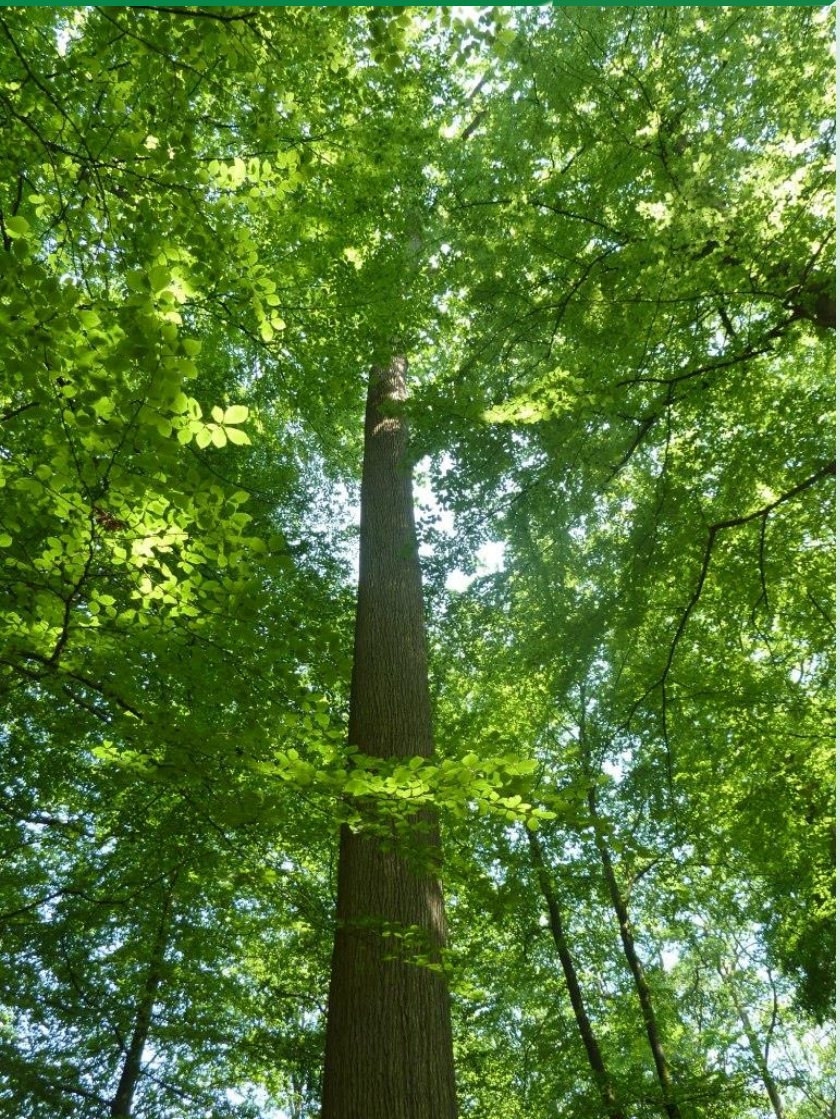
ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS



A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE?

Jean-Luc Peyron

18/12/2019

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE?

- Une question
  - méconnue de la société
  - essentielle pour les forestiers
  - très générale dans ses applications
- Au traitement
  - technico-économique
  - avec des considérations écologiques et sociales
  - mais appliquant surtout la méthode économique
- Présentation
  - dans une perspective historique (1721-2019)
  - en forme d'histoire
  - pour en montrer la modernité

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE?

AVERTISSEMENT

Toute évocation de nature anthropomorphique
ou, au contraire, phytomorphique,
selon le sens dans lequel on se place
serait purement fortuite

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE…

…POUR RÉDUIRE LA PÉNURIE DE BOIS?

L'ÉTAT DES FORÊTS FRANÇAISES AU XVIIIE SIÈCLE

- Une population déjà nombreuse
- Une surface forestière réduite
- Une énorme demande de bois
  - matériau majeur (habitations, transports)
  - Source d'énergie prépondérante
    - des ménages (cuisson, chauffage)
    - de l'industrie naissante (salines, forges, verreries, briqueteries…)
- Une nette pénurie de bois
- Deux solutions
  - Reboiser les vides
  - Améliorer la productivité… en choisissant le bon âge d'exploitation

LES TROIS MOUSQUETAIRES…

- René-Antoine Ferchault de Réaumur
- Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon
- Henri-Louis Duhamel du Monceau

et...

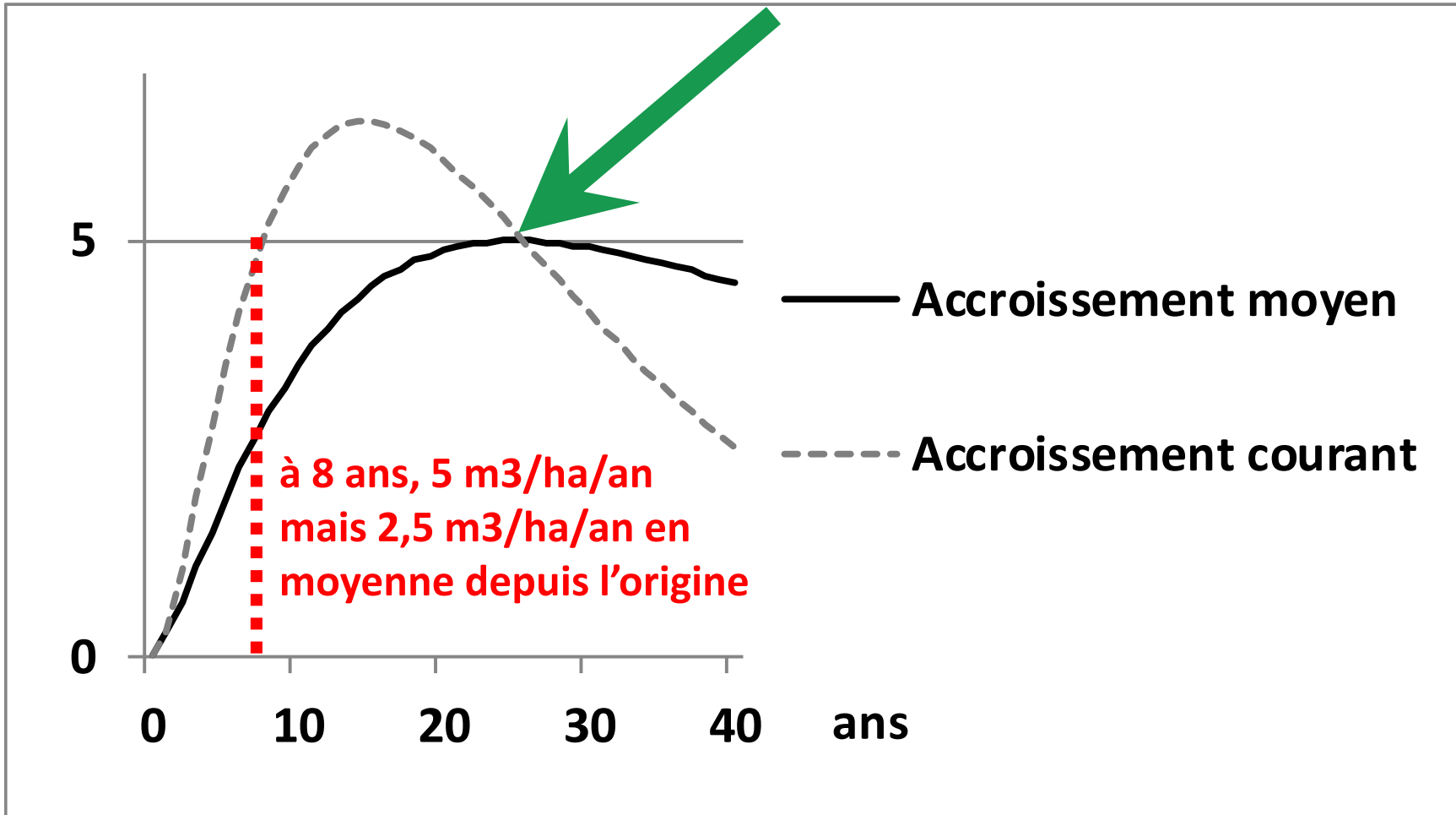
- Philibert Charles Marie Varenne de Fenille

…sans parler des Clausse, Dralet, Fontayne, Juge de Saint-Martin, Pannelier d'Annel, de Perthuis, Plinguet, Tellès d'Acosta…

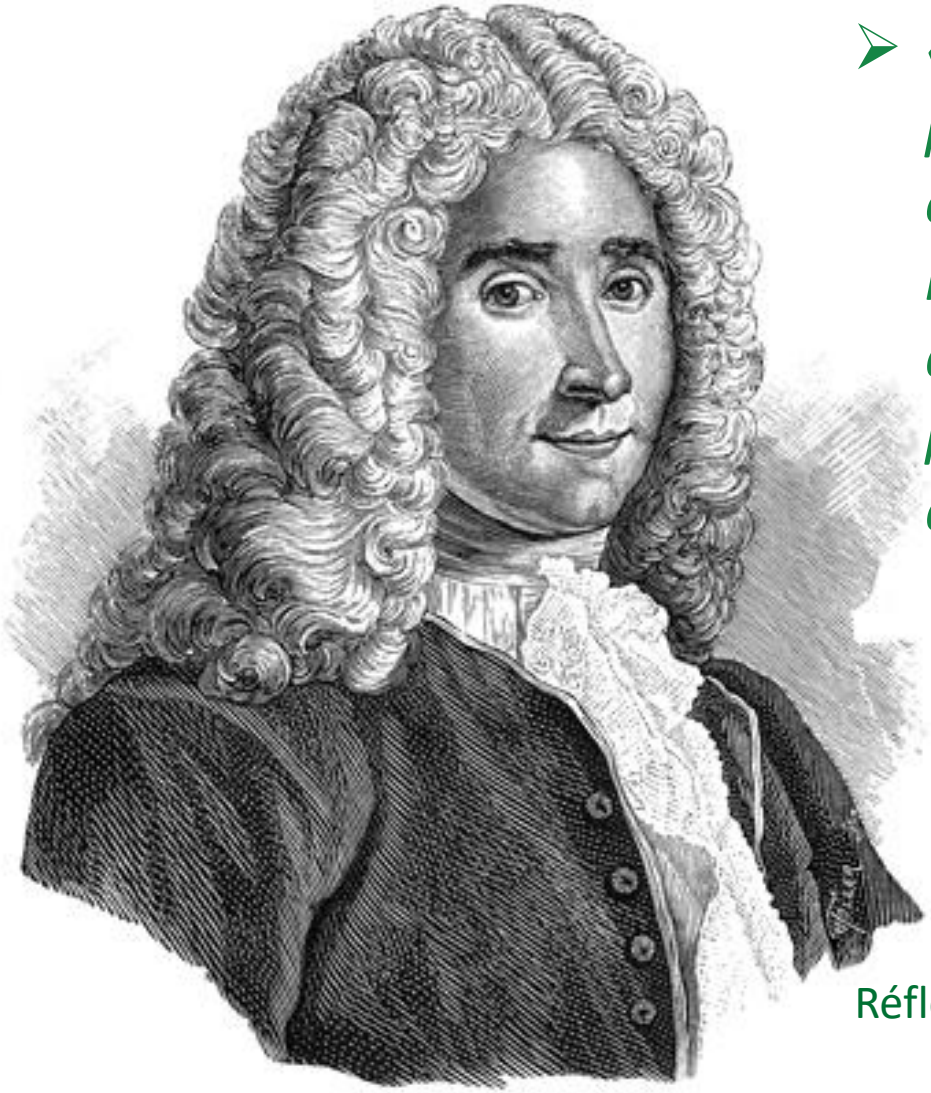
Peyron J.-L., 2012. A quel âge exploiter les arbres? La réponse des quelques membres éminents de l'Académie d'agriculture : Buffon, Duhamel du Monceau et Varenne de Fenille. Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, volume 97, n°4, pp. 147-154.

LES TROIS MOUSQUETAIRES…

- Recherche de l'accroissement moyen annuel maximal pour réduire la pénurie de bois (ici vers 25 ans)



René-Antoine Ferchault de Réaumur
1683-1757



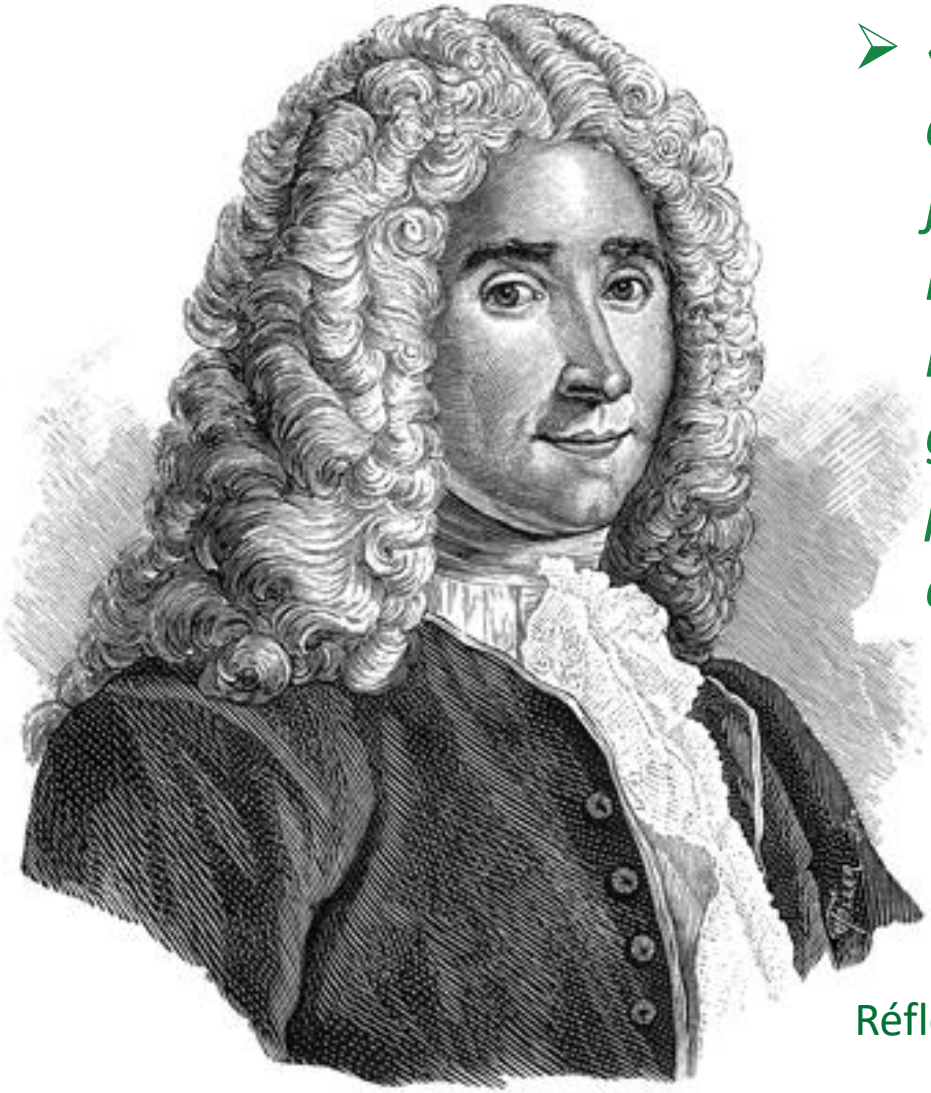
- *« L'inquiétude est générale, et peut-être cette inquiétude n'est-elle que trop fondée. L'intérêt de l'Etat demanderait qu'au-moins la quantité de bois ne diminuât pas pendant que la consommation augmente ».*

Réflexions sur l'état des forêts du royaume, 1721

René-Antoine Ferchault de Réaumur
1683-1757

- Le taillis est souvent coupé vers 10 ans ; ne serait-il pas préférable de le couper à 15 ans ?
- Pour le savoir, il faut entreprendre des expériences
- Comparons la production de
  - trois cycles de 10 ans
  - deux cycles de 15 ans
- Le résultat donnera l'âge de récolte procurant la meilleure production
  - sur 30 ans
  - moyenne annuelle.

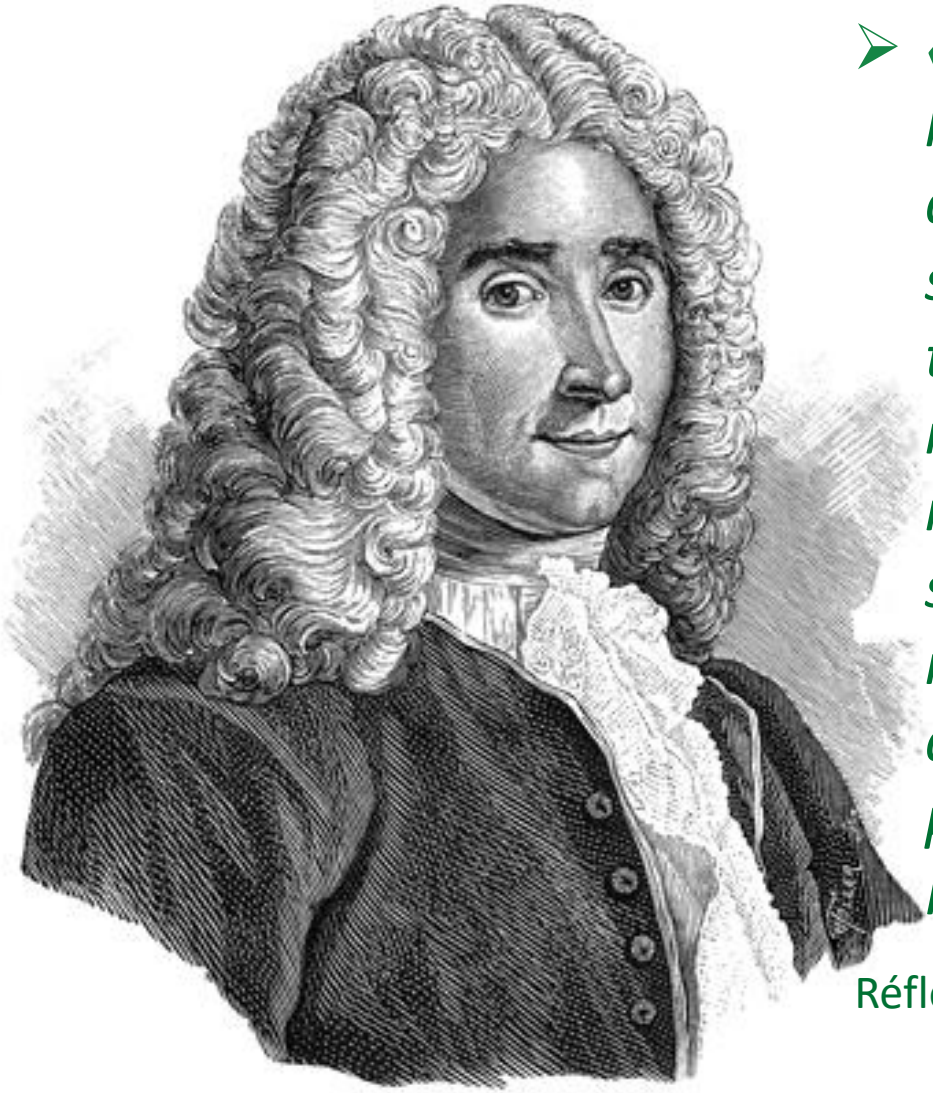
René-Antoine Ferchault de Réaumur
1683-1757



- *«Ce qu'il nous paraît de sûr, c'est que ces expériences poussées jusques où elles le pourraient être, nous mettraient en état de tirer de nos terrains de Royaume la plus grande quantité de bois qui en peut être tirée, de couper les Taillis à l'âge le plus avantageux».*

Réflexions sur l'état des forêts du royaume, 1721

René-Antoine Ferchault de Réaumur
1683-1757



- *« On ne peut guère espérer que l'impatience française permette d'entreprendre des expériences de si longue haleine ; nous voulons tout savoir, avoir tout fait dans le moment. Des expériences de cette nature seraient aussi plus sûrement conduites par ceux qui nous gouvernent […] et j'ose dire que ce sont des plus belles et des plus grandes expériences qu'un Prince puisse faire entreprendre ».*

Réflexions sur l'état des forêts du royaume, 1721

GEORGES LOUIS LECLERC COMTE DE BUFFON
1707-1788

- « *[Réaumur] pose des faits incontestables, il donne des vues saines, et il indique des expériences à ceux qui les exécuteront […] il serait bien à souhaiter qu'on pût […] déterminer au juste l'âge où l'on doit couper les taillis* »

Mémoire sur la conservation et le rétablissement des forêts, 1739

GEORGES LOUIS LECLERC COMTE DE BUFFON
1707-1788

- *Cet âge est celui où l'accroissement du bois commence à diminuer. Dans les premières années, le bois croît de plus en plus, c'est-à-dire, la production de la seconde année est plus considérable que celle de la première; l'accroissement de la troisième année est plus grand que celui de la seconde, ainsi, l'accroissement du bois augmente jusqu'à un certain âge, après quoi il diminue ; c'est ce point, ce maximum qu'il faut saisir pour tirer de son taillis tout l'avantage et tout le profit possible »*

Mémoire sur la conservation et le rétablissement des forêts, 1739

GEORGES LOUIS LECLERC COMTE DE BUFFON 1707-1788

- Buffon semble décrire là l'année de l'accroissement annuel maximal du moment et non depuis l'origine du peuplement
- Cependant, la suite du texte se situe plus dans la lignée de ce que préconise Réaumur, à savoir une récolte lorsqu'est atteint le maximum d'accroissement moyen annuel depuis l'origine du peuplement.

GEORGES LOUIS LECLERC COMTE DE BUFFON
1707-1788

- *« Mais comment […] s'assurer de cet instant ? Il n'y a que des expériences faites en grand, des expériences longues et pénibles, des expériences telles que M. de Réaumur les a indiquées, qui puissent nous apprendre l'âge où les bois commencent à croître de moins en moins ; ces expériences consistent à couper et peser tous les ans le produit de quelques arpents de bois, pour comparer l'augmentation annuelle, et reconnaître, au bout de quelques années, l'âge où elle commence à diminuer. »*

Mémoire sur la conservation et le rétablissement des forêts, 1739

GEORGES LOUIS LECLERC COMTE DE BUFFON 1707-1788

- *« Quoique ces expériences paraissent être au dessus des forces d'un particulier, j'ai déjà eu au moins le courage de les entreprendre, et j'espère qu'en moins de dix ans je serai en état d'en rendre compte »*

Mémoire sur la conservation et le rétablissement des forêts, 1739

- Mais cette phrase ne figure plus dans l'édition de 1775 de l'Histoire naturelle qui reprend le mémoire sur la conservation et le rétablissement des forêts de 1739.

HENRI LOUIS DUHAMEL DU MONCEAU
1700-1782

- *« Qu'il est souvent avantageux de laisser les taillis subsister longtemps, sans les abattre »*

Traité des bois et forêts, De l'exploitation des bois, 1764

HENRI LOUIS DUHAMEL DU MONCEAU
1700-1782

- Comparaison de la production
  - À 20, 25 et 30 ans
  - De 600 arpents traités:
    - en 20 coupons annuels de 30 arpents 6 180 livres
    - en 25 coupons annuels de 24 arpents 7 968 livres
    - en 30 coupons annuels de 20 arpents 10 960 livres.
    - Comme Réaumur, Duhamel Dumonceau cherche bien le revenu moyen annuel maximal

HENRI LOUIS DUHAMEL DU MONCEAU 1700-1782

- « *pour régler à 30 ans six cents arpents de taillis qui auraient toujours été coupés à 20 ans, il semble d'abord que le revenu diminuerait dans les premières années, puisqu'au lieu de 30 arpents à 20 ans, il n'y en aurait à couper que 20* »

Traité des bois et forêts, De l'exploitation des bois, 1764

- La solution consiste, transitoirement, à récolter du bois en éclaircie dans les coupons à laisser vieillir.

HENRI LOUIS DUHAMEL DU MONCEAU
1700-1782

- L'ouvrage de 1764 est édité en allemand dès 1766.

DE L'EXPLOITATION
DES BOIS,
OU
MOYENS DE TIRER UN PARTI AVANTAGEUX
DES TAILLIS, DEMI-FUTAIES
ET HAUTES-FUTAIES,
ET D'EN FAIRE UNE JUSTE ESTIMATION:
Avec la Description des Arts qui se pratiquent dans les Forêts :
Faisant partie du Traité complet des BOIS & des FORESTS.
Par M. DUHAMEL DU MONCEAU, de l'Académie Royale des Sciences ; de la Société R. de Londres ; de l'Acad. Imp. de Petersbourg ; des Académies de Palerme & de Besançon ; Honoraire de la Société d'Edimbourg, & de l'Académie de Marine ; de plusieurs Sociétés d'Agriculture ; Inspecteur Général de la Marine.
OUVRAGE ENRICHI DE FIGURES EN TAILLE-DOUCE.
PREMIERE PARTIE.
A PARIS,
Chez H. L. GUERIN & L. F. DELATOUR, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.
M. DCC. LXIV.
Avec Approbation & Privilege du Roi.

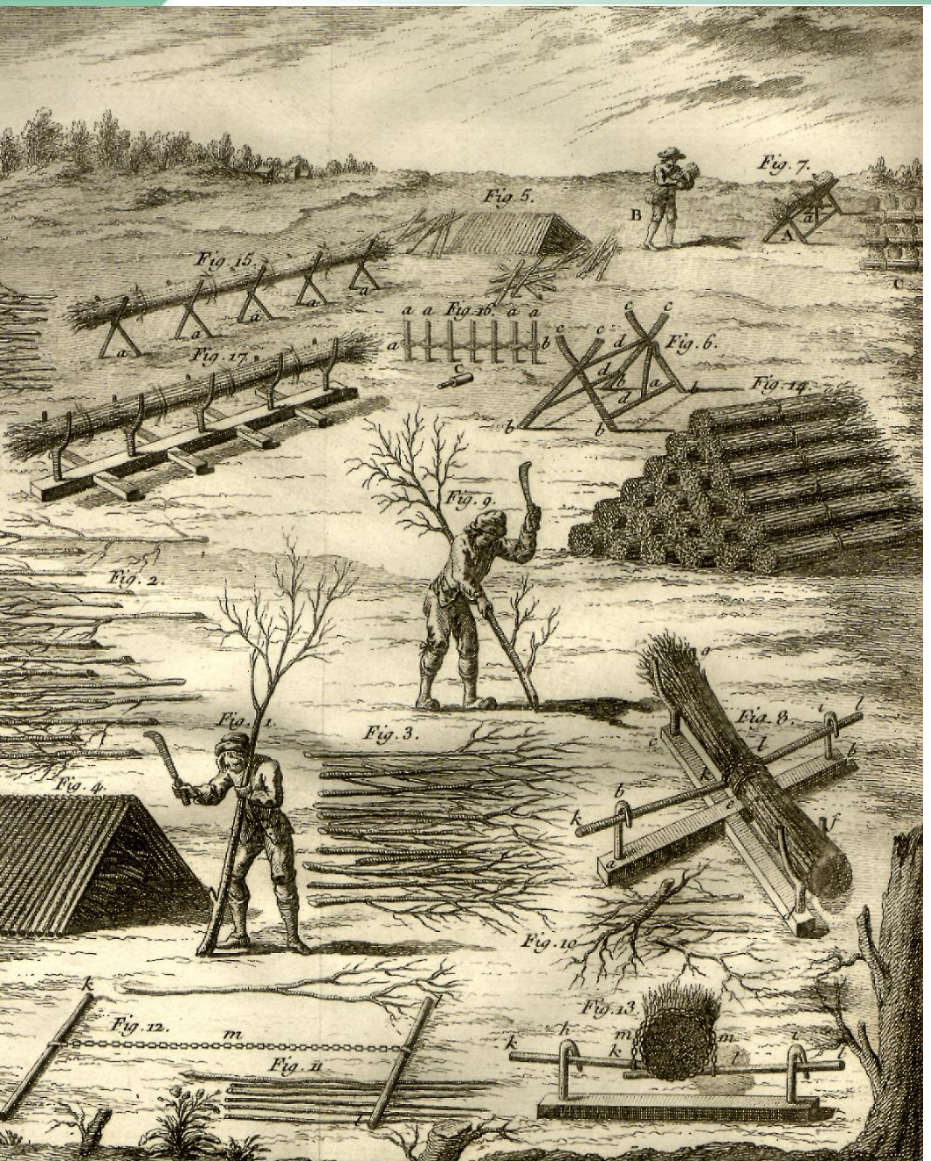
1764

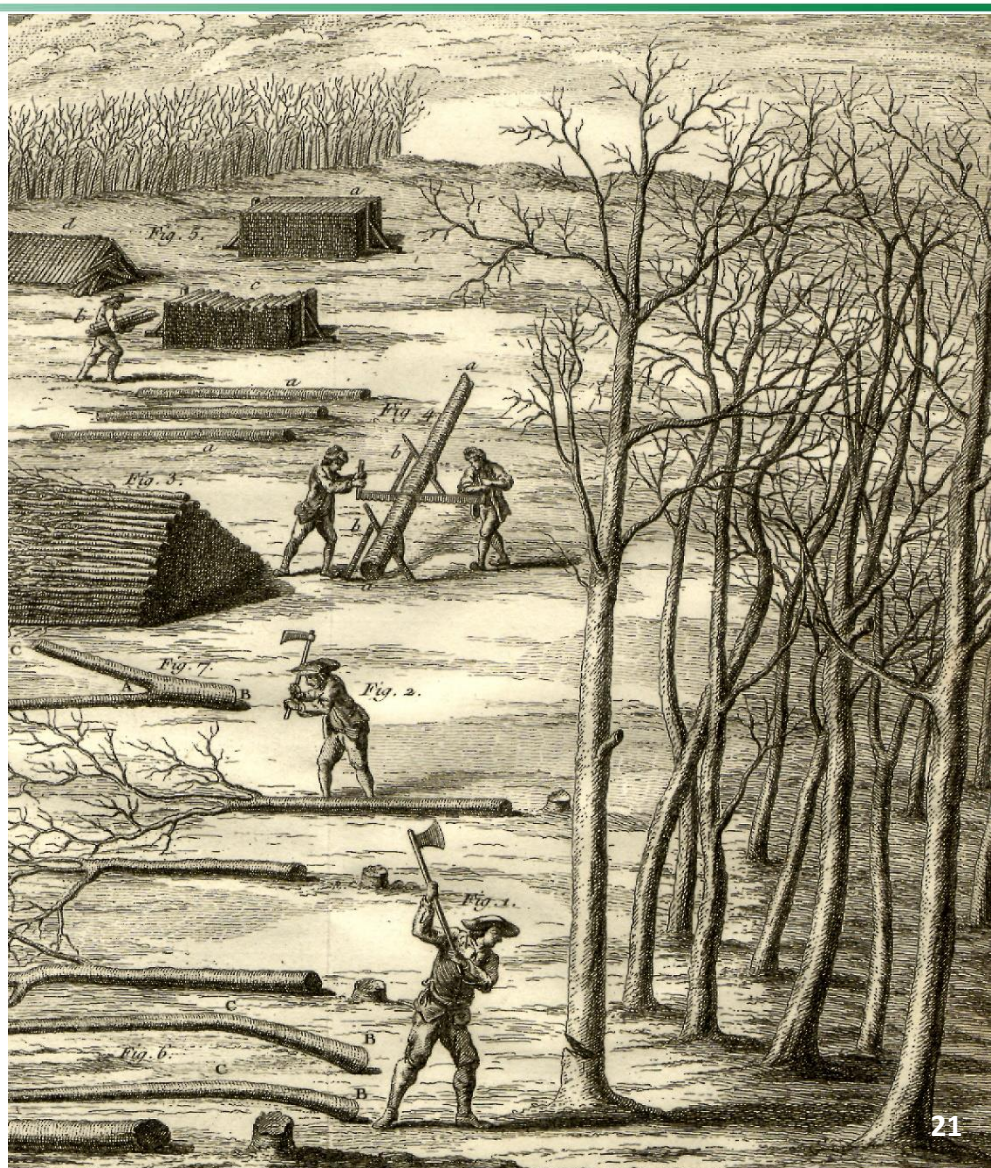
Von
Fällung der Wälder
und gehöriger
Anwendung des gefällten Holzes
Oder
Wie mit dem Schlag-Holz, dann halb- und ganz ausgewachsenem Ober-Holz, umzugehen, und alles benannte Holz richtig zu schätzen und anzuschlagen ist,
Nebst
einer Beschreibung der Handwerker,
die ihre Arbeit in den Wäldern verfertigen,
als ein zur vollständigen Abhandlung
von dem Forst-Wesen
gehöriger Theil.
Von Herrn Du HAMEL du Monceau,
Mitglied der Königlichen Academie der Wissenschaften; der Königlichen Gesellschaft zu London; der Kaiserl. Academie zu Petersburg; der Academie zu Palermo und Besançon; Ehren-Mitglied der Gesellschaft zu Edenburg; der Academie des Seewesens, und vieler Gesellschaften des Land-Baues; General-Inspector über das See-Wesen.
Mit Kupfern
Erster Theil.
Ins Deutsche übersetzt
von
Carl Christoph Oelhafen von Schöllenbach,
der Reichs-Stadt Nürnberg Wald-Amtmann.
Herausgegeben von A. W. Winterschmidt, Kupferstecher und Kunsthändler in Nürnberg.
Gedruckt, bey Christ. de Launoy seel. Erben 1766.

1766

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

HENRI LOUIS DUHAMEL DU MONCEAU
1700-1782





PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE
1730-1794

1791

OBSERVATIONS

SUR L'AMÉNAGEMENT

DES FORÊTS,

ET PARTICULIÈREMENT

DES FORÊTS NATIONALES.

Présentées à l'Assemblée Nationale, par la Société Royale d'Agriculture.

PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE
1730-1794

- **Réaumur** : *« [la méthode] semble peu praticable »*
- **Duhamel** : « *son résultat n'est dû qu'au raisonnement et non à l'expérience* »
- **Buffon** : « *le plus grand philosophe du siècle* »,
  « *l'homme de génie considère l'ensemble de l'objet qu'il médite, se contente d'en saisir les principaux rapports, les décrit en les généralisant, et s'arrête rarement sur les détails… aucun détail ne doit […] être indifférent [à l'agronome], et s'il s'élève quelquefois aux grands principes de la Physique, ce n'est que pour y trouver un point d'appui d'où il puisse descendre avec sûreté aux moindres particularités de l'art pratique dont il s'occupe* »

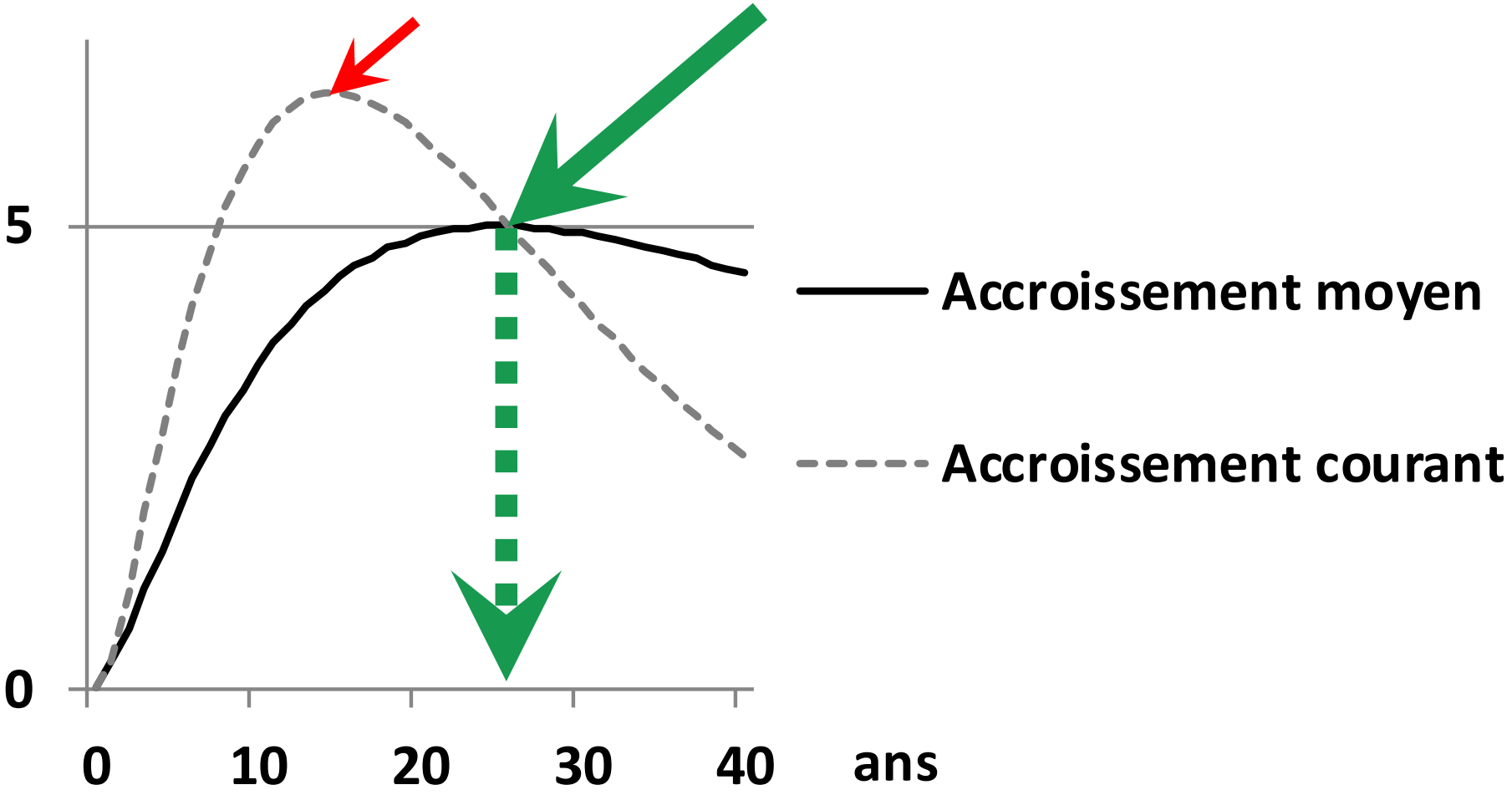
Observations sur l'aménagement des forêts, 1791

Philibert Charles Marie Varenne de Fenille
1730-1794

- Sous certaines hypothèses, on peut se référer à la « *somme des carrés des diamètres des arbres* ».
- L'accroissement moyen culmine quand il est égal à l'accroissement courant.

Observations sur l'aménagement des forêts, 1791

PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE
1730-1794



PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE
1730-1794

- *« Continuez chaque année les mesurages, jusqu'à ce que le calcul prouve qu'il n'y a presque plus de différence entre le dernier accroissement et l'accroissement moyen, pris sur toutes les années précédentes ; alors, le taillis sera parvenu à ce point, … passé lequel il n'y aurait presque plus que de la perte à en différer la coupe* ».

Observations sur l'aménagement des forêts, 1791

PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE 1730-1794

- *« Buffon porte en général le maximum à l'instant où l'accroissement du bois commence à diminuer. C'est le point, dit-il, qu'il faut saisir, pour tirer de son taillis tout l'avantage possible. Je crois que le mot ACCROISSEMENT demande une interprétation, afin d'éviter qu'on ne le confonde avec celui de GROSSISSEMENT. Car le grossissement peut avoir commencé à décroître, comme nous l'allons voir, quoique l'accroissement continue d'augmenter ».*

Observations sur l'aménagement des forêts, 1791

PHILIBERT CHARLES MARIE VARENNE DE FENILLE 1730-1794

- « *Il entre une donnée de plus, savoir l'intérêt pécuniaire qu'eût rapporté le prix du taillis vendu, et dont on est privé lorsqu'on diffère la vente* »

Observations sur l'aménagement des forêts, 1791

- Il faut comparer le revenu d'un maintien sur pied une année supplémentaire au coût d'immobilisation du peuplement et du fonds

Philibert Charles Marie Varenne de Fenille
1730-1794

- L'application numérique faite par Varenne de Fenille surestime le coût d'immobilisation du fonds, sans doute du fait de l'application à la forêt d'une méthode agricole ; elle donne un âge d'exploitation de 20 ans alors que la méthode correcte aurait trouvé 30 ans.
  (la valeur de la terre agricole est effectivement celle du fonds tandis que celle d'une terre forestière couvre le fonds et le peuplement).

Philibert Charles Marie Varenne de Fenille
1730-1794

- *« [Varenne de Fenille est] l'auteur qui paraît avoir mis le plus d'exactitude dans ses recherches sur l'âge auquel exploiter les arbres, et avoir embrassé cet objet dans toutes ses parties »*.

Jacques Joseph Baudrillart, Dictionnaire général, raisonné et historique des forêts, 1823 (au mot « aménagement », page 205).

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE…
…SELON UN BON CALCUL ÉCONOMIQUE ?

LA NAISSANCE DE L'ÉCONOMIE FORESTIÈRE

- Décembre 1849: la Revue allemande *Forst- und Jagdzeitung* (Journal de la forêt et de la chasse) publie un article signé Martin Faustmann :
  « Calcul de la valeur que possèdent, du point de vue de l'économie forestière, les sols forestiers ainsi que les peuplements non encore exploitables »
- Développement particulièrement clair, complet et encore actuel

Les fondements de l'économie forestière moderne: le rôle capital de Faustmann, il y a 150 ans, et celui de quelques-uns de ses précurseurs et successeurs (Jean-Luc Peyron et Jacques Maheut, Revue forestière française, n°6-1999)

LA NAISSANCE DE L'ÉCONOMIE FORESTIÈRE

Allgemeine
Forst- und Jagd-Zeitung.

Monat December 1849.

Berechnung des Werthes,

welchen

Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen.

Herr Oberförster v. Gehren hat in dem October-Hefte dieser Zeitung (Seite 361) seine Ansichten „über Geldwerthbestimmung des holzleeren Wald- ist das Verfahren selbst einfach, und seine Richtigkeit läßt sich durch verschiedene Proben erweisen. — Wir stützen uns auf das Zahlenbeispiel des Herrn v. Gehren, — rechnen aber mit Zinseszinsen, weil wir dieß für das Richtigere halten.

Wir unterscheiden zum Zweck unserer Rechnung den aussetzenden und nachhaltigen Betrieb; bei jedem sodann, ob die Fläche holzleer oder bestanden ist,

Darmstadt, im October 1849.

M. Faustmann.

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

- «[Nous ne devons] pas calculer la valeur de [peuplements non encore exploitables] à partir de la valeur marchande du volume de bois qu'ils portent actuellement, mais avec celle qui correspond aux **usages probables de ces bois une fois arrivés à l'âge d'exploitabilité…**
  Il est aisé de se rendre compte de l'intérêt pratique d 'un tel calcul. Grâce à lui, nous disposons des bases nécessaires pour estimer la **valeur d'une forêt** en cas de vente volontaire ou forcée (expropriation), en cas de **dommages** par le feu, les insectes, les hommes, etc., pour juger enfin du système de **gestion** et de la durée de **révolution** les plus avantageux »

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

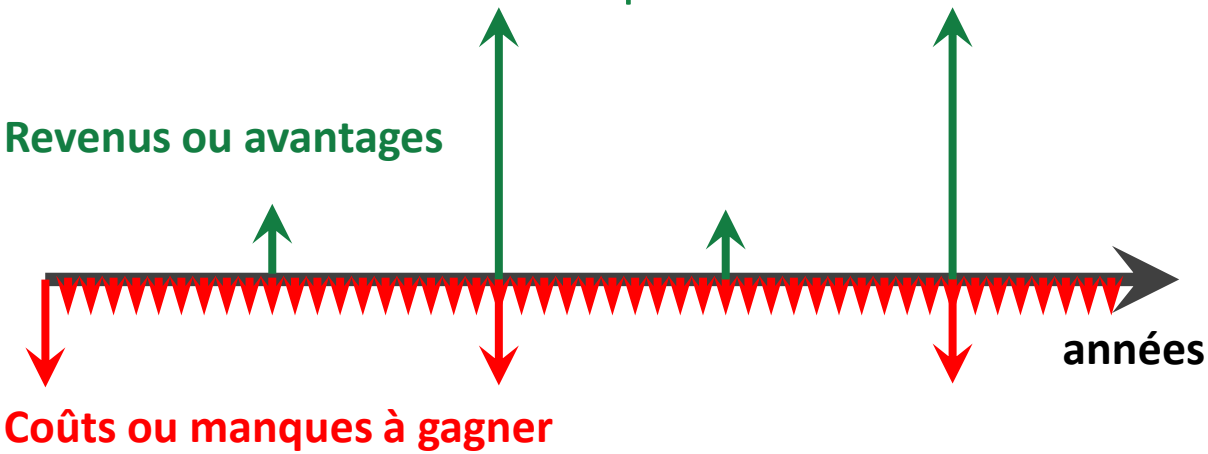
MARTIN FAUSTMANN
1822-876

- La même théorie permet de
  - calculer la valeur d'une forêt
  - d'en optimiser la gestion, notamment en déterminant l'âge d'exploitabilité
- La valeur dépend de la gestion future
- La meilleure gestion est celle qui donne la valeur la plus élevée.
- Ricardo (1772-1823) écrit : « *Le blé ne renchérit pas parce qu'on paie une rente, mais c'est au contraire parce que le blé est cher qu'on paie une rente* » (1817).

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

- Comment Faustmann représente-t-il la gestion future ?
- Il distingue:
  - les coûts de constitution ;
  - les frais annuel d'administration ;
  - les revenus intermédiaires (considérés cumulés sur une année intermédiaire) ;
  - le revenu des coupes finales.



Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

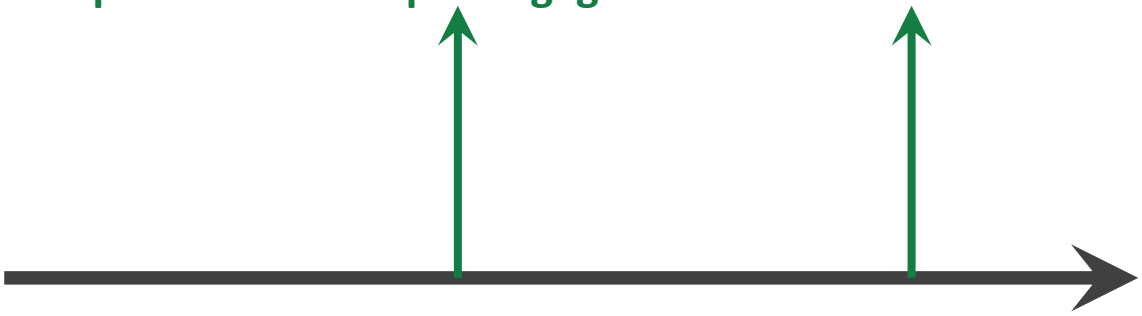
- Comment simplifier au plus la gestion?
  - soit avec de simples bénéfices annuels

Revenus ou avantages après déduction des dépenses ou manques à gagner

années

  - soit avec de simples bénéfices occasionnels

Revenus ou avantages après déduction des dépenses ou manques à gagner



années

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

- Comment la valeur dépend-elle de la gestion future?
- La valeur est tout simplement la **somme des bénéfices à venir**…
- … moyennant une précaution : rendre ces bénéfices à venir comparables et additifs …
- … par le jeu de **l'actualisation au taux r**
  - un bénéfice ***B*** dans un an équivaut à ***B / (1+r)*** aujourd'hui
  - un bénéfice ***B*** dans n années équivaut à $B / (1+r)^n$ aujourd'hui (à intérêts composés) qui s'écrit aussi $B.e^{-rn}$ (en temps *n* continu)
  - préférence pour le présent (impatience) confiance en l'avenir

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

➢ Exemple du cas de bénéfices annuels

Revenus ou avantages après déduction des dépenses ou manques à gagner

- $F = \frac{\boldsymbol{B}}{\boldsymbol{1+r}} + \frac{B}{(1+r)^2} + \frac{B}{(1+r)^3} + \frac{B}{(1+r)^4} + \ldots$
- $F = \frac{B+F}{1+r}$
- $\boldsymbol{F = \frac{B}{r}}$

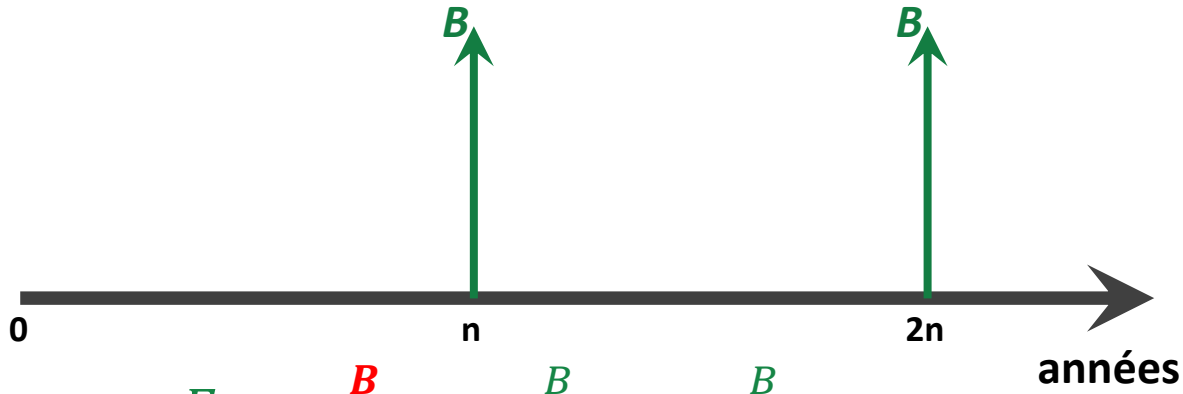
N.B.: il suffit de retirer 1 au dénominateur du 1er terme de la série pour obtenir la somme à l'infini.

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

➢ Exemple du cas de bénéfices occasionnels

Revenus ou avantages après déduction des dépenses ou manques à gagner



- $F = \frac{\boldsymbol{B}}{(\boldsymbol{1+r})^{\boldsymbol{n}}} + \frac{B}{(1+r)^{2n}} + \frac{B}{(1+r)^{3n}} + \ldots$
- $F = \frac{B+F}{(1+r)^{n}}$
- $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^{n}-1}}$

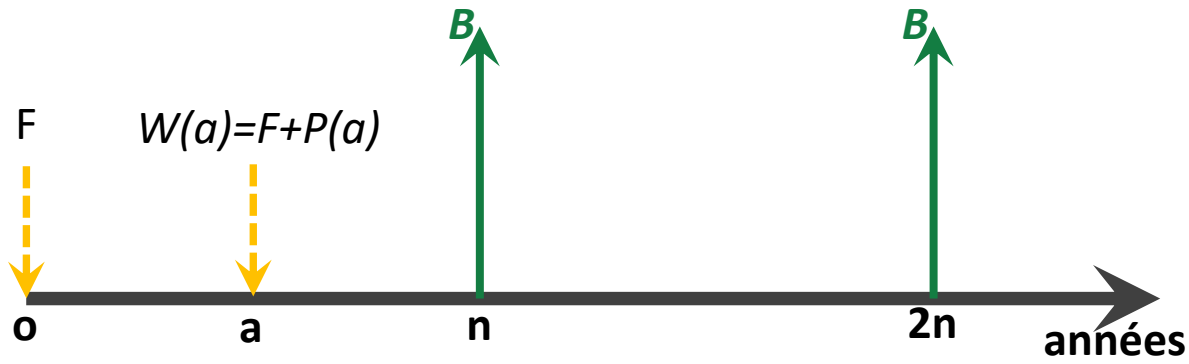
N.B.: il suffit de retirer 1 au dénominateur du 1er terme de la série pour obtenir la somme à l'infini.

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876

➢ Exemple d'un peuplement d'âge a

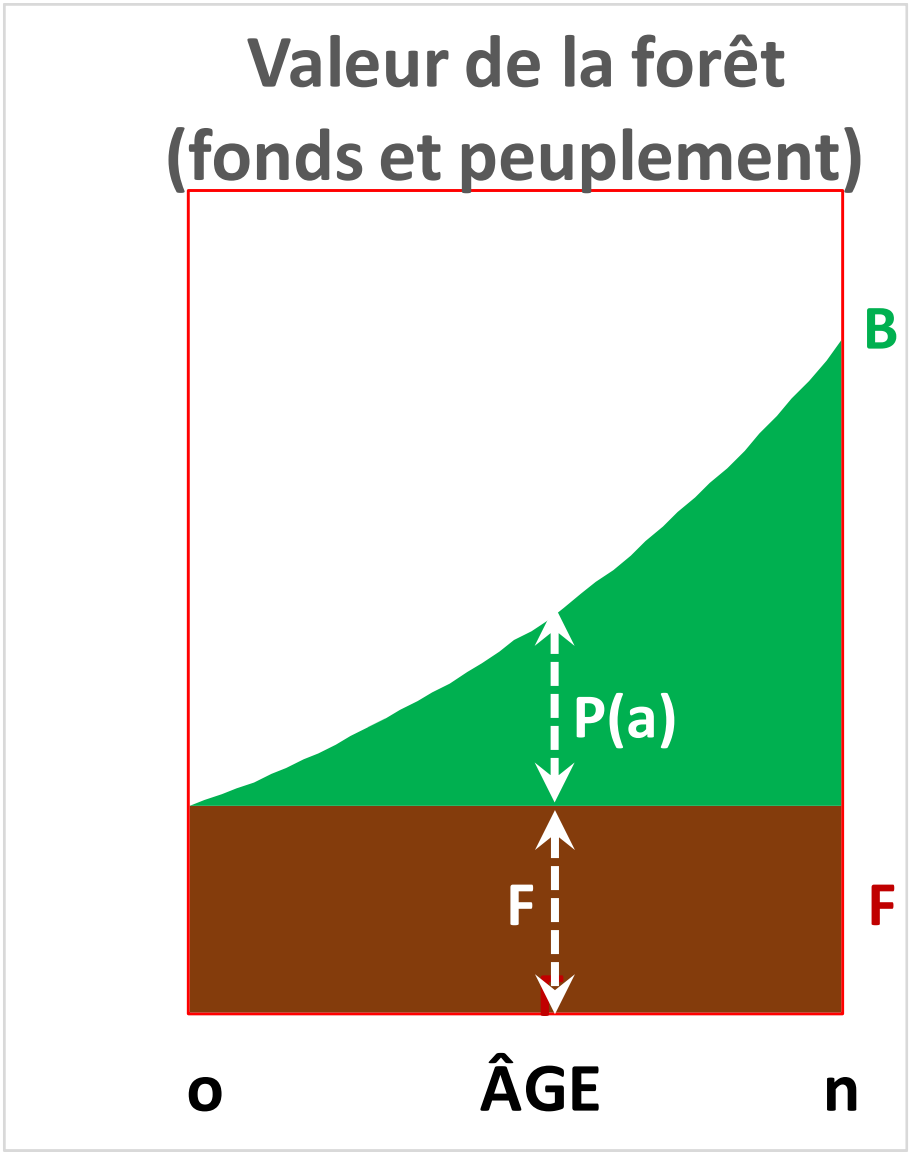
Revenus ou avantages après déduction des dépenses ou manques à gagner



- $W(a)= \frac{B}{(1+r)^{n-a}} + \frac{B}{(1+r)^{2n-a}} + \frac{B}{(1+r)^{3n-a}} + \ldots$
- $W(a) = \frac{B+F}{(1+r)^{n-a}}$ valeur de la forêt
- $\boldsymbol{P(a) = \frac{B+F}{(1+r)^{n-a}} - F}$ valeur du peuplement

Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

MARTIN FAUSTMANN
1822-1876



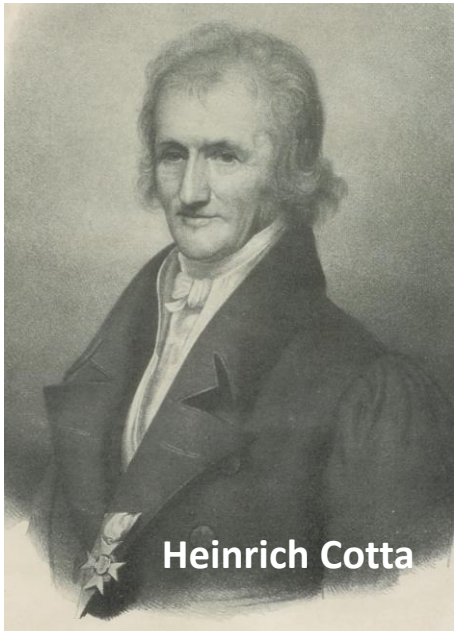
Château de Babenhausen, J.-L. Peyron

Du code d'Hammurabi à Martin Faustmann

- Martin Faustmann n'est pas parti de rien:
  - Code d'Hammurabi (il y a près de 4 000 ans)

    $F\,(1+r) = F + B$ ➔ $\boldsymbol{F = \frac{B}{r}}$
  - Passage à un bénéfice périodique

    $F\,(1+r)^n = F + B$ ➔ $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^n - 1}}$
  - Columelle, 1er siècle
  - Gottlob König, 1813
  - Heinrich Cotta ➔ tables d'actualisation (1819) (1er directeur de l'école forestière de Tharandt qu'il crée depuis celle de Zillbach).


Heinrich Cotta

Code d'Hammurabi

https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16931676

De Martin Faustmann à la science économique

- L'économie générale n'a reconnu la validité de la théorie de Faustmann que bien plus tard:
  - Carl Menger et William Stanley Jevons vers 1871
  - Knut Wicksel vers 1893
  - Irvin Fisher vers 1906, 1907, 1930 (partiellement)
  - Eugen Böhm-Bawerk vers 1921
  - Le prix Nobel Bertil Ohlin en 1921
  - Le prix Nobel Paul Samuelson en 1973 ➔ (avec publication en 1976) *Economics of forestry in an evolving society*

Paul Samuelson

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE ?

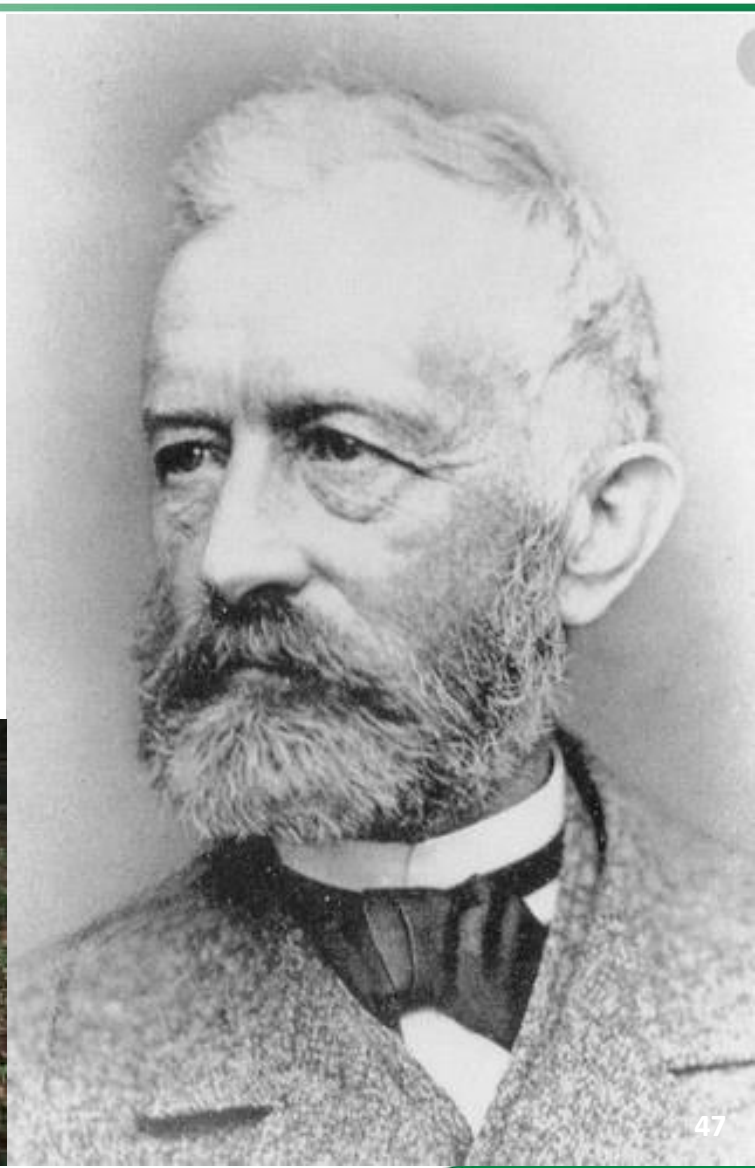
LE TEMPS DES CONTROVERSES

FAUSTMANN CONTRE VON GEHREN

- L'article de décembre 1849 vient après deux autres :
  - une note d'août 1849 sur la valeur des forêts, signée F. (pour Faustmann en tant que collaborateur régulier à la revue)
  - un article d'octobre 1849 signé Edmund Franz von Gehren sur la valeur des fonds forestiers
- von Gehren répond à Faustmann mais fait des erreurs
  - Il évalue le peuplement à sa valeur marchande et non d'avenir
  - Il traite des cas dont l'âge de récolte est fixé au-delà de l'optimum
  - Il a des incohérences entre valeurs totale, du fonds, du peuplement
  - Il utilise une moyenne entre intérêts simples et composés
- Faustmann clarifie la théorie dès octobre 1849 mais son papier est publié dans le numéro suivant, celui de décembre 1849
- Von Gehren continue ensuite à critiquer Faustmann (1850)

PRESSLER (1815-1886) EN FAVEUR DE FAUSTMANN

- Max Robert Pressler, professeur à l'école forestière de Tharandt (près de Dresde) utilise la théorie de Faustmann **sous forme marginale**
- L'optimum est atteint lorsque **la valeur de la forêt** (fonds et peuplement) **s'accroît au taux *r***
- Il est à l'origine de la tarière qui permet de mesurer l'accroissement en diamètre des arbres.



QUEL HORIZON DE TEMPS CONSIDÉRER ?

- De nombreux auteurs ont raisonné sur un seul cycle de croissance, une seule révolution ; $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^n}}$ n'est pas correct: on ne peut comparer deux options que sur une durée identique
- Il faut considérer la somme des bénéfices futurs jusqu'à l'infini ou réincorporer la valeur du fonds en fin de cycle $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^n - 1}}$
- Le -1 du dénominateur correspond au passage à l'infini lorsqu'on suppose une répétition à l'identique dans le temps ou au moins une gestion future qui préserve la valeur du fonds
- Le passage à l'infini ne complique pas vraiment la formule
- Faustmann suppose la répétition à l'identique d'un même cycle mais prend la peine aussi de généraliser la théorie au cas d'une succession de révolutions de longueurs différentes.

LE CAS DISCUTÉ DE LA « FORÊT NORMALE »

- La « forêt normale » est équilibrée et composée de peuplements
  - soit réguliers d'âge donné mais gradué d'un peuplement à l'autre
  - soit irréguliers avec des arbres de tous âges mélangés.
- Faustmann est allé jusqu'à traiter ce cas :
  - en additionnant la valeur des peuplements dans le premier cas
  - en estimant directement la somme des bénéfices futurs actualisés
- Mais Duerr (1960) adapte le critère pour tenir compte du coût d'immobilisation permanente d'un capital sur pied (valeur marchande)
- Ce critère est réaffirmé 30 ans plus tard par Oderwald et Duerr (1990)
- Débat intense dans la revue Forest Science
- Chang (1990) clôt la discussion en montrant que Faustmann avait raison (le coût d'immobilisation est déjà pris en compte à sa valeur d'avenir dans la théorie de Faustmann).

QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ?
LE TAUX DU MARCHÉ FINANCIER ?

- Utilisation du taux d'intérêt sur le marché financier
  - On trouve des âges d'exploitabilité inférieurs à la pratique
  - Ne concerne pas le secteur public
- Le taux est-il trop élevé ?
- L'économiste anglais John Locke (1632-1704) note en 1672 que le taux d'intérêt pratiqué pour les terres agricoles est très inférieur à celui des placements financiers. Il en conclut que «*le faible taux pour la terre reflète quelque avantage de cette forme d'investissement* ».

QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ?
FAUT-IL NE PAS ACTUALISER ?

- **Ne pas actualiser, c'est actualiser à taux nul !**
- La valeur de la forêt est alors infinie (division par 0), aussi bien dans $\boldsymbol{F = \frac{B}{(r)}}$ que dans $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^n - 1}}$
- On peut quand même calculer un âge d'exploitabilité qui tend vers celui proposé au siècle des lumières (bénéfice moyen annuel maximal) ; la récolte est alors retardée par rapport à un taux positif.
- Le taux caractérise en fait le coût du temps : annuler le taux c'est annuler le coût du temps et maximiser l'âge de récolte.

QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ? LE TAUX INTERNE DE RENTABILITÉ (TIR) ?

- On calcule le taux depuis la formule $\boldsymbol{F = \frac{B}{(1+r)^n - 1}}$

$$\rightarrow r = \left(1 + \frac{B}{F}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

- L'idée (au départ, Irvin Fisher) est alors de rechercher l'âge d'exploitation qui maximise le taux interne de rentabilité
- Mais la production forestière n'est pas un placement financier (notamment si on raisonne sur une surface fixe)
- Le taux caractérise en fait le coût du temps : maximiser le taux, c'est maximiser le coût du temps et minimiser l'âge de récolte !
- Pourtant, l'erreur qui consiste à maximiser le taux interne de rentabilité est encore courante en foresterie.
- C'est **un indicateur intéressant à ne pas maximiser** (en général) !

QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ?
LE TAUX D'ACTUALISATION PUBLIC ?

- Préférence pour le présent
- Confiance en l'avenir
- Discussion sur le risque (collectif, pour le secteur, pour le projet)
- **Variabilité des préconisations dans le temps**
  - 1962 : 7%
  - 1971 : 10%
  - 1976 : 9%
  - 1985: proposition à 6% puis fixation à 8%
  - 2005, rapport Lebègue : 4% jusqu'à 30 ans, puis réduction vers 2%
  - 2013 : rapport Quinet : 2,5% jusqu'en 2070, puis 1,5% ; prime de risque pondérée par projet

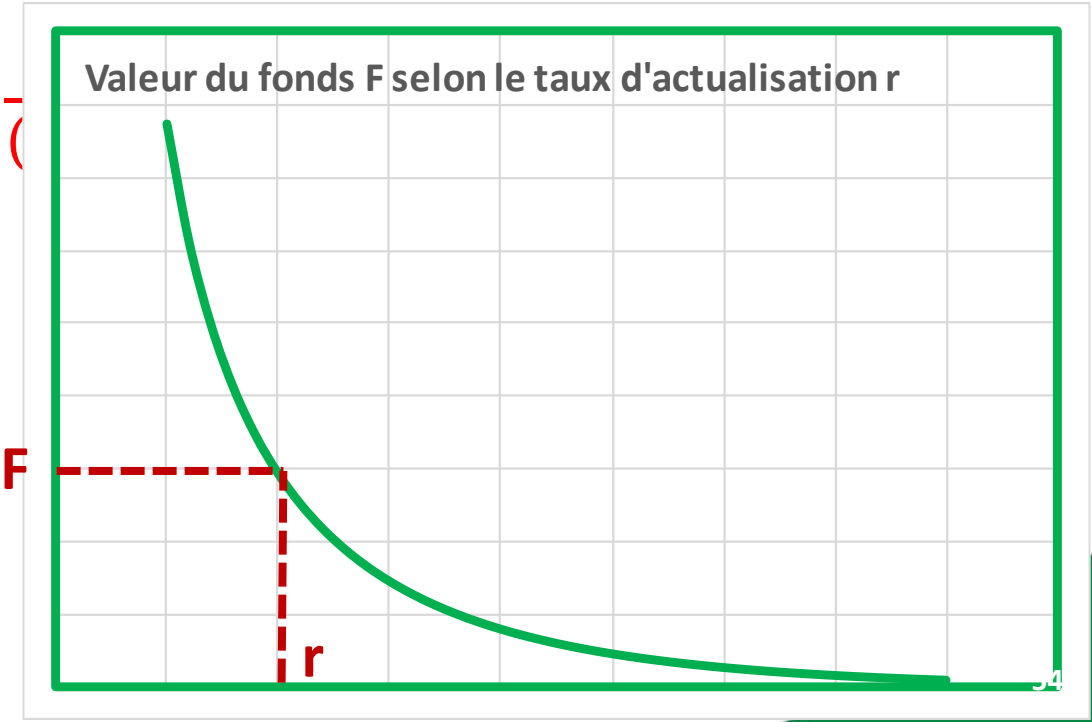
QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ?
UN TAUX D'ACTUALISATION RÉVÉLÉ !

- Le marché des fonds forestiers fournit une valeur du fonds
- Il correspond à une sylviculture moyenne pratiquée (référence)
- On choisit r tel que la valeur théorique donnée par la formule de Faustmann soit égale à la valeur vénale.

$$F = -$$
$$($$

$$r = \left(1 + \frac{B}{F}\right)^{\frac{1}{n}} \text{-1}$$

- On parle aussi de méthode du taux interne de rentabilité.



QUEL TAUX D'ACTUALISATION UTILISER ? QUELLES CONCLUSIONS ?

- Finalement, la technique de l'actualisation fait l'objet de nombreuses critiques mais :
  - Qu'on le veuille ou non, on utilise un taux d'actualisation
  - Un taux nul conduit à des résultats incohérents sur la valeur de la forêt, mais s'intéresser à la production moyenne annuelle maximale en surface terrière, en volume, en masse, en revenu net peut être justifié dans certains cas (pénurie, fixation de carbone…)
  - Le taux interne de rentabilité (TIR) est une grandeur utile mais il n'y a en général pas de sens économique à le maximiser
  - La question est donc : quel taux entre 0 et le maximum du TIR ?
  - Révéler le taux d'actualisation à partir de la valeur vénale du fonds est commode pour se placer dans les bons ordres de grandeur, en l'absence d'autre indication claire.

A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE ?

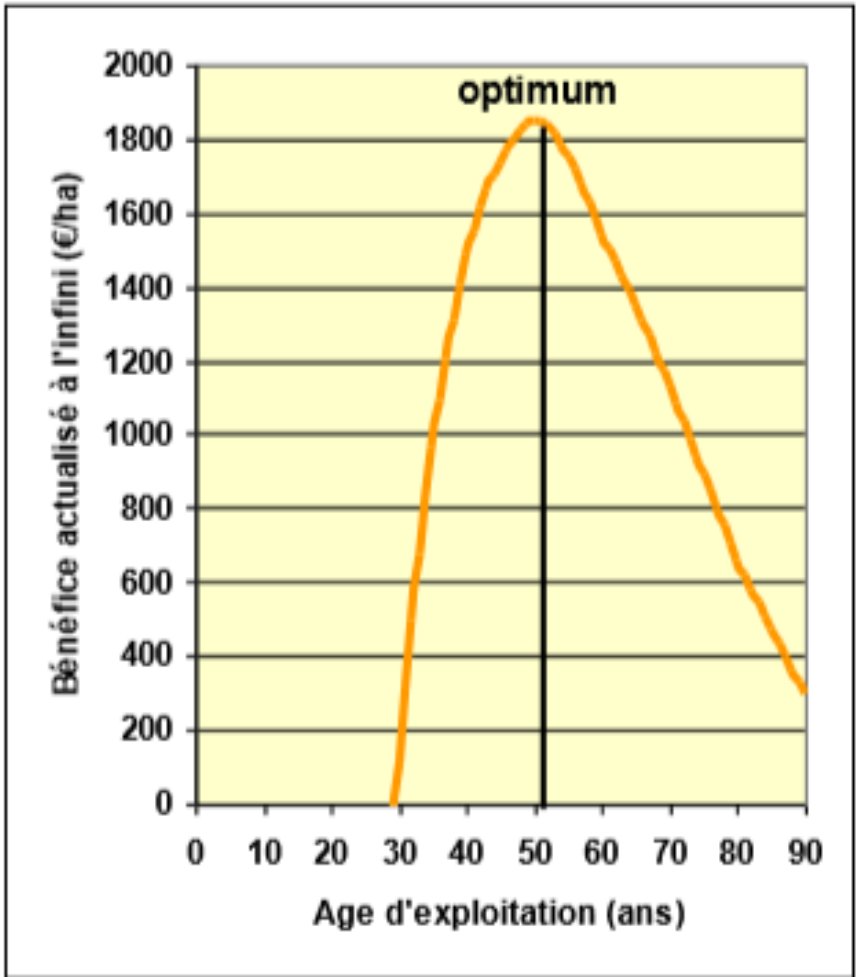
DES APPLICATIONS MULTIPLES

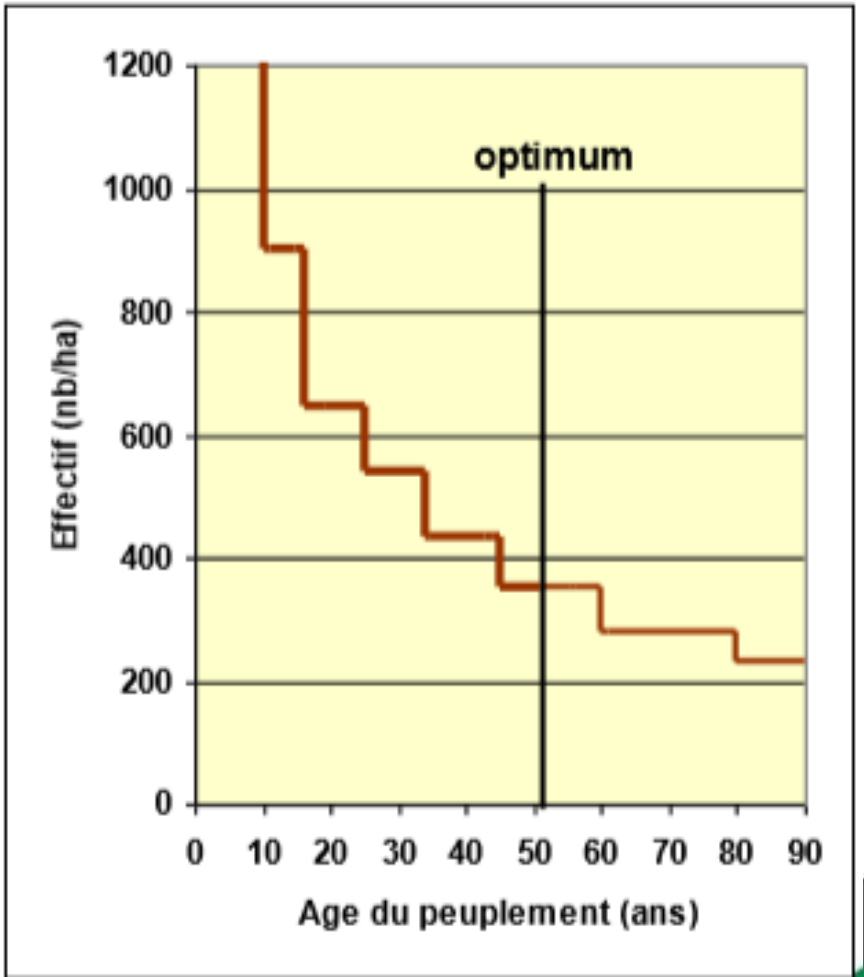
De multiples applications

- De la valeur des forêts (pour mémoire)
  - Peut-on intégrer la valeur des forêts dans les comptes nationaux ?
  - Quel est le préjudice forestier consécutif aux tempêtes ?
- Optimisation de la gestion
  - Quel itinéraire sylvicole adopter ?
  - Quelle répartition optimale des essences et diamètres en futaie irrégulière ?
  - Comment gérer au mieux une parcelle sinistrée ?
  - Comment restaurer au mieux un massif sinistré
  - Intégration des risques
  - Intégration des services écosystémiques
  - Optimisation de la gestion sous changement climatique.

DE L'ÂGE D'EXPLOITABILITÉ À L'ITINÉRAIRE SYLVICOLE

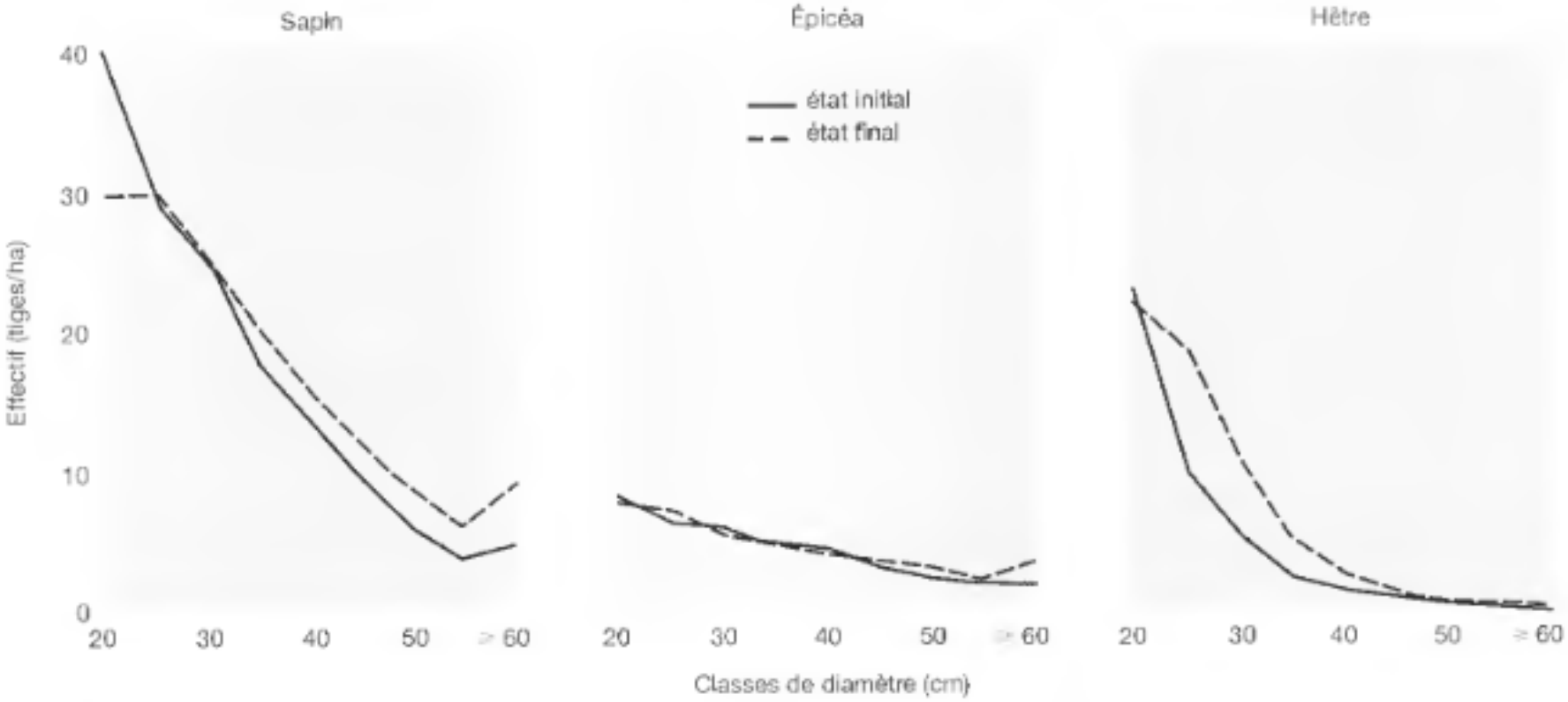
- Cas du Pin maritime des Landes de Gascogne
  (à comparer à la gestion réelle pour tirer un gain du calcul)





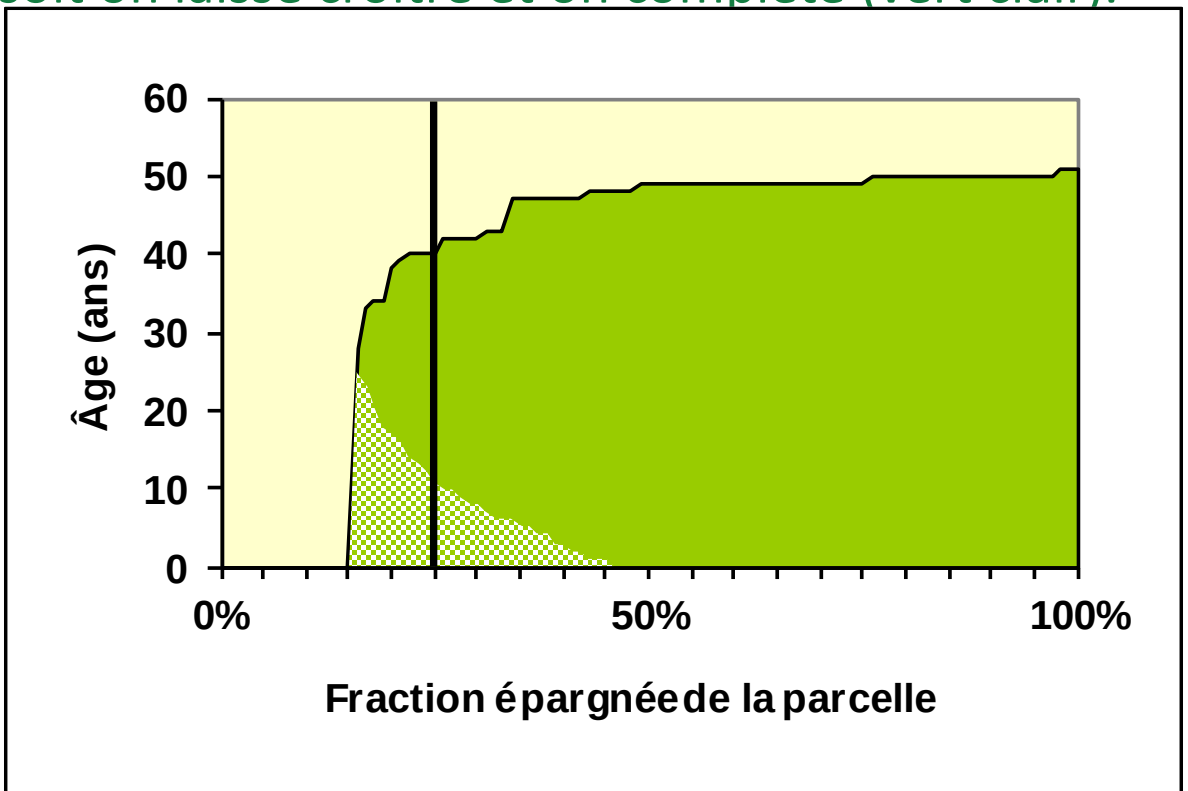
QUELLE RÉPARTITION OPTIMALE DES ESSENCES ET DIAMÈTRES EN FUTAIE IRRÉGULIÈRE?

- Cas de la futaie jardinée du Jura



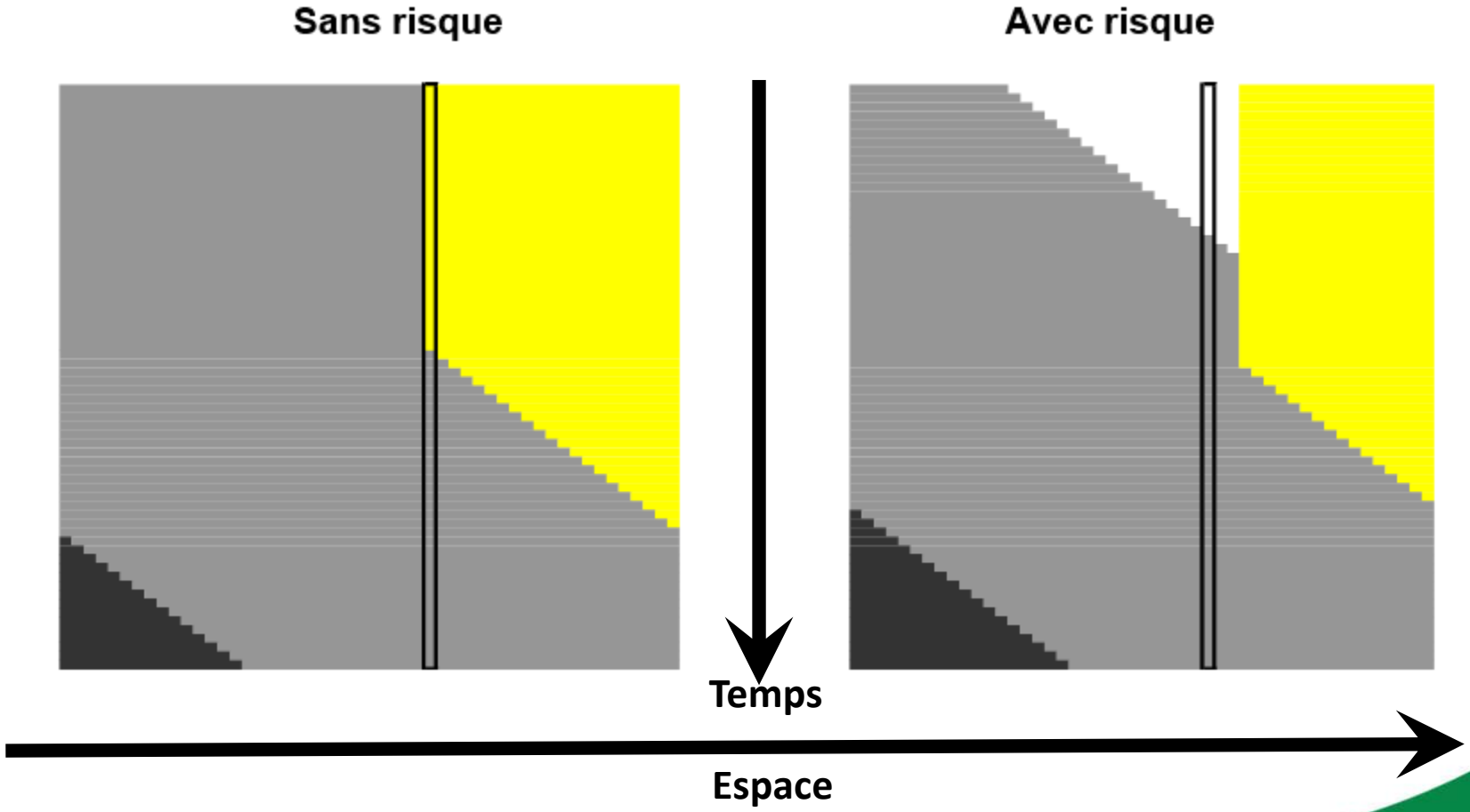
COMMENT GÉRER AU MIEUX UNE PARCELLE SINISTRÉE?

- Cas du Pin maritime des Landes de Gascogne :
  - soit on repart à zéro (jaune),
  - soit on laisse croître (vert foncé),
  - soit on laisse croître et on complète (vert clair).



COMMENT RESTAURER AU MIEUX UN MASSIF SINISTRÉ?

- Cas du Pin maritime des Landes de Gascogne
  (âge d'exploitabilité de 51 ans sans risque, 48 ans avec risque)

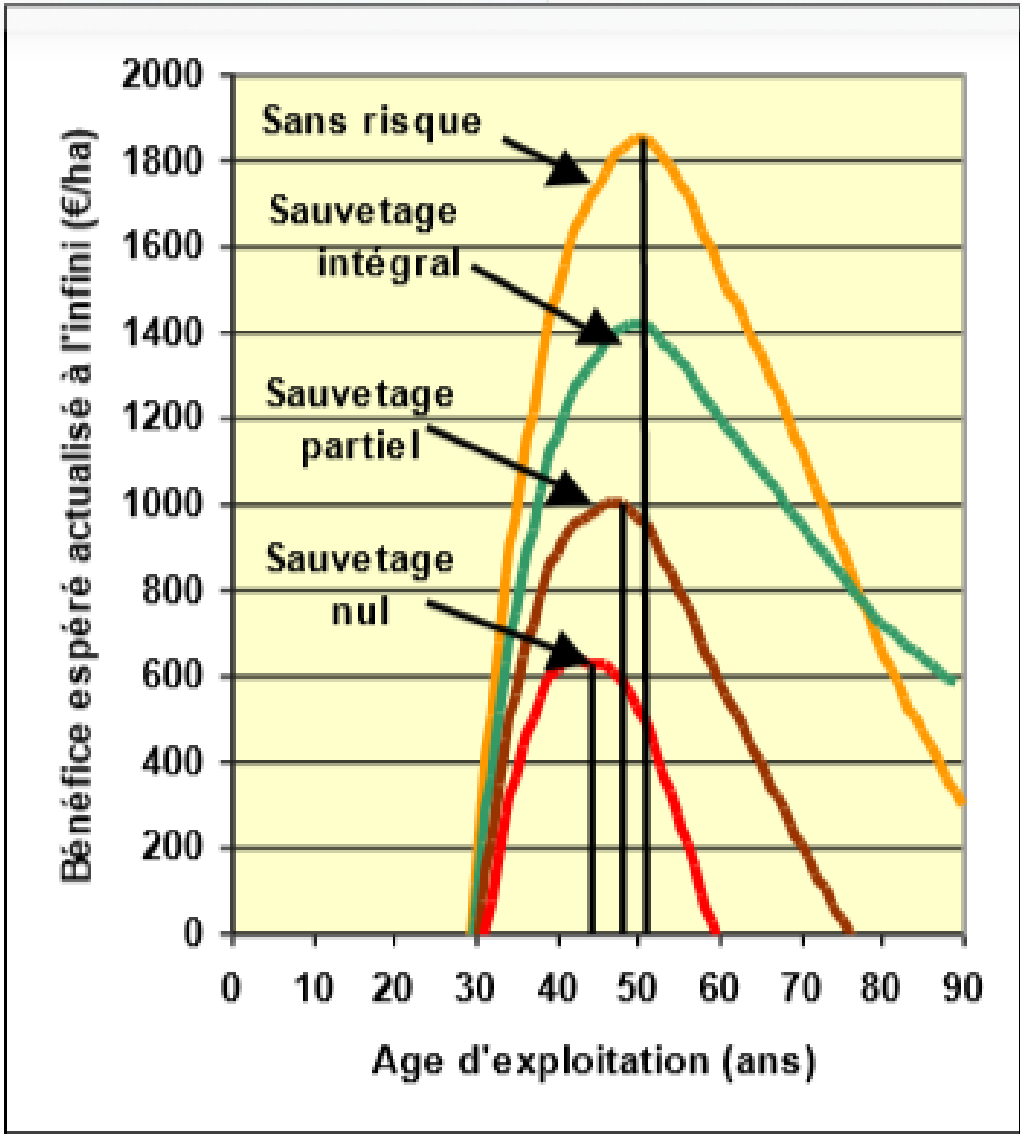


INTÉGRATION DES RISQUES

- Le cas des risques est introduit par Reed (1984)
- La prise en compte des risques modifie
  - la valeur foncière de la forêt
  - la valeur révélée du taux d'actualisation
  - l'âge d'exploitabilité qui se trouve en général réduit car :
    - le sauvetage (valeur des bois sinistrés) n'est pas intégral
    - une probabilité donnée à un effet plus fort sur un cycle long
    - tout se passe comme si le taux d'actualisation était augmenté de la probabilité de destruction
    - les propriétaires sont en général averses au risque
- Les applications sont plus faciles en supposant la neutralité au risque.

La prise en compte des risques

- Exemple de prise en compte des risques
- Pin maritime
- Probabilité de destruction croissante avec l'âge et atteignant 1,3% par an à 48 ans.

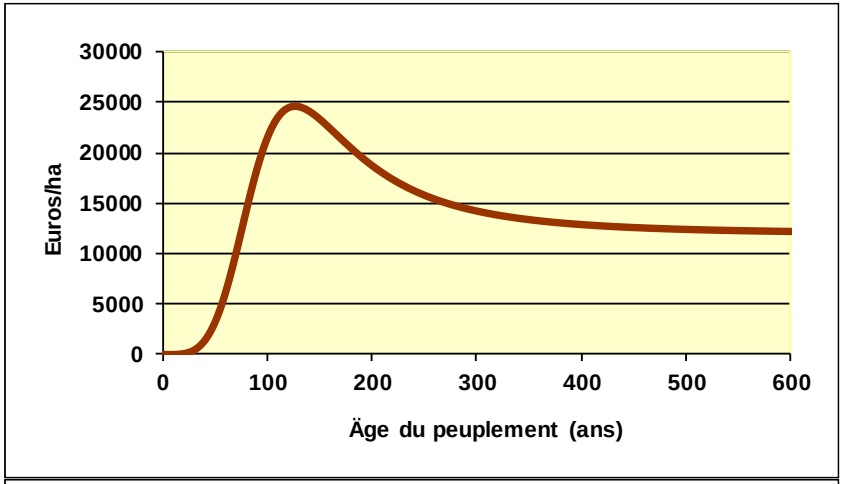


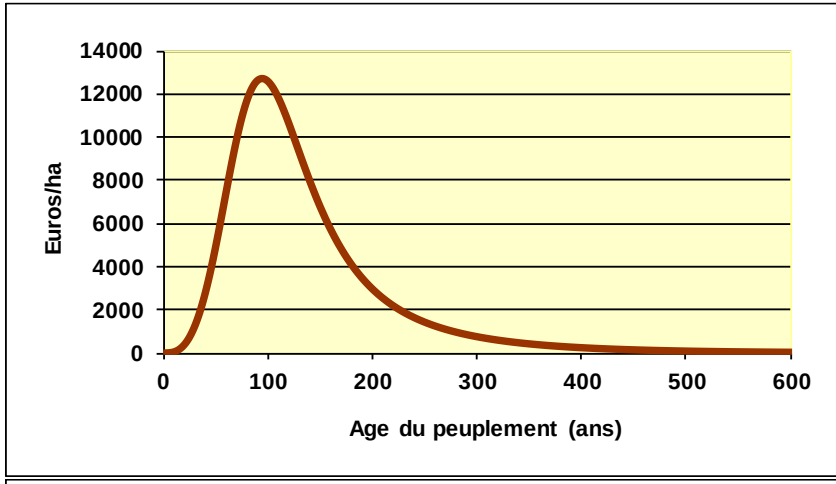
INTÉGRATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

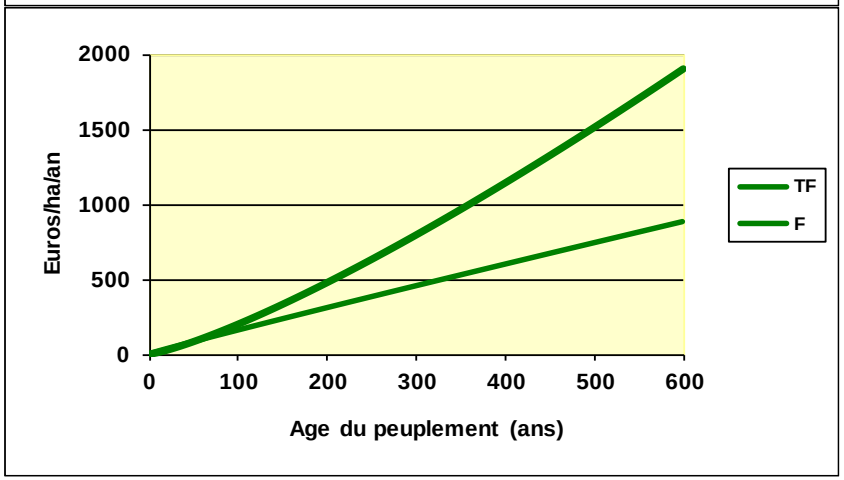
- Hartman (1976) et Strang (1983) introduisent les services
- Approche d'économie publique et de l'environnement
- Exemple théorique intégrant deux productions
  - Bois jouant en fin de cycle
  - Aménités jouant annuellement et croissant de manière :
    - FORTE (F)
    - TRES FORTE (TF)

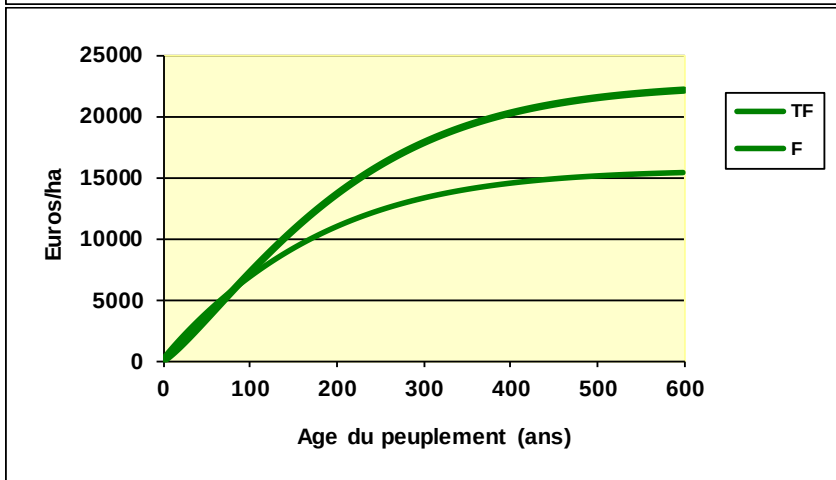
INTÉGRATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

- Evolution avec l'âge de la récolte (marron) et des aménités (vert) en valeur non actualisée (à gauche), actualisée (à droite)



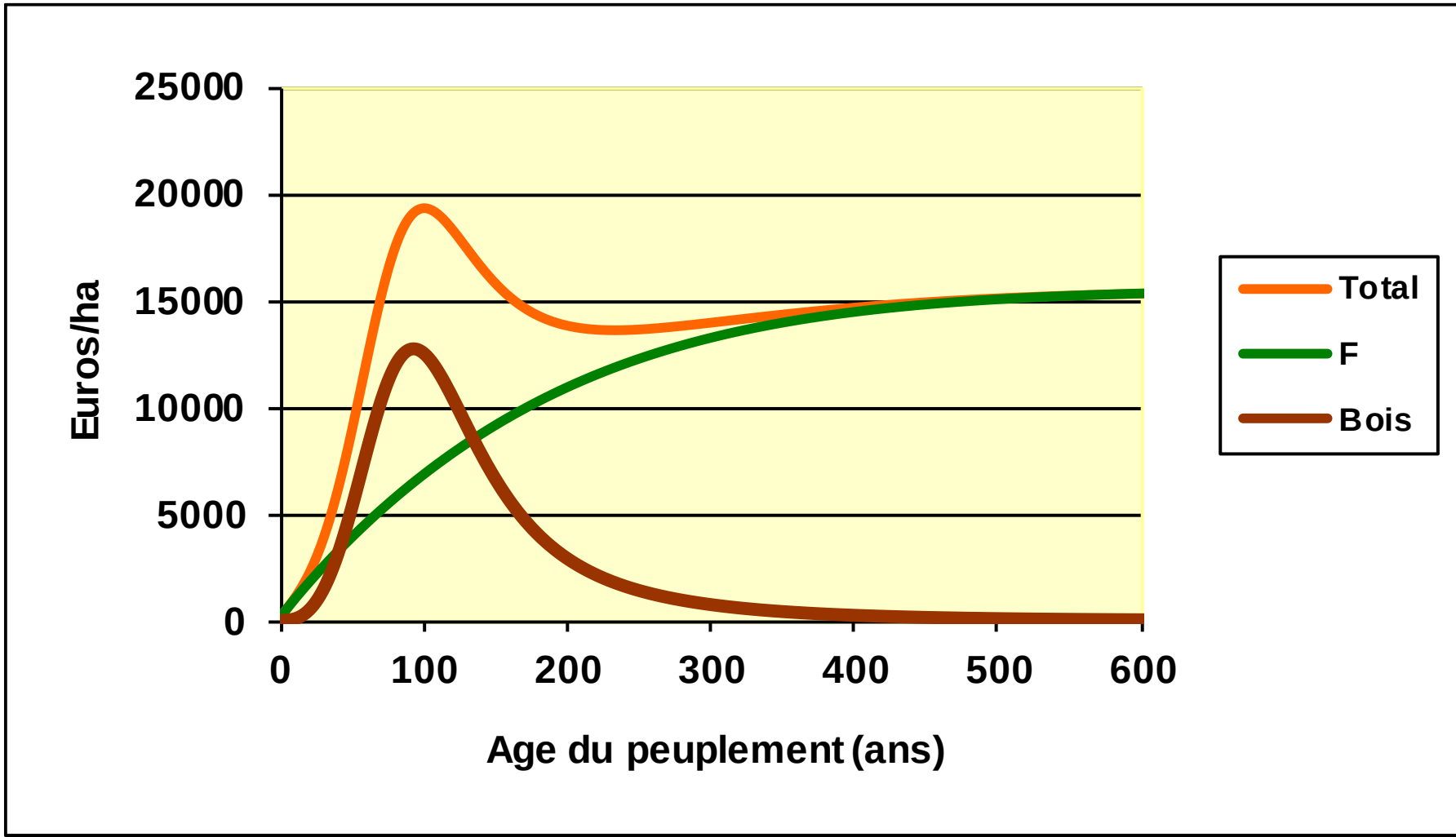






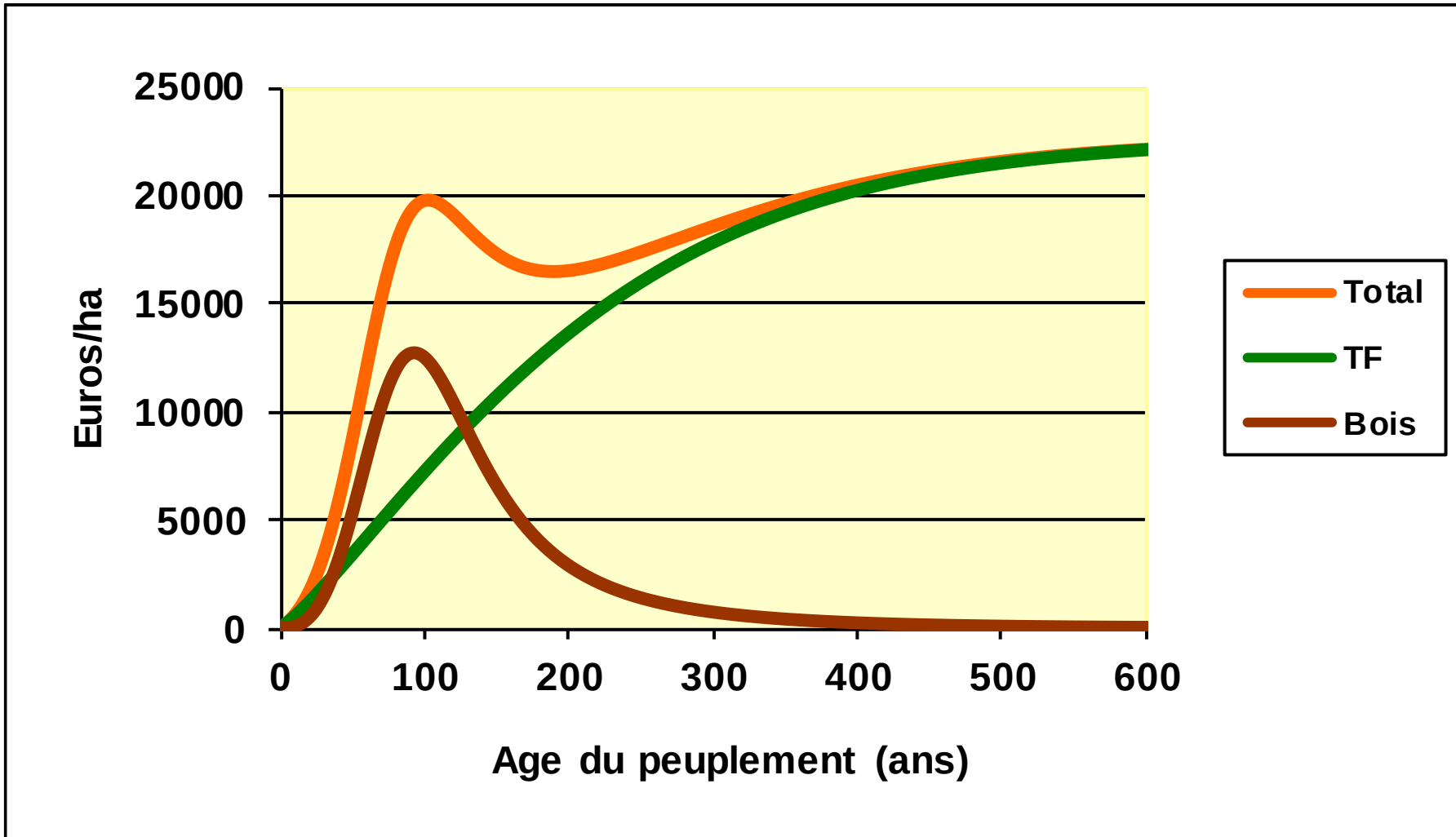
INTÉGRATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

- Cas d'une croissante **FORTE** des aménités avec l'âge



INTÉGRATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

- Cas d'une croissante **TRES FORTE** des aménités avec l'âge

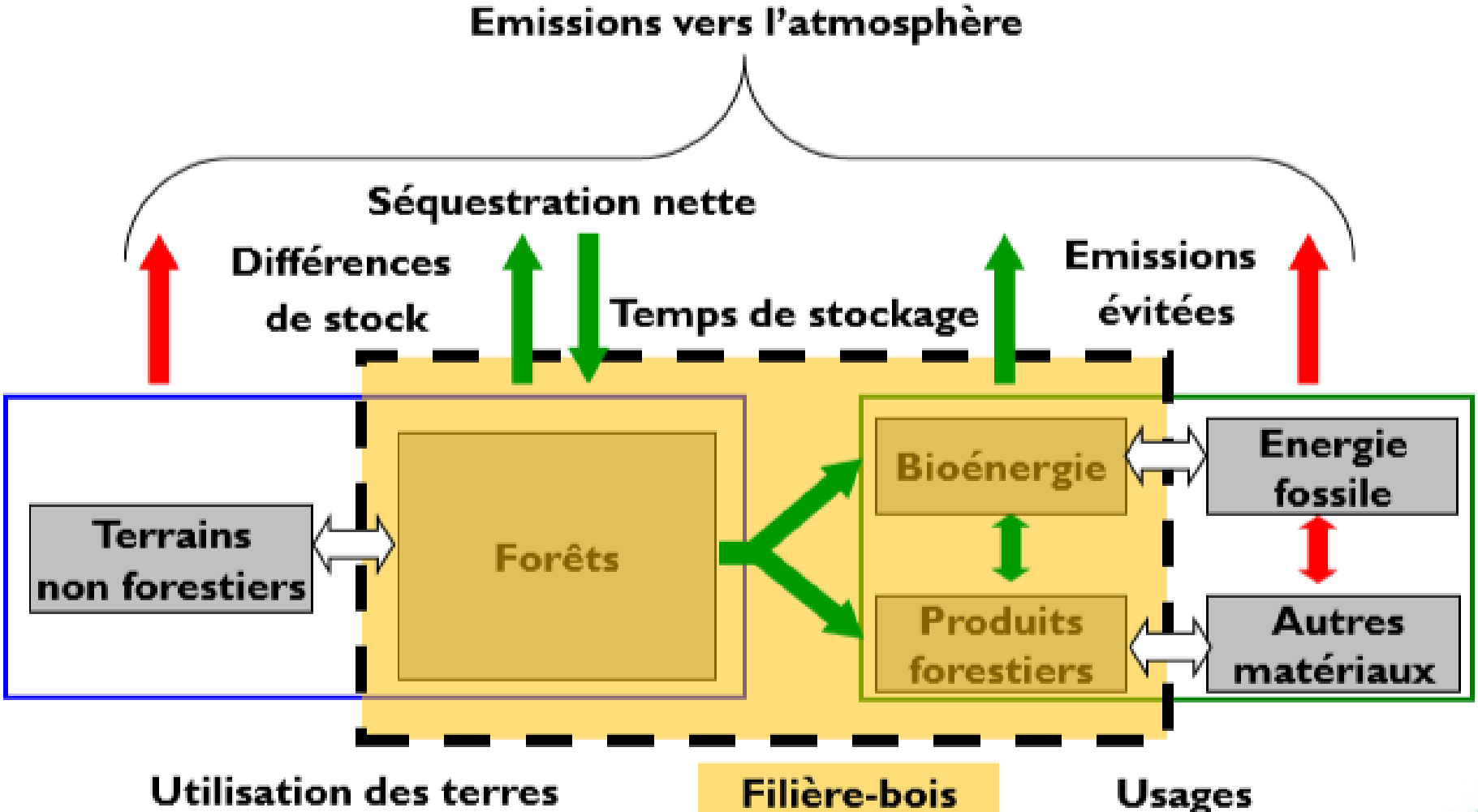


INTÉGRATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

- Augmentation de la valeur de la forêt
- Allongement de l'âge d'exploitabilité
- Cas théorique possible d'un allongement à l'infini
- Si l'âge d'exploitabilité est fini mais qu'il est dépassé, cas théorique à nouveau possible d'un report à l'infini de l'âge d'exploitabilité

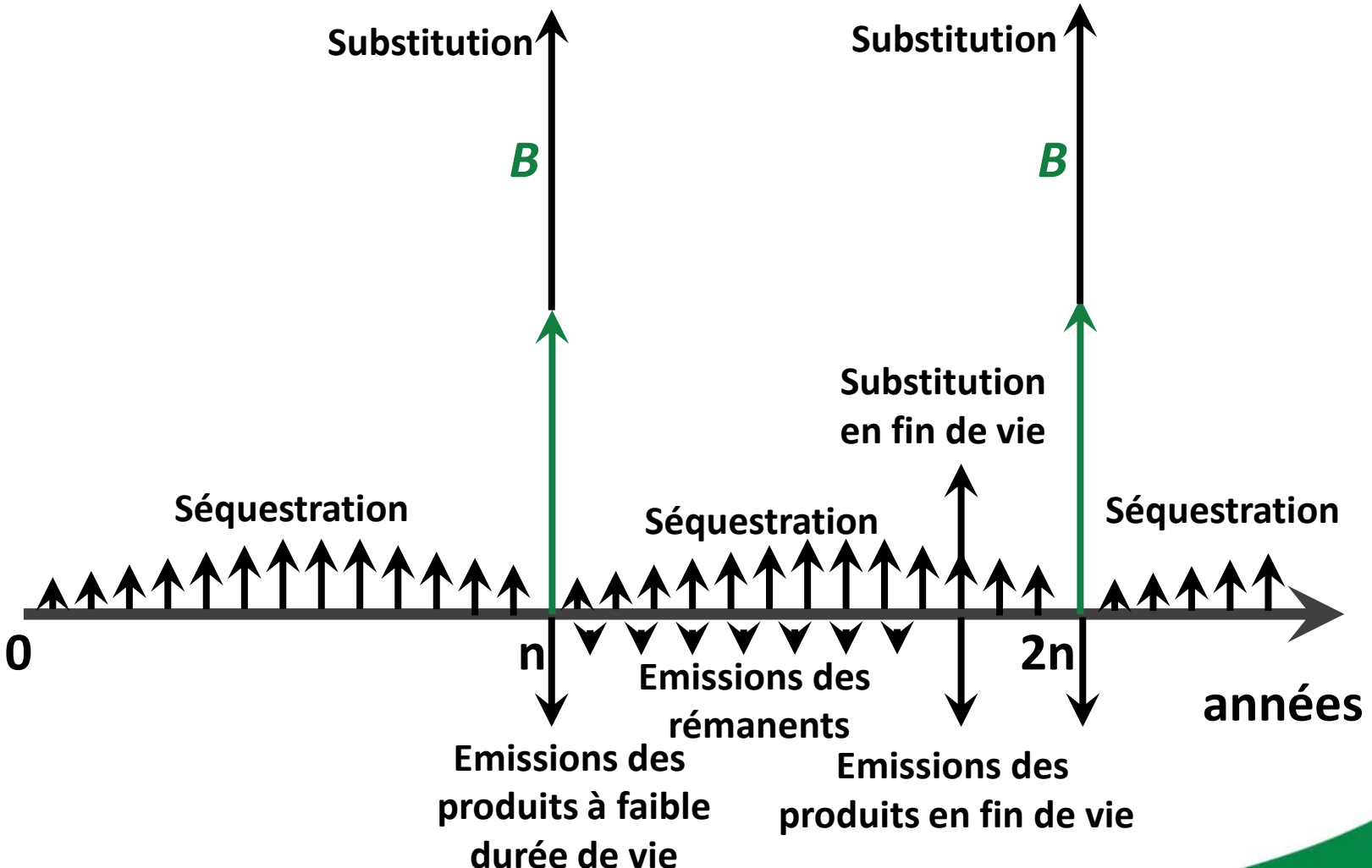
ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Carbone : séquestration, émissions, émissions évitées



ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Principales échéances pour le bois (vert) et le carbone (noir)

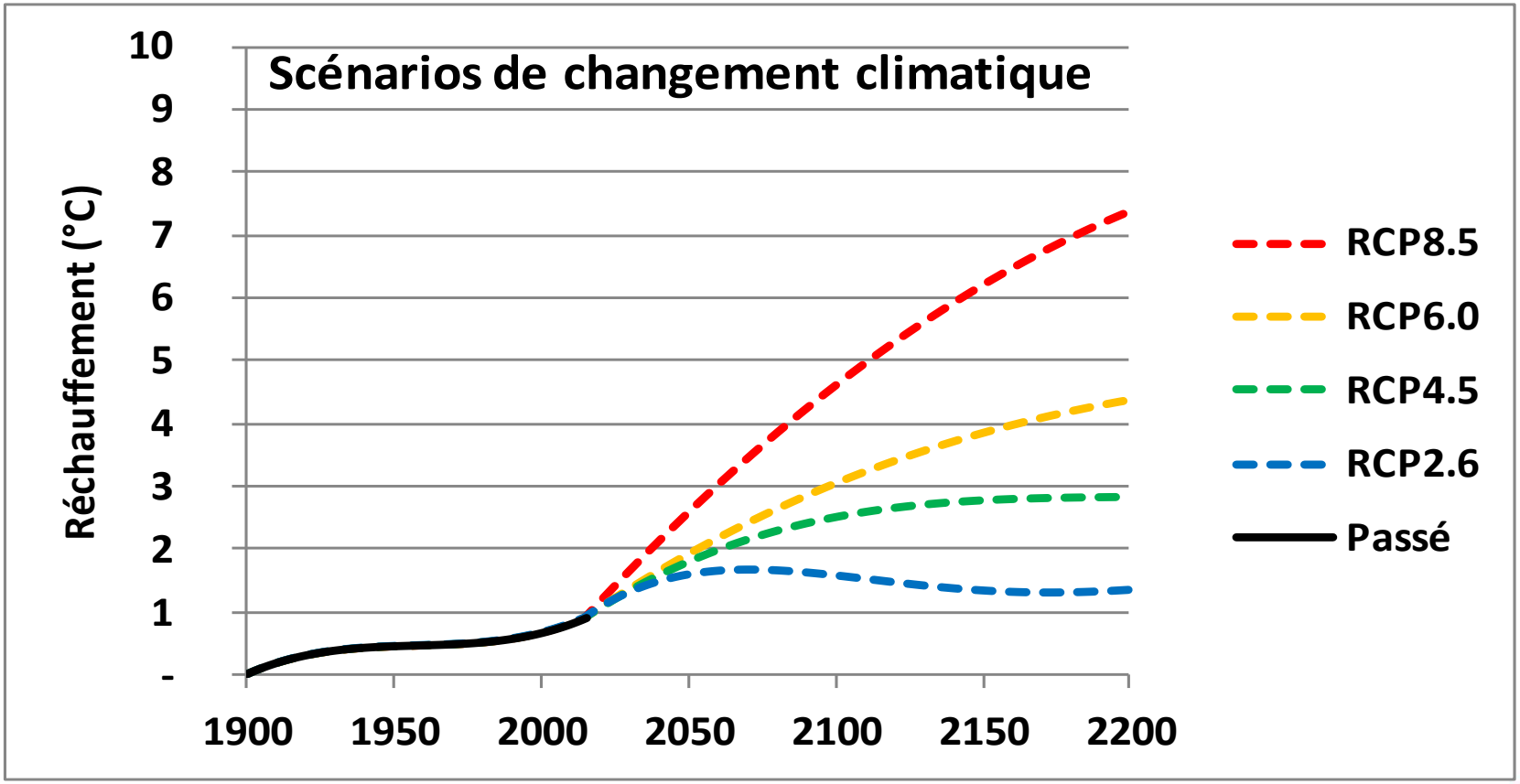


ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Quelques questions
  - Comment évolue le prix de la tonne de carbone (notamment au-delà de 2050 ?
  - Comment évoluent les facteurs de substitution (les émissions évitées grâce à l'utilisation du bois)
    - matériau
    - Énergie
  - Comment gérer la dépendance de ces facteurs à la nature des produits et de leurs concurrents ?
  - Comment prendre en compte les interdépendances des produits?

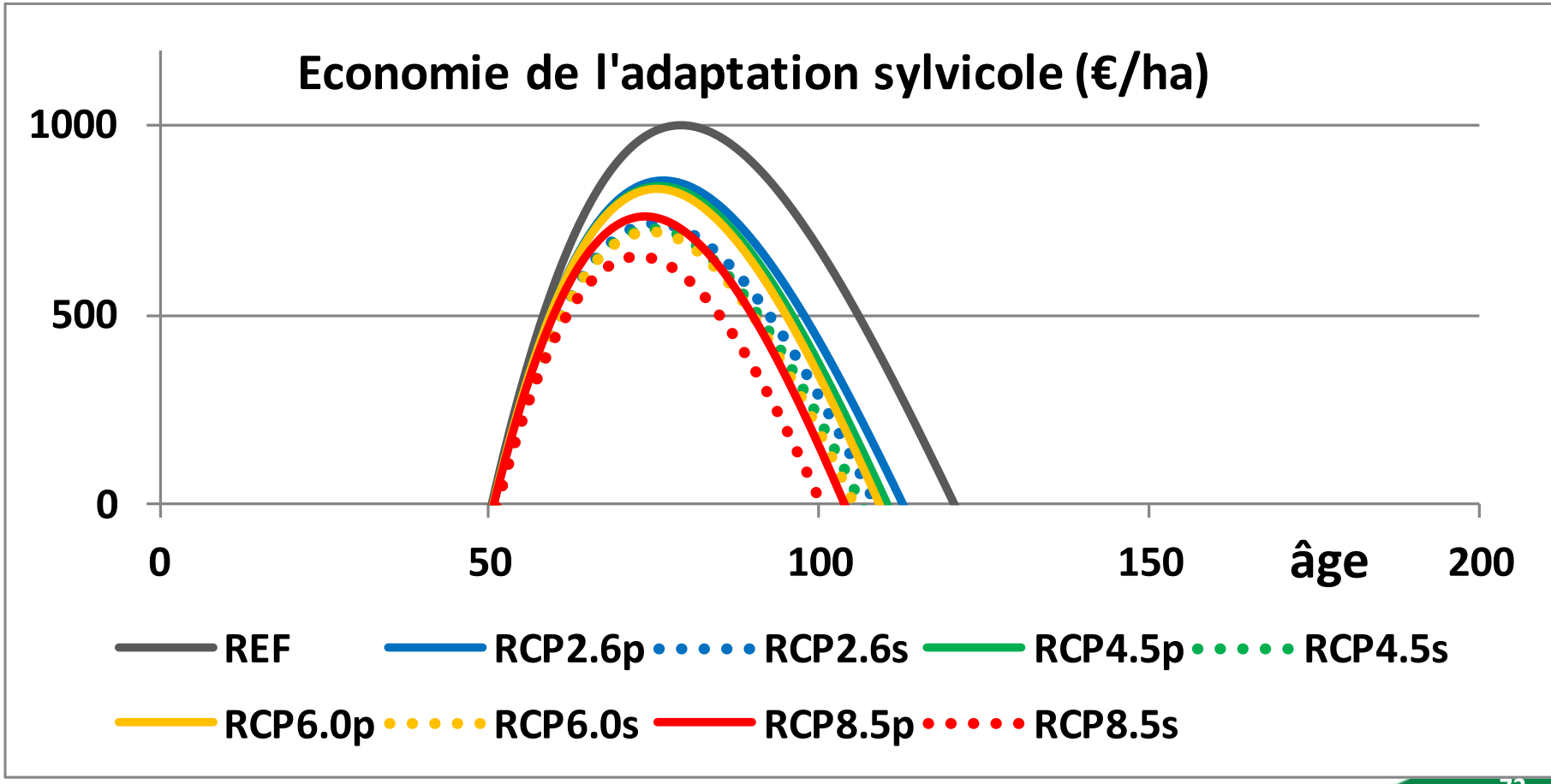
ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

➢ Scénarios de changement climatique



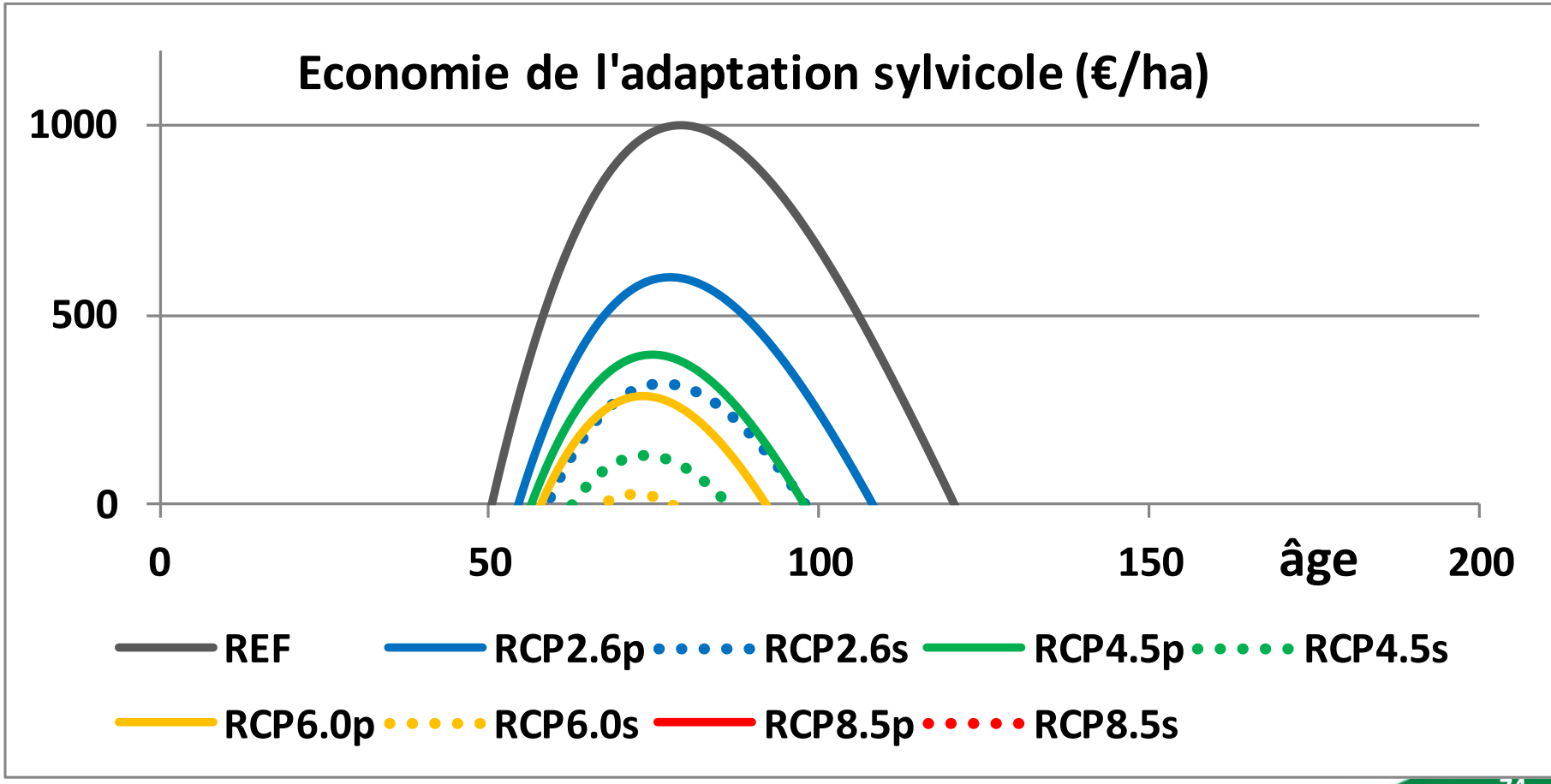
ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

➢ Exemple de réponse pour un peuplement constitué en 1970



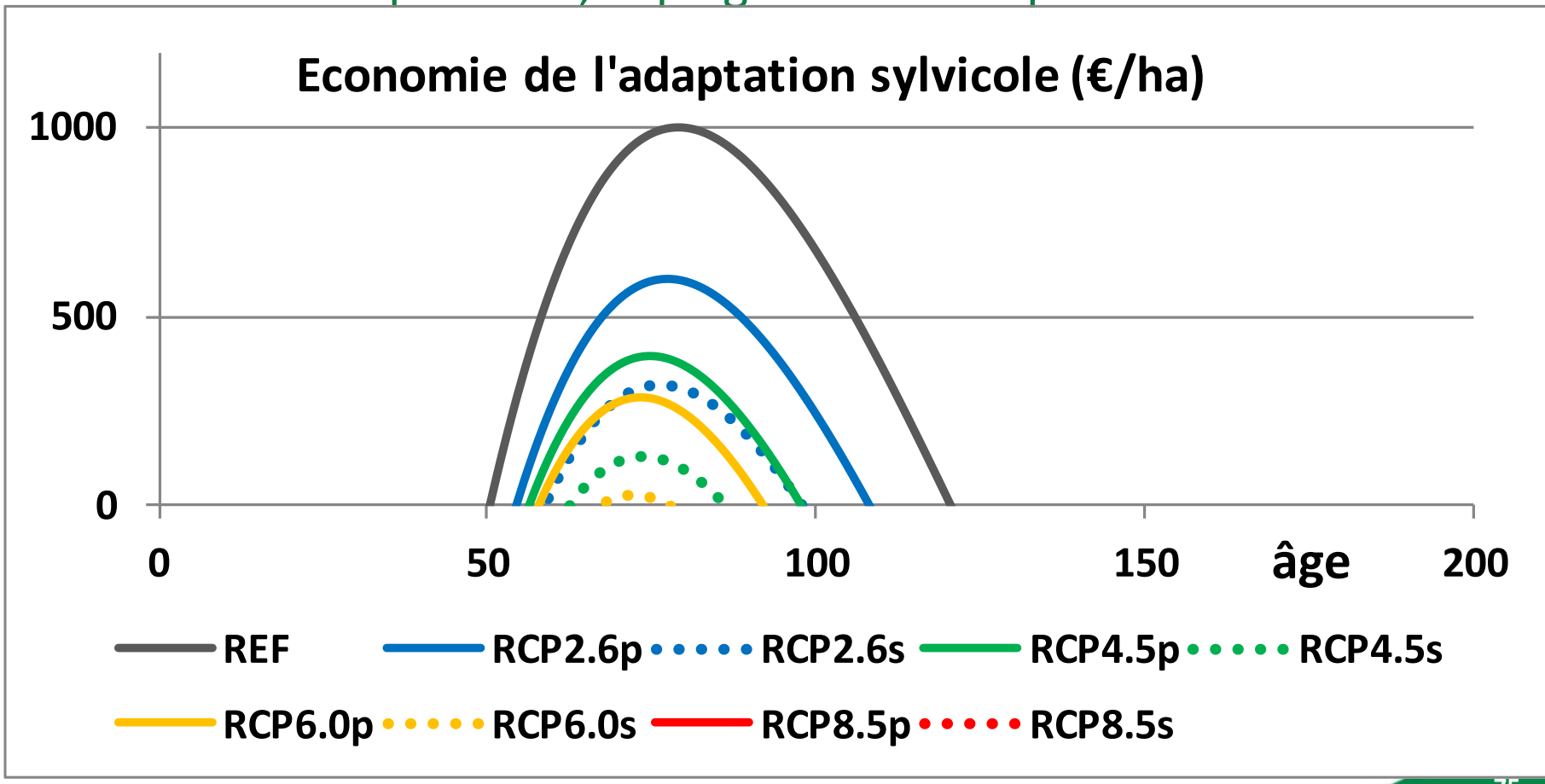
ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Exemple de réponse pour le même peuplement constitué en 2020



ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

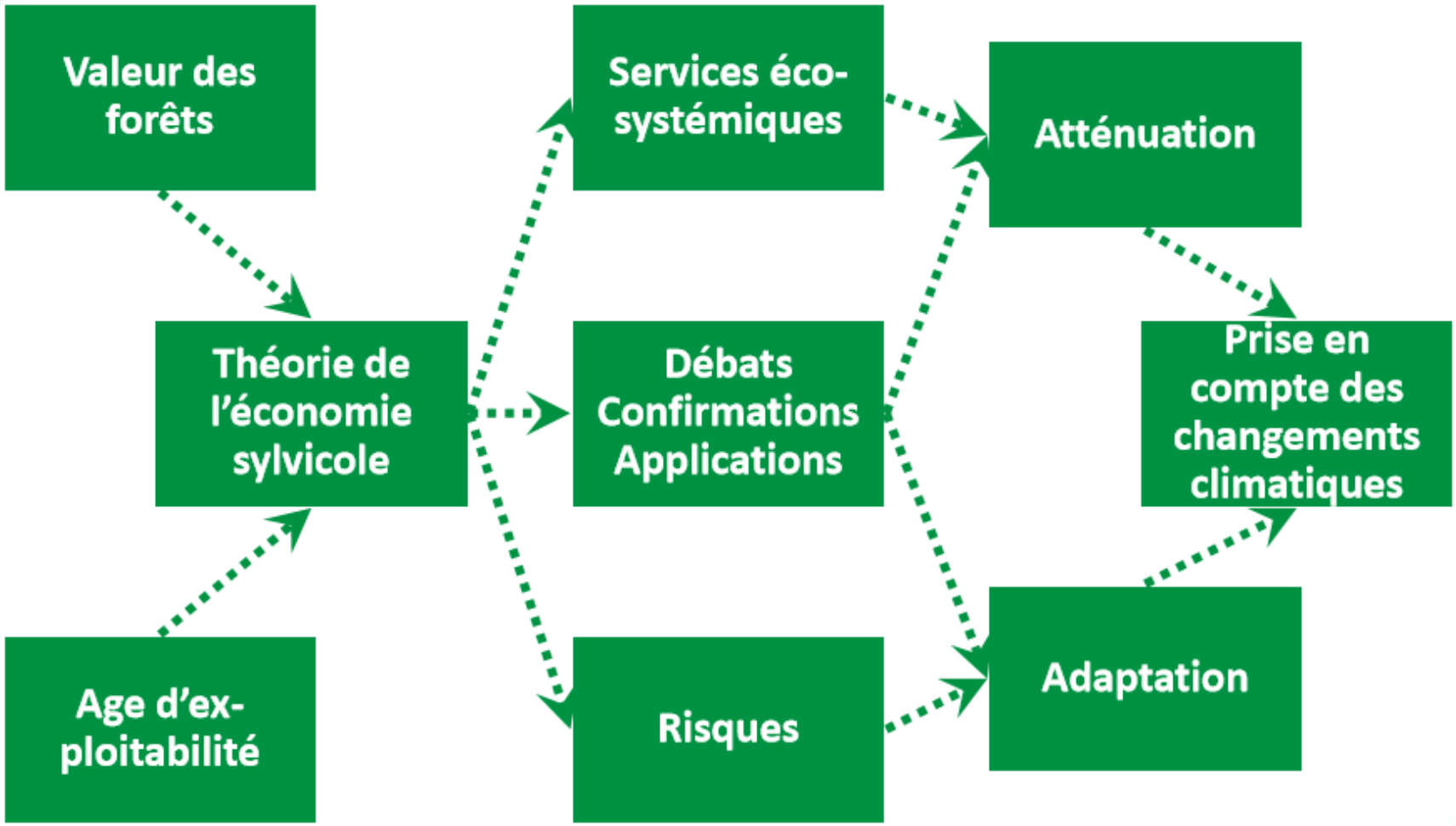
- On peut analyser l'évolution de l'âge optimal selon les scénarios, les scénarios présents, la plage de valeurs positives



A QUEL ÂGE RÉCOLTER UN ARBRE ?

CONCLUSION

POUR CONCLURE



ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

MERCI POUR VOTRE ATTTENTION