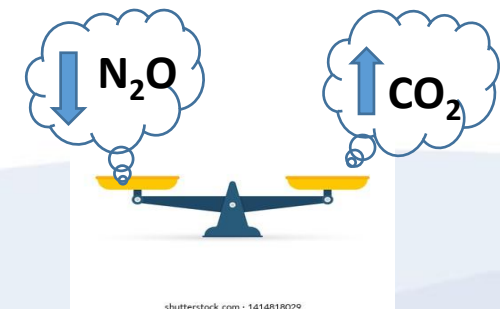
Chaulage climatique

pH 6,5

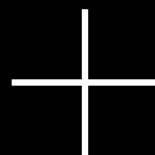
pH 6,8



Source : Hénault *et al.*, 2019 – Projet SOLGES (ADEME) INRAE, TI, Arvalis



REC ●



Rhizobia-Légumineuses réduisant N₂O



Intervention sur les propriétés physico-chimiques des sols

- Développement biotechnique



- Changement d'échelles (de la parcelle à la Région) et dissémination



Post doc Mohamed Alkassem



Changement d'échelles

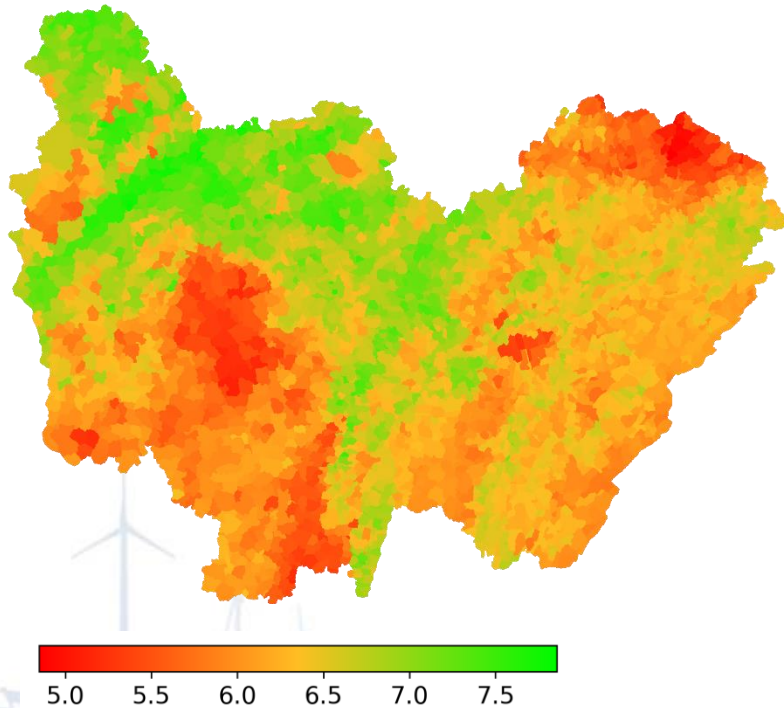
Application de la Méthodologie de Calcul LBCGC, qui combine



Changement d'échelles

Application de la Méthodologie de Calcul LBCGC, qui combine

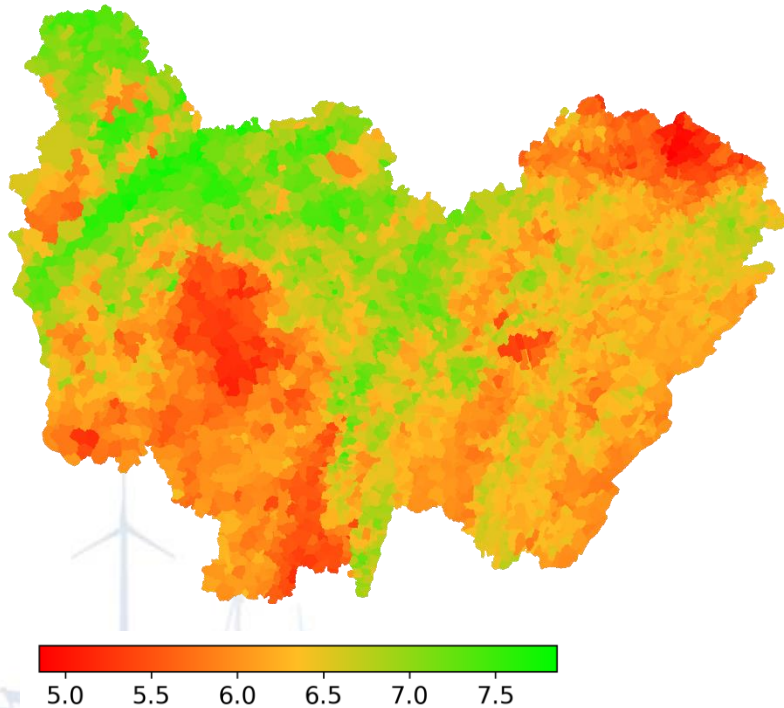
pH des sols



Changement d'échelles

Application de la Méthodologie de Calcul LBCGC, qui combine

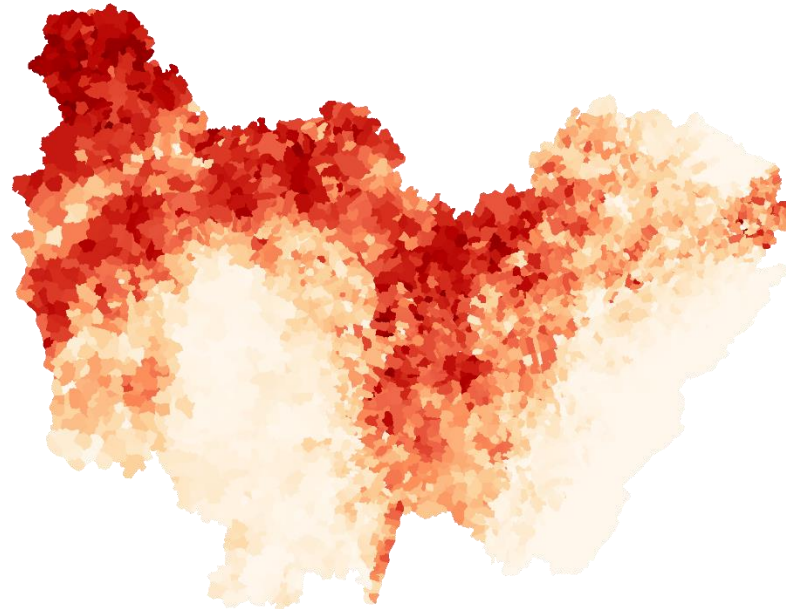
pH des sols



Applications d'azote mineral

et

d'azote organique



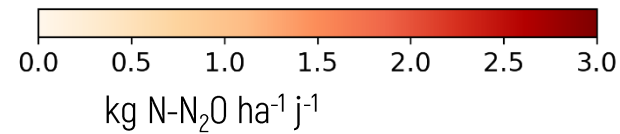
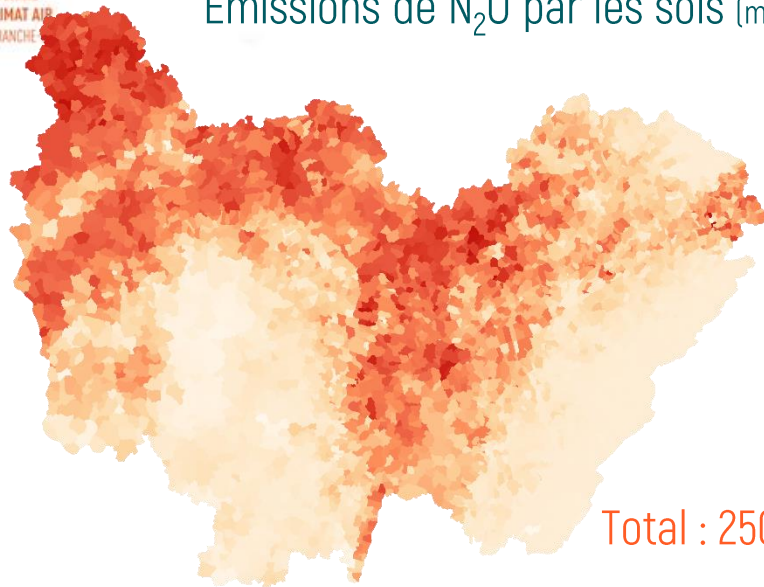
Total : 130 000 t N



Total : 60 000 t N

Changement d'échelles

Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC)

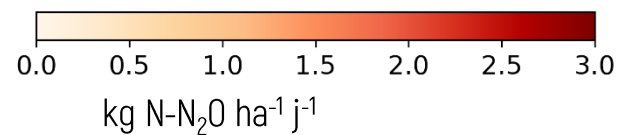
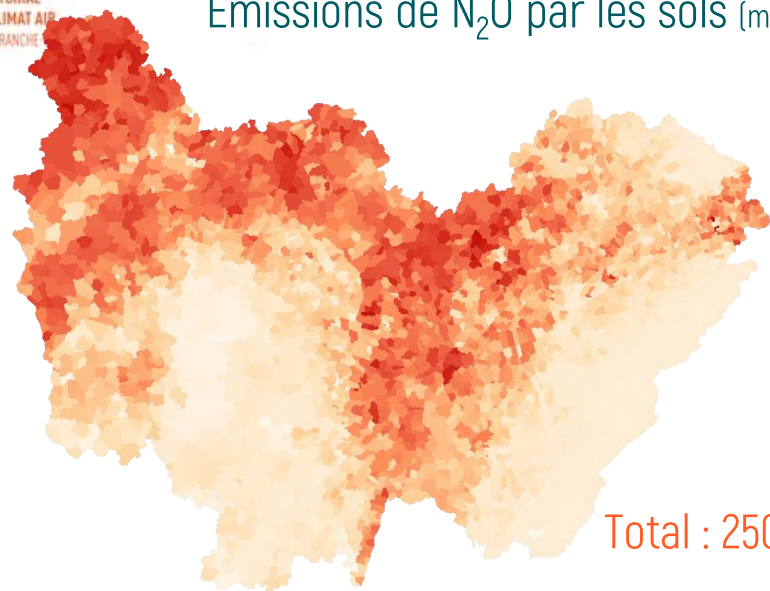


Total : 2500 t N



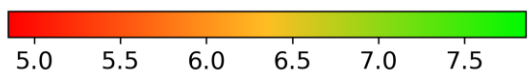
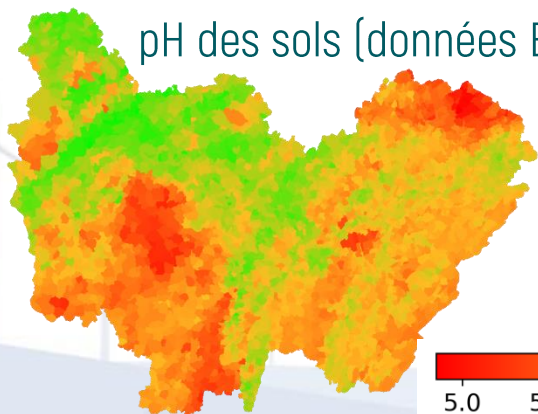
Changement d'échelles

Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC)



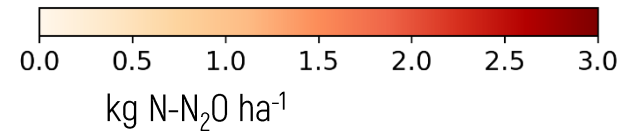
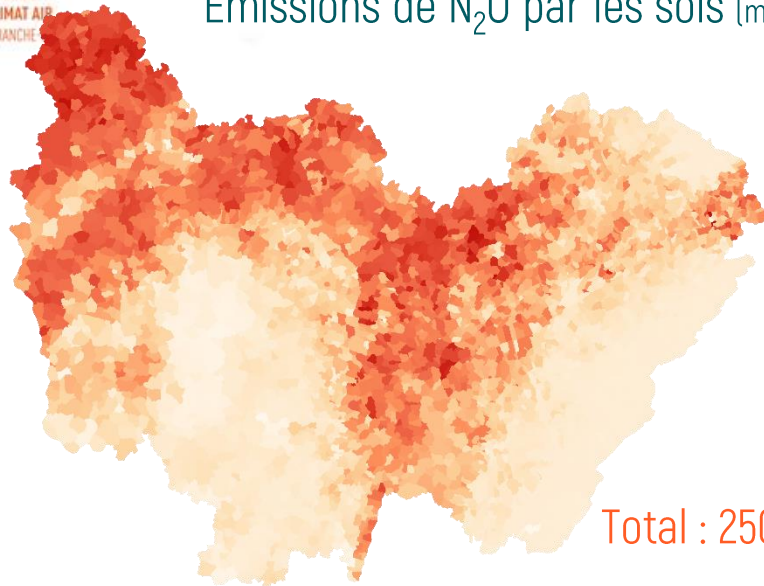
Total : 2500 t N

pH des sols (données ESDAC)



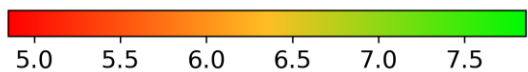
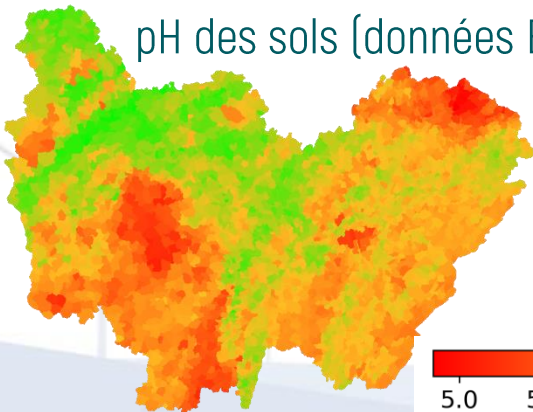
Evitement potentiel régional

Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC)



Total : 2500 t N

pH des sols (données ESDAC)

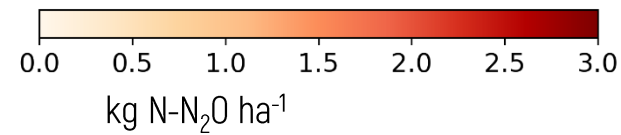
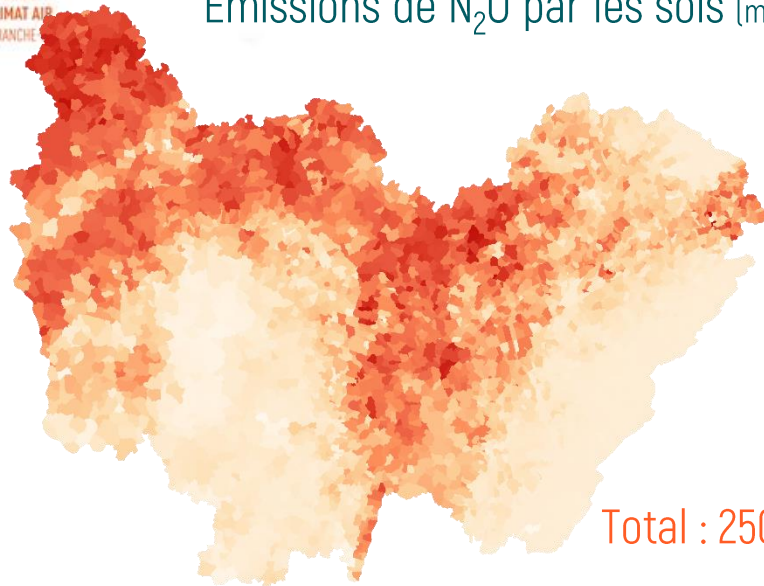


<https://www.paysan-breton.fr/2014/06/lets-sara-chaux/>



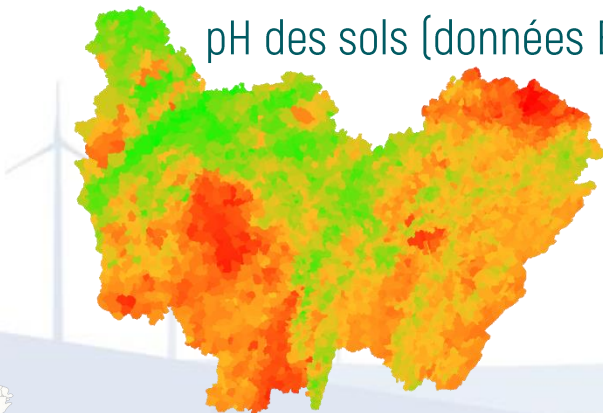
Evitement potentiel régional

Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC)



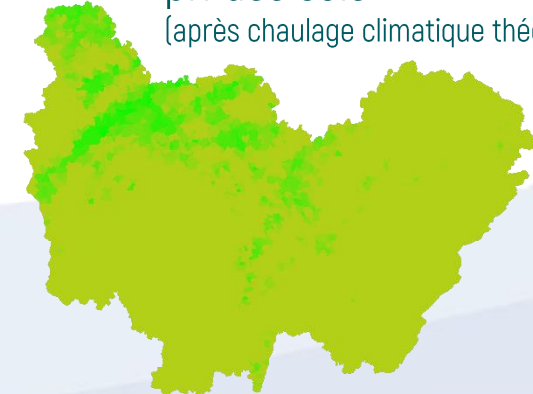
Total : 2500 t N

pH des sols (données ESDAC)



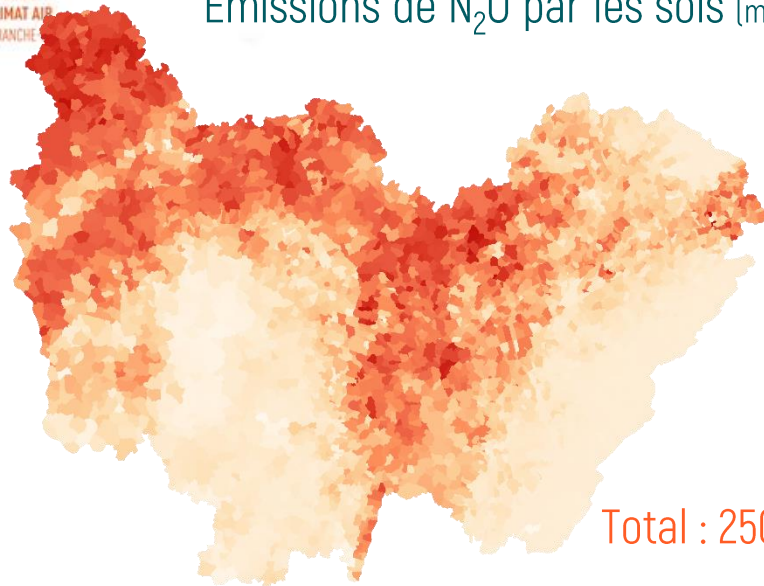
<https://www.paysan-breton.fr/2014/06/le-te-sera-chaux/>

pH des sols
(après chaulage climatique théorique)

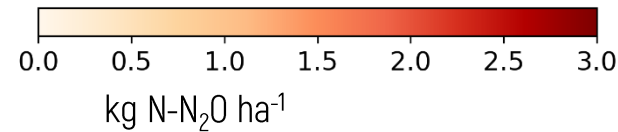


Evitement potentiel régional

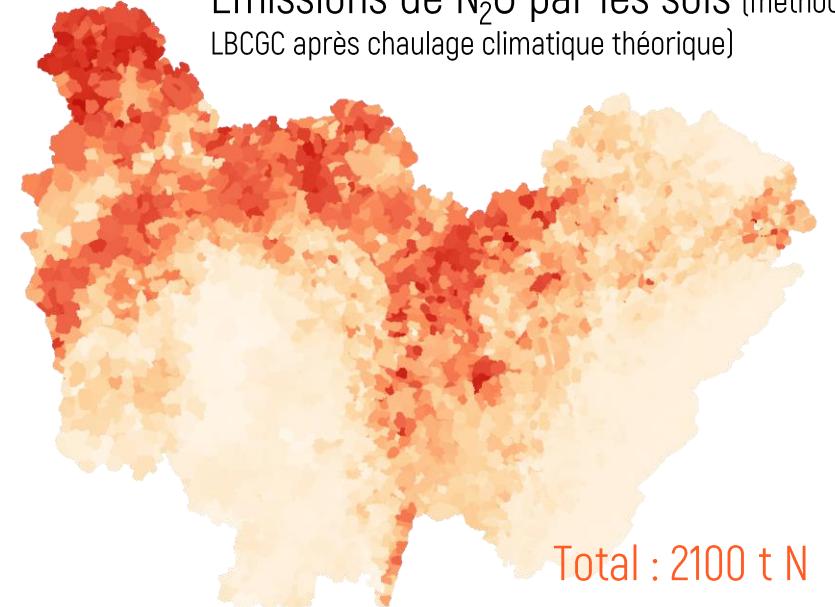
Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC)



Total : 2500 t

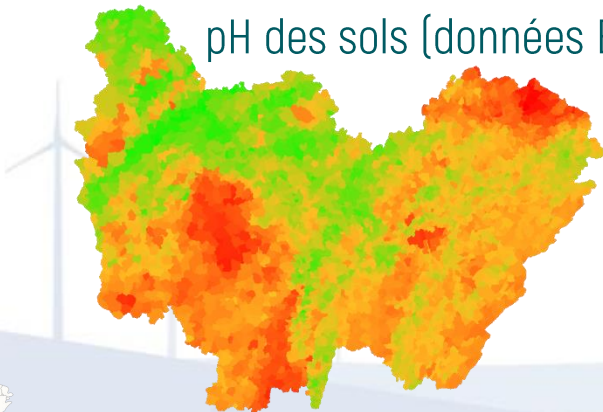


Emissions de N_2O par les sols (méthode LBCGC après chaulage climatique théorique)

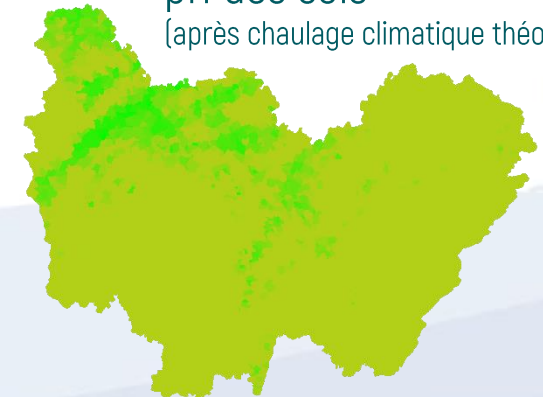


Total : 2100 t N

pH des sols (données ESDAC)

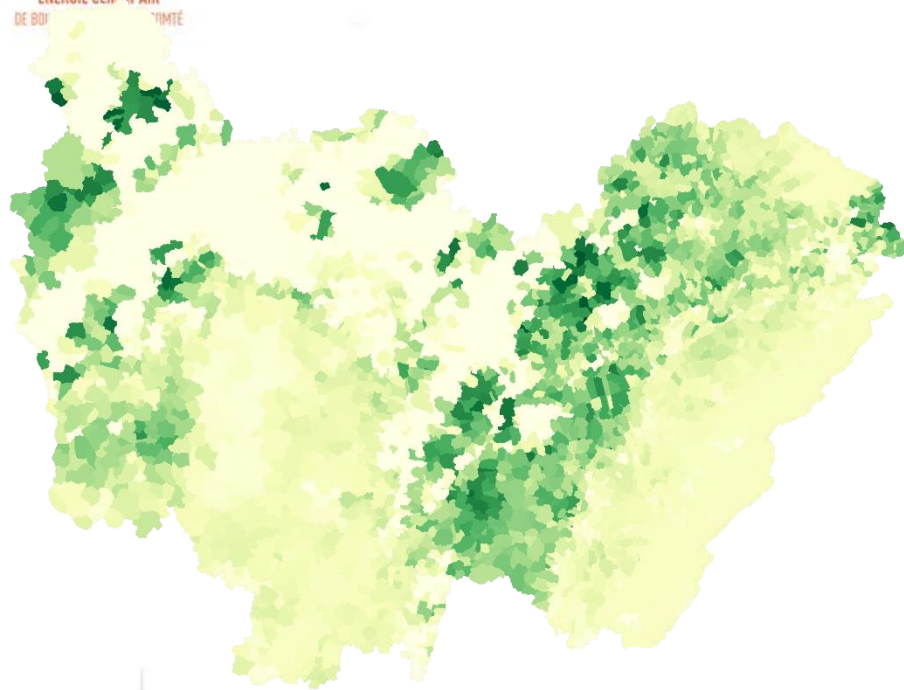


pH des sols
(après chaulage climatique théorique)

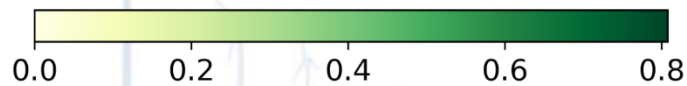


<https://www.paysan-breton.fr/2014/06/le-te-sera-chaux/>

Evitement potentiel régional



Total : 370 t N



kg N-N₂O ha⁻¹ an⁻¹ (moyenne sur 4 ans)

	t N-N ₂ O / an	t CO ₂ eq / an	Taux (%)
Emissions (apports N 2018)	2 500	1 000 000	
Emissions après chaulage théorique	2 130	850 000	
Evitement	370	150 000	15 %

Evitement potentiel régional

- Données disponibles dans un dataverse INRAE (open data) puis accessibles sur la plateforme Opteer
- Calculs effectués avec différentes méthodologies (Tier 2) et différentes bases de données Sols BDAT, IGCS
- Méthodologie ne demandant qu'à s'exporter à d'autres régions et à s'ouvrir au pluri-annuel et à d'autres leviers



Conclusions

- L'approche **interdisciplinaire multi-acteurs** a permis de développer des solutions **originales** pour réduire la contribution des émissions de GES des grandes cultures :
 - **Applicables** dès à présent (chaulage climatique, inoculation du soja avec la G49) par toutes les formes d'agriculture
 - **Quantifiables** à différentes échelles spatio-temporelles
 - **Positionnée dans la méthodologie LBCGC** (Chaulage climatique)
- Ces solutions originales ne doivent pas faire oublier le premier levier de réduction des émissions de N₂O par les sols : **la gestion de la fertilisation azotée**, combinable dans les calculs
- Pour la suite, une **co-construction multi-acteurs** pourrait être envisagée :
 - Partage des objectifs
 - Hiérarchisation des développements à réaliser (acquisition de données *in situ*, développement et application des outils de calculs multi-échelles, développement de nouvelles solutions biotechniques, renforcement de celles actuelles, interdisciplinarité,)



Merci de votre Attention

