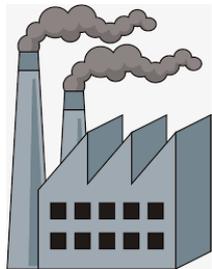


## Modélisation d'itinéraires de gestion « Carbone + » pour les suberaies varoises



*Paul Blondel – ASL Suberaie Varoise  
AgroParisTech ENGREF*

## ❖ Contexte de l'étude : le changement climatique



Gaz à Effet  
de Serre  
(CO<sub>2</sub>)



Changement  
Climatique

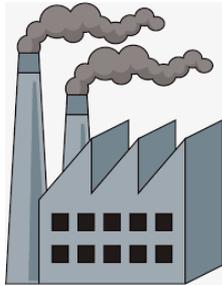
Entreprises – Agriculture  
Industries - Particuliers



**Objectifs nationaux et  
internationaux :**

**Diminuer autant que possible  
l'impact du changement  
climatique**

## ❖ Contexte: la compensation carbone par les entreprises



Petites et moyennes entreprises,  
particuliers:

Pas d'obligation légale de  
compensation des émissions

Grandes entreprises et industries :

Obligation de compensation des  
émissions de gaz à effet de serre  
(marché européen du carbone)

**MAIS :**

Beaucoup de volontés individuelles  
de compenser ses émissions pour  
participer à la lutte contre le  
changement climatique

## ❖ La démarche de compensation volontaire:

Le compensateur évalue ses émissions de CO<sub>2</sub>

Réduction de ces émissions autant que possible

Compensation des émissions de CO<sub>2</sub> qui n'ont pas pu être éliminées

**= financement de projets qui stockent du CO<sub>2</sub>  
-> achat de « crédits carbone »**

## ❖ Une grande diversité de projets compensatoires :

Projets avec ou sans certification des crédits carbone :  
(la certification des crédits n'est pas obligatoire, les contrats peuvent être signés de gré à gré pour la compensation volontaire)

Energies renouvelables

Projets de gestion  
forestière

Utilisation rationnelle de  
l'énergie

Projets de  
reforestation

Projets de « bonne  
gestion forestière »

## ❖ Evaluation du stockage carbone dans les suberaies varoises:

### ❖ Objectifs de l'étude :

Déterminer un ou plusieurs itinéraires de gestion des suberaies varoises qui optimisent le stockage du CO<sub>2</sub>.

Nous souhaitons pouvoir garantir au compensateur une quantité de CO<sub>2</sub> qui sera stockée dans les suberaies.

### ❖ Méthode générale :

Modéliser le stockage de  
CO<sub>2</sub> d'un individu



Obtenir le stockage du  
peuplement (t CO<sub>2</sub> / ha / an)

*Pas assez de peuplements  
suivis pour une approche « peuplement »*

Burkhart, H.E. *Suggestion for choosing an appropriate level for modelling forest stands.* 2003.

❖ Modéliser le stockage de CO<sub>2</sub> d'un individu : plusieurs étapes

**Objectif : Pouvoir garantir au compensateur une quantité de CO<sub>2</sub> stockée**

Modéliser la croissance du Chêne-liège (équations de croissance)

*Diamètre et hauteur  
en fonction de l'âge*

Obtenir la biomasse d'un individu (équations allométriques)

*Biomasse en  
fonction de l'âge*

Multiplier par la teneur en carbone du compartiment (tronc, liège, ...) et par le rapport de masse moléculaire CO<sub>2</sub>/C

Stockage de CO<sub>2</sub> d'un individu (t CO<sub>2</sub> /an)

## ❖ Modéliser la croissance du Chêne-liège dans le Var :

- ❖ Paramétrer plusieurs équations de croissance courantes en foresterie
- ❖ Sélectionner l'équation la plus efficace pour modéliser notre échantillon

3 équations testées : Richards (1), Lundqvist Korf (2) et McDill-Amateis (3)

$$(1)y = A \left( 1 - e^{-kt} \right)^{\frac{1}{1-n}}$$

$$(2)y = A(e^t)^{\frac{k}{n}}$$

$$(3)y_2 = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{y_1}\right) \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n}$$

Mariola Sánchez-González, Margarida Tomé, Gregorio Montero. *Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain*. 2005

## ❖ Modéliser la croissance du Chêne-liège dans le Var :

### Données :

160 Chênes liège suivis par l'IFN (Inventaire Forestier National) dans le Var  
+ prélèvements d'échantillons sur le terrain  
(tranches prélevées à la base des arbres puis comptage des cernes)

### Paramètres de l'échantillon :

Géographie, Topographie, Climat, Bilan hydrique



### 38 stations forestières

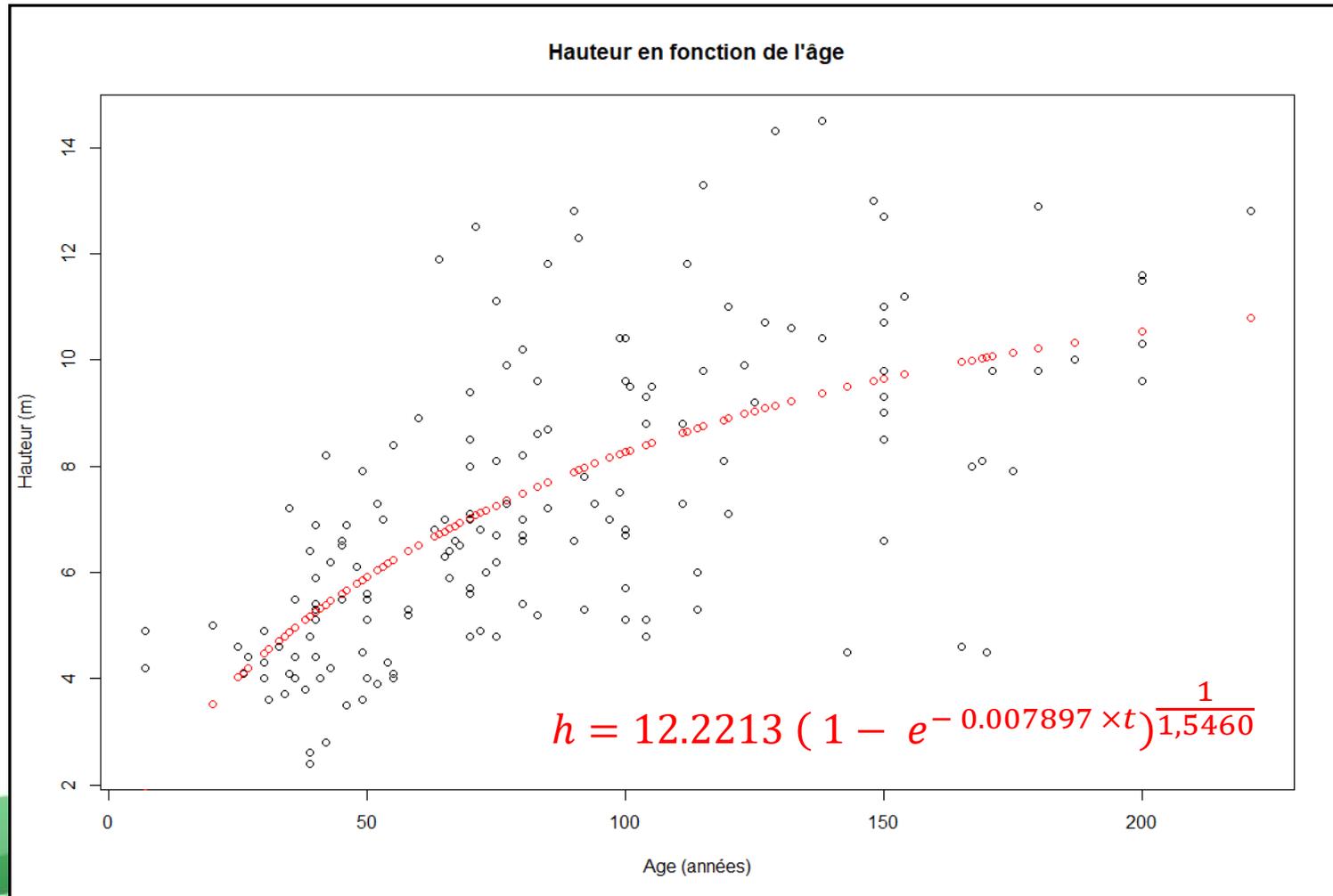
LADIER, J. ; RIPERT, C. *Les stations forestières de la Provence cristalline (cap Sicié, îles d'Hyères, Maures, Tanneron)*. 1996



6 classes de potentialités forestières :

I -> VI

❖ Paramétrage de l'équation de Richards (avec l'ensemble des données pour l'instant):



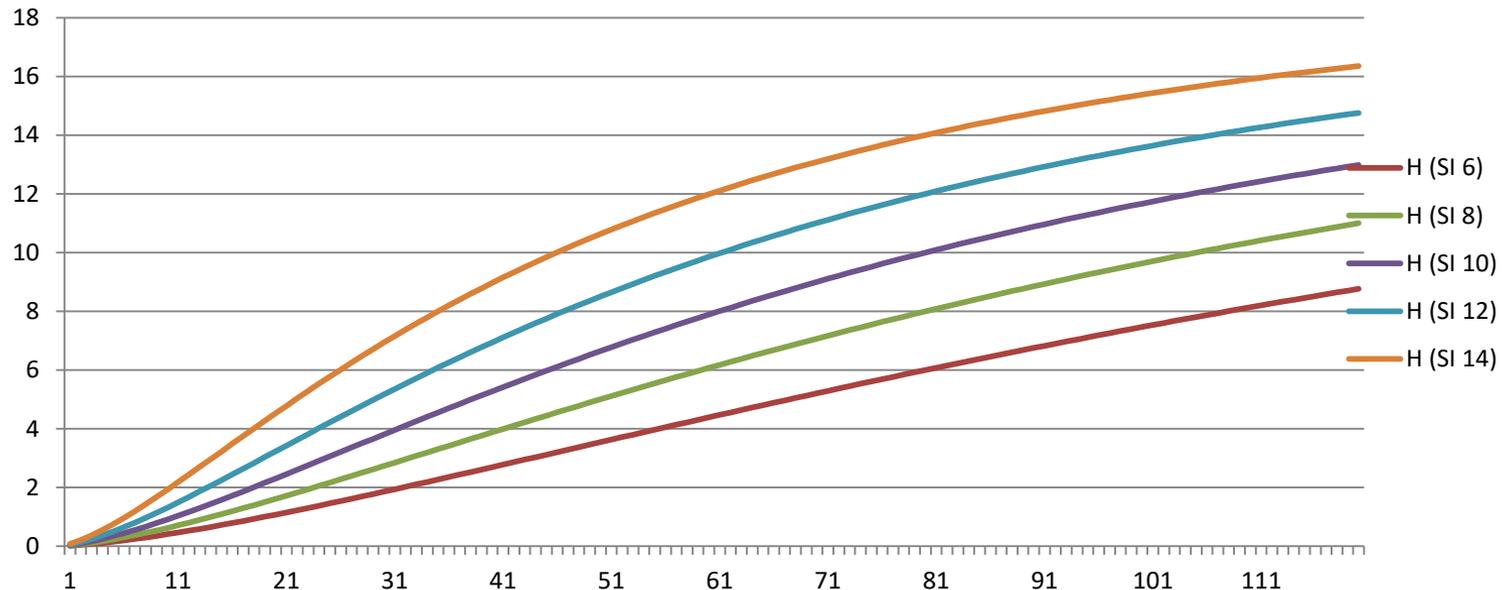
## ❖ Utilisation du modèle espagnol pour modéliser la croissance :

Equation sélectionnée  
par l'étude citée:

Equation de McDill-Amateis pour la hauteur dominante:

$$y_2 = \frac{20,7216}{1 - \left(1 - \frac{20,7216}{y_1}\right) \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1,4486}}$$

Hauteur = f(Age). Courbe représentant les différents index de sites.



❖ Utilisation du modèle espagnol pour modéliser la croissance :

**Index de site SI = hauteur dominante à 80 ans  
(on se positionne sur une des courbes précédentes)**

**$h/d$  = facteur d'élanement des arbres (lié à la densité)**

Equation sélectionnée par l'étude citée:

Equation de Richards pour le diamètre dominant:

$$d_2 = (83,20 + 5,28 SI - 1,53 h/d)^{1 - \frac{\ln(1-e^{-0,0063t_2})}{\ln(1-e^{-0,0063t_1})}} \times d_1^{\frac{\ln(1-e^{-0,0063t_2})}{\ln(1-e^{-0,0063t_1})}}$$

❖ Utilisation d'un modèle pour adapter la croissance (établie pour des arbres dominants) à la densité réelle :

Equation d'accroissement RÉEL en diamètre (under cork / sous écorce):

$$idu = \frac{idu_{po}}{1 + e^{-\left(0,73 + 94,97 \times \frac{1}{N}\right)}} \quad N = \text{densité du peuplement (nb de tiges/ha)}$$

Sánchez González, M., del Río, M., Cañellas, I., Montero, G. *Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands*. 2006.

Equation de croissance RÉELLE en hauteur:

$$h = 1,3 + (h_{po} - 1,3) \left( \frac{du}{du_{po}} \right)^{0,4898}$$

Sánchez-González, M., Cañellas, I., Montero, G. *Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain*. 2007.

❖ Détermination des itinéraires sylvicoles (pour pouvoir fixer une densité N):

❖ **Itinéraire « abandon de la suberaie »**

❖ **Itinéraire « Chêne-liège pur »**

❖ **Itinéraire « subériculture en mélange » :**

Mélange du Chêne-liège avec du Pin maritime

*(maintien d'une ambiance forestière que nous pensons propice à la croissance du chêne liège)*

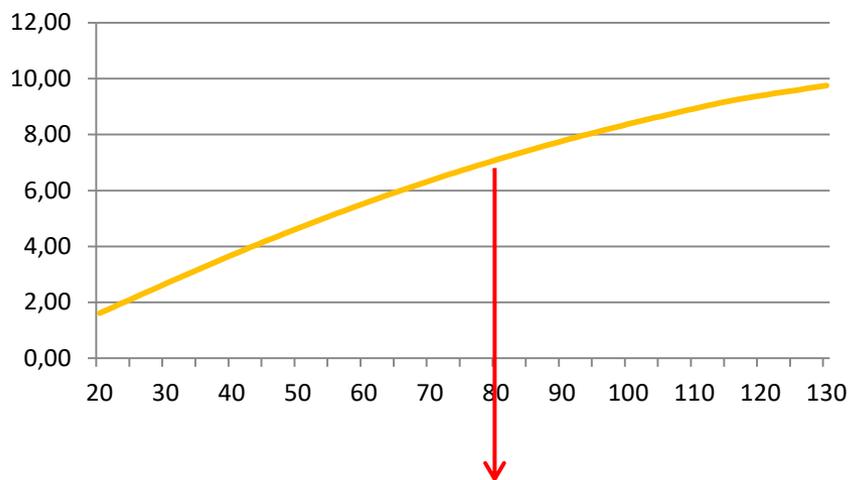
❖ Définition de l'itinéraire de gestion « Chêne-liège pur » (pour fixer une densité N):

Age	Densité initiale (tiges/ha)	Densité après éclaircie	Opération
20	X	800	Eclaircie + taille
40	800	400	Eclaircie + 1 <sup>ère</sup> levée
55	400	-	Levée
70	400	300	Levée + éclaircie
85	300	200	Levée + éclaircie
100	200	-	Levée
115	200	50	Levée + éclaircie
130	50	0	Levée + coupe finale

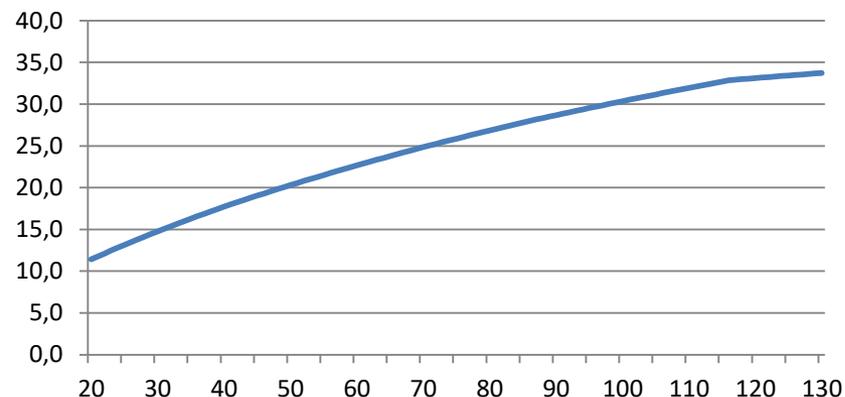
Sur la base de: dire d'expert, ASL Suberaie Varoise  
Typologie et gestion des suberaies Varoises

❖ Données de croissance d'un individu (suivant l'itinéraire précédent) :

**Hauteur (m) en fonction de l'âge (années)**



**Diamètre under cork (cm) en fonction de l'âge (années)**

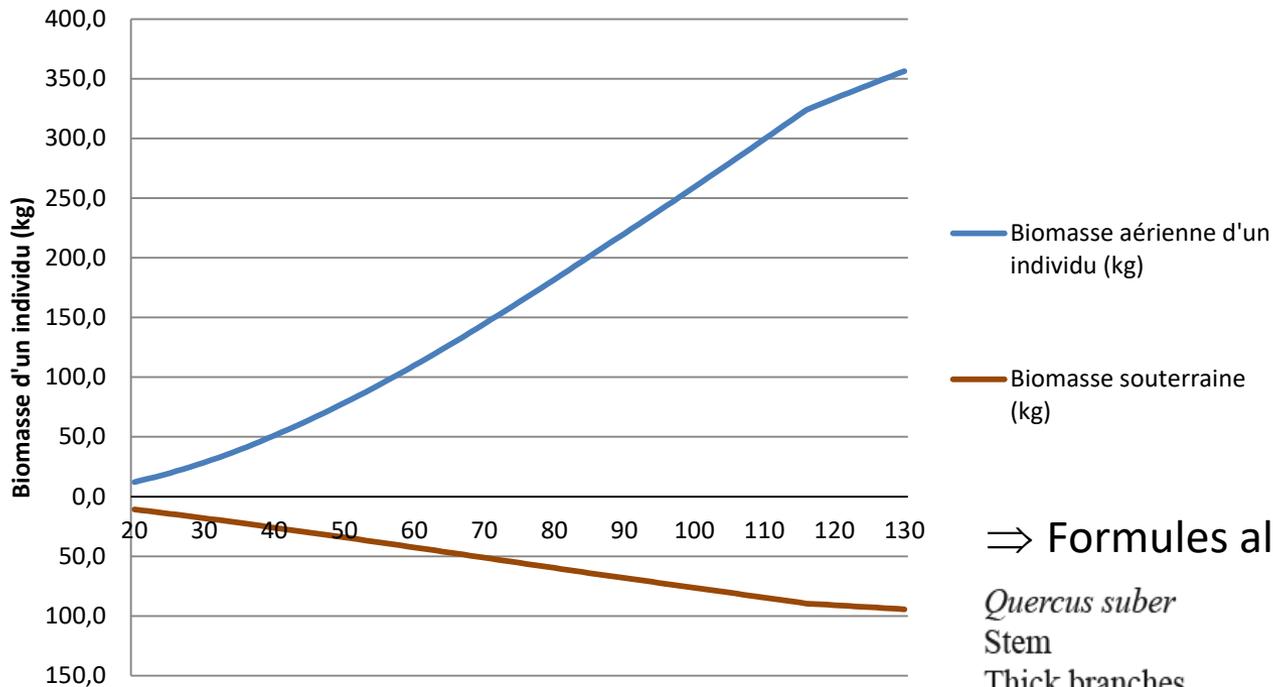


Hauteur à 80 ans obtenue par notre modèle de croissance varois : 7,48 m

- Index de site choisi :  $SI = 8$ .
- Hauteur réelle à 80 ans = 7,09 m

## ❖ Utilisation de formules allométriques (passage du diamètre et de la hauteur à la biomasse):

### Biomasse d'un individu en fonction de l'âge (années)



⇒ Formules allométriques :

*Quercus suber*

Stem

$$W_s = 0.00525 \cdot d^2 \cdot h + 0.278 \cdot d \cdot h$$

Thick branches

$$W_{b7} = 0.0135 \cdot d^2 \cdot h$$

Medium branches

$$W_{b2-7} = 0.127 \cdot d \cdot h$$

Thin branches + leaves

$$W_{b2+1} = 0.0463 \cdot d \cdot h$$

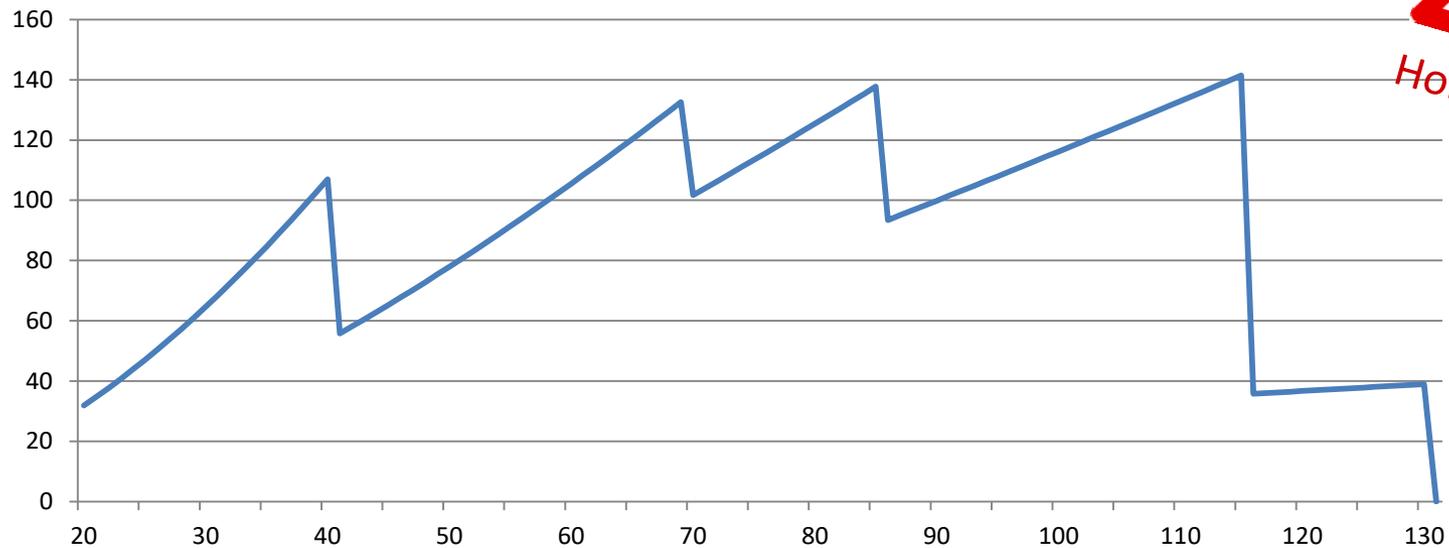
Roots

$$W_r = 0.0829 \cdot d^2$$

R. Ruiz-Peinado, G. Montero, M. del Rio. *Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species*. 2012

## ❖ Passage au stock de CO<sub>2</sub> dans le peuplement :

tCO<sub>2</sub> stockées dans le peuplement en fonction de l'âge



**Teneur en C du bois de chêne liège = 0,472 :**

Ibáñez, J.J., Vayreda, J., Gracia, C. *Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya*. 2002.

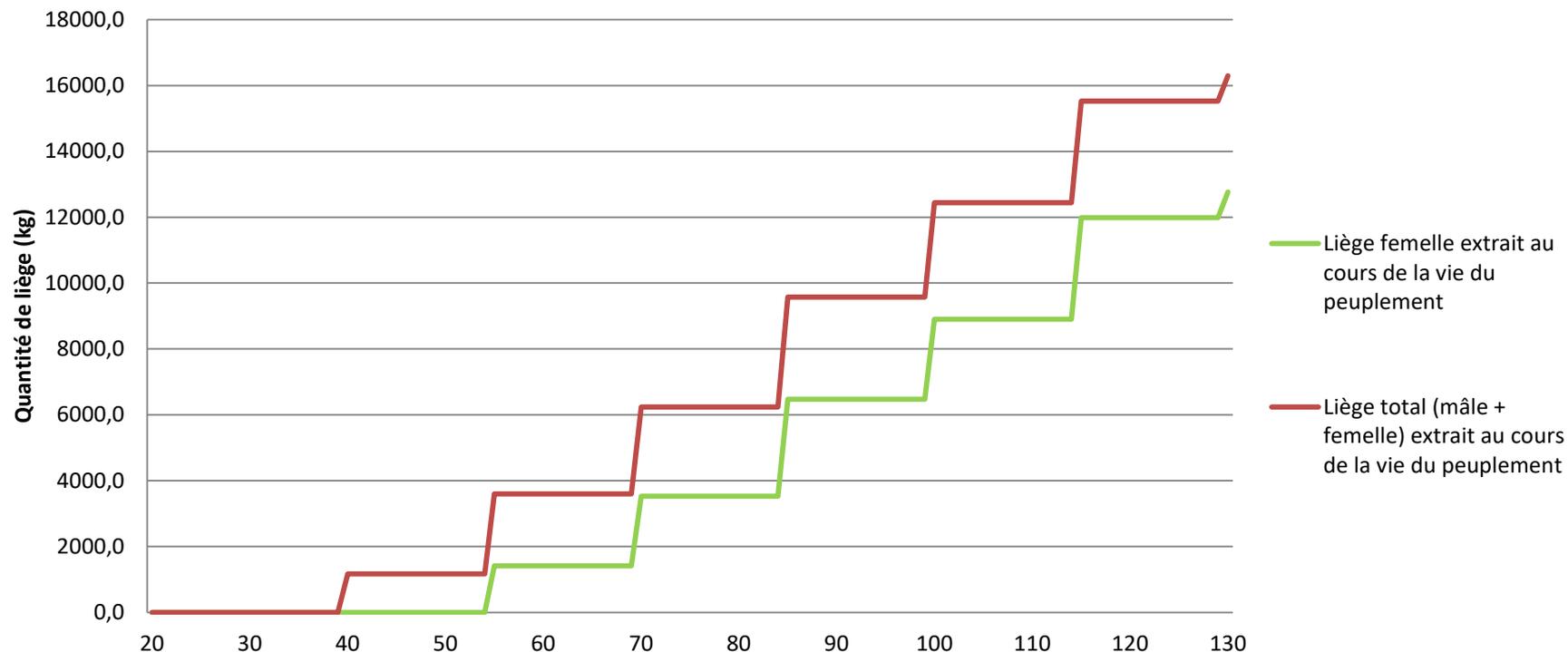
**Ou bien valeurs légèrement différentes :**

Zribi, L. *Bilan de carbone d'une forêt de chêne-liège en Tunisie. Flux et stocks*. 2016

**M (CO<sub>2</sub>) / M (C) = 0,3667**

## ❖ Modélisation du stockage de CO<sub>2</sub> dans le liège:

### Quantité de liège levée (kg) au cours de la vie du peuplement



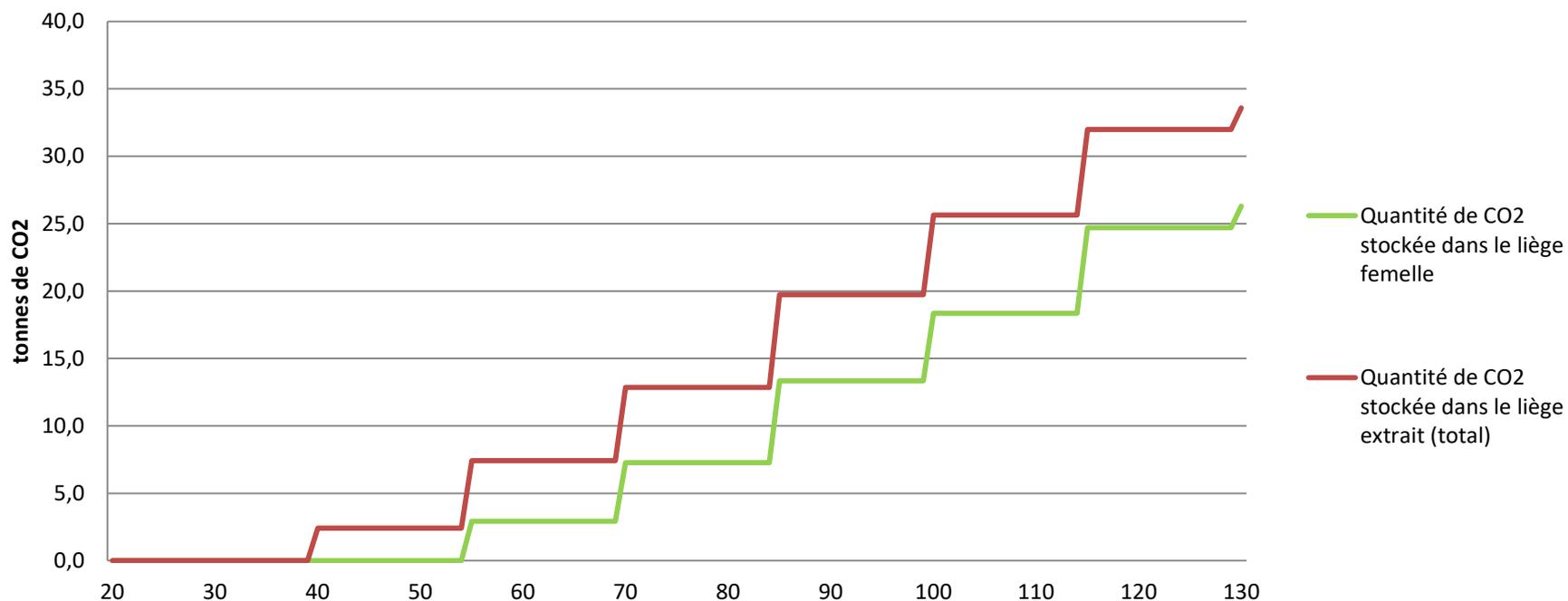
Accroissement du liège en 15 ans = 3 cm *dire d'expert.*

Densité du liège = 250 kg/m<sup>3</sup> Pereira H. *Cork: Biology, production and uses.* 2007.

Hauteurs de déliègeage fixée selon limites appliquées par l'ASL Suberaie Varoise.

## ❖ Modélisation du stockage de CO<sub>2</sub> dans le liège:

### Quantité de CO<sub>2</sub> extraite et stockée dans le liège au cours de la vie du peuplement

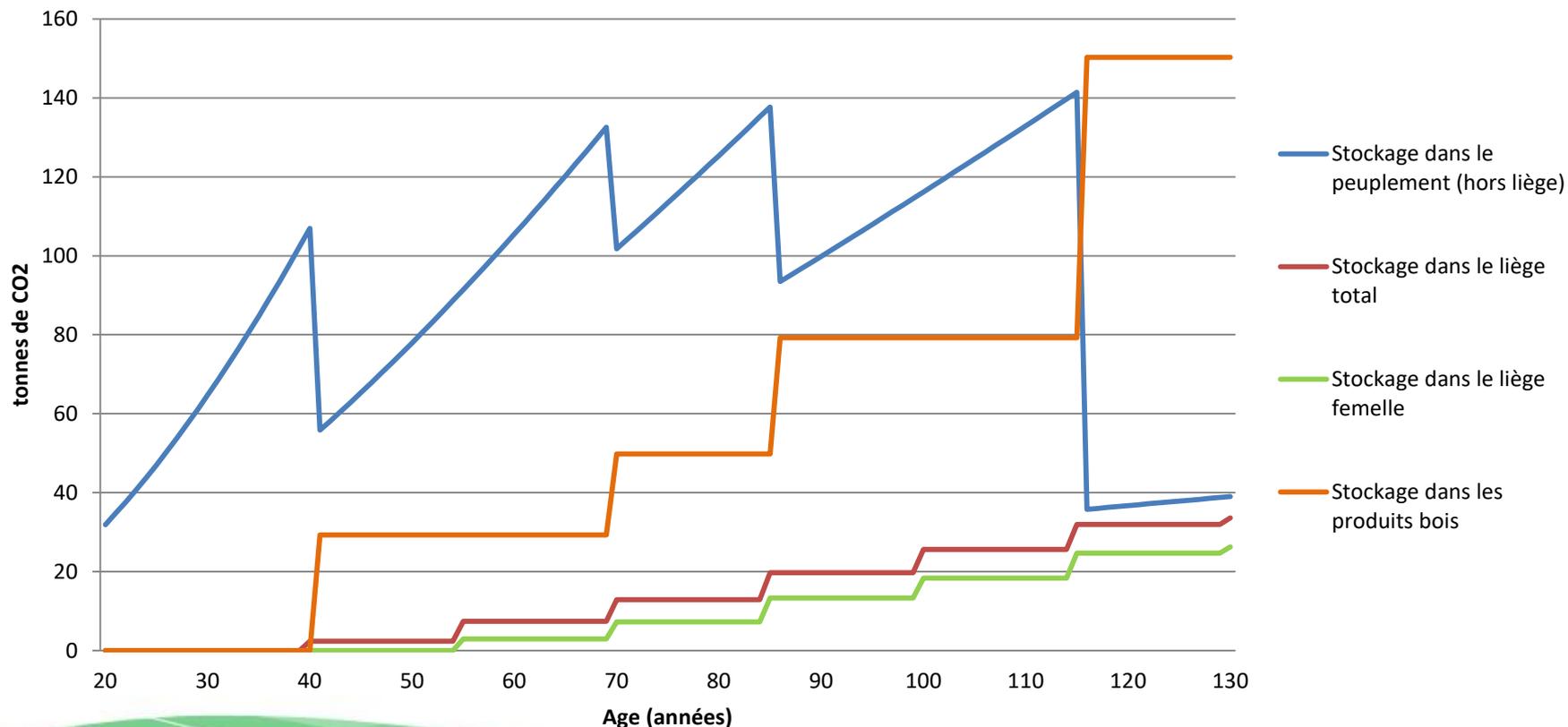


**Teneur en C du liège = 0,562**

Zribi, L. *Bilan de carbone d'une forêt de chêne-liège en Tunisie. Flux et stocks.* 2016.

## ❖ Vue d'ensemble et ajout des produits bois (issus des éclaircies) :

### Stockage de CO2 au cours de la vie d'un peuplement de chêne liège



**Diamètre minimum pour un débouché bois énergie : 15 cm. dire d'expert, Var.**

## ❖ Différentes problématiques sur l'utilisation des courbes de croissance et de stockage de CO<sub>2</sub> :

### ❖ **L'impact des levées de lièges est lissée sur la formule de croissance**

- *Il faut donc que l'échantillon pour établir cette formule ait été levé régulièrement!*

### ❖ **Point de départ :**

- **Le point de départ a une influence importante sur l'itinéraire :**

*Est-ce qu'on abandonne une suberaie « en place » (c'est ce qui s'est passé au XX<sup>ème</sup> siècle dans le Var), ou bien est ce qu'on positionne notre étude à partir du stade « friche »?*

**L'impact des levées de lièges est lissée sur la formule de croissance**

*Il faut donc que l'échantillon pour établir cette formule ait été levé régulièrement!*

### ❖ **Faiblesses du traitement par le modèle « individuel » :**

- **Pas de modélisation de la réaction aux éclaircies**
- **Pas de mortalité**
- **Difficulté de modéliser l'impact du mélange d'essences**

## ❖ Prendre en compte le stockage de CO<sub>2</sub> du sol:

Etude réalisée dans la suberaie de Bellif (Tunisie) :

	Suberaie jeune (35 ans)	Suberaie âgée (70-102 ans)
Diamètre moyen	27,8 cm	40,6 cm
Densité (tiges/ha)	603	475
<b>Profondeur du sol</b>	<b>Stock de C organique dans le sol</b>	<b>Stock de C organique dans le sol</b>
0-30 cm	109,6 t/ha	147,9 t/ha
30-60 cm	80,7 t/ha	150,9 t/ha
60-150 cm	112,1 t/ha	159,5 t/ha

⇒ à multiplier par 3,666667 pour obtenir un équivalent en tonnes de CO<sub>2</sub>

⇒ le sol représente donc un stock très important, mais son évolution reste à évaluer (notamment en fonction de la gestion sylvicole)

Zribi, L. *Bilan de carbone d'une forêt de chêne-liège en Tunisie. Flux et stocks.* 2016.

## ❖ Différentes problématiques sur le traitement postérieur à l'étude de stockage:

### ❖ Aspect risque :

#### ➤ Risque incendie:

*Quel traitement pour la prise en compte du risque incendie, qui est diminué lorsque la forêt est régulièrement gérée et éclaircie (masse combustible plus faible) ?*

### ❖ Au-delà de l'effet « séquestration » :

#### ➤ Les produits bois : substitution énergie?

#### ➤ La substitution matériau

#### ➤ Le liège : stockage à long terme ?

### ❖ Etude à long terme:

#### ➤ Mise en place de calcul de BASI (Bénéfice Actualisé à Séquence Infinie)

*Fixation d'une valeur pour la tonne de CO<sub>2</sub> stockée, ainsi que d'un taux d'actualisation, puis étude économique du bilan en fonction de cette valeur.*

*Est-ce qu'un compensateur ne cherche pas plutôt un bénéfice court-terme (10 à 20 ans environ)?*