



Un premier modèle climatique : l'évolution du CO₂ atmosphérique

Marc Jamous, IPSL-LSCE (France)
marc.jamous@ipsl.jussieu.fr
version du 19 octobre 2010

Buts de l'activité

Donner aux élèves une première approche du cycle du carbone :

- chercher à estimer la quantité de CO₂ absorbé par les puits naturels (végétation et océans),
- réaliser des prévisions pour le prochain siècle,
- grâce à des calculs simples (additions et multiplications) dans un tableur.
- Ceci permet d'aborder la notion de modèles.

Type de l'activité

Manipulation de données.

Matériel

- Ordinateurs avec tableur (Excel ou openOffice). L'idéal est de faire travailler les élèves par deux.
- Le fichier de travail et un exemple de calcul peuvent être trouvés à cette adresse :
<http://cycleducarbone.ipsl.jussieu.fr/index.php/enseignants-mainmenu-5/6-ressources/33-premier-modele-climatique.html>

Introduction

Depuis le début de la révolution industrielle, l'Homme rejette du CO₂ dans l'atmosphère à cause de certaines activités comme la production d'énergie, l'utilisation de moteur à combustion, la déforestation, la fabrication de produits manufacturés, en gros tout ce qui nécessite une combustion de pétrole, de charbon ou du gaz naturel et les changements dans la végétation. Le CO₂ étant un gaz à effet de serre, sa libération dans l'atmosphère pourrait produire une augmentation des températures à la surface de la Terre.
Cependant, tout ce CO₂ rejeté vers l'atmosphère n'y reste pas.

A l'aide de données, d'un tableur (Excel ou openOffice), les élèves peuvent réaliser des prédictions sur l'évolution du CO₂ pour le siècle à venir. Ils devront dans un premier temps trouver une équation assez simple qui permette de **simuler** ce qui s'est passé au cours des 50 dernières années. Les données correspondent aux quantités de CO₂ rejetées par l'Homme et aux mesures du CO₂ atmosphériques. L'équation ne contiendra que des additions et des multiplications.

A partir de cette simulation, les élèves réaliseront un **modèle** en extrapolant les émissions de CO₂ pour le prochain siècle selon un scénario qu'ils choisiront eux-mêmes, mais en se basant sur des prévisions réalistes.

Les données proviennent du site suivant : <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>, où l'on peut trouver des informations intéressantes sur le cycle du carbone (en anglais) et à jour. Pour trouver les émissions dues aux activités humaines et les mesures de CO₂ atmosphérique, aller dans la partie « Data » (http://lqmacweb.env.uea.ac.uk/lequere/co2/carbon_budget.htm).

Vous pouvez aussi télécharger un tableur déjà prêt à l'adresse suivante :

<http://cycleducarbone.ipsl.jussieu.fr/index.php/enseignants-mainmenu-5/6-ressources/33-premier-modele-climatique.html>

Déroulement de l'activité

1) trouver un modèle qui explique l'évolution du CO₂ atmosphérique depuis 1958

Les émissions dues aux activités humaines sont séparées en deux : émissions dues aux énergies fossiles et dues à l'utilisation des terres (déforestation, remplacement de terres agricoles en zones urbaines, reforestation...).

Les premières mesures directes de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère datent de 1958, c'est pour cette raison que les données commencent à cette année.

Ces deux colonnes
correspondent aux
émissions humaines.

année	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)
1958	672,05		
1959		2,47	1,40
1960		2,57	1,39
1961		2,60	1,46
1962		2,70	1,46
1963		2,85	1,47
1964		3,01	1,49

La tableur, tel qu'il est à l'ouverture

Nous avons dans une colonne, sur la première ligne, la quantité atmosphérique de CO₂ mesurée en 1958 (colonne C). Dans les lignes suivantes, pour la même colonne, nous allons calculer la quantité de CO₂ présente dans l'atmosphère les années suivantes. Nous allons nous arranger pour que ces valeurs correspondent à une réalité : le CO₂ mesuré chaque année. Ces valeurs se trouvent dans la colonne B, qui est cachée à l'ouverture du fichier, pour ne pas influencer les élèves.¹

Une première hypothèse est que tout le CO₂ émis par les activités humaines se retrouve dans l'atmosphère.

¹ Les valeurs sont en milliards de tonnes de carbone, représentant la masse du carbone contenue dans la molécule de CO₂. On utilise des tonnes de carbone et non des tonnes de CO₂ pour pouvoir comparer les différentes formes des molécules carbonées. Si c'est plus clair pour les élèves, on peut passer en tonnes de CO₂ en multipliant toutes les valeurs du tableur par le quotient $M[\text{CO}_2]/M[\text{C}]$, c'est-à-dire 44/12 (=3,6666666...). La quantité de CO₂ atmosphérique est en milliards de tonnes de carbone, alors que les émissions sont en milliards de tonnes de carbone par an.



Le calcul est simple :

CO_2 dans atmosphère pour année_n = CO_2 dans atmosphère année_{n-1} + émissions énergies fossiles année_n + utilisation des terres année_n

Par exemple, pour 1959 :

CO_2 dans atmosphère en 1959 = CO_2 dans atmosphère en 1958 + émissions énergies fossiles 1959 + utilisation des terres 1959

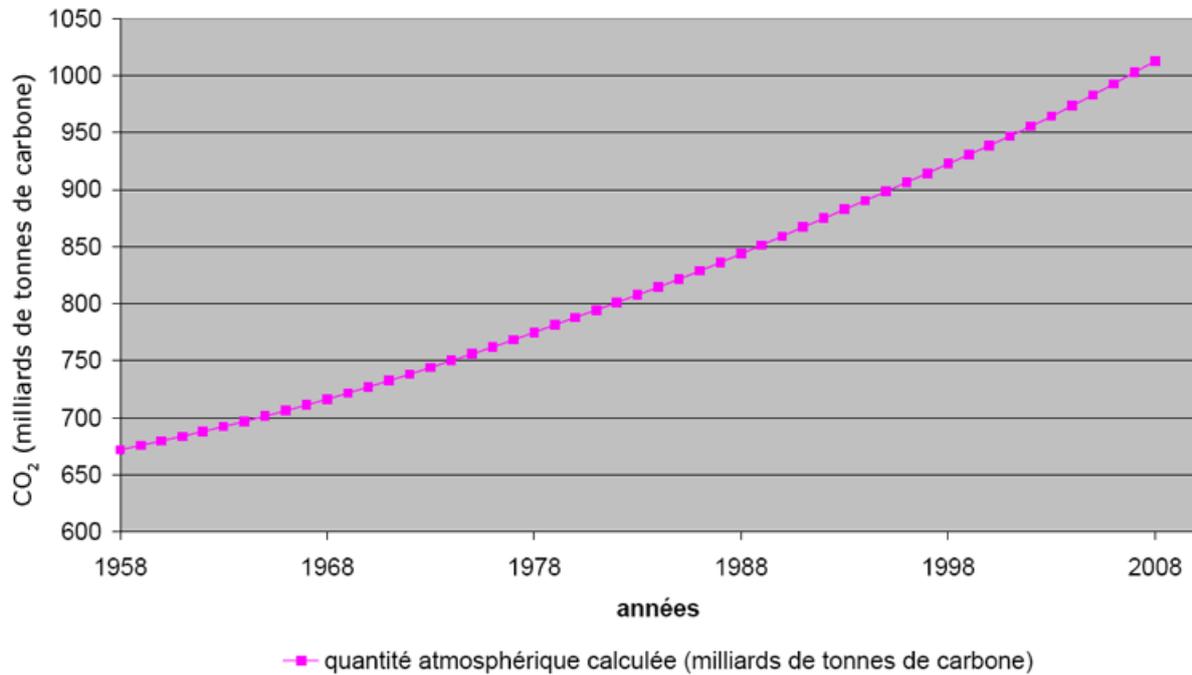
Cellule où se fait le calcul pour l'année 1959

	A	C	D	E	F	G
1						
2		quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)		
3	1958	672,05				
4	1959	=C3+D4+E4	2,47	1,40		
5	1960		2,57	1,39		
6	1961		2,60	1,46		
7	1962		2,70	1,46		
8	1963		2,85	1,47		
9	1964		3,01	1,49		

1^{er} calcul correspondant à l'hypothèse : tout le CO_2 émis par les activités humaines reste dans l'atmosphère.

On prolonge ensuite le calcul jusqu'à la dernière année et on fait un graphique de l'évolution du CO_2 atmosphérique calculé en fonction des années.

Évolution du CO₂ atmosphérique



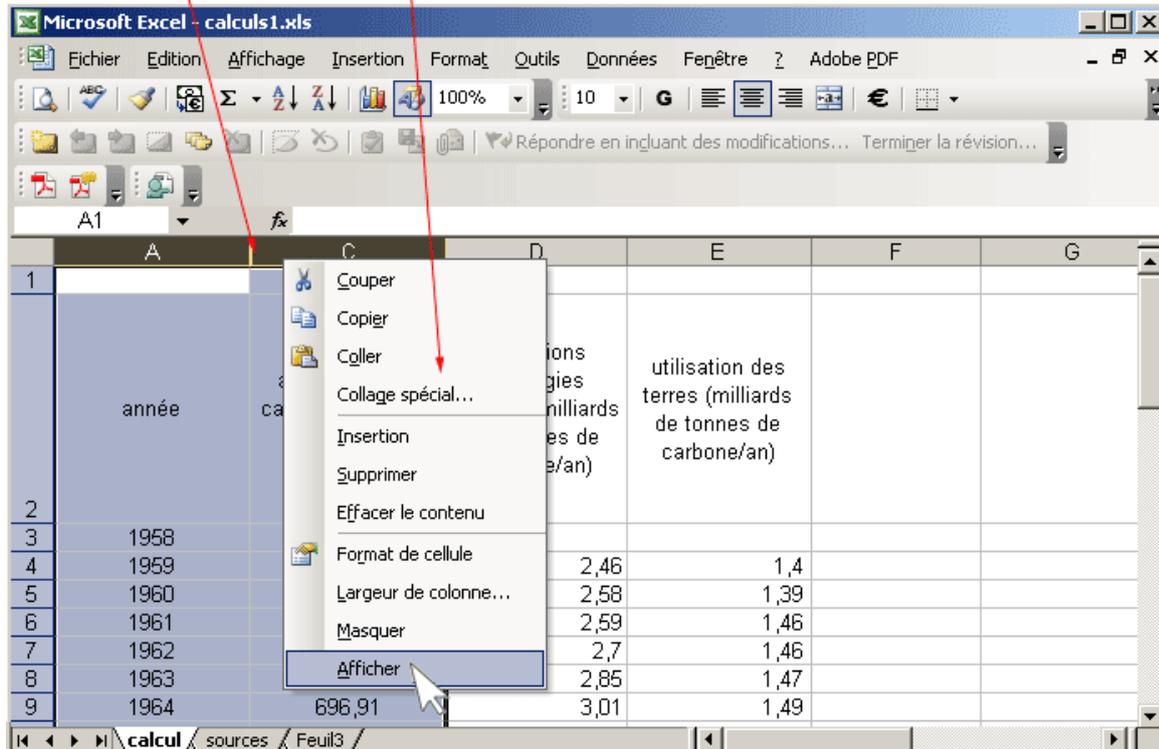
Premier graphique obtenu en suivant l'hypothèse que tout le CO₂ émis par les activités humaines reste dans l'atmosphère. **Choisir « nuages de points » dans le type de graphique.**

Vérifions l'hypothèse !

Il faut maintenant vérifier le calcul par rapport à ce que l'on observe depuis 1958. Les mesures sont dans la colonne B, qui était masquée. En la rendant visible et en comparant les deux courbes, on remarque une différence.

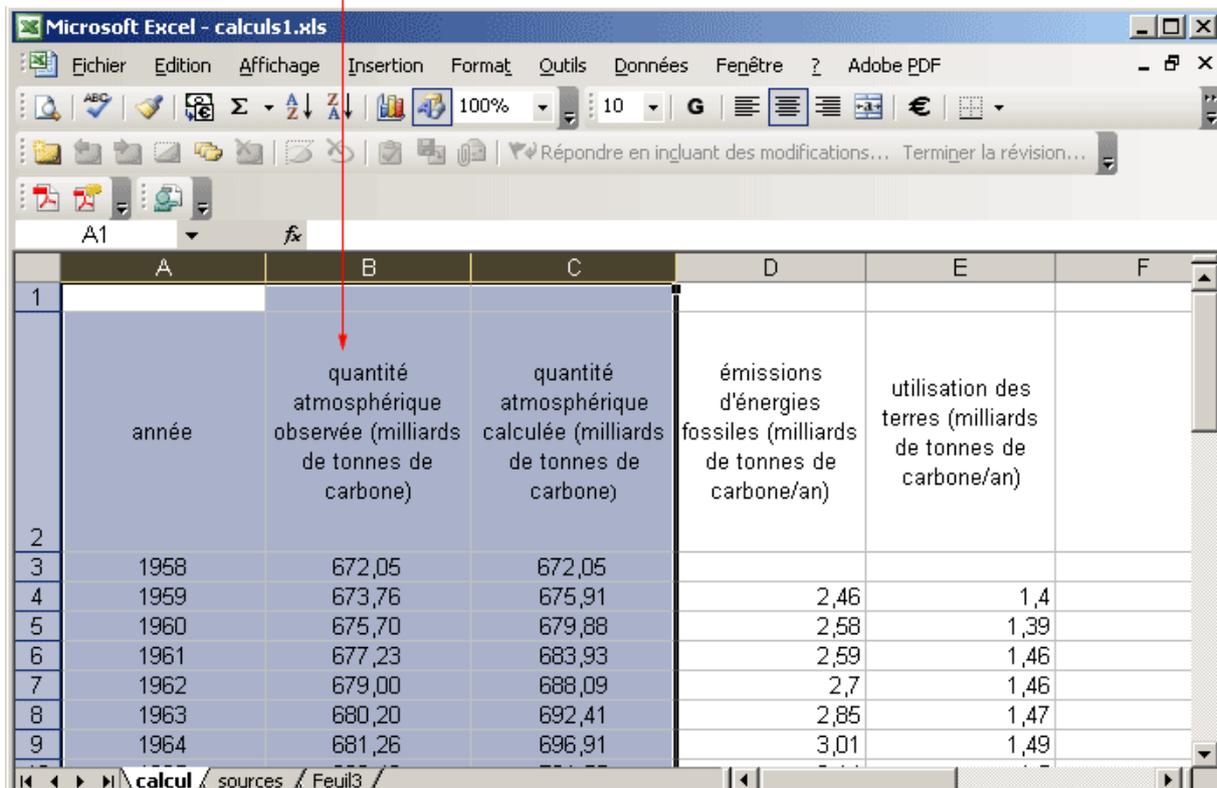
La colonne B est cachée

Menu obtenu avec le clic droit de la souris en ayant sélectionné les colonnes A et C.



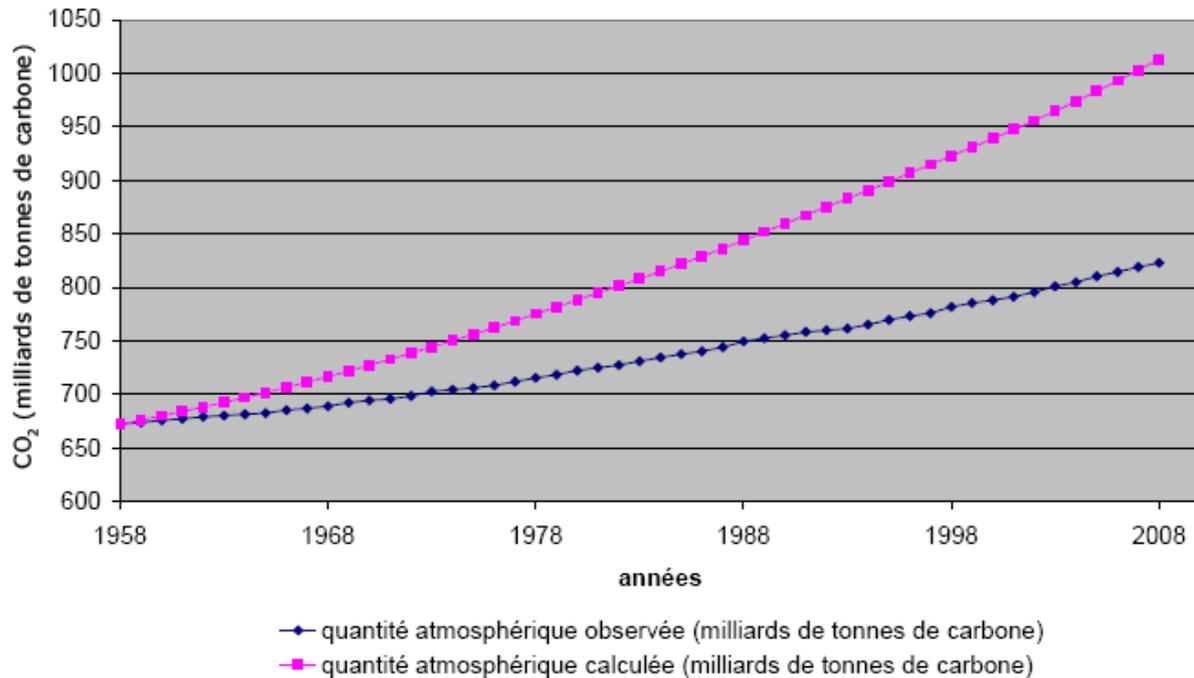
Comment faire apparaître les mesures (colonne B)

La colonne B (les mesures) est maintenant visible et les valeurs peuvent être comparées à celle de la colonne C (les calculs)



Comparaison des deux colonnes : les valeurs calculées (colonne C) sont supérieures aux valeurs mesurées (colonne B).

Évolution du CO₂ atmosphérique



Comparaison du CO₂ calculé et du CO₂ mesuré. L'hypothèse du calcul est que tout le CO₂ rejeté dans l'atmosphère par les activités humaines reste dans l'atmosphère. Le graphique montre que ce n'est pas le cas.

Discussion autour de l'hypothèse

En observant le graphique, peut-on dire que tout le CO₂ émis par les activités humaines reste dans l'atmosphère (ou pourquoi la courbe calculée et la courbe des mesures ne sont pas identiques) ?

A-t-on oublié un paramètre dans le calcul ?

Les réponses à ces questions sont qu'une partie du CO₂ émis se retrouve dans les plantes chlorophylliennes (sans oublier le phytoplancton) et dans les océans. Il faut inclure cette proportion dans le calcul.

On peut arrêter le travail de données à ce stade et réaliser des expériences de photosynthèse, de mesure du CO₂ en présence d'eau de mer, puis revenir ensuite pour calculer la part absorbée. Ou on peut continuer l'activité et faire les expériences ensuite.

Deuxième hypothèse : du CO₂ émis par les activités humaines est absorbé par la nature

Deux façons de procéder :

1. Une hypothèse de travail (20% du CO₂ émis est absorbé, par exemple), que l'on améliore peu à peu jusqu'à obtenir un calcul correspondant aux observations.
2. On calcule année par année, en pourcentage, ce qui est absorbé.

1) hypothèse de travail

Supposons que la nature absorbe 20% du CO₂ émis par les activités humaines (les élèves peuvent eux-mêmes lancer leur hypothèse et les tester, chaque groupe peut tester sa valeur).

Ajout d'une colonne
"absorption naturelle"

Microsoft Excel - calculs2.xls

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ? Adobe PDF

Tapez une question

RACINE fx =B3+D4+E4-F4*(D4+E4)

	A	B	C	D	E	F
1						
	année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (%)
2						
3	1958	672,05	672,05			
4	1959	673,76	675,91	2,46	1,4	0,200
5	1960	675,70	679,88	2,58	1,39	0,200
6	1961	677,23	683,93	2,59	1,46	0,200
7	1962	679,00	688,09	2,7	1,46	0,200
8	1963	680,20	692,41	2,85	1,47	0,200
9	1964	681,26	696,91	3,01	1,49	0,200
10	1965	682,48	701,55	3,14	1,5	0,200
11	1966	685,14	706,39	3,3	1,54	0,200
12	1967	686,83	711,35	3,41	1,55	0,200

Graph1 \calcul\ sources \ Feuil3 /

Modifier NUM

Une colonne « Absorption naturelle en pourcentage » est ajoutée.

La valeur de cette cellule est 0,2 mais si le format est en pourcentage, 20,00% est marqué.

année	atmosphère observée de tor...	absorption naturelle (%)
1958	67,0	1,4
1959	67,0	1,39
1960	67,0	1,46
1961	67,0	1,46
1962	67,0	1,47
1963	68,0	1,49
1964	68,0	1,5
1965	68,0	1,54
1966	68,0	1,55
1967	686,83	711,35
		3,41

La colonne « absorption » est mise en format de pourcentage (facultatif)

Maintenant, le calcul doit prendre en compte le pourcentage d'absorption.

C'est la phase délicate. On reprend le calcul précédent : le CO₂ atmosphérique en 1959 = CO₂ en 1958 + CO₂ émis par les activités humaines. Mais on retranche le CO₂ absorbé par la nature. Voici un exemple de formule (il en existe d'autres. Le début de l'équation est la première équation) :

CO₂ dans atmosphère pour année_n = CO₂ dans atmosphère année_{n-1} + émissions énergies fossiles année_n + utilisation des terres année_n - absorption de la nature * (émissions énergies fossiles année_n + utilisation des terres année_n)



Pour l'année 1959, avec une absorption à 20% :

CO_2 dans atmosphère 1959 = CO_2 dans atmosphère 1958 + émissions énergies fossiles 1958 + utilisation des terres 1958 - 0,2 * (émissions énergies fossiles 1958 + utilisation des terres 1958)

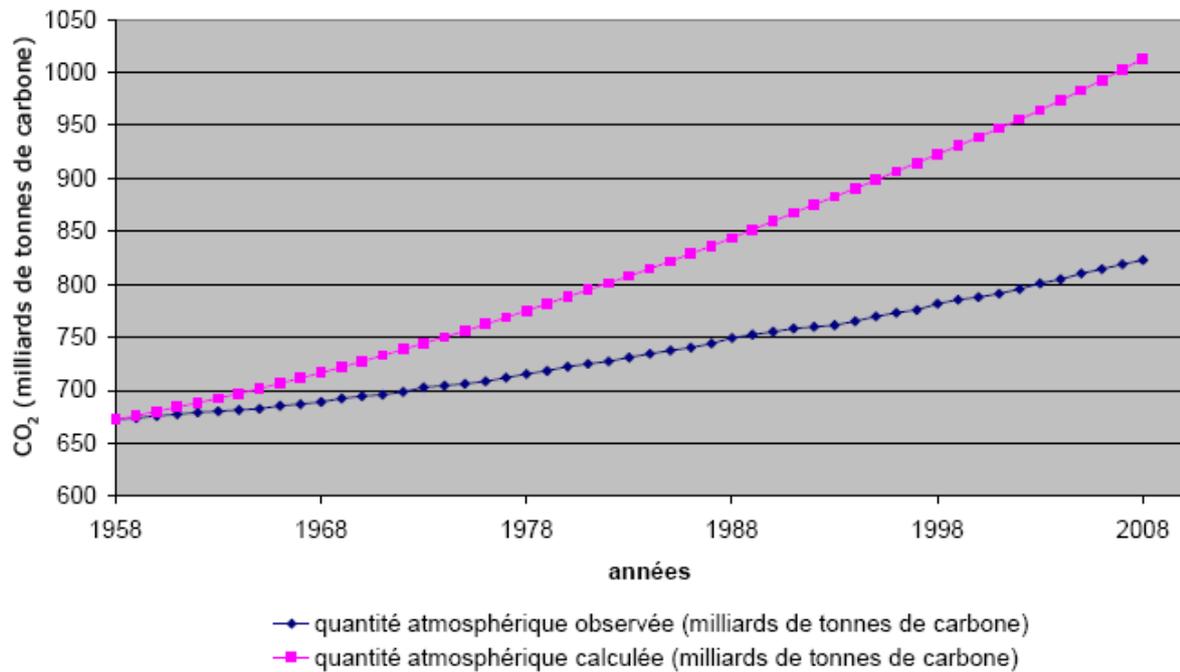
Colonne du calcul : la colonne F est prise en compte

année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (%)
1958	672,05	672,05			
1959		=B3+D4+E4-F4*(D4+E4)		1,40	20,00%
1960	675,70	678,32	2,57	1,39	20,00%
1961	677,23	681,56	2,60	1,46	20,00%
1962	679,00	684,89	2,70	1,46	20,00%
1963	680,20	688,35	2,85	1,47	20,00%
1964	681,26	691,95	3,01	1,49	20,00%
1965	682,48	695,66	3,14	1,50	20,00%
1966	685,14	699,53	3,30	1,54	20,00%
1967	686,83	703,50	3,41	1,55	20,00%

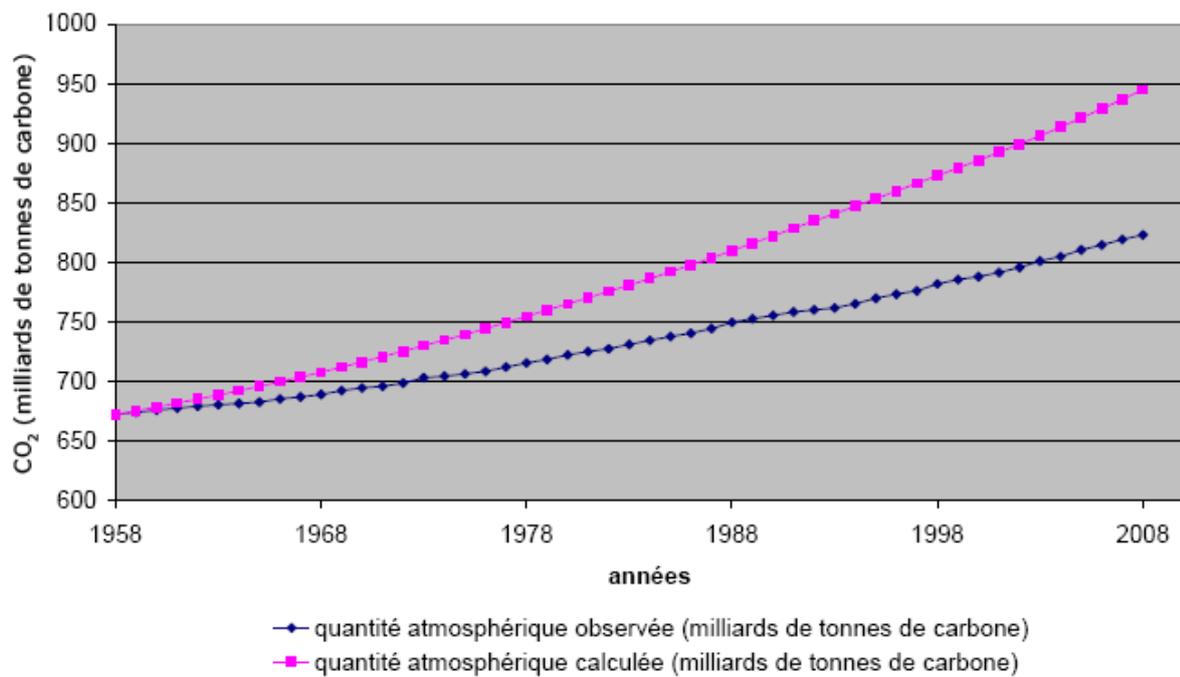
Nouveau calcul, qui prend en compte la colonne F dans laquelle est estimée l'absorption naturelle

Le graphique change alors automatiquement.

Évolution du CO₂ atmosphérique



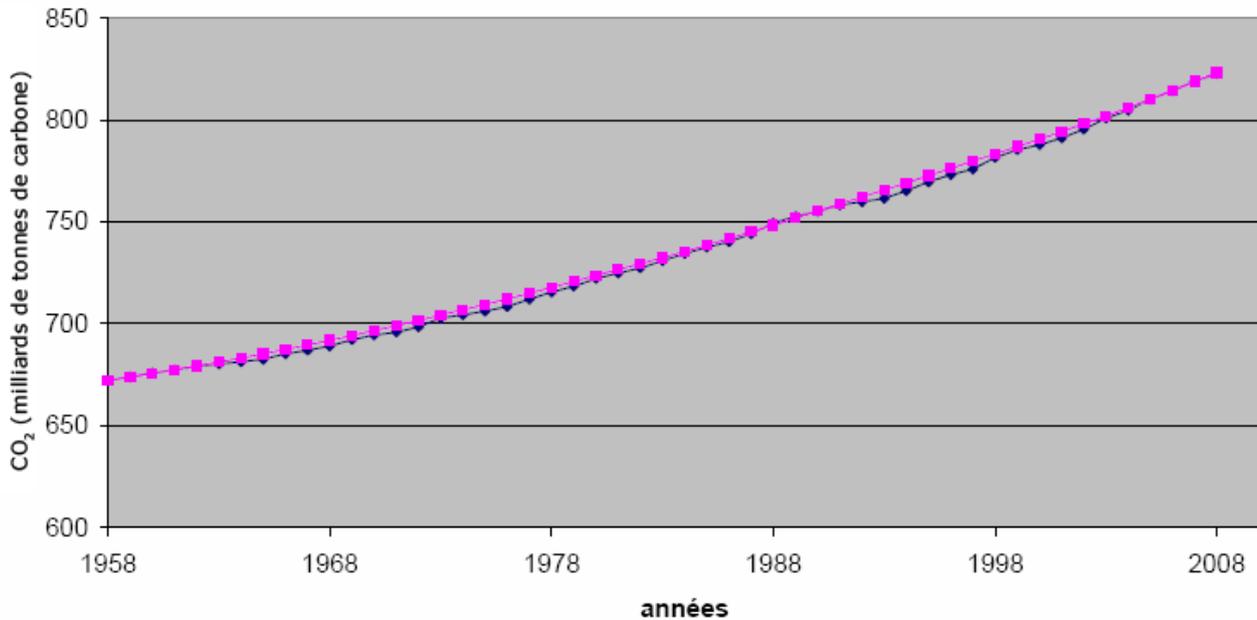
Évolution du CO₂ atmosphérique



En haut, graphique précédent : l'absorption naturelle n'est pas prise en compte. En bas, graphique avec une absorption naturelle de 20%

Dans l'exemple, l'absorption est insuffisante. Les élèves testent plusieurs valeurs d'absorption, jusqu'à atteindre une valeur qui leur convienne (autour de 55%).

Évolution du CO₂ atmosphérique



—◆— quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)

—■— quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)

Courbe de calcul obtenue avec une absorption de 55,6%. Le calcul et les mesures s'épousent presque parfaitement.

2) Calcul année par année

Plutôt que de chercher le même pourcentage pour toutes les années, on peut aussi voir ce qui se passe année après année. **Le pourcentage de ce qui est resté dans l'atmosphère** chaque année est la quantité de CO₂ qui a vraiment augmenté d'une année sur l'autre, c'est-à-dire la différence de ce qui est **mesuré** entre deux années, sur la quantité émise par l'Homme.

Le pourcentage absorbé correspond à $(100 - \text{le pourcentage de ce qui reste dans l'atmosphère})$

La différence entre les deux lignes est le CO₂ qui reste dans l'atmosphère entre 1958 et 1959

La somme des deux colonnes correspond au CO₂ émis par les activités humaines

Microsoft Excel - calculs1.xls

RACINE $= 1 - ((B4-B3) / (D4+E4))$

	A	B	C	D	E	F
1						
	année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (% par an)
2						
3	1958	672,05	672,05			
4	1959	673,76	673,76	2,46	=1-((B4-B3)/(D4+E4))	
5	1960	675,70	677,73	2,58	1,39	
6	1961	677,23	681,78	2,59	1,46	
7	1962	679,00	685,94	2,7	1,46	
8	1963	680,20	690,26	2,85	1,47	
9	1964	681,26	694,76	3,01	1,49	
10	1965	682,48	699,40	3,14	1,5	
11	1966	685,14	704,24	3,3	1,54	
12	1967	686,83	709,20	3,41	1,55	
13	1968	688,92	714,27	3,59	1,48	
14	1969	692,09	719,55	3,8	1,48	
15	1970	694,33	725,07	4,08	1,44	
16	1971	695,76	730,59	4,23	1,29	

Calcul du pourcentage d'absorption année par année

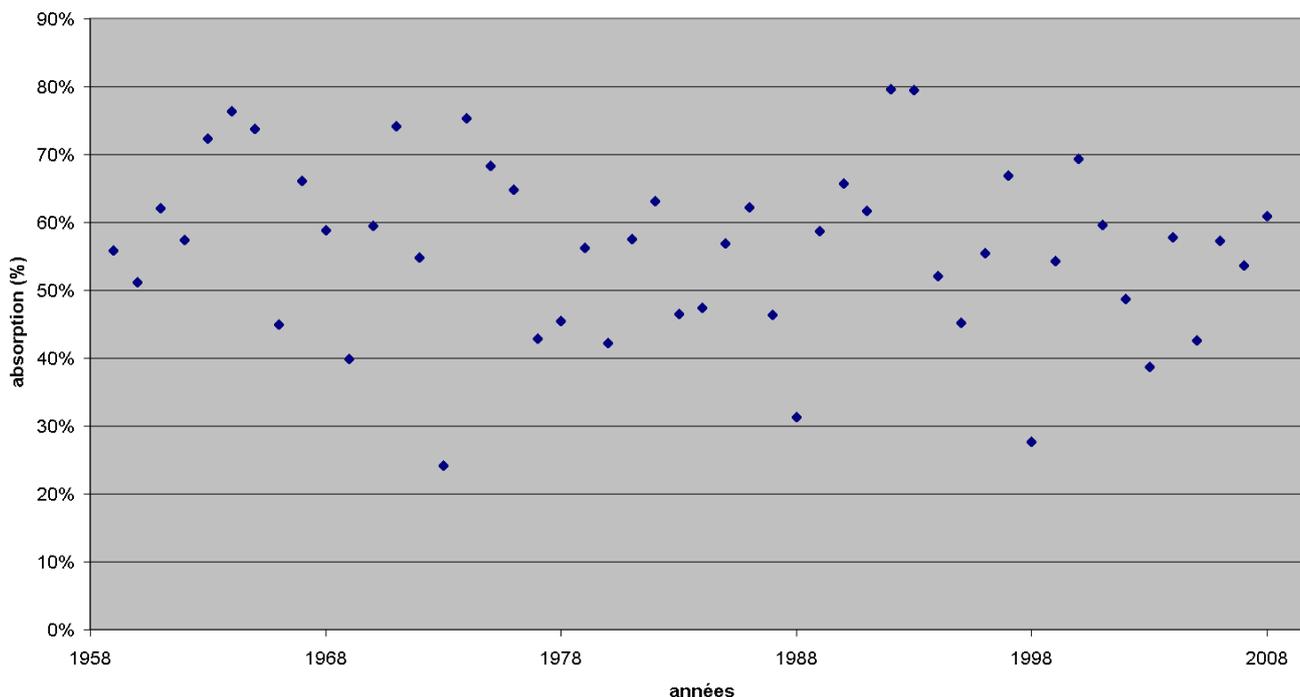
année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (% par an)
1958	672,05	672,05			
1959	673,76	673,76	2,46	1,4	0,558
1960	675,70	675,70	2,58	1,39	0,511
1961	677,23	677,23	2,59	1,46	0,621
1962	679,00	679,00	2,7	1,46	0,575
1963	680,20	680,20	2,85	1,47	0,724
1964	681,26	681,26	3,01	1,49	0,763
1965	682,48	682,48	3,14	1,5	0,738
1966	685,14	685,14	3,3	1,54	0,449
1967	686,83	686,83	3,41	1,55	0,660
1968	688,92	688,92	3,59	1,48	0,588
1969	692,09	692,09	3,8	1,48	0,398
1970	694,33	694,33	4,08	1,44	0,594
1971	695,76	695,76	4,23	1,29	0,741
1972	698,32	698,32	4,4	1,26	0,548
1973	702,78	702,78	4,63	1,25	0,242
1974	704,23	704,23	4,64	1,25	0,754
1975	706,08	706,08	4,61	1,25	0,683

Résultats du calcul de l'absorption naturelle en % année par année

année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (% par an)
1958	672,05	672,05			
1959	673,76	673,76	2,46	1,4	55,81%
1960	675,70	675,70	2,58	1,39	51,13%
1961	677,23	677,23	2,59	1,46	62,10%
1962	679,00	679,00	2,7	1,46	57,46%
1963	680,20	680,20	2,85	1,47	72,36%
1964	681,26	681,26	3,01	1,49	76,31%
1965	682,48	682,48	3,14	1,5	73,81%
1966	685,14	685,14	3,3	1,54	44,93%
1967	686,83	686,83	3,41	1,55	66,04%
1968	688,92	688,92	3,59	1,48	58,79%
1969	692,09	692,09	3,8	1,48	39,83%
1970	694,33	694,33	4,08	1,44	59,44%
1971	695,76	695,76	4,23	1,29	74,12%
1972	698,32	698,32	4,4	1,26	54,80%
1973	702,78	702,78	4,63	1,25	24,21%
1974	704,23	704,23	4,64	1,25	75,38%

Même chose mais avec des valeurs en format « pourcentage ».

absorption naturelle du CO₂ émis par les activités humaines (% par an)



Absorption par la nature du CO₂ émis par les activités humaines en fonction des années

Une représentation graphique montre que l'absorption fluctue d'année en année et oscille entre 22 et 80%. Cependant, on n'observe de tendance générale ni à la baisse, ni à l'augmentation.

On calcule ensuite la moyenne de l'absorption sur ces cinquante dernières années et on retrouve la valeur de 56,3%

En prenant cette valeur d'absorption pour les années 1958 à 2008, on arrive à faire superposer les courbes des mesures et du calcul. Cette valeur moyenne semble donc bien représenter l'absorption naturelle pour les 50 dernières années, même si des fluctuations existent selon les années.

Colonne du calcul : la colonne F est prise en compte

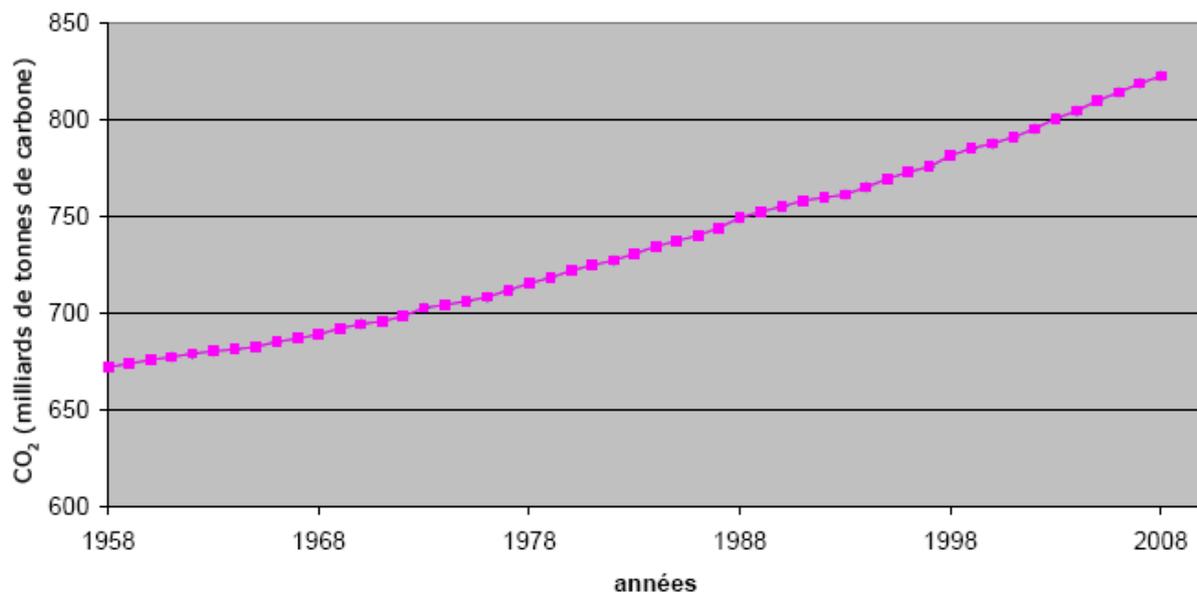
Microsoft Excel - calculs2.xls

RACINE $=B3+D4+E4-F4*(D4+E4)$

	A	B	C	D	E	F
	année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (%)
1						
2						
3	1958	672,05	672,05			
4	1959		$=B3+D4+E4-F4*(D4+E4)$		1,40	55,81%
5	1960	675,70	678,32	2,57	1,39	51,13%
6	1961	677,23	681,56	2,60	1,46	62,10%
7	1962	679,00	684,89	2,70	1,46	57,46%
8	1963	680,20	688,35	2,85	1,47	72,36%
9	1964	681,26	691,95	3,01	1,49	76,31%
10	1965	682,48	695,66	3,14	1,50	73,81%
11	1966	685,14	699,53	3,30	1,54	44,93%
12	1967	686,83	703,50	3,41	1,55	66,04%

Prise en compte dans le calcul des pourcentages d'absorption année après année

Évolution du CO₂ atmosphérique



- ◆— quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)
- quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)

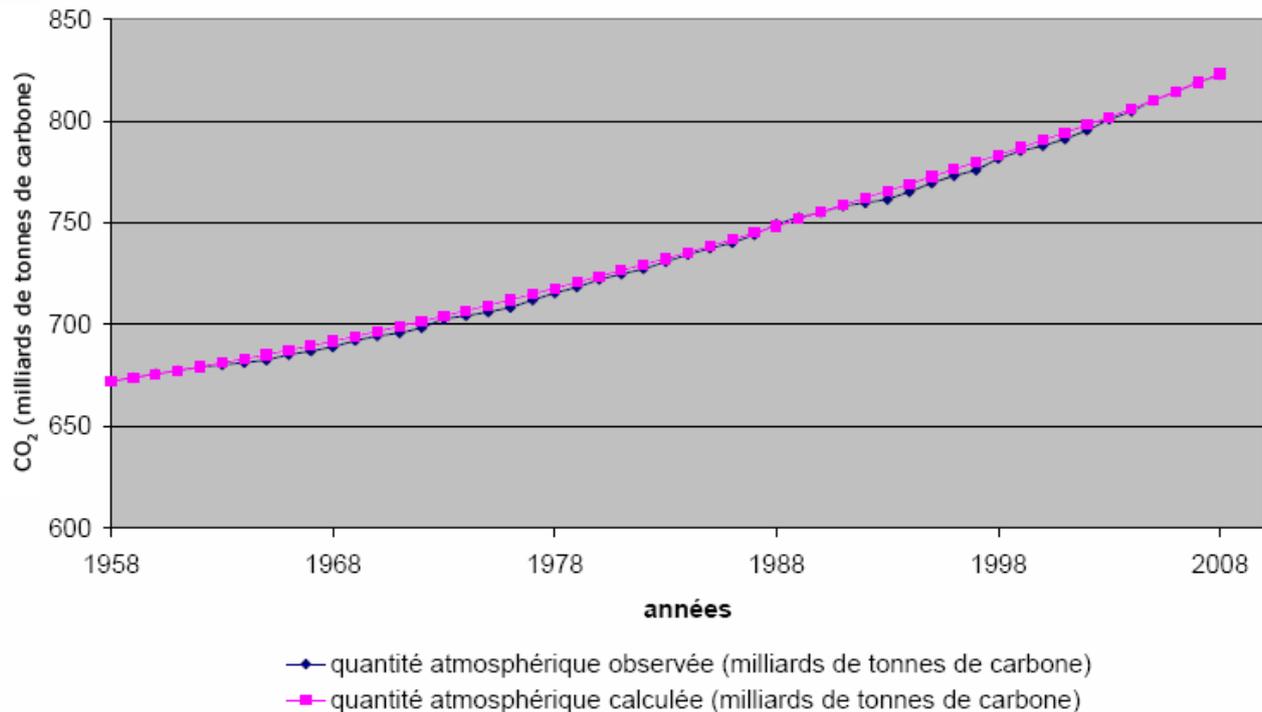
Si on utilise les valeurs d'absorption en pourcentage, calculées année après année, les deux courbes s'épousent parfaitement.

Colonne du calcul : la colonne F est prise en compte

	A	B	C	D	E	F
1						
	année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (%)
2						
3	1958	672,05	672,05			
4	1959		=B3+D4+E4-F4*(D4+E4)		1,40	56,30%
5	1960	675,70	678,32	2,57	1,39	56,30%
6	1961	677,23	681,56	2,60	1,46	56,30%
7	1962	679,00	684,89	2,70	1,46	56,30%
8	1963	680,20	688,35	2,85	1,47	56,30%
9	1964	681,26	691,95	3,01	1,49	56,30%
10	1965	682,48	695,66	3,14	1,50	56,30%
11	1966	685,14	699,53	3,30	1,54	56,30%
12	1967	686,83	703,50	3,41	1,55	56,30%

Prise en compte dans le calcul d'un pourcentage fixe d'absorption pour toutes les années entre 1958 et 2008. Ce pourcentage correspond à la moyenne de ces années.

Évolution du CO₂ atmosphérique



En utilisant une valeur d'absorption de 56.3% (moyenne d'absorption 1958-2008) pour toutes les années, les deux courbes ne s'épousent pas parfaitement.

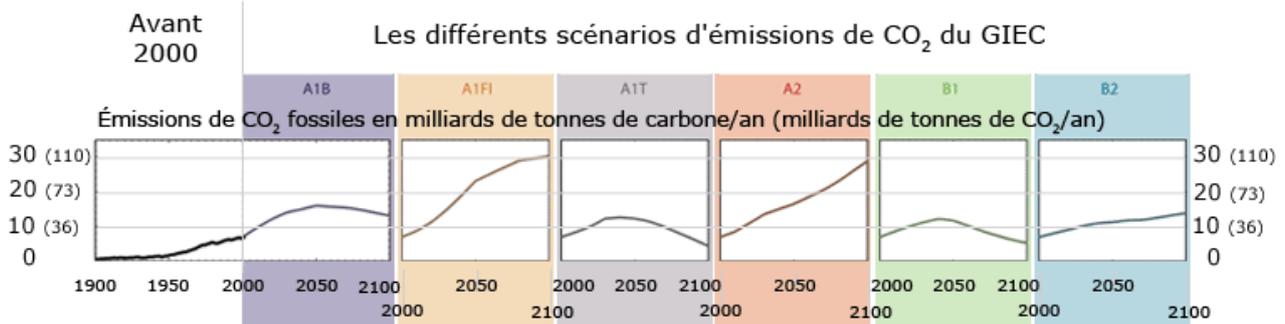
2) Faire des prévisions pour le prochain siècle

Pour calculer le pourcentage d'absorption propre à chaque année, il faut connaître de combien de ppmv a évolué le CO₂ atmosphérique entre deux années. Comme ces valeurs ne peuvent être connues pour le futur (puisqu'il s'agit d'observations), il faut utiliser la valeur moyenne d'absorption pour les prévisions, donc 55,3%.

Les émissions de CO₂ peuvent être prédites pour le prochain siècle, car elles sont basées sur des critères économiques. Plusieurs scénarios sont envisageables :

- on continue d'émettre de plus en plus de CO₂ car nous avons un besoin croissant d'énergie, de transports, de consommation.
- on continue d'émettre de plus en plus de CO₂ pendant un certain temps, plus on se calme : on a réussi à développer des énergies renouvelables, un autre type de consommation apparaît, plus respectueux de nos ressources.
- on se passe peu à peu des énergies fossiles, on arrête la déforestation.

Pour des collégiens et lycéens, il n'est pas facile de prévoir à si long terme. Ils peuvent donc s'aider des scénarios d'émissions du GIEC représentés ci-dessous. L'image est téléchargeable sur le site <http://cycleducarbone.ipsl.jussieu.fr/index.php/enseignants-mainmenu-5/6-ressources/33-premier-modele-climatique.html>



Sources : GIEC, groupe de travail n°1, chapitre 10, figure 10.26

Les différents scénarios des émissions de CO₂ du GIEC. Plus de précisions ici : <http://cycleducarbone.ipsl.jussieu.fr/index.php/visiteurs-mainmenu-6/3-cycle-du-carbone/20-un-cycle-elle-humaine> aller dans l'animation, menu « demain/prévisions pour le prochain siècle.

2) le calcul peut continuer jusqu'en 2100

1) On peut étendre ces colonnes jusqu'en 2100

année	quantité atmosphérique observée (milliards de tonnes de carbone)	quantité atmosphérique calculée (milliards de tonnes de carbone)	émissions d'énergies fossiles (milliards de tonnes de carbone/an)	utilisation des terres (milliards de tonnes de carbone/an)	absorption naturelle (%)
1958	672,05	672,05			
1959	673,76	673,73	2,47	1,40	56,50%
1960	675,70	675,46	2,57	1,39	56,50%
1961	677,23	677,22	2,60	1,46	56,50%
1962	679,00	679,03	2,70	1,46	56,50%
1963	680,20	680,91	2,85	1,47	56,50%
1964	681,26	682,87	3,01	1,49	56,50%
1965	682,48	684,89	3,14	1,50	56,50%
1966	685,14	686,99	3,30	1,54	56,50%
1967	686,83	689,15	3,41	1,55	56,50%

Colonnes que l'on peut prolonger jusqu'en 2100 dans le tableur

Microsoft Excel - calculs3.xls

RACINE \times \checkmark $\&$ =C64+D65+E65-F65*(D65+E65)

	A	B	C	D	E	F
49	2004	804,73	804,43	7,91	1,53	56,50%
50	2005	810,15	808,62	8,17	1,47	56,50%
51	2006	814,33	812,90	8,38	1,47	56,50%
52	2007		817,35	8,76	1,47	56,50%
53	2008		821,94	9,07	1,47	56,50%
54	2009		826,65	9,38	1,47	56,50%
55	2010		831,51	9,69	1,47	56,50%
56	2011		836,49	10,00	1,47	56,50%
57	2012		841,62	10,31	1,47	56,50%
58	2013		846,87	10,62	1,47	56,50%
59	2014		852,27	10,93	1,47	56,50%
60	2015		857,79	11,24	1,47	56,50%
61	2016		863,46	11,55	1,47	56,50%
62	2017		869,25	11,86	1,47	56,50%
63	2018		875,18	12,17	1,47	56,50%
64	2019		881,25	12,48	1,47	56,50%
65	2020		=C64+D65+E65-F65*(D65+E65)		1,47	56,50%
66	2021		893,79	13,10	1,47	56,50%
67	2022		900,26	13,41	1,47	56,50%

GraphPessimiste / pessimiste / GraphOptimiste / optimiste / scenariospmv / pp

On prolonge les années jusqu'en 2100 (ou plus ou moins)

Le calcul continue (ne pas changer la formule !)

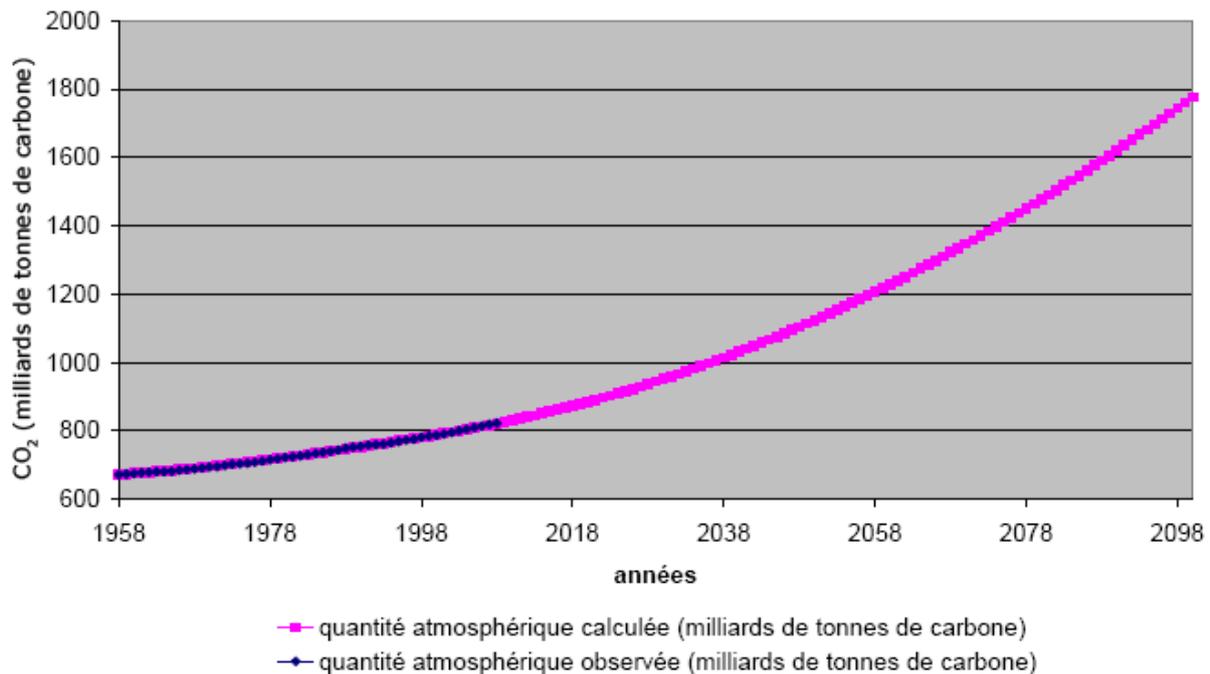
Augmentation rapide des émissions de CO₂ dues à l'utilisation des énergies fossiles

pas de changement dans l'utilisation des terres

Pas de changement dans le pourcentage d'absorption des puits naturels

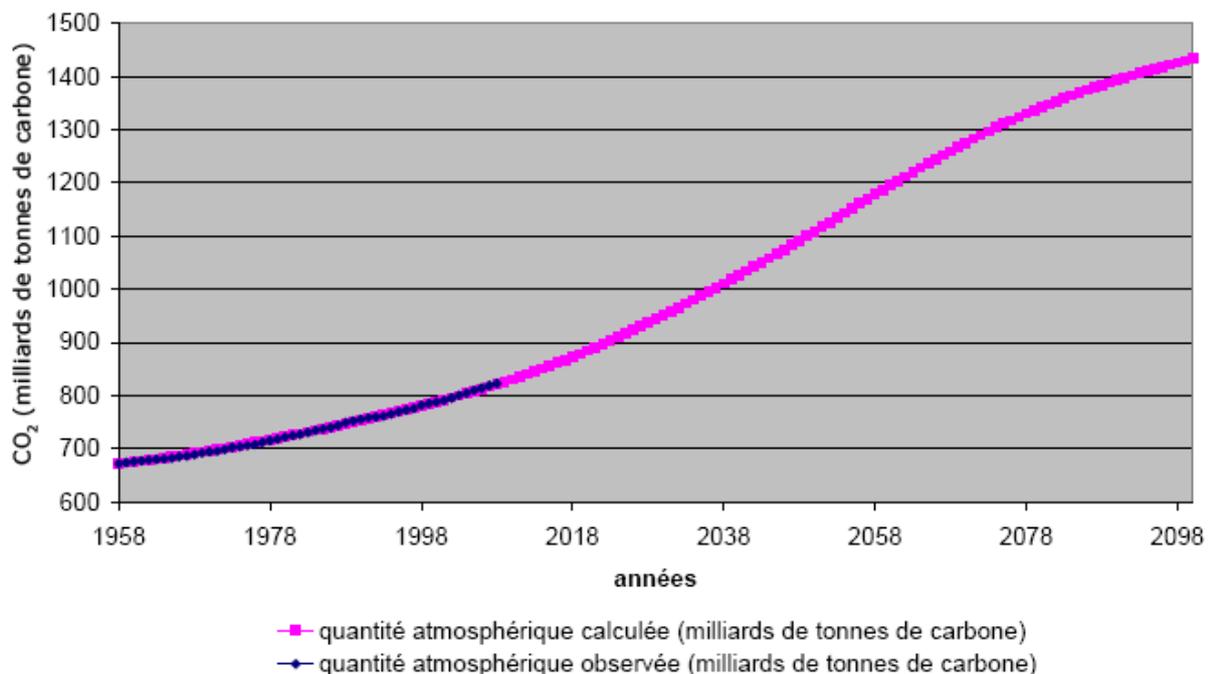
Exemple d'une prolongation : on continue d'utiliser les énergies fossiles de plus en plus.

Évolution du CO₂ atmosphérique



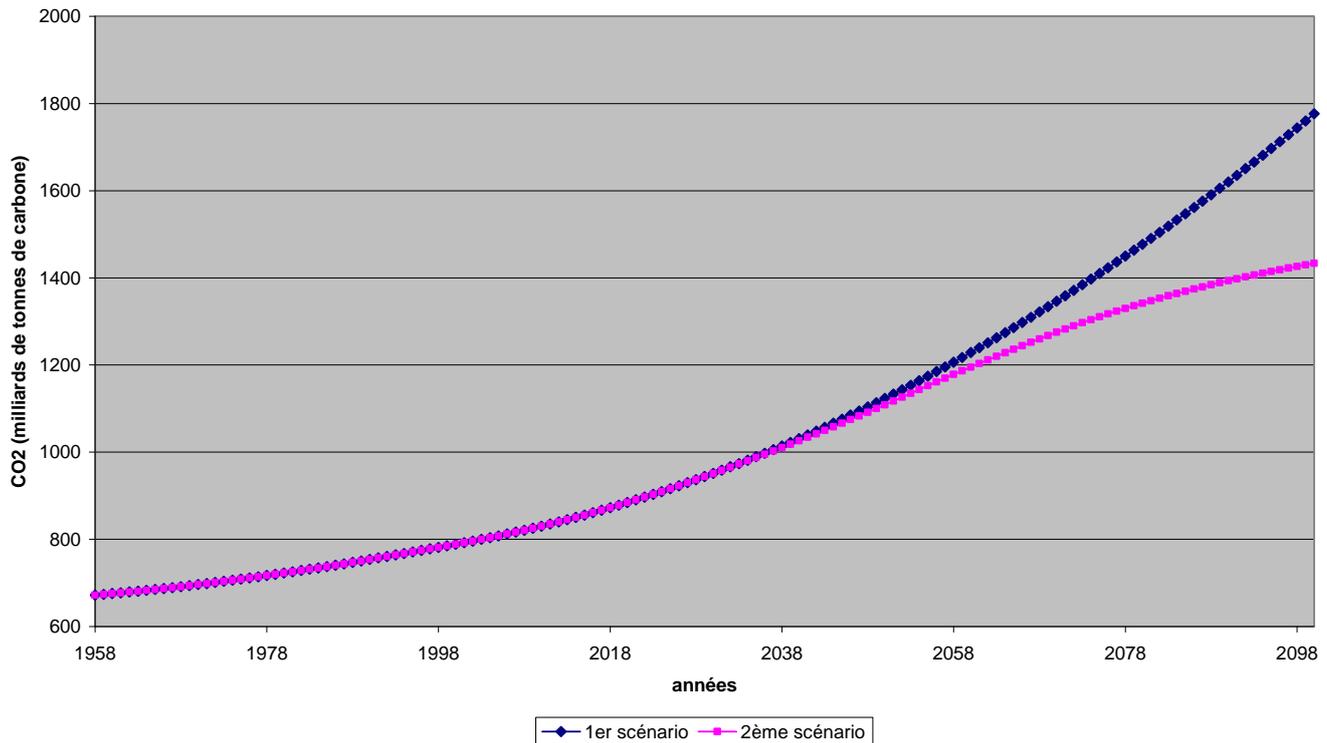
Graphique obtenu à partir du scénario précédent. Les observations (en bleu) s'arrêtent évidemment en 2008. Avec un tel scénario d'émissions, la quantité de CO₂ atmosphérique atteint plus de 1700 milliards de tonnes de carbone (à comparer aux 820 milliards de tonnes actuelles).

Évolution du CO₂ atmosphérique



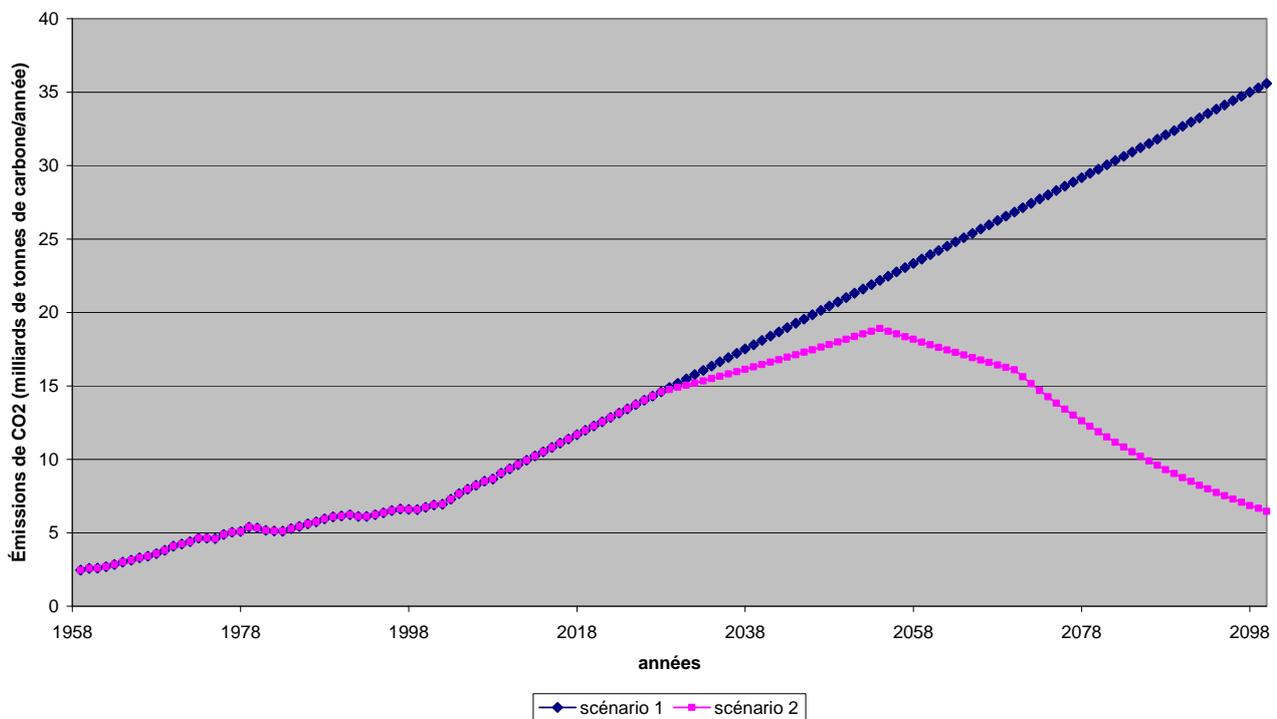
Exemple avec un scénario où les émissions augmentent moins vite à partir de 2030 puis diminuent même à partir de 2050. Cependant, les puits naturels faiblissent. Avec ce scénario, la quantité de CO₂ pour la fin du siècle est autour de 1400 milliards de tonnes de carbone, au lieu plus de 1700 milliards de tonnes pour le scénario précédent

Évolution du CO₂ atmosphérique jusqu'en 2100



Visualisation comparée des deux prévisions précédentes

Scénarios d'émissions de CO₂ dues à l'utilisation des énergies fossiles

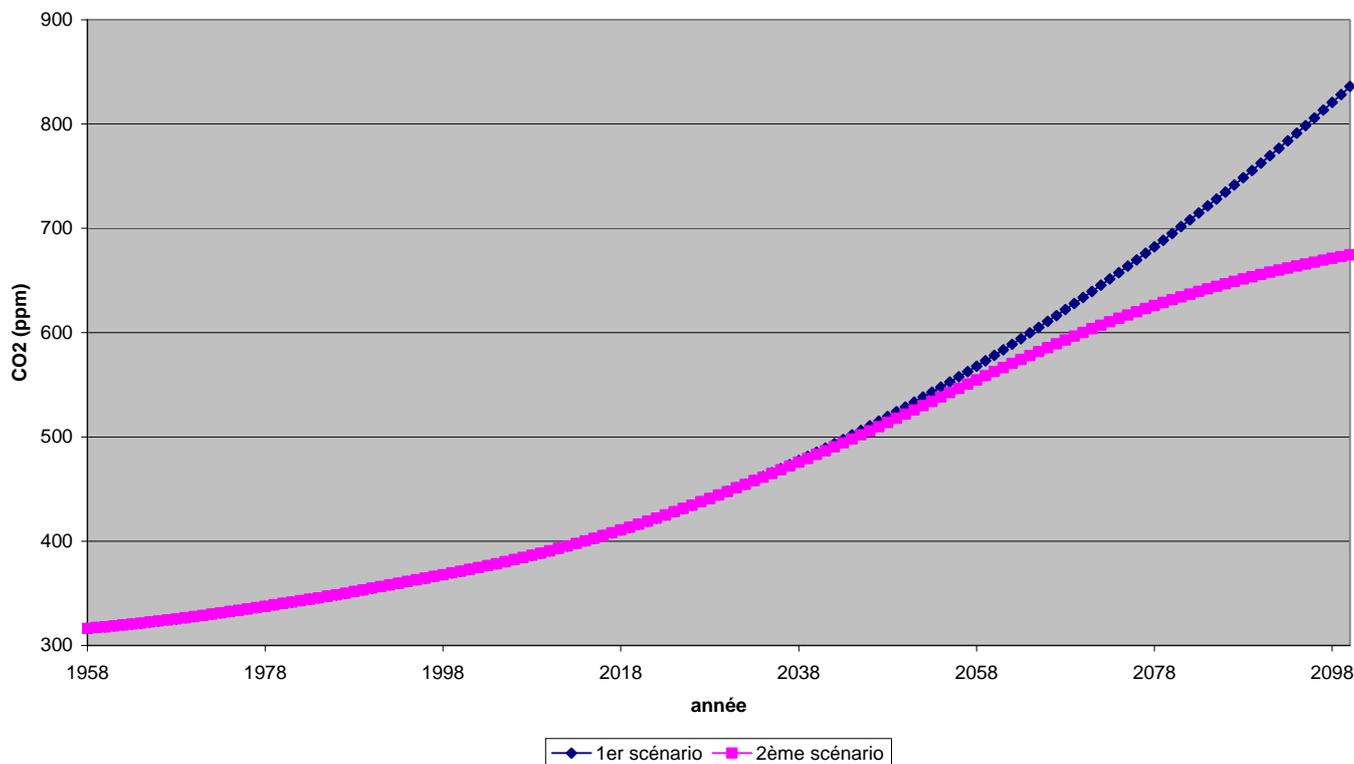


Les deux scénarios d'émissions correspondant aux prévisions précédentes. Le scénario bleu correspond à une augmentation régulière des émissions ; le scénario mauve à une augmentation jusqu'en 2050 puis à une baisse progressive. Remarquez bien qu'une baisse des émissions (courbe mauve, graphique du bas) entraîne tout de même une augmentation du CO₂ atmosphérique (courbe mauve, graphique du haut), car on continue d'émettre du CO₂ vers l'atmosphère.



Si vous voulez passer en ppmv (unité classique de la concentration en gaz carbonique dans l'air) vous devez savoir que 595 milliards de tonnes de carbone de CO₂ est équivalent à 280 ppmv (ce sont les valeurs préindustrielles).

Évolution du CO₂ atmosphérique selon deux scénarios d'émission



Même évolution du CO₂ atmosphérique que précédemment, mais en ppmv. Le premier scénario (courbe bleue) nous fait grimper au-dessus de 800 ppmv, le second stabilise en-dessous de 700 ppmv. Nous rappelons qu'avant la révolution industrielle, le CO₂ atmosphérique tournait autour de 280 ppmv.

Cette publication a été possible grâce à des fonds du 7ème programme cadre pour la recherche et le développement technologique de la commission européenne (contrat n°217751). Le texte est sous la licence non commerciale Creative Commons 3.0. Pour plus de détails, voir <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.fr>

