UE 14
Terre et société
Mini-projet

POPULATION ET ENERGIE

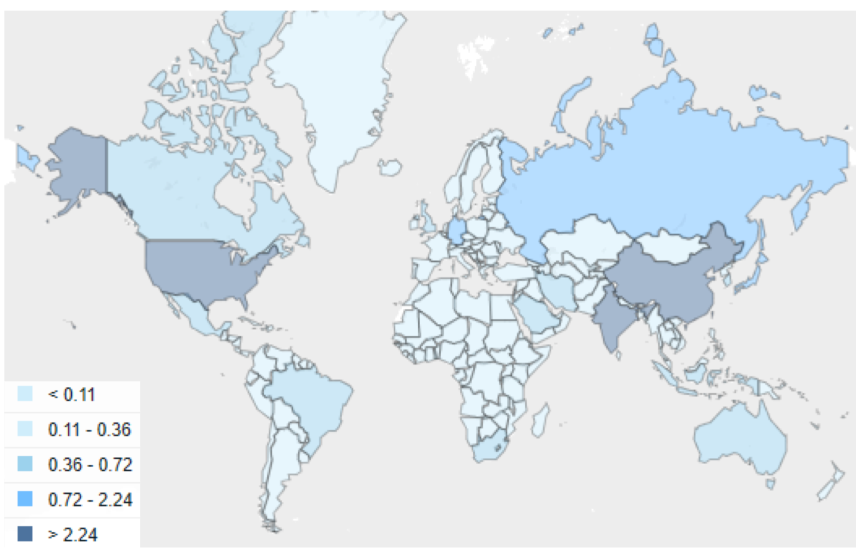
Projet N°18

Clément Desroches, Juliette Gerbaux, Lucille Lacoste, Alex Morais, Louis Planche

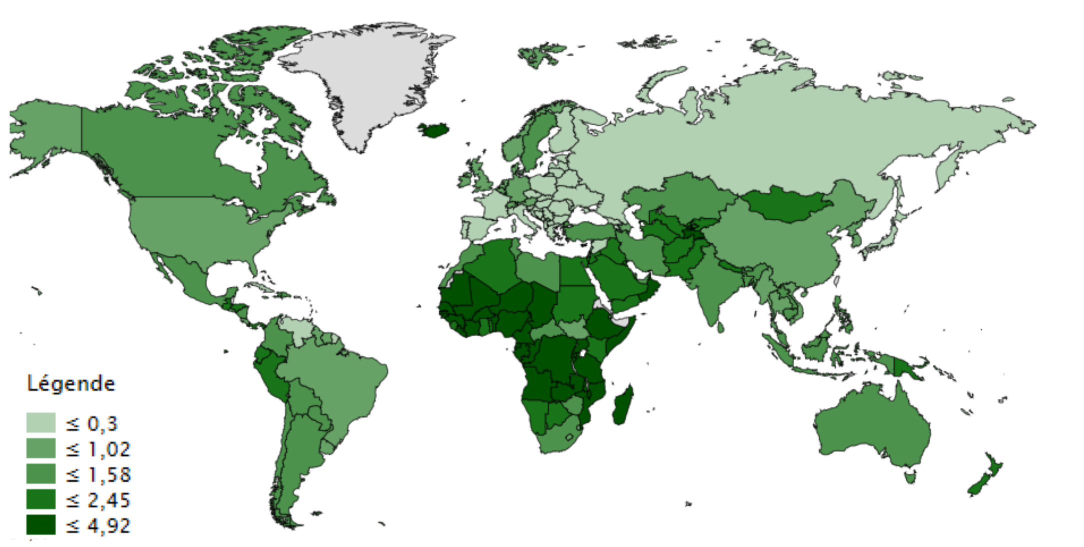
INTRODUCTION

Objectif : Faire une modélisation simple des évolutions démographiques et des mix énergétiques dans différentes régions du monde afin de comprendre à quel point les enjeux mondiaux de transition énergétique peuvent être d'intensité et de nature variable dans différents pays du monde.

Equation de Kaya : $\boxed{\text{CO2 = pop * kWh/pers * CO2/kWh}}$ → jouer sur le mix énergétique pour changer CO2/kWh, en laissant kWh/pers constant et en faisant des projections de population à partir des données existantes.



Emissions de CO2 dans le monde en 2014 en millions de tonnes de CO2
Source : Banque Mondiale



Croissance annuelle de la population (en % de la population totale) en 2018
Source : Perspective monde

MODELISATION POPULATION

Modèle d'évolution :

Le modèle que nous avons choisi est le **modèle de Lewis** (1942).

On définit $y(t_j) = \begin{pmatrix} y_1(t_j) \\ \vdots \\ y_n(t_j) \end{pmatrix}$ et la matrice

$A = \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & \cdots & \cdots & f_n \\ s_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & (0) & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & s_{n-1} & 0 \end{pmatrix}$, où f_i est égal à la **fertilité** des personnes âgées entre $i\delta$ et $(i+1)\delta$, c'est-à-dire le nombre de personnes qu'engendre une personne de cette catégorie dans un intervalle de temps δ et où s_i est le **taux de survie** des personnes âgées entre $i\delta$ et $(i+1)\delta$.

On a donc la relation : $y(t_{j+1}) = A\, y(t_j)$.

Population à $t_j = j \times \delta + t_0$

$0-\delta$	$\delta - 2\delta$	…	$(n-1)\delta - n\delta$	$n\delta +$
$y_1(t_j)$	$y_2(t_j)$ +	…	+ $y_{n-1}(t_j)$ +	$y_n(t_j)$

$\times s_1$ $\times f_2$ $\times f_{n-1}$ $\times f_n$ $\times s_{n-1}$

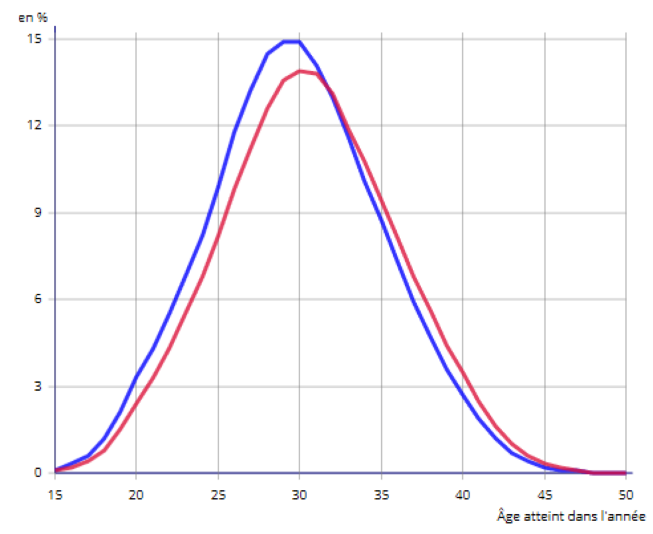
$y_1(t_{j+1})$	$y_2(t_{j+1})$	…	$y_{n-1}(t_{j+1})$	$y_n(t_{j+1})$
$0-\delta$	$\delta - 2\delta$	…	$(n-1)\delta - n\delta$	$n\delta +$

Population à $t_{j+1} = t_j + \delta$

Détermination des coefficients de la matrice A :

La **base de données des Nations Unies** permet d'avoir pour un pays donné, les vecteurs y avec $\delta = 1\ an,\ n = 80$ et m aux alentours de 10 ans.
On peut avoir une bonne estimation des coefficients s_i pour i allant 1 à $n-1$ en utilisant le fait que pour tout $j, s_i = \frac{y_{i+1}(t_j)}{y_i(t_{j-1})}$ et en moyennant ces quantités.
Pour ce qui est des f_i, on peut introduire la fonction F telle que pour tout $t, F(t)$ est le nombre moyen d'enfants qu'une personne âgée de t années a eue. On note ensuite f la dérivée de la fonction F et on suppose que f est une **fonction gaussienne** : $f(t) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\beta}}$. On a $f_i \approx f(t)\delta$.
L'hypothèse f est gaussienne est justifiée par le graphique ci-contre.

En utilisant le module python scipy.optimize, on peut trouver les paramètres α, β, μ qui approximent au mieux les f_i.



Taux de fécondité selon l'âge de la mère. En bleu en 2007 et en rouge en 2017
Source : INSEE

Implémentation de l'algorithme et résultats :

Une fois que l'on a déterminé la matrice A, il suffit de connaitre $y(t_0)$ pour pouvoir calculer y pour tous les t supérieurs à t_0. En pratique, l'hypothèse que la matrice A n'évolue pas au cours du temps est trop forte et on se restreint à une dizaine d'années.

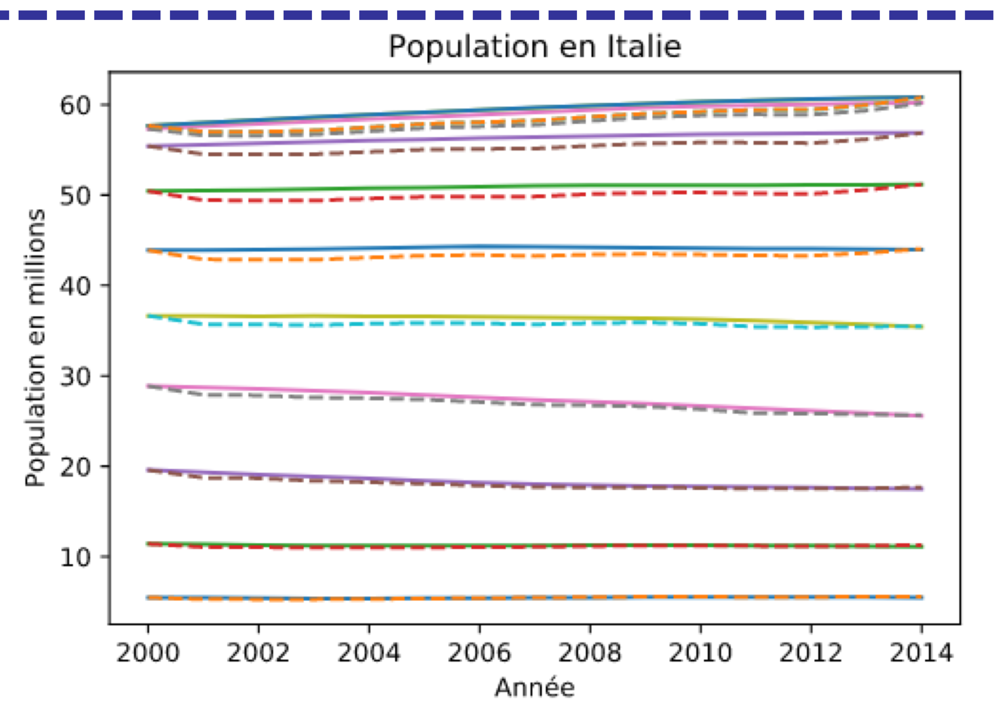


Figure 1 : Population estimée en supposant que l'on connaisse les naissances chaque année.
En pointillés : données réelles, et en trait plein : données simulées. La ième courbe en partant du bas représente les personnes âgées de moins de 10i ans. Erreur de l'ordre de 2% sur la population totale.

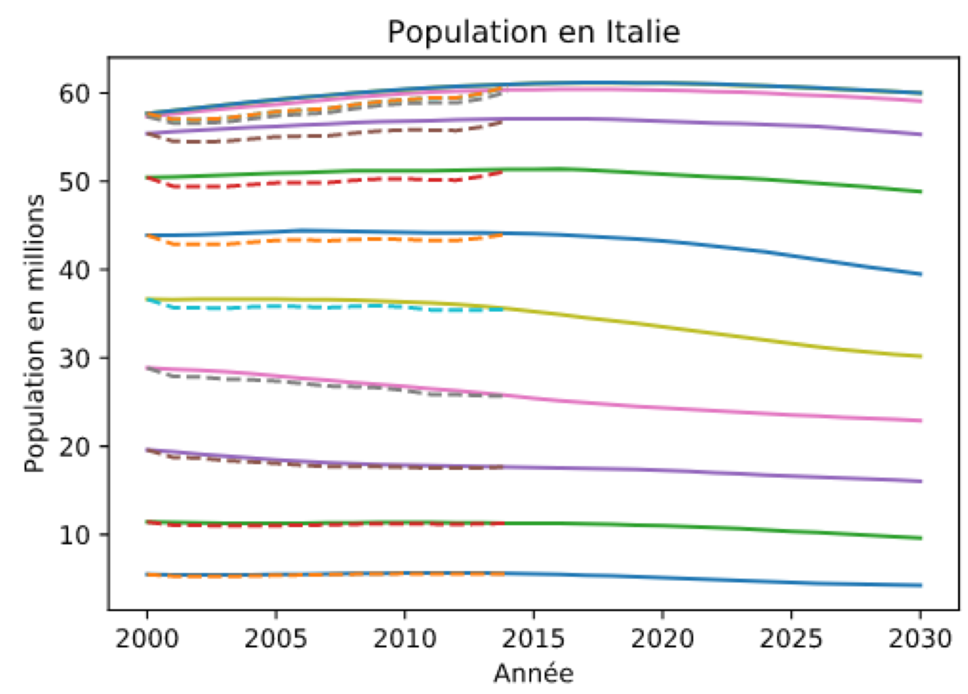
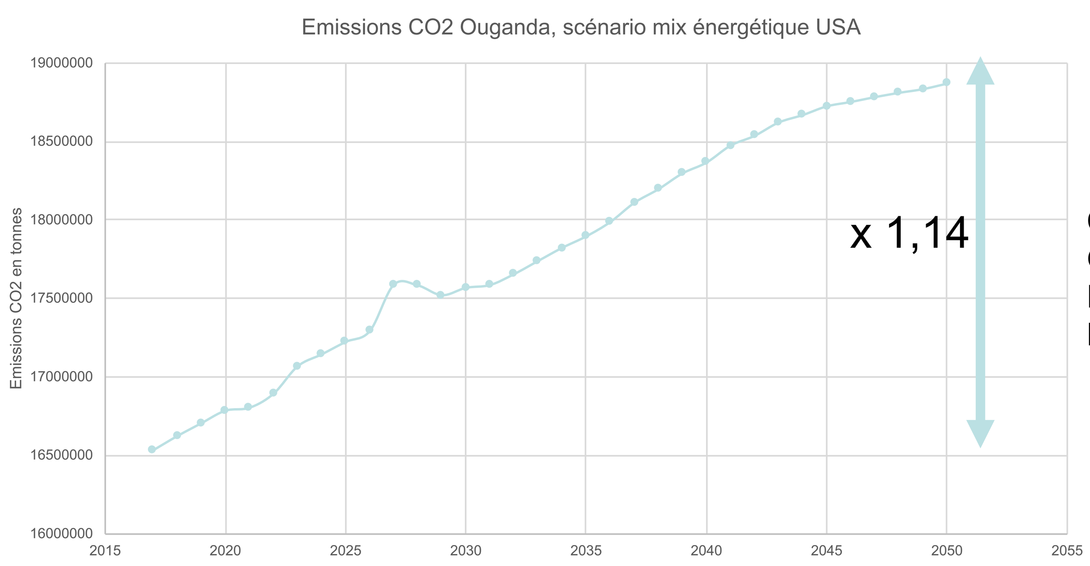


Figure 2 : Population estimée en estimant les naissances chaque année.
En pointillés : données réelles, et en trait plein : données simulées. La ième courbe en partant du bas représente les personnes âgées de moins de 10i ans. Erreur de l'ordre de 1% sur la population totale.

SCENARIOS MIX ENERGETIQUE

Pays en développement :

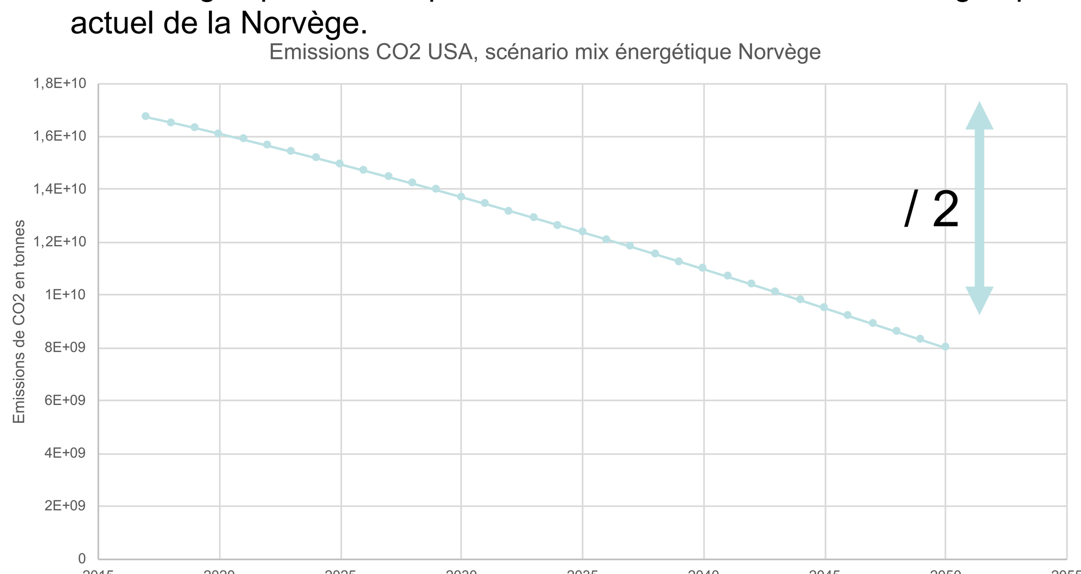
On suppose que la consommation/personne reste constante, et que le mix énergétique évolue pour atteindre en 2050 le mix énergétique actuel des pays développés.



Charbon : +0,4% / an
Gaz naturel : +0,8% / an
Hydrocarbure : -0,8% / an
Nucléaire, ENR : -0,4% / an

Pays développés :

On suppose que la consommation/personne reste constante, et que le mix énergétique évolue pour atteindre en 2050 le mix énergétique actuel de la Norvège.



Charbon : -0,4% / an
Gaz naturel : -0,6% / an
Hydrocarbure : -0,5% / an
Nucléaire, ENR : +1,5% / an

Mondialement :

On extrapole les facteurs 2 et 1,14 trouvés précédemment pour l'évolution des émissions de CO2 région par région, en divisant par 2 les émissions des régions développées, et en multipliant par 1,14 les émissions des régions en développement.