

Outils de Calcul Économique, Risques & Incertitude

Master EDDEE

Antoine Leblois

Laboratoire d'Économie Forestière

UMR 356 (AgroParisTech - INRA)

antoine.leblois@inra.fr
antoine.leblois.toile-libre.org

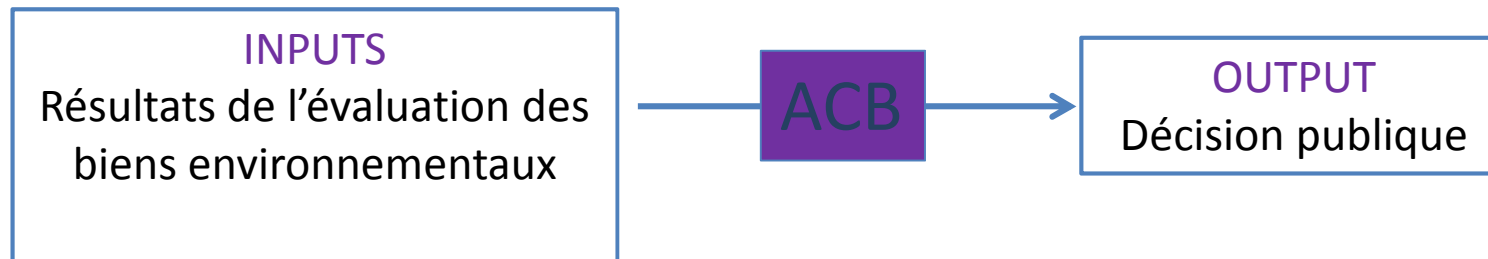
Structure générale du cours

Outils de Calcul Économique & risque

1. **Calcul économique : introduction à l'analyse cout / bénéfice**
2. Le calcul économique en situation de risque
3. Critères standards et approche critique issue de la théorie de la décision
4. Le calcul économique en situation d'incertitude
5. Décisions séquentielles & applications à la forêt: 2 exemples

L'analyse coûts-bénéfices (ACB)

- ACB ou analyse « coûts-avantages » : méthode la plus (simple) utilisée pour fonder/justifier économiquement une décision
- Outil à la base de l'évaluation de projets, calcul économique publique
- Prise en compte de l'évaluation dans la décision publique



- Structure d'une ACB:
 1. *Identification des impacts significatifs* : quantité, qualité, coûts d'opportunités, bénéfices, transferts
 2. *Quantification physique des impacts* : y compris date d'apparition
 3. *Evaluation monétaire* correction éventuelle des prix de marché, biens non-marchands, prix implicites, prix futurs, prix relatifs
 4. *Actualisation des flux de bénéfices et de coûts*
 5. *Calcul de la Valeur Actuelle Nette (VAN)*
 6. *Analyse de sensibilité*

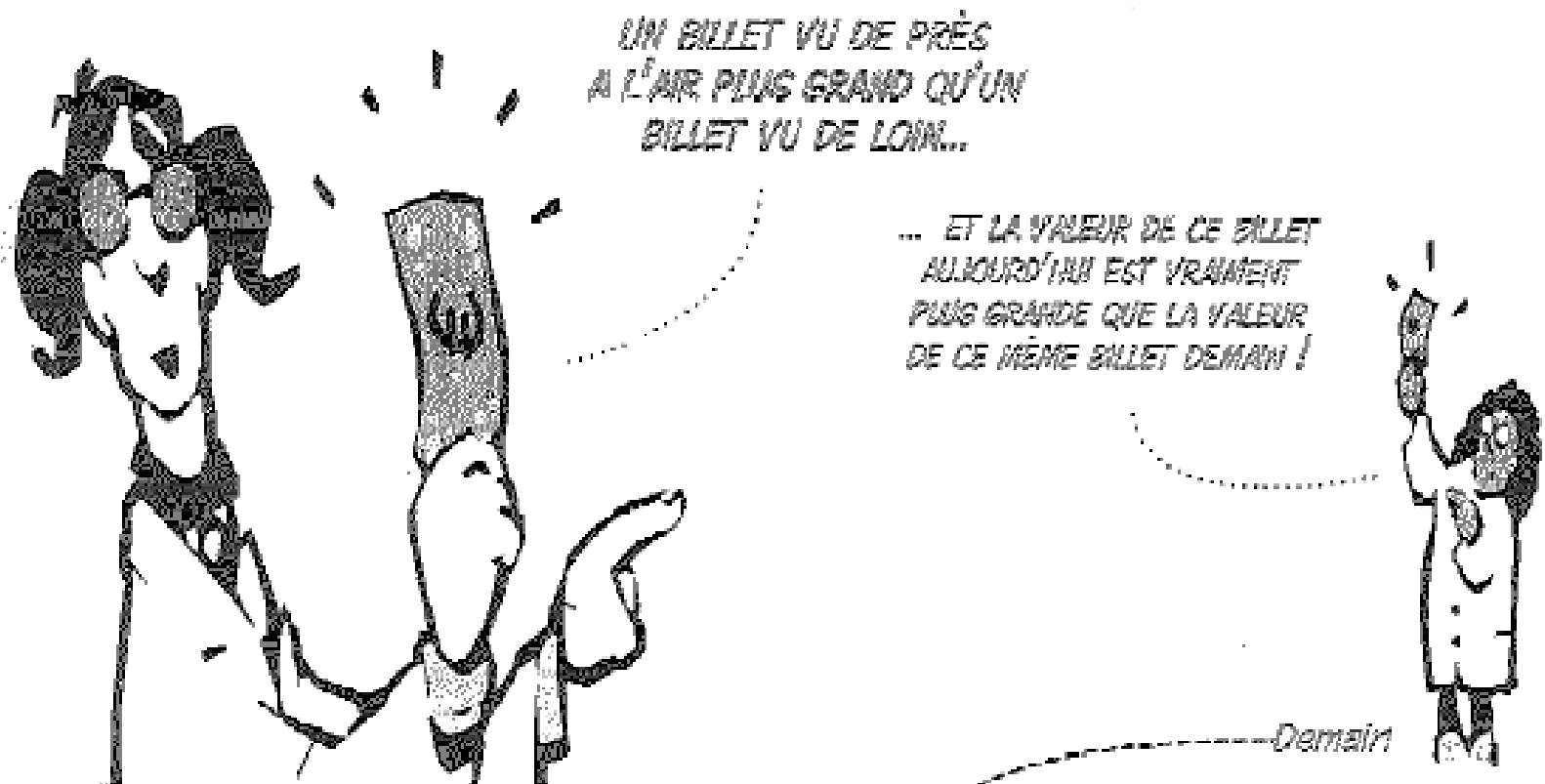
L'analyse coûts-bénéfices (ACB)

Principe de l'ACB:

- Une **décision est justifiée** si la somme des bénéfices qu'elle procure est supérieure à la somme des coûts qu'elle engendre
 - En résumé: si $\sum_{t=0}^T B_t - C_t - I \geq 0$, alors la décision est **collectivement souhaitable**
 - Cela implique la **capacité d'identifier l'ensemble** (du moins une grande partie) **des bénéfices et coûts générés par cette décision**
 - **Exemple de la mise en place d'une taxe sur le gasoil:**
 - Bénéfices environnementaux
 - Recette fiscale
 - Retombées positives pour voitures essences et électriques
 - Mais retombées négatives sur fabricants automobiles, transporteurs, etc.
- Difficulté d'être exhaustif

Préférez-vous obtenir 100€ aujourd'hui ou 100€ dans 1 an?

LE FOND DU PROBLÈME C'EST QU'AVOIR DE L'ARGENT AUJOURD'HUI EST PLUS APPRÉCIÉ QU'EN AVOIR DEMAIN.



**LA VALEUR ACTUELLE EST LA VALEUR AUJOURD'HUI
D'UN OU DE PLUSIEURS VERSEMENTS FUTURS.**



CELA NOUS PERMET
DE CONVERTIR L'ARGENT
DE DEMAIN EN ARGENT
D'AUJOURD'HUI.

VOUS POUVEZ TRANSFORMER UN VERSEMENT UNIQUE DEMAIN EN ARGENT D'AUJOURD'HUI EN UTILISANT...

**LA FORMULE POUR LA VALEUR
ACTUELLE D'UN MONTANT
FORFAITAIRE FUTUR :**

VA est
la valeur
actuelle

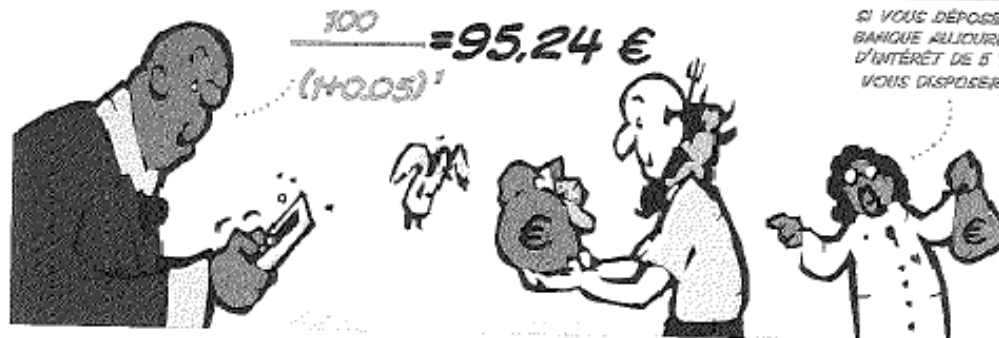
$$VA = \frac{x}{(1+r)^n}$$

x est le montant à
recevoir dans le futur
(au bout de n années)

r est le taux d'intérêt
(r = 0,05
si le taux est de 5 %)

Si vous aimez les maths, vous trouverez tous les détails (en anglais) sur www.sandlupeconomics.com.
Si vous n'aimez pas les maths, nous vous promettons que ce chapitre ne sera pas plus dur que cela !

PAR EXEMPLE, LA VALEUR ACTUELLE POUR DISPOSER DE 100 € DANS UN AN SI LE TAUX D'INTÉRÊT EST DE 5 % :



$$\frac{100}{(1+0.05)^1} = 95,24 \text{ €}$$

SI VOUS DÉPOSEZ 95,24 € À LA
BANQUE AUJOURD'HUI À UN TAUX
D'INTÉRÊT DE 5 %, DANS UN AN
VOUS DISPOSEREZ DE 100 € !

ET LA VALEUR ACTUELLE POUR DISPOSER DE 100 € DANS DEUX ANS SI LE TAUX D'INTÉRÊT EST DE 5 % :

L'actualisation en économie

On peut comprendre/justifier de 2 manières l'existence de taux **d'actualisation / d'intérêt / d'escompte** = *discount rate* (NB: notion inventée par un forestier: Faustmann):

- Le temps c'est de l'argent / l'argent placé (investi) rapporte (taux d'intérêt) → **coût d'opportunité** de la détention de liquidités
- **Préférence** (individuelles) pour le **présent** (je préfère consommer aujourd'hui que demain)

→ Il faut donc actualiser (capitaliser) les flux futur (passés)

$$VA(F) = E(F) \cdot (1 + t)^{-x}$$

- **Rôle majeur ds décisions d'investissements.** *Par extension: Actuariat = domaine de la finance & assurance, théorie actuarielles pour gestion actifs ou conseil d'investissements*
- NB: la justification (philosophique) à très long terme est plus complexe : pourquoi les génération futures vaudraient plus que les suivantes?
(conflit entre effet richesse: « *les générations futures auront de meilleures conditions de vie* », et l'effet précaution: « *incertitude sur la teneur de la croissance future* », C. Gollier).
- Il tend donc vers zéro à très long terme pour ≠ raisons environnementales et éthiques (Guenerie, 2004, Weitzman, 1998, Rawls, 1971, Ramsey, 1928).

Tx d'actualisation ds l'analyse coûts-bénéfices (ACB)

L'analyse coûts-bénéfices et le temps:

- Un paramètre important de toute analyse coûts-bénéfices est le **taux d'actualisation r**
- Le taux d'actualisation est «*le coût d'opportunité du capital investi c'est à dire le (meilleur) rendement certain qu'il serait possible d'obtenir en investissant ailleurs le même capital*».
- Le taux d'actualisation reflète la **préférence pour le présent** des agents

- Le choix du taux d'actualisation peut être influencé par plusieurs facteurs :
 - taux du marché (marchés financiers),
 - type de projet,
 - risque du projet, etc.

- Le choix du taux d'actualisation n'est pas anodin! Il influence fortement le résultat de l'ACB

- Ordres de grandeur: taux d'actualisation pour projets publics, 3 à 10% (4% en France dans le secteur public, depuis 2005)

L'analyse coûts-bénéfices (ACB)

Le critère de la **VAN** (Valeur Actualisée Nette):

- «*La valeur actualisée des flux monétaires prévus d'un investissement (projet) de laquelle on déduit le montant de cet investissement*»

- $$\mathbf{VAN} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - I$$

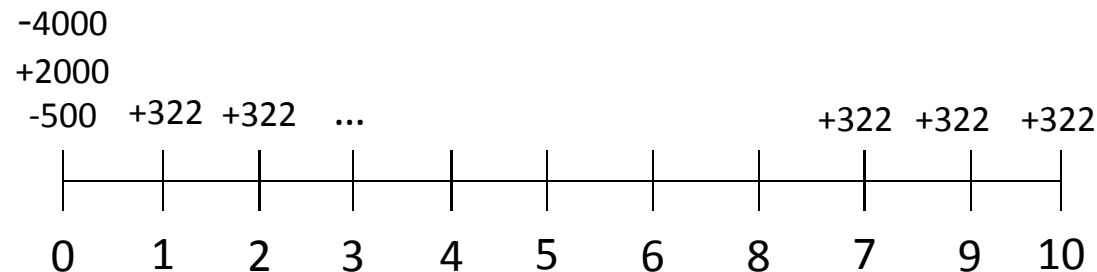
- B_t/C_t : bénéfices/Coûts bruts à la période t

- Rappel : si $VAN \geq 0$ alors la décision est collectivement souhaitable

- Possibilité de **comparer les VAN pour des projets de durées comparables uniquement!**

L'analyse coûts-bénéfices (ACB)

- Exemple: Du fioul au bois...
 - Transition d'une chaudière au fioul à une chaudière au bois :
 - Prix chaudière bois : 4000€, 2000€ réduction d'impôt, 500€ installation (T_0)
 - 150€/an: surcoût lié à entretien chaudière bois
 - Consommation annuelle fioul: 1500 l à 0,65€/l
 - Consommation annuelle bois: 12,6 stères à 40€/stères
- Calcul de la VAN



- $VAN_{3\%} = -2500 + \frac{322}{1,03} + \frac{322}{1,03^2} + \dots$
- $VAN_{5\%} = \dots$

L'analyse coûts-bénéfices (ACB)

- **Autres critères de décision :**
 - **TRI (taux de rentabilité interne) :**
 - Il existe un taux d'actualisation pour lequel la VAN est nulle, ce taux est le TRI du projet
 - C'est le taux de rentabilité de l'investissement
 - Si $TRI < r$ (taux d'intérêt des marchés financiers) alors la $VAN < 0$ et il ne faut pas investir
 - **Indice de profitabilité i :**
 - $i = \frac{VAN}{\text{investissement initial}}$
 - Temps de retour sur investissement
 - Etc...

Structure générale du cours

Risques & Outils de Calcul Économique

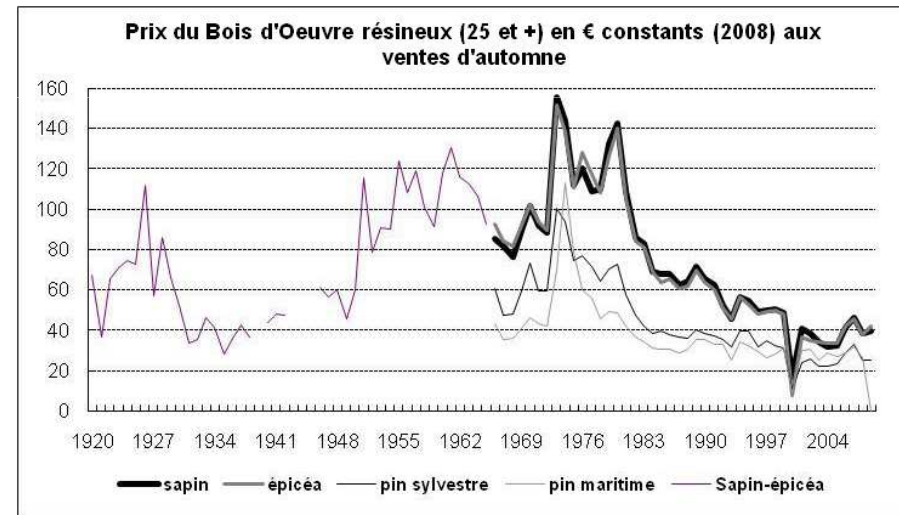
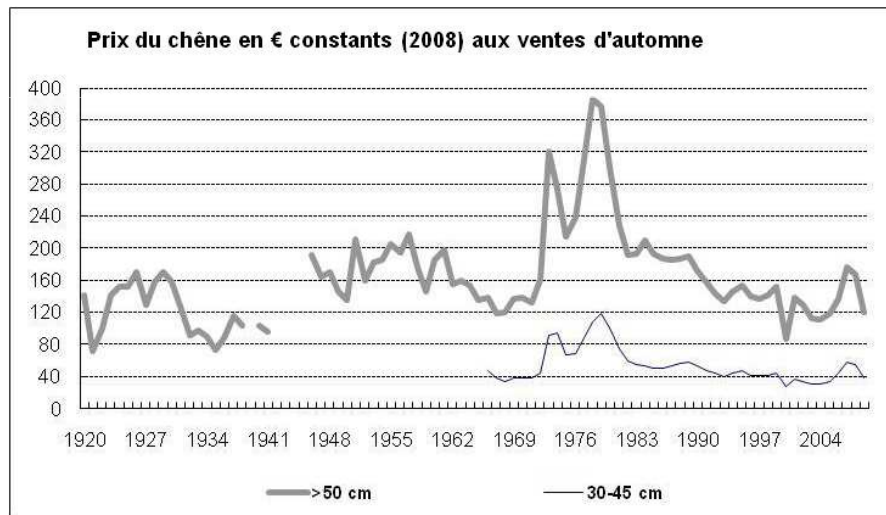
1. Calcul éco: intro à l'analyse cout bénéfice
2. **Le calcul économique en situation de risque**
3. Critères de décisions: approche critique issue de la théorie de la décision
4. Le calcul économique en situation d'incertitude
5. Décisions séquentielles & application à la forêt: 2 exemples

INTRODUCTION du risque et de l'incertitude

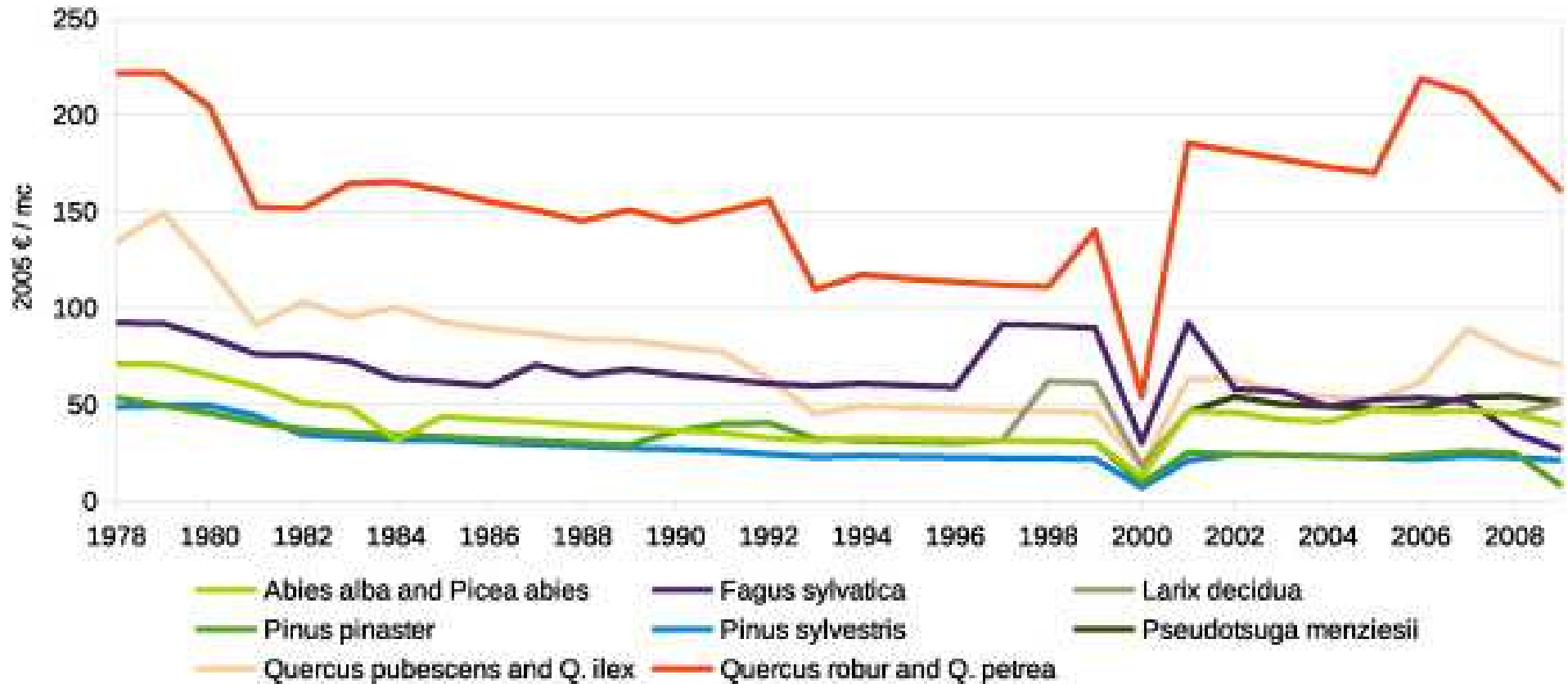
- En pratique, les projets et des politiques que le calcul économique est susceptible d'évaluer ← contextes de **forts risques & incertitudes**.
- Exemples, incertitudes sur:
 - les **prix** ou sur les **quantités**,
 - les variables **macroéconomiques** (croissance, taux de chômage, etc.), sur le contexte **politique** et **institutionnel**,
 - l'état de **l'environnement** (météo/climat), sur l'état des **technologies** et des connaissances, etc.
- Il n'existe pas une méthode unique pour prendre en compte l'incertitude.

Exemples dans le cas de la forêt : Incertitude sur les prix

- Indicateur des variations de l'offre et de la demande de bois, les prix évoluent de manière importante sur longue période



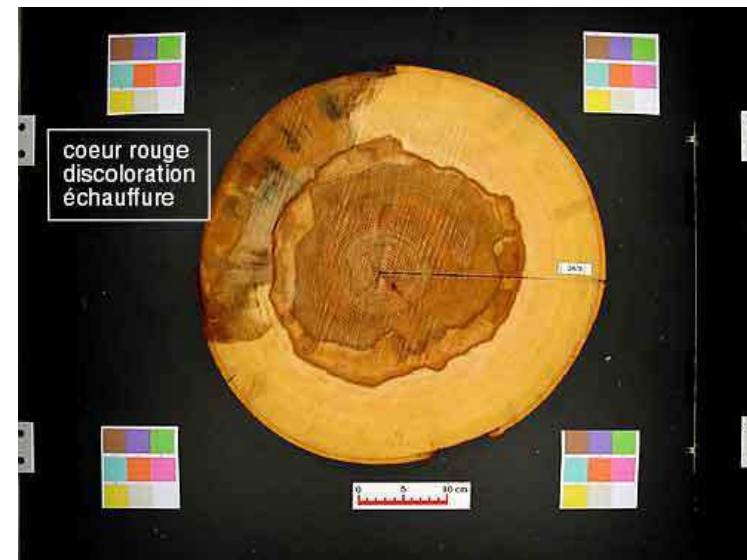
- Il en est de même sur des périodes plus courtes, avec des divergences selon les essences



Exemples dans le cas de la forêt : Incertitude sur la qualité

- Le prix du bois dépend non seulement du diamètre et de l'essence, mais aussi de la qualité du bois, qui est déterminé par ses propriétés mécaniques et esthétiques.
- Or la qualité d'un peuplement n'est pas prévisible, ni même, parfois, observable avant la coupe de l'arbre

– Exemple : cœur rouge du hêtre.



Définition – univers certain et incertain

- Lorsque les actions d'un décideur ont chacune une seule conséquence possible, le décideur prend sa décision en **univers certain**
- Au moment de la décision, au moins une des actions possibles a plus d'une conséquence possible, le décideur prend sa décision (Knight, 1921) :
 - en **univers risqué** si les probabilité d'occurrence de ces évènements sont connus
 - en **univers incertain** si les probabilité d'occurrence de ces évènements ne sont pas connus
- En pratique, la plupart des décisions sont prises en univers **incertain**

État du monde

- On appelle **état du monde** l'événement qui détermine la conséquence qu'a une action en univers certain
 - **Exemple n°1 : la promenade**
 - **Action/décision** : je sors me promener sous un ciel couvert
 - **État du monde 1** : il se met à pleuvoir
Conséquence : ma promenade doit s'interrompre
 - **État du monde 2** : il ne pleut finalement pas
Conséquence : je profite de l'extérieur
-

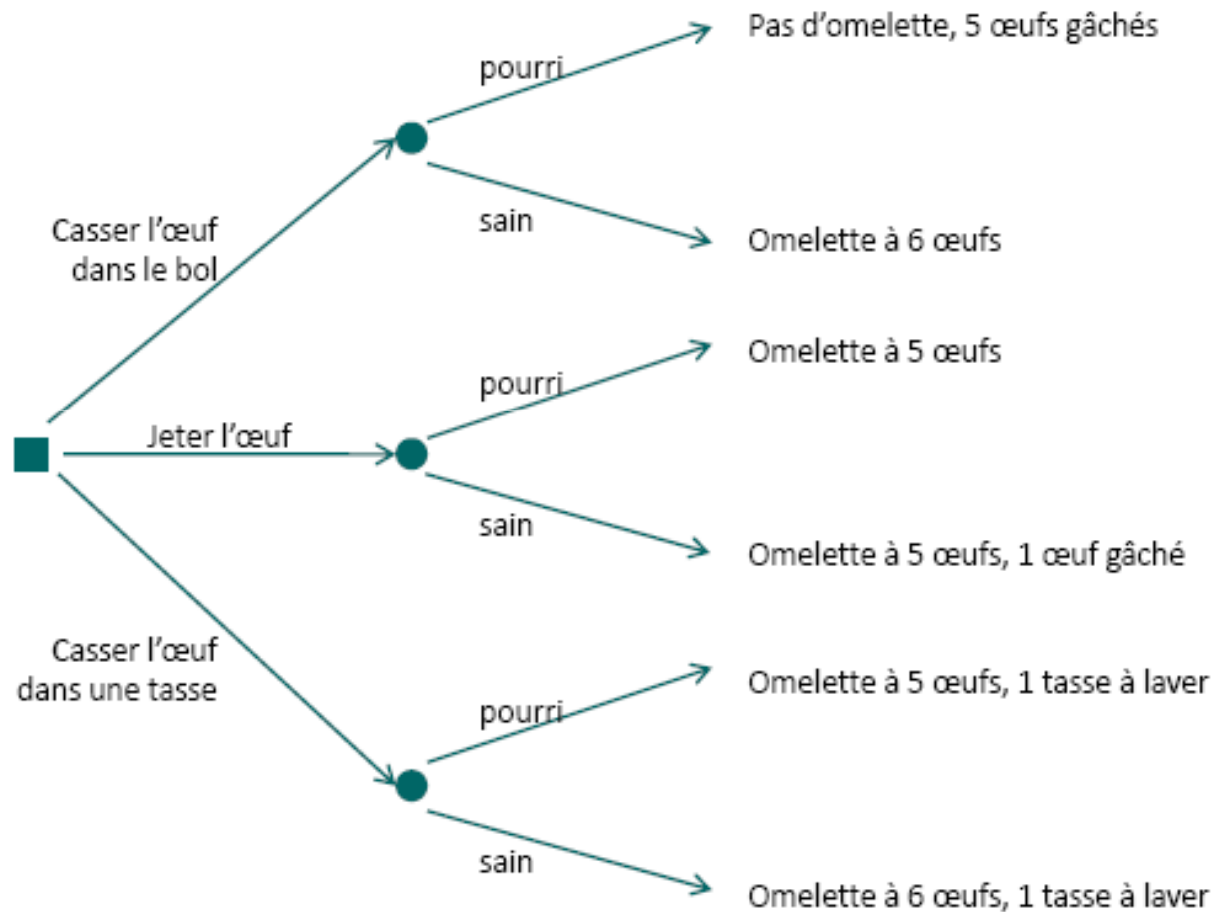
Risque et incertitude

- **Exemple n°2 : l'omelette**
- Vous êtes en train de préparer une omelette. Vous avez déjà cassé 5 œufs dans un bol, vous tenez le sixième en main et celui-ci vous semble suspect : est-il pourri ou sain ?
- Vous avez trois actions à votre disposition :
 1. casser l'œuf
 2. Le jeter directement à la poubelle
 3. Sortir une tasse pour y casser l'œuf et examiner son état de fraîcheur avant d'éventuellement l'incorporer à l'omelette

Matrice de décision

Actions possibles	Etats du monde	
	Œuf sain	Œuf pourri
Casser l'œuf	Omelette à 6 œufs	Pas d'omelette, 5 œufs gâchés
Le casser dans une tasse	Omelette à 6 œufs, une tasse à laver	Omelette à 5 œufs, une tasse à laver
Le jeter	Omelette à 5 œufs, un œuf gâché	Omelette à 5 œufs

Arbre de décision



Risque vs incertitude

- En fonction du degré d'information dont on dispose, on distingue 3 situations :
 - **Situation de risque :**
on connaît les états du monde et les probabilités associés
 - **Situation d'incertitude :**
on connaît les états du monde, mais pas les probabilités associés
 - **Situation d'incertitude radicale :**
on ne connaît ni les états du monde, ni les probabilités associés

Risque et incertitude

- **Soit un projet dont les coûts et les bénéfices sont incertains**
- On est un **univers risqué** si :
 - On est capable de dresser la liste de **l'ensemble des états du monde** possibles
 - On dispose, ou on est capable d'estimer, **la probabilité d'occurrence** de chacun d'eux

Ces deux conditions sont finalement assez rarement satisfaites, mais la modélisation permet de d'y rapporter des cas un peu plus complexes.

Calcul économique classique

- **Étapes du calcul économique (& décision financière):**
 1. Formuler la question et définir les projets alternatifs à évaluer
 2. Évaluer les coûts et les bénéfices de chaque projet
 3. **Actualiser** (prise en compte du temps : taux d'intérêt / préférence pour le présent)
 4. Calculer et comparer la VAN (Valeur Actuelle Nette, ou autre critère retenu, tel que le TRI) de chaque projet

Calcul économique en situation de risque

- Étapes du calcul économique **en univers risqué**:
 1. Formuler la question et définir les projets alternatifs à évaluer **et identifier les sources de risque et (potentiellement) chiffrer leur probabilité d'occurrence**
 2. Évaluer les coûts et les bénéfices de chaque projet **dans tous les états du monde possibles**
 3. Actualiser
 4. Calculer et comparer la VAN **(ou les utilités) espérée** de chaque projet

Retour sur l'hypothèse 1 : Tous les états du monde sont connus

- En examinant un projet, on peut en général déterminer les **paramètres** qui influencent le plus de son **résultat** – et déterminer les différentes valeurs possibles de chacun de ces paramètres
 - Par exemple, la quantité instantanée d'électricité produite par une **éolienne** dépend de la **vitesse** du **vent**. La quantité totale d'électricité produite par l'éolienne en une année dépend donc en première approximation de la **vitesse moyenne** du vent dans la zone considérée
 - On peut ensuite estimer, par exemple au moyen d'**observations** passées, dans quelle plage de valeurs cette vitesse est susceptible d'évoluer dans les années futures.
- Il reste que le calcul économique peut porter sur des projets suffisamment complexes pour qu'il ne soit pas possible de **cerner précisément les états du monde possible**
 - On est alors en situation d'**incertitude radicale**

Retour sur l'hypothèse 2 : Les probabilités d'occurrence des états du monde sont connues

- Dans un petit nombre de cas, les probabilités peuvent être ***obtenues a priori*** via un calcul, sans passer par l'expérience (théoriques : probabilités mathématiques)
 - Exemple : évaluation économique de la décision de jouer, ou non, au loto
- Sinon, les probabilités peuvent souvent être inférées à partir des ***résultats d'expériences*** (empiriques : probabilités statistiques).
 - Exemple : utilisation de la fréquence des incendies passée pour évaluer les risques d'incendie futur sur une propriété forestière

Étape 2. La valeur, voire la liste des coûts et bénéfiques, dépend de l'état du monde

- **L'évaluation monétaire d'un même coût ou bénéfice peut différer selon les états du monde**
 - Par exemple, les revenus d'un projet vont différer selon qu'une demande élevée ou faible se réalise
- **Plus largement, la liste des coûts et des bénéfiques peut différer selon les états du monde**
 - Par exemple, une perte importante peut obliger une entreprise à se refinancer, entraînant le versement d'intérêts – un coût qui pourrait ne pas exister dans les autres états du monde

Étape 3. Le taux d'actualisation peut parfois dépendre de l'état du monde

- Si l'environnement macroéconomique du projet fait partie des états du monde possible, alors il peut être nécessaire d'utiliser des **taux d'actualisation** (d'intérêt/préférence pour le présent) **différents** selon l'état du monde considéré.
- Ce type de considération intervient principalement en **calcul économique public** (évaluation de projets de développement, évaluation de politiques publiques à long terme), **plus** le taux est **fort**, **moins** un investissement sur le long terme sera **rentable**, et **moins** ses risques de **pertes** seront considérées.
- Le **taux d'actualisation** est par ailleurs un **paramètre majeur** de l'évaluation des valeurs **environnementales** (souvent sur des échelles de temps long), plus il est **faible** plus les générations futures ou les échéances longues seront **valorisées** relativement aux actuelles.

Étape 4. Choix du critère de décision en présence de risque

- Chaque projet est maintenant caractérisé par des **flux de coûts et de bénéfices actualisés** et une Valeur Actualisée Nette (VAN), conditionnels à la réalisation d'un état du monde donné
 - Cette information n'est pas suffisamment synthétique pour permettre un classement univoque des projets entre eux
 - La question est de savoir comment synthétiser l'information disponible sur les états du monde et leur probabilités
 - Deux possibilités (+) :
 - VAN espérée
 - Utilité espérée
-
- Théories + complexes issu de l'éco expérimentale et étude comportementale, valeurs de 'prospects' (valeur prospective d'une situation), mais pb généralisation, d'additivité...

Structure générale du cours

Risques & Outils de Calcul Économique

1. Analyse cout bénéfice
2. Le calcul économique en situation de risque
3. **Critères standards & approche critique issue de la théorie de la décision**
4. Le calcul économique en situation d'incertitude
5. Décisions séquentielles & application à la forêt: deux exemples

-
- Historiquement, le premier critère est celui de l'espérance mathématique (EM, ou **critère de Pascal**) des gains et pertes
 - Toutefois, comme les projets, infrastructures, et autres types d'investissements étudiés en économie existent sous la forme de **flux de gains et de pertes distribués dans le temps**, la notion **d'actualisation** a été nécessaire pour comparer des projets :
 - ayant différentes structures de flux (gains précèdent pertes et inversement, ex: infrastructures vs. industrie extractive)
 - d'horizon différents.

Quelques exemples

- Construction d'**infrastructures** (ex: barrage; oléoduc, investissement compensé par des gains futurs, avec risques de dégâts environnementaux), quel dimensionnement au regard de l'évolution des précipitations (gestion de l'incertitude) :

pertes puis gains

- Plantation : choix entre différents types d'essence pour un planificateur public voulant stocker du carbone (mais aussi valoriser le revenu économique)

gains puis pertes

- Extraction d'une ressource rare causant dégâts

Ds tous le cas, **complexité**: Nb infini de critères de décision et de source d'incertitude prises en compte

1^{er} critère – la VAN espérée

- **La Valeur Actualisée Nette espérée : E(VAN)**
- La VAN espérée est, pour chaque projet considéré, l'espérance de la différence entre (i) la somme des coûts actualisés et (ii) la somme des bénéfices actualisés, soit :

$$E(VAN) = E\left[\sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i}\right] = \sum_{j=1}^m p_j \left[\sum_{i=0}^n \frac{B_{ij} - C_{ij}}{(1+r)^i}\right] = \sum_{j=1}^m p_j \cdot VAN_j$$

- Avec :
 - i : index pour le temps
 - j : index pour les états du monde
 - P_j : probabilité de l'état du monde j
 - B_{ij} : bénéfice de l'année i dans l'état du monde j
 - C_{ij} : coût de l'année i dans l'état du monde j
 - VAN_j : VAN du projet dans l'état du monde j

1^{er} critère – la VAN espérée (bis)

- Ce critère compare alors les projets en fonction de **l'espérance du gain net**,

c'est-à-dire en fonction de ce que l'on pourrait espérer de gagner (en moyenne) si l'on répétait le projet un très grand nombre de fois.

→ *rentable si $VAN > 0$*

→ *non rentable si $VAN < 0$*

→ *On peut aussi alternativement calculer le taux d'actualisation qui annule la VAN (soit le taux de rentabilité interne, TRI, i tq $VAN=0$) et le comparer au coût du capital...*

Exemple de l'usine

- On examine le projet de construction d'une usine produisant un véhicule par an. Le prix de vente de ce véhicule est de 200 € aujourd'hui (année 0), et pourra être vendu soit 100 € soit 300 € à partir de l'année 1.
 - Le coût de l'investissement est de 1600 €. L'usine est immédiatement opérationnelle dès que sa construction est décidée et pourra produire pendant 20 ans.
 - Le projet «investir maintenant est incertain». On suppose qu'on est en situation de risque, et que la probabilité que le prix soit de 100 € (respectivement 300 €) à partir de l'année suivant l'investissement est de 50%
 - Le taux d'actualisation est de 10%
 - L'usine sera-t-elle rentable selon ces hypothèses ?
-

Exemple de l'usine

- La VAN espérée du projet est donc

$$E(VAN) = \sum_{j=1}^m p_j \left[\sum_{i=0}^n \frac{B_{ij} - C_{ij}}{(1+r)^i} \right]$$
$$= \underbrace{-1600 + 200}_{\text{année zéro}} + \underbrace{0.5 \sum_{i=1}^{19} \frac{300}{1,1^i}}_{\text{état monde 1 année 1 à 19}} + \underbrace{0.5 \sum_{i=1}^{19} \frac{100}{1,1^i}}_{\text{état monde 2 année 1 à 19}} = 273$$

Exemple

- On vous propose d'acquérir des **parts dans un groupement forestier** pour un montant total de 30.000 €. On vous garantit que ces parts pourront être revendus pour la même somme au bout de 9 ans.
- La souscription de ces parts vous garantit un revenu annuel à hauteur de 900 €, dès la première année.
- Vous savez qu'en investissant ailleurs, vous pourriez réaliser un taux d'intérêt de 5%.
- Mais contrairement à tout autre possibilité d'investissement disponible, l'acquisition des parts de groupement forestier vous permet de bénéficier d'une réduction d'impôt à hauteur de 1200 € par an, sous condition que vous gardez vos parts pendant au moins 8 ans.
- Toutefois, vous avez entendu que cet avantage fiscal risque d'être abrogé si le parti d'opposition gagne les prochaines élections qui auront lieu dans 2 ans. Vous évaluez la probabilité que ce double changement arrive à 40%.
- Vous souhaitez placer votre argent sur 9 ans, et ce sans modifier l'investissement durant cette période.

Supposons que vous soyez neutre vis-à-vis du risque. Est-ce que vous devriez investir ou non ?

Exemple

-
- Investissement initial : 30.000 €
 - Somme des bénéfices annuels actualisés : 7.297,04€
 - Bénéfice actualisé à la revente des parts : 19.338,27 €

– Sans avantage fiscal, l'investissement n'est pas rentable :

$$VAN = -3.364,69 \text{ €}$$

- Somme des avantages fiscaux actualisés : 9.729,39 €
- Avantage fiscal espéré : 6.774,77 €

$$\begin{aligned} E(VAN) &= -30.000 + \frac{30.000}{1,05^9} + \sum_{i=0}^9 \frac{900}{1,05^i} + \sum_{i=0}^1 \frac{1200}{1,05^i} + 0,6 \cdot \sum_{i=2}^9 \frac{1200}{1,05^i} \\ &= 3.410,18 \end{aligned}$$

Limitations l'espérance de gain: l'aversion spécifique pour les pertes

- **On évalue le jeu suivant : le casino jette deux dés**
 - Sur un double 6, je gagne 1 million d'euros
 - Sur tout autre résultat, je perd 10 000 euros
- **L'espérance de gain :**

$$E(B) = (1/36) \cdot 1000000 + (35/36) \cdot (-10000) = 18055$$

- **Vu comme ça, on aurait donc tout intérêt à y jouer !**

Mais en pratique, un individu ne le fera pas, car il n'a pas nécessairement les poches «suffisamment pleines» pour payer dans le cas où il perdrait
En cas d'échec, payer la pénalité aurait un coût >> 10.000 €
(intérêts en cas d'emprunt, frais de justice si défaut de paiement, etc.)

➔ **Il est important de bien évaluer les coûts et bénéfices dans les différents états du monde !**

Limites de la valeur actualisée :

La valeur du risque

Paradox de saint pétersbourg (Bernoulli, premier à évoquer une fonction d'utilité)

Un billet de lotterie vaut moins que sa valeur espérée !

(revenu non certain vaut moins que son équivalent certain :
→ différence entre les deux = **prime de risque**).

→ Fonction d'utilité

à la **VNM** : John von Neumann et Oskar Morgenstern en 1944,

dans le cas d'un environnement **risqué**,

& Leonard Savage (The Foundations of Statistics, 1954), dans le cas d'un environnement **incertain**

Fonction d'utilité concave → prime de risque positive → agent averse au risque

Limitations de la VAN espérée (bis)

2^{ème} exemple : soit le choix entre deux projets :

- P1 : paie 200 € avec une probabilité 1/2
et 0 € avec une probabilité 1/2
- P2: paie 100 € avec une probabilité 1

• La VAN espérée de ces deux projets est identique :

$$E(VAN_{P1}) = E(VAN_{P2}) = 100 \text{ €}$$

• Cependant, on observe que les individus ont en général des préférences marquées entre ces deux projets, certains préfèrent P1, d'autres P2

Limitations de la VAN espérée (ter)

- En pratique, les **agents** économiques (ménages, entreprises) prennent des **décisions différentes** selon la manière dont ils apprécient le risque. attitudes «prudentes» (risquophobes) vs. «joueurs» (risquophiles), attitudes aussi influencées par le contexte
 - Idem différences entre un livret A (placement sûr) et un placement en bourse dont l'espérance de rendement est supérieur au livret A
- La **fonction d'utilité**, qui permet de **paramétrer** cette **relative aversion pour le risque**, peut prendre en compte différents comportements face au risque.

L'attitude des individus envers le risque

- Revenons sur l'exemple de tout à l'heure :
 - P1 : paie 200 € avec une probabilité 1/2 et 0 € avec une probabilité 1/2
 - P2: paie 100 € avec une probabilité 1
- Un individu qui préfère P2 sur P1 a une aversion pour le risque > 0 , (il a de l'aversion pour le risque)
- Un individu qui préfère P1 sur P2 est appelé risquophile (aversion < 0), (il a un goût pour le risque)
- Un individu qui est indifférent entre P1 et P2 est **neutre vis-à-vis du risque**

Limitations de la VAN espérée (quater)

- **La VAN espérée** est un critère implicitement **neutre vis-à-vis du risque**
 - Ce raisonnement est suffisant dans de nombreux cas, mais si on peut avoir des informations sur **l'attitude** de l'investisseur (de l'institution, de l'individu ou de la population étudiée, ou encore du bailleur d'un projet) face au risque
- ➔ il est donc préférable d'utiliser **l'utilité espérée** comme critère de choix à la place de la VAN espérée

2-/ critère de Markowitz : l'espérance-variance (E-V)

- Critère Stochastique, utilisée majoritairement en finance.
 - Espérance-variance:
 $F(x) = E(x) - v(x)$
 - Différentes fonctions dérivées de cette dernière (espérance-écart-type, ou (fonctions dans lesquelles seules les variations des pertes sont considérées, i.e.) downside risk only : espérance-semi-variance, espérance semi-écart-type)...
 - Toutefois nous nous concentrerons sur une forme fonctionnelle bcp plus générale: la **fonction d'utilité**.
-

3^{ème} critère – l'utilité espérée

- En économie, on représente les préférences des individus au moyen de **fonctions dites d'utilité ou de bien être**
- Ces fonctions U traduisent les **choix des individus** entre plans de consommations
- Si l'individu préfère un plan A à un plan B, alors l'utilité associée au plan A sera supérieure à l'utilité associée au plan B (fonction croissance, conserve les ordres)
- Notez qu'une fonction d'utilité concave représente un agent ayant de l'aversion pour le risque alors qu'une fonction convexe représente un agent qui aime le risque.

2^{ème} critère – l'utilité espérée (2)

- Pour chaque projet considéré, on va alors calculer **l'espérance de l'utilité** associée aux coûts et aux bénéfices du projet, soit :

$$E(U) = E \left[\sum_{i=0}^n \frac{U(B_i - C_i)}{(1+r)^i} \right] = \sum_{j=1}^m p_j \cdot \left[\sum_{i=0}^n \frac{U(B_{ij} - C_{ij})}{(1+r)^i} \right]$$

- Travailler en espérance d'utilité comme critère de choix permet de générer de l'aversion ou de la préférence pour le risque

2^{ème} critère – l'utilité espérée (2)

- Revenons sur l'exemple de tout à l'heure :

- P1 : paie 200 € avec une probabilité 1/2 et 0 € avec une probabilité 1/2
- P2: paie 100 € avec une probabilité 1

- La VAN espérée de ces deux projets est identique :

$$E(VAN_{P1}) = E(VAN_{P2}) = 100 \text{ €}$$

- Mais en utilisant l'utilité espérée, on peut tenir compte des différences d'appréciation du risque entre individus, car en fonction de la forme de la fonction U choisie, les trois cas sont possibles :

$$\begin{array}{ccc} > & & > \\ E(U_{P2}) = E(U_{P1}) & \text{c-à-d} & U(100) = 0,5 U(0) + 0,5 U(200) \\ < & & < \end{array}$$

2^{ème} critère – l'utilité espérée (4)

- Par exemple :

- Pour $\mathbf{U = \ln(g+1)}$, où g représente le gain obtenu :

$$E(U_{P2}) > E(U_{P1}) \quad \ln(101) > 0,5 \cdot \ln(1) + 0,5 \cdot \ln(201)$$
$$4,62 > 2,65$$

- Pour $\mathbf{U=2 \cdot g}$

$$E(U_{P2}) = E(U_{P1}) \quad 2 \cdot 100 = 0,5 \cdot 2 \cdot 0 + 0,5 \cdot 2 \cdot 200$$
$$200 = 200$$

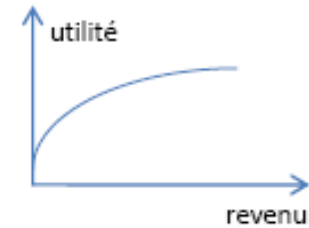
- Pour $\mathbf{U=g^2}$

$$E(U_{P2}) < E(U_{P1}) \quad 100^2 < 0,5 \cdot 0^2 + 0,5 \cdot 200^2$$
$$10.000 < 20.000$$

2^{ème} critère – l'utilité espérée (5)

- Plus généralement:

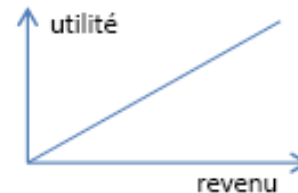
- Fonction d'utilité concave ($U'' < 0$) :
l'individu a de l'aversion au risque



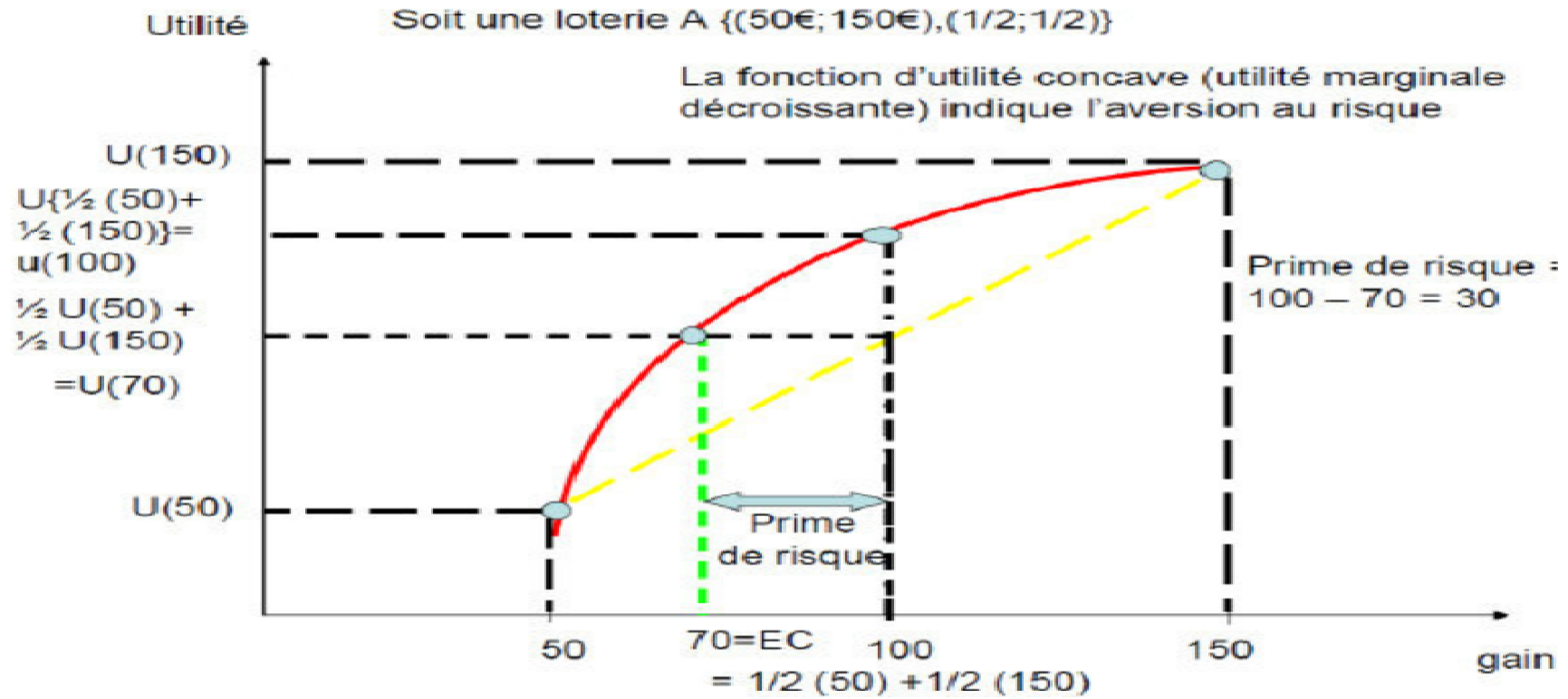
- Fonction d'utilité convexe ($U'' > 0$) :
l'individu a du goût pour le risque



- Fonction d'utilité linéaire ($U'' = 0$) :
l'individu est neutre vis-à-vis du risque



3e critère: Utilité espérée (6)



Mesures du risque

- Coefficients d'Arrow-Pratt (1960's):

- Coefficient d'aversion absolue au risque: $A(w) = -\frac{U''(w)}{U'(w)}$
- Coefficient d'aversion relative au risque: $R(w) = -w \frac{U''(w)}{U'(w)} = wA(w)$
→ unique variable: w , la richesse individuelle.

On peut aussi prendre la consommation au lieu de richesse:

- U''/U' et $c.-U''/U' = c. A(c)$

Exemples de fonctions d'utilité communément utilisées

- **CARA** (*constante absolute risk aversion*)

telles que $-U''/U'=1$

Typiquement fonction puissance : e^{-x}

- **CRRA** (*constante relative risk aversion*)

telles que $-U''/U'=c$ (constante)

Typiquement: $\log(x)$ ou $(x^{1-r}) / (1-r)$ ou exp : $e^{-r \cdot x}$

- mais aussi de nombreuses autres (**IARA, DARA...**
respectivement *increasing and decreasing relative risk aversion*)
-

Limites de l'utilité espérée

Le paradoxe d'Ellsberg

(Ambiguïté ou incertitude non radicale)

1. Le paradoxe d'Ellsberg (1961), élaboré au préalable par Keynes

Dans une urne, on place **90 boules, dont 30 sont rouges.**

Les boules restantes sont jaunes ou noires, leur distribution est inconnue.

Les personnes soumises au test doivent faire le choix de l'un des deux paris suivants :

Pari A : Qui tire une boule rouge gagne, les boules jaunes et noires étant perdantes.

Pari B : Qui tire une boule jaune gagne, les boules rouges et noires étant perdantes.

La plupart des gens font le choix du pari A.

Limites de l'utilité espérée

Le paradoxe d'Ellsberg (bis)

(Ambiguïté ou incertitude non radicale)

Et puis on change les paris de telle manière que dans chacun des cas, soit les boules rouges, soit les boules jaunes sont désormais perdantes :

Pari C : Qui tire une boule rouge ou noire gagne, les boules jaunes étant perdantes.

Pari D : Qui tire une boule jaune ou noire gagne, les boules rouges étant perdantes.

Dans ce cas, la plupart des gens font le choix du pari D.

Cela semble en contradiction avec la décision précédente de prendre le pari A, étant donné que la boule rouge devient alors perdante, la probabilité pour que le pari A soit juste est donc l'opposé de celle du pari D (d'où la mention de paradoxe).

Ellsberg explique ce résultat par le choix entre le risque et l'incertitude : dans la notion de risque, la probabilité est connue (Exemple: lancer de dés, roulette russe, etc.) mais pas dans l'incertitude.

Limites de l'utilité espérée (2) : Biais de présentation (*framing bias*, Kahneman & Tversky, 1986)

- 1ère présentation :

- Vaccin 1 : 2000 personnes seront sauvées
- Vaccin 2 : les 6000 personnes seront sauvées avec une probabilité de $1/3$; la probabilité qu'aucune ne soit sauvée est de $2/3$

- 2ème présentation :

- Vaccin 1' : 4000 personnes vont mourir
- Vaccin 2' : il y a une probabilité de $1/3$ que personne ne meurt; et une de $2/3$ que les 6000 personnes meurent

Résultats expérimentaux :

- Présentation 1 : 72% des individus choisissent le vaccin 1.
- Présentation 2 : 78% des individus choisissent le vaccin 2'.

Limites de l'utilité espérée (3) & fonction d'utilité à la VNM : Prospect Theory (Kahnman & Tversky)

1. Aversion aux pertes

- Sur un double 6, je gagne 1 million d'euros
- Sur tout autre résultat, je **perd** 10 000 euros

L'espérance de gain :

$$E(B) = (1/36) \cdot 1\,000\,000 + (35/36) \cdot (-10\,000) = 18\,055$$

L'utilité concave (puissance) :

$$U_p(B) = (1/36) \cdot (1\,000\,000)^{-2} + (35/36) \cdot (-10\,000)^{-2} = 0.0000000097$$

$$U_{p'}(B) = (1/36) \cdot (1\,000\,000)^{-1} + (35/36) \cdot (-10\,000)^{-2} = -0.0000972$$

Utilité(s) concave reflexive (log et puissance) :

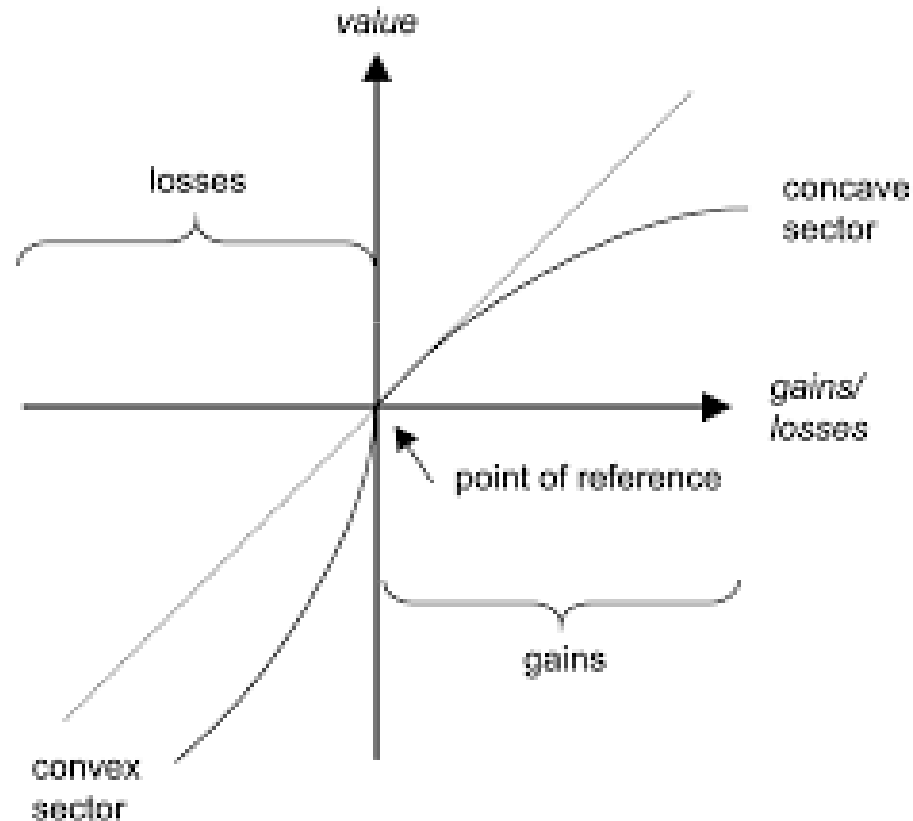
$$U_{lr}(B) = (1/36) \cdot \log(1\,000\,000) + (35/36) \cdot -\log(10\,000) = -8.5707$$

$$U_{pr}(B) = (1/36) \cdot (1\,000\,000)^{-.5} - (35/36) \cdot (10\,000)^{-.5} = -0.0097$$

Poches pas pleines: payer la pénalité aurait un coût nettement plus élevé que 10 000 € (intérêts en cas d'emprunt, frais de justice si défaut de paiement, etc.)

Limites de l'utilité espérée & fonction d'utilité à la VNM (3) : Prospect Theory (Kahnman & Tversky)

1. Aversion aux pertes : exemple d'une fonction d'utilité

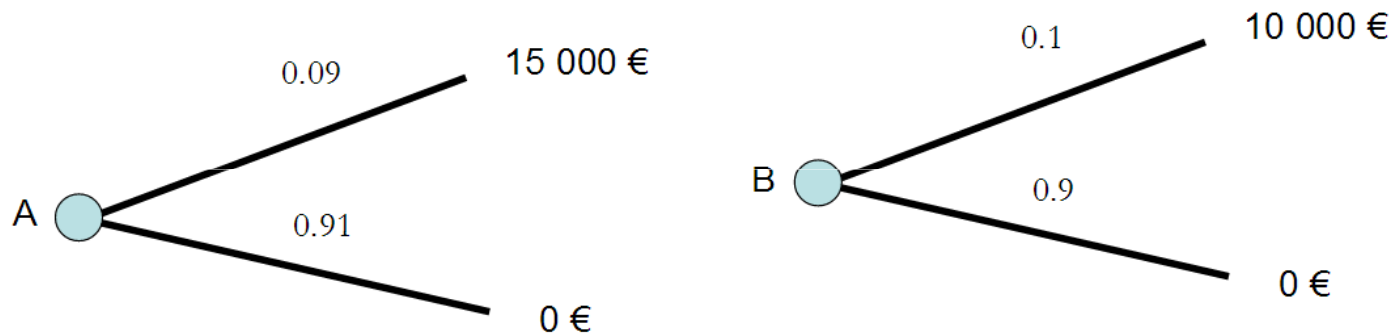


Limites de l'utilité espérée (4): Paradoxe d'Allais

2. Pondération des probabilités : le paradoxe d'Allais (Maurice Allais, 1957)

A : [10 000 € (100 %)]

B : [15 000 € (90 %) ; 0 € (10 %)]



A préféré à B en majorité !

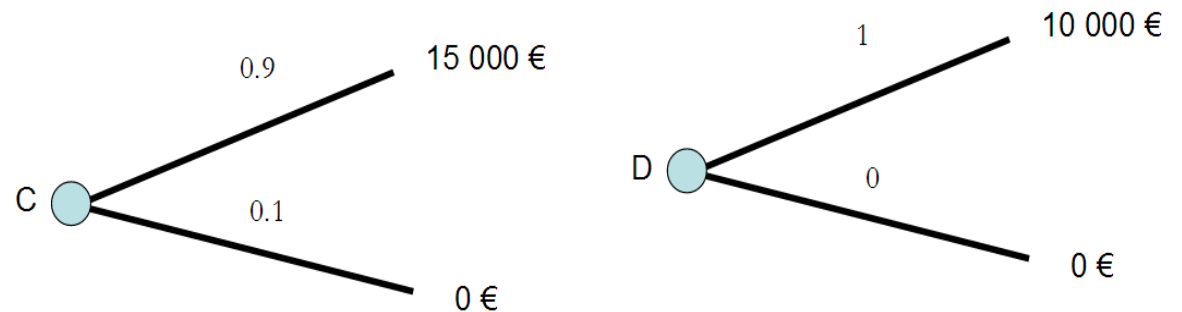
En règle générale, une majorité de personnes préfèrent la loterie A, qui procure un gain certain, même si l'espérance de la loterie B est supérieure : 1 350 € > 1000 €.

Limites de l'utilité espérée (4): Paradoxe d'Allais

2. Mais aussi :

C : [10 000 € (10 %) ; 0 € (90 %)]

D : [15 000 € (9 %) ; 0 € (91 %)]



D préféré à C en majorité !

En règle générale, les mêmes personnes qui préfèrent A à B préfèrent aussi la loterie D à la loterie C, parce que D procure un gain significativement plus important que C pour une probabilité de non-gain à peine plus forte.

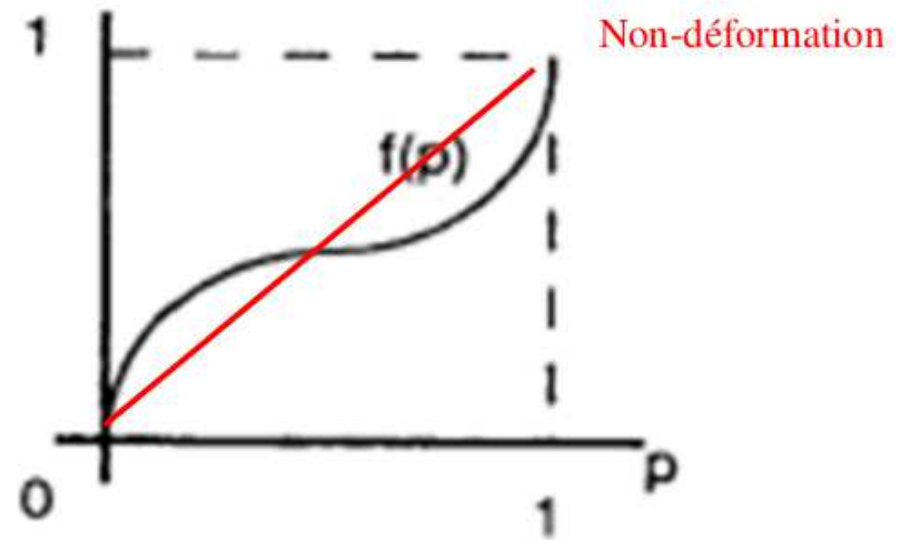
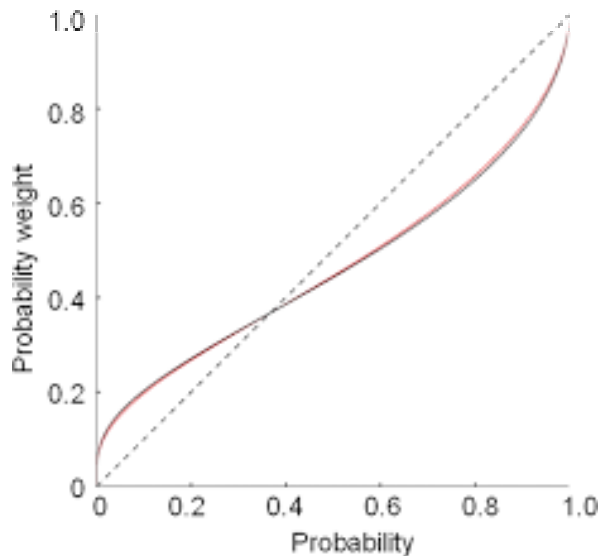
C : [A (10 %) ; Z (90 %)]

D : [B (10 %) ; Z (90 %)]

où Z est la loterie zéro, celle qui dans tous les cas ne rapporte ni ne coûte rien : Z : [0 € (100 %)]

La simultanéité de ces deux choix viole (expérimentalement) l'axiome d'indépendance (VNM): si A est préféré à B, alors C devrait être préféré à D, ce qui n'est pas le cas en pratique.

- Quiggin (1982) suggère que les résultats extrêmes sont «sur-pondérés» dans l’esprit des agents, tandis que les résultats intermédiaires sont «sous-pondérés».
- Une fonction de transformation caractérisée par $h(p) > p$ pour les petites valeurs de p et $h(p) < p$ pour les grandes valeurs de p est conforme à cette Intuition



- “Inverse S-shaped”

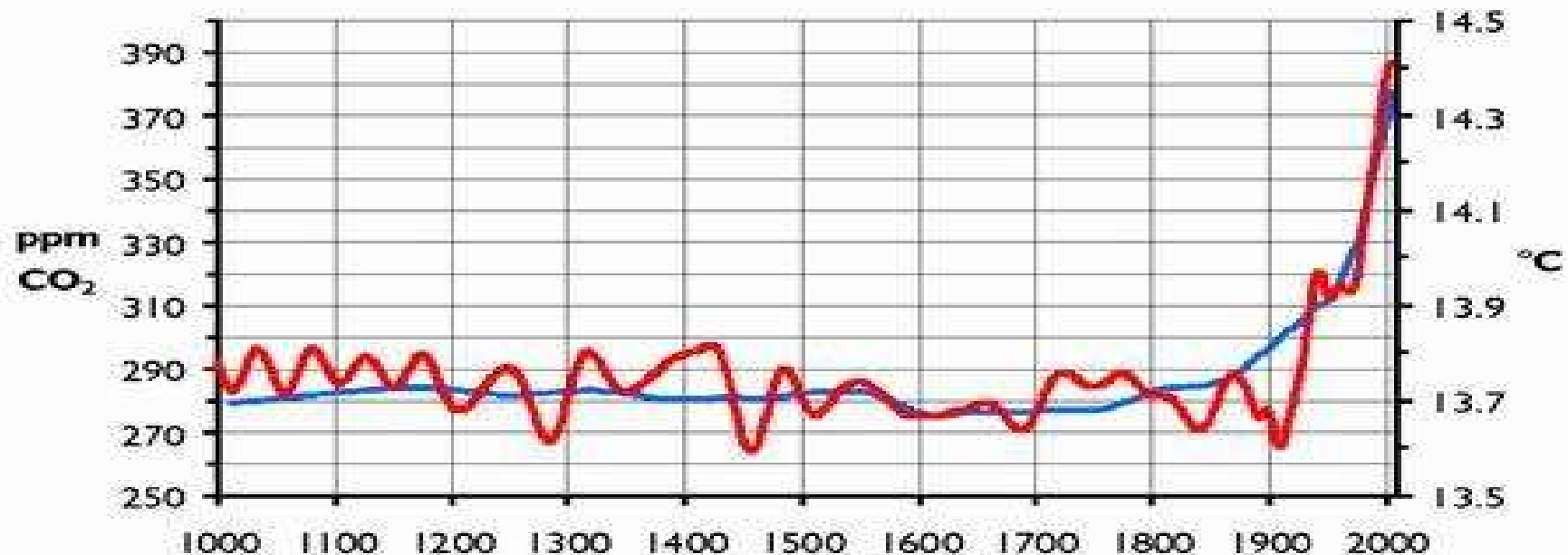
Structure générale du cours

Risques & Outils de Calcul Économique

1. Analyse cout bénéfice
2. Le calcul économique en situation de risque
3. Critères standards et approche critique issue de la théorie de la décision
4. **Le calcul économique en situation d'incertitude**
5. Décisions séquentielles & application à la forêt: deux exemples

Calcul économique en situation d'incertitude

- On suppose maintenant que **l'on ne dispose pas des probabilités des états du monde possibles.**
- Exemples:
 - Ce cas se produit lorsque l'on ne dispose **pas de données** passées permettant d'estimer, même imparfaitement, les probabilités d'occurrence futures.
 - Le problème des **changements climatiques**, qui rend souvent caduques l'essentiel des données statistiques recueillies sous le climat du passé.



Source: Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Ligne bleu: Dioxyde de carbone

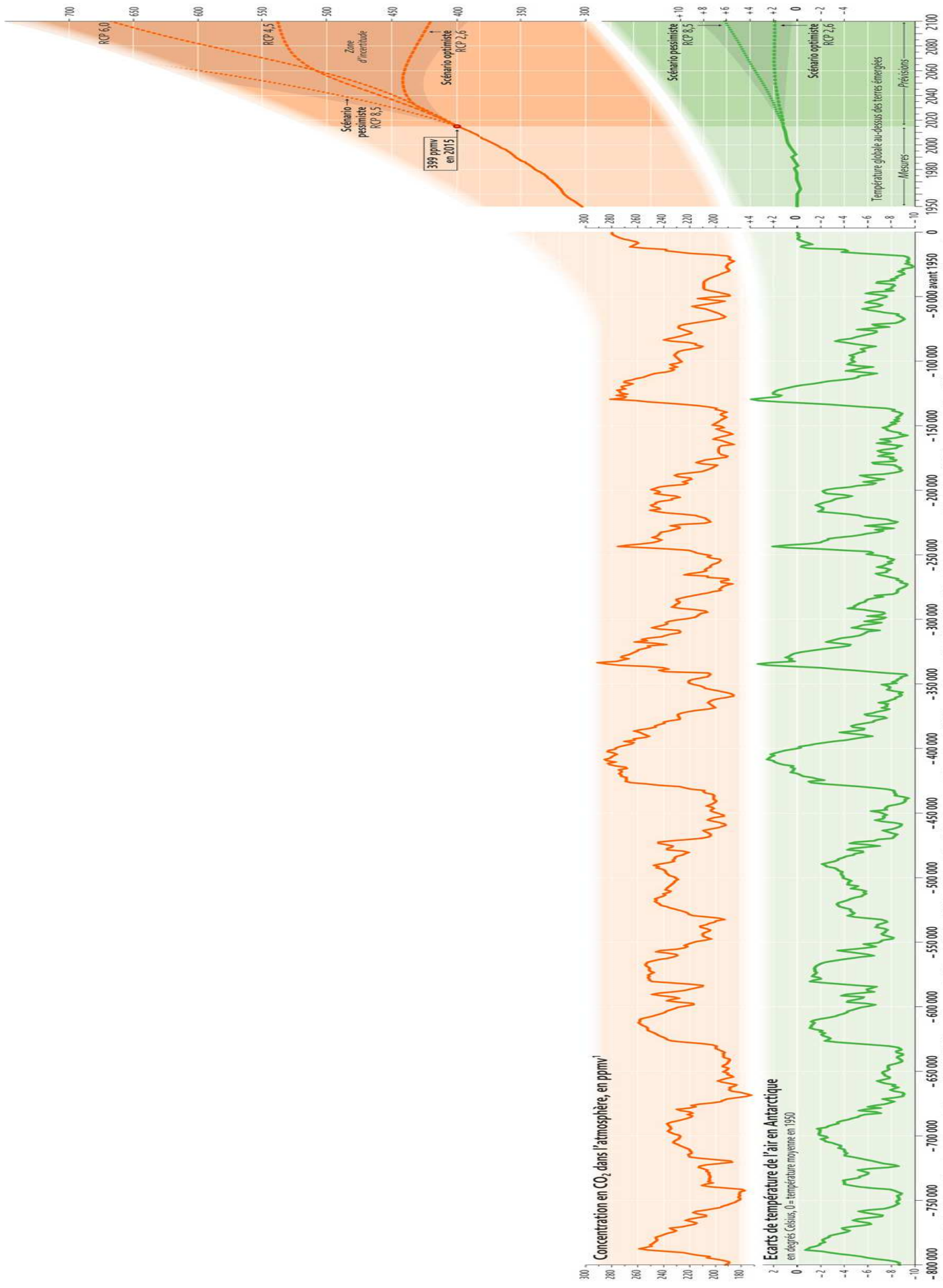
Ligne rouge: Température en centigrades

- Les données sur le Co2 proviennent de carottes de glace polaire.

Emissions mondiales x 2 sur 30 dernières années, prévisions
d'augmentation de la température en 2100 : entre 2 et 5°C,

calottes glaciaires : teneurs exceptionnelles considérant les 800 000
dernières années

Rapport d'échelles de temps (millions d'années pour le stockage des
énergies fossiles, 200 ans post révolution industrielle)

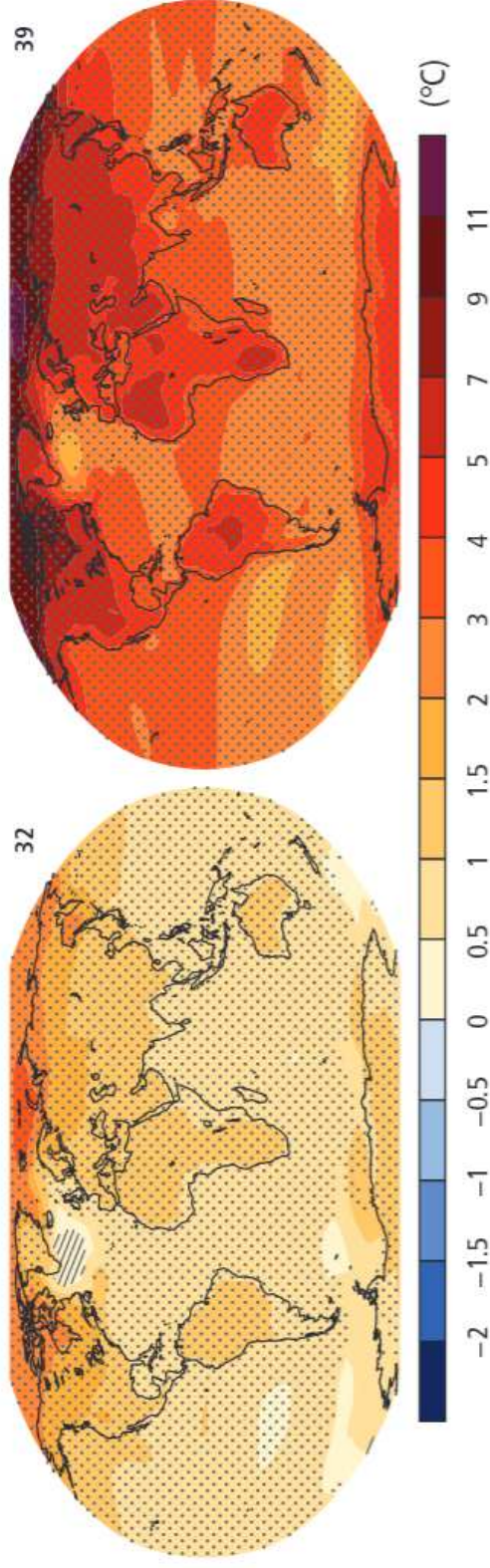


Sources : à gauche, d'après « High-resolution carbon dioxide concentration record (650,000–800,000 years before present », *Nature*, vol. 433, 15 mai 2008, et « Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years », *Science*, vol. 317, n° 5839, 2007 ; à droite, adapté du cinquième rapport d'évaluation du GIEC, *Changements climatiques 2013*.

RCP2.6

RCP8.5

(a) Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



(b) Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)

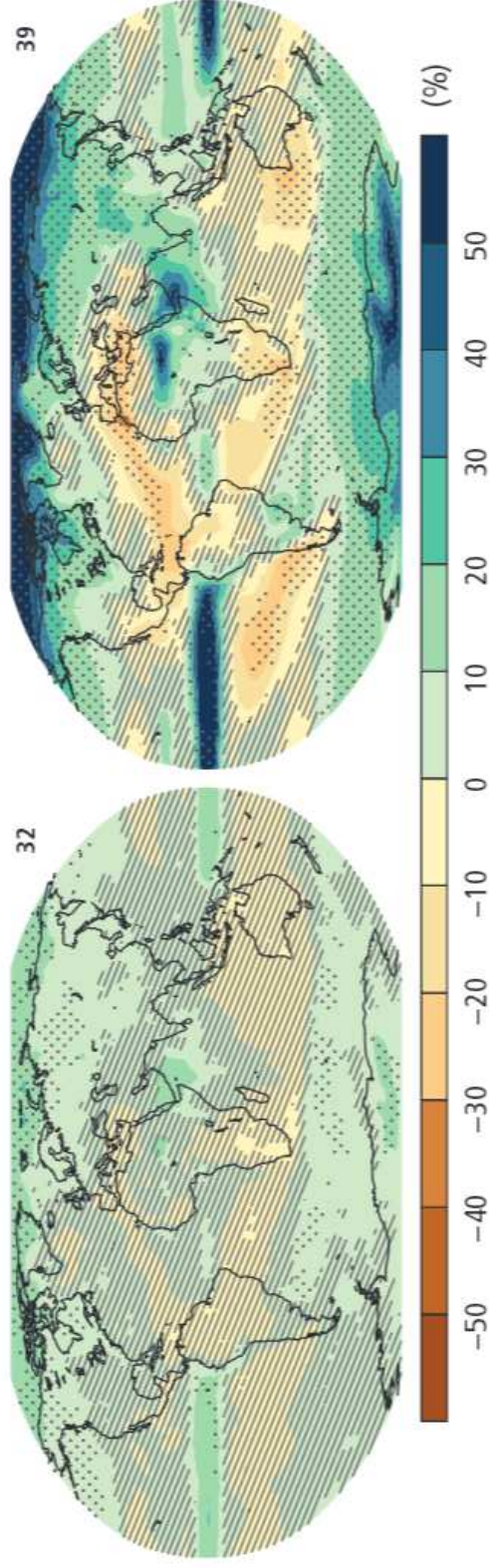
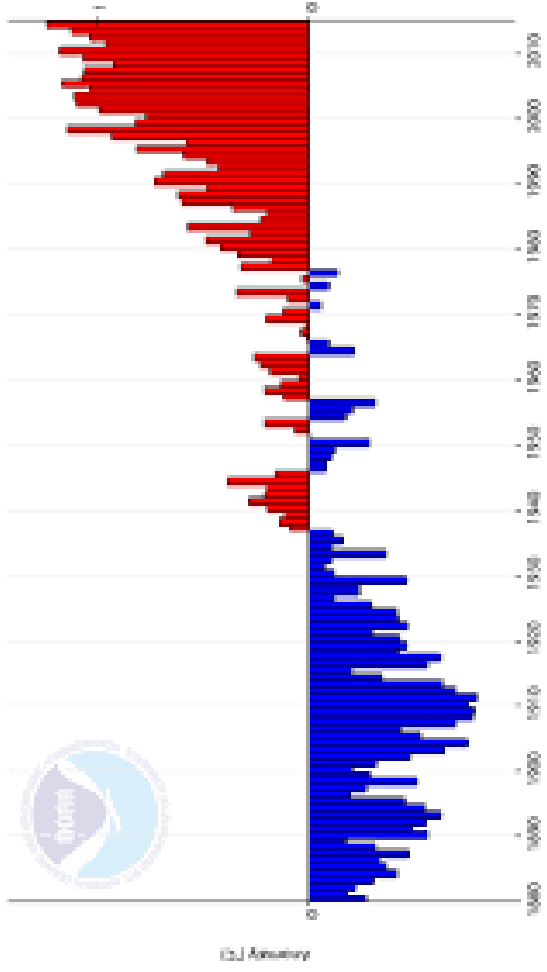
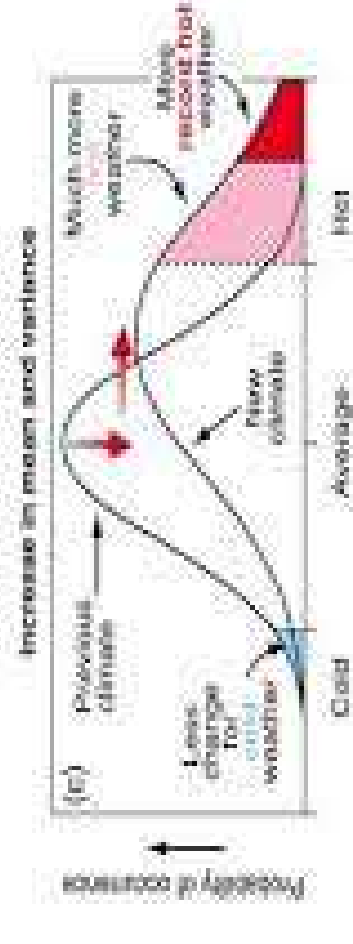
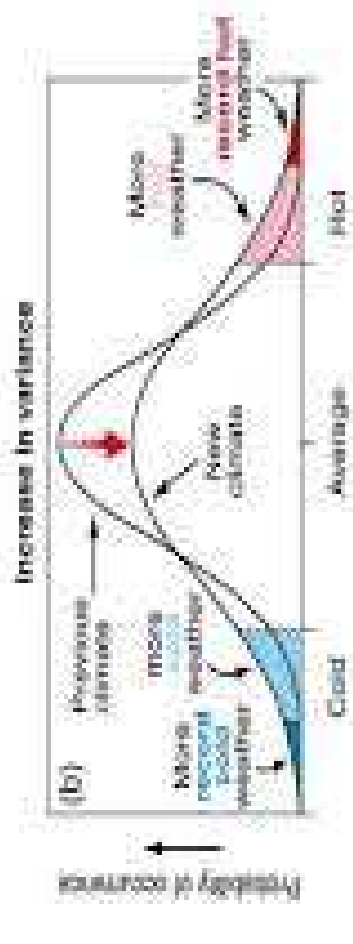
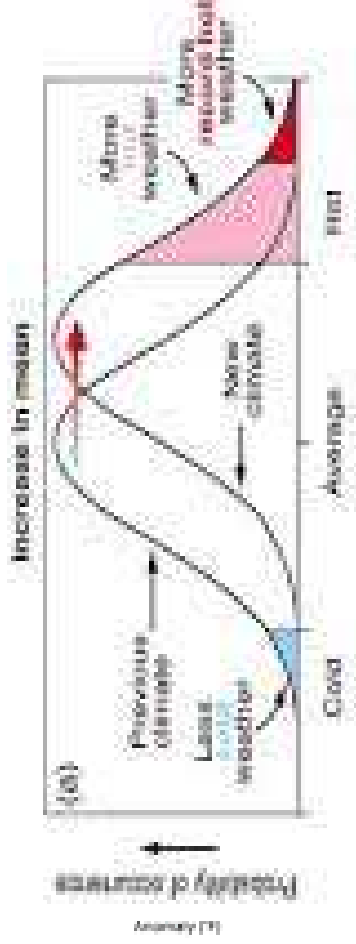
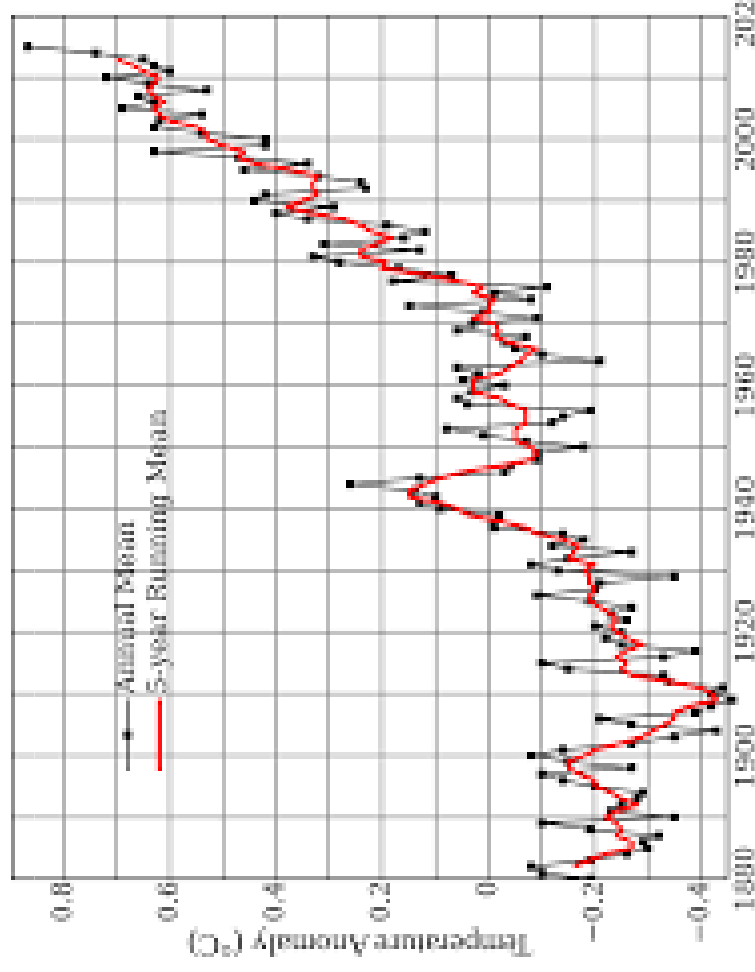


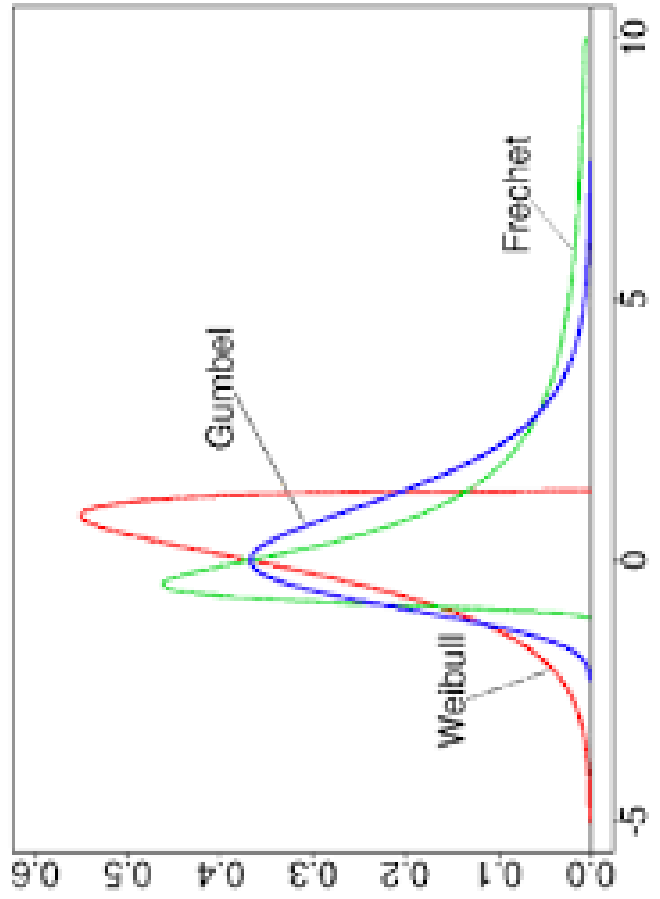
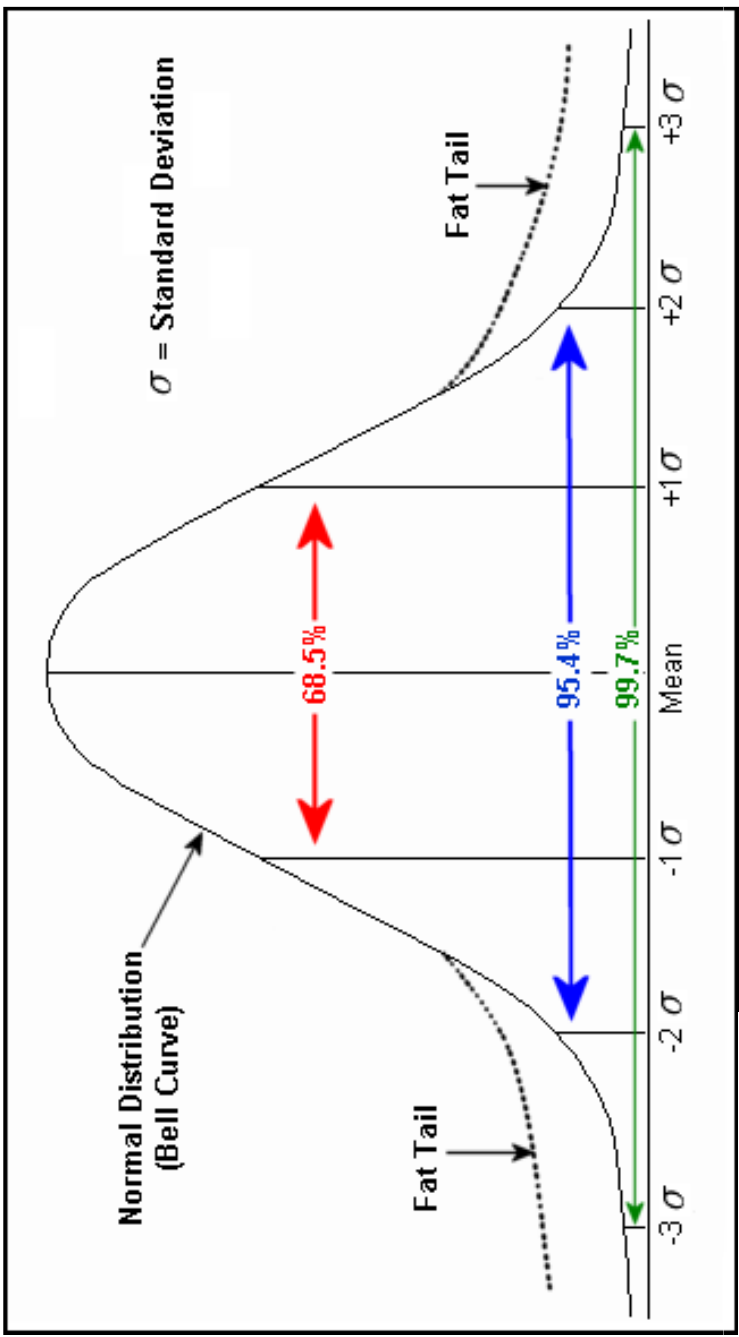
Figure SPM.7 | Change in average surface temperature (a) and change in average precipitation (b) based on multi-model mean projections for 2081–2100 relative to 1986–2005 under the RCP2.6 (left) and RCP8.5 (right) scenarios. The number of models used to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Stippling (i.e., dots) shows regions where the projected change is large compared to natural internal variability and where at least 90% of models agree on the sign of change. Hatching (i.e., diagonal lines) shows regions where the projected change is less

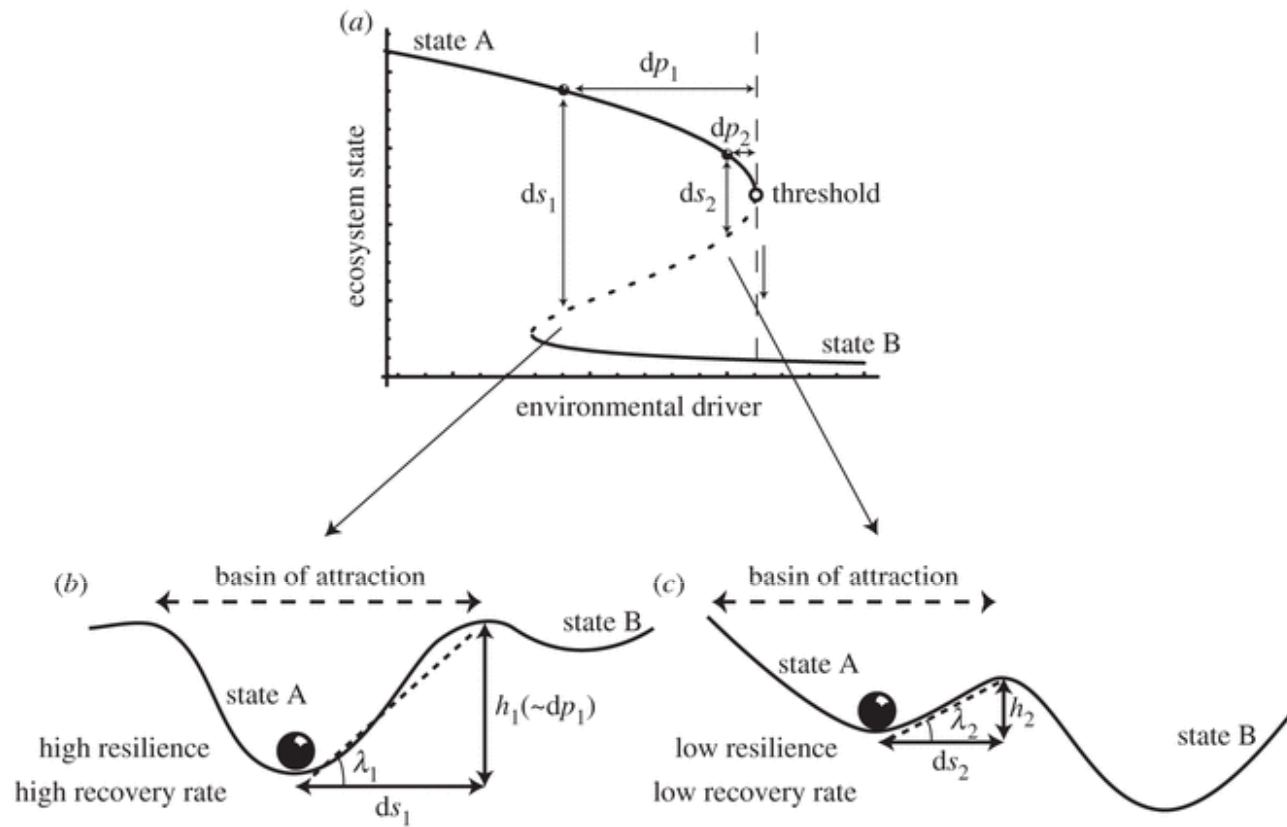
Global Land and Ocean Temperature Anomalies, January-December



Global Land-Ocean Temperature Index







Retroactions non linéaires
 Hystérèses
 Resilience: tipping point
 Eq stable + instable

Méthodes d'ajustement «ad hoc»

- Choix des projets dont le **temps de retour** est le plus faible.
- Réduction de la durée de vie.
- **Analyse de sensibilité** : calculer la VAN ou le TRI pour différentes valeurs du paramètre incertain.
- Augmentation du taux d'actualisation par une «prime de risque».
- Application d'un coefficient d'abattement aux flux de trésorerie futurs («équivalent certain»).

Critères de choix en situation d'incertitude

- De nombreux critères de choix ont été proposés en situation d'incertitude :
 - **Critère de Laplace** : tous les états du monde sont supposés **équiprobables** (très utilisée pour les scénarii climatiques, sorties de modèles).
 - **Critère de Wald (Maximin)** : choisir le projet dont la **VAN est supérieure** dans le pire des états du monde possible (Rawls, Sen, Atkinson; symétrique : minimax)
 - **Critère de Savage (Minimax-regret)** : on définit le «regret» associé à chaque action dans chaque état du monde comme la différence entre le résultat de cette action et celui de la meilleure action dans cet état du monde. Puis on cherche l'action qui **minimise le maximum des regrets**.
- Ces critères représentent des **degrés d'optimisme différents**, mais ne peuvent pas être discriminés sans probas.

Exemple : Le changement climatique

On envisage plusieurs stratégies de prévention et mitigation de ces dégâts :

S1 : Ne rien faire (business as usual).

S2 : Construction des digues, assurances... (adaptation).

S3 : Faible réduction des émissions de gaz à effet de serre (mitigation).

S4 : Forte réduction des émissions de gaz à effet de serre (mitigation ++).

Exemple : Le changement climatique

On envisage trois états du monde possibles :

E1 : Faible “climate sensitivity” qui correspond à des faibles dégâts environnementaux.

E2 : Modérée “climate sensitivity” qui correspond à des dégâts importants, mais tolérables.

E3 : Forte “climate sensitivity” qui correspond à des dégâts environnementaux très élevés.

Exemple : la matrice de décision

Dans la matrice suivante on identifie l'ensemble de **pertes** économiques et environnementales nettes en billions de dollars dans chaque cas de figure :

	E1	E2	E3
S1	100	350	600
S2	200	250	500
S3	150	200	350
S4	300	175	250

Critère du profit espéré (Pascal)

- Si vous connaissez les probabilités associées aux états du monde (situation de risque), vous pouvez calculer le profit espéré
- Hypothèse : probabilité d'obtenir **E1 = 0.2**
E2 = 0.6
E3 = 0.2

$$E(C_{S_1}) = 0.2 \cdot 100 + 0.6 \cdot 350 + 0.2 \cdot 600 = 350$$

$$E(C_{S_2}) = 0.2 \cdot 200 + 0.6 \cdot 250 + 0.2 \cdot 500 = 290$$

$$E(C_{S_3}) = 0.2 \cdot 150 + 0.6 \cdot 200 + 0.2 \cdot 350 = 220$$

$$E(C_{S_4}) = 0.2 \cdot 300 + 0.6 \cdot 175 + 0.2 \cdot 250 = 215$$

Il existe d'autres critères:

- le critère de **Bernoulli** qui introduit la notion d'utilité espérée...

Principe de symétrie (critère de Laplace)

- On suppose que toutes les alternatives ont la même probabilité de se réaliser et on calcule alors le profit moyen de chaque alternative.

$$C_{S1}^L = \frac{1}{3} \cdot 100 + \frac{1}{3} \cdot 350 + \frac{1}{3} \cdot 600 = \frac{1050}{3}$$

$$C_{S2}^L = \frac{1}{3} \cdot 200 + \frac{1}{3} \cdot 250 + \frac{1}{3} \cdot 500 = \frac{950}{3}$$

$$C_{S3}^L = \frac{1}{3} \cdot 150 + \frac{1}{3} \cdot 200 + \frac{1}{3} \cdot 350 = \frac{700}{3}$$

$$C_{S4}^L = \frac{1}{3} \cdot 300 + \frac{1}{3} \cdot 175 + \frac{1}{3} \cdot 250 = \frac{725}{3}$$

Critère MaxiMax

- Vision très optimiste des résultats possibles. Cette approche sélectionne l'alternative qui donne le meilleur des meilleur résultats possibles.

$$C_{S1}^{MM} = \max[100, 350, 600]$$

$$C_{S2}^{MM} = \max[200, 250, 500]$$

$$C_{S3}^{MM} = \max[150, 200, 350]$$

$$C_{S4}^{MM} = \max[300, 175, 250]$$

Critère MaxiMin (Wald)

- Vision très conservatrice (pessimiste) des résultats possibles. Cette approche sélectionne l'alternative qui donne le meilleur des pires résultats possibles.

$$C_{S1}^{MM} = \max[100, 350, 600]$$

$$C_{S2}^{MM} = \max[200, 250, 500]$$

$$C_{S3}^{MM} = \max[150, 200, 350]$$

$$C_{S4}^{MM} = \max[300, 175, 250]$$

Critère MiniMax du regret (Savage)

- Un gestionnaire «regrettera» sa décision si l'état qui se réalise permet un meilleur résultat en choisissant une autre alternative.
- Le «**regret**» correspond donc à la différence entre le résultat qui aurait pu être obtenu selon le meilleur scénario possible et le résultat de l'alternative sélectionnée.
- On choisit l'alternative pour laquelle le regret maximal est le plus petit.

	E1	E2	E3
S1	100 (0)	350 (175)	600 (350)
S2	200 (100)	250 (75)	500 (250)
S3	150 (50)	200 (25)	350 (100)
S4	300 (200)	175 (0)	250 (0)

En rouge : le regret maximal de chaque alternative

Critère MiniMax du regret (Savage)

- On sélectionne le pire regret possible pour chaque stratégie

$$C_{S1}^{MM} = \max[0, 175, 350]$$

$$C_{S2}^{MM} = \max[100, 75, 250]$$

$$C_{S3}^{MM} = \max[50, 25, 100]$$

$$C_{S4}^{MM} = \max[200, 0, 0]$$

- Il existe d'autres critères, typiquement le critère d'**Hurwicz** qui pondère les gains/pertes minimales et maximales, ...

Structure générale du cours

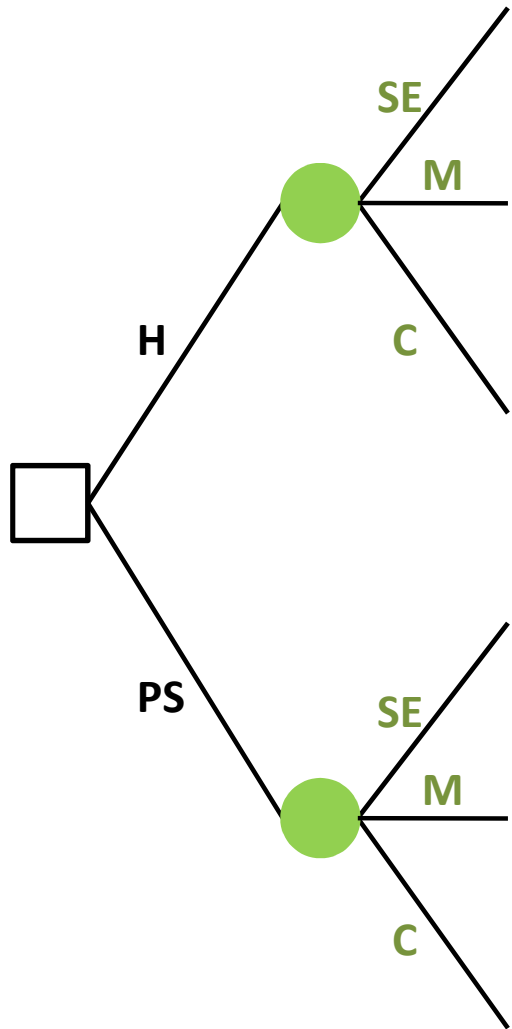
Risques & Outils de Calcul Économique

1. Analyse cout bénéfice
2. Le calcul économique en situation de risque
3. Critères et limites
4. Le calcul économique en situation d'incertitude
5. **Décisions séquentielles & application à la forêt: deux exemples**

Décisions séquentielles

- Lorsqu'un projet implique des décisions séquentielles ou par étapes, on utilise la technique de l'arbre de décision.
- Il s'agit d'un graphe orienté sur lequel on représente les **décisions** (nœuds carrés) et les **réactions de l'environnement** (nœuds en cercles).

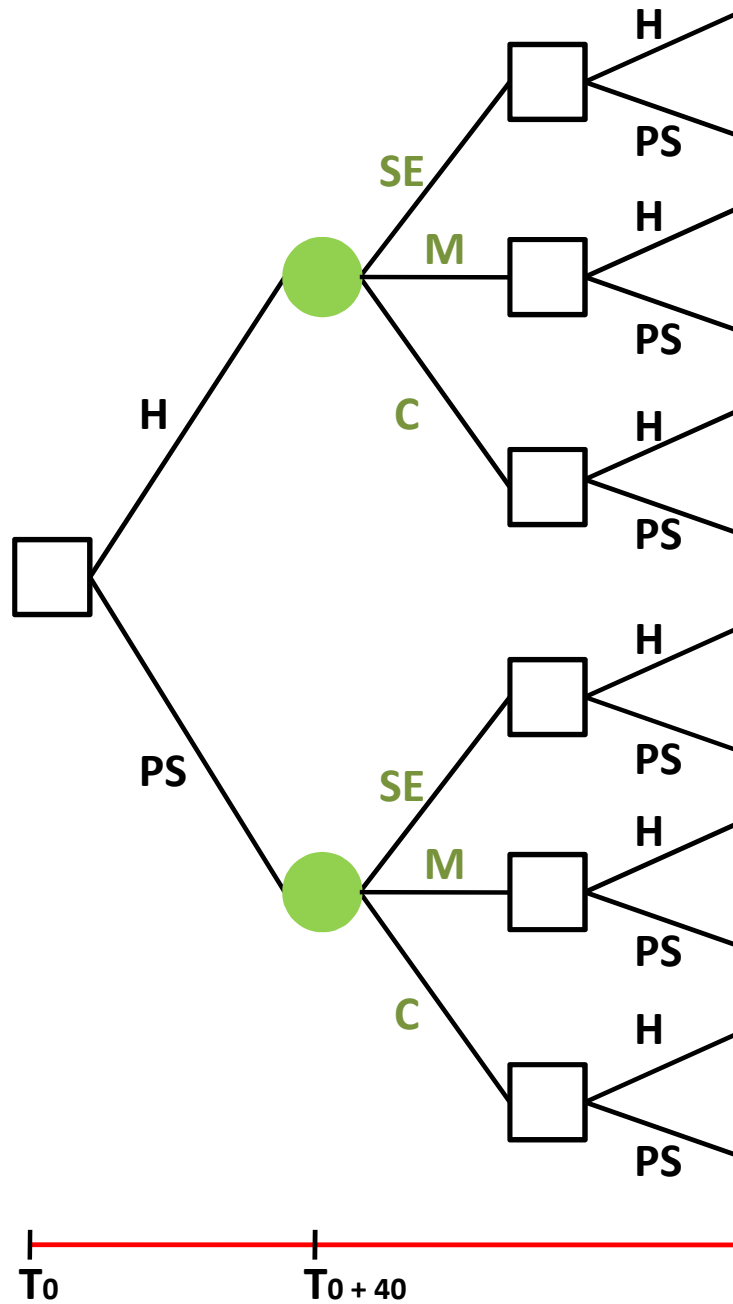
Illustration avec une étude de cas



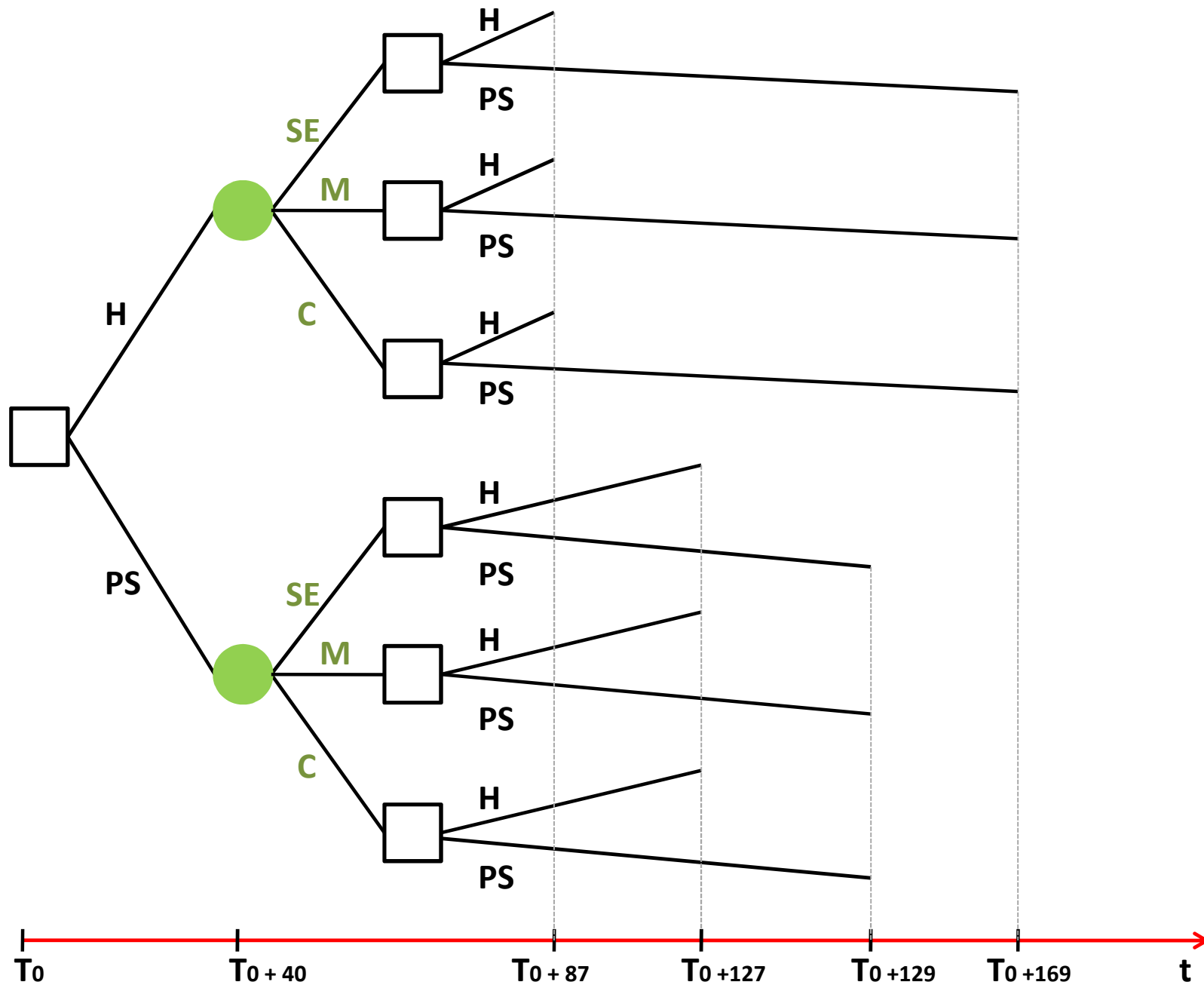
État du Monde

- On appelle **état du monde** l'événement qui détermine la conséquence qu'a une action en univers certain
- **Exemple : la promenade**
 - **Action** : je sors me promener sous un ciel couvert
 - **État du monde 1** : il se met à pleuvoir
Conséquence : ma promenade doit s'interrompre
 - **État du monde 2** : il ne pleut finalement pas
Conséquence : je profite de l'extérieur

Dans cet exemple: **Sans effet** (SE), effets **moyen** (M), effets **catastrophiques** (C)

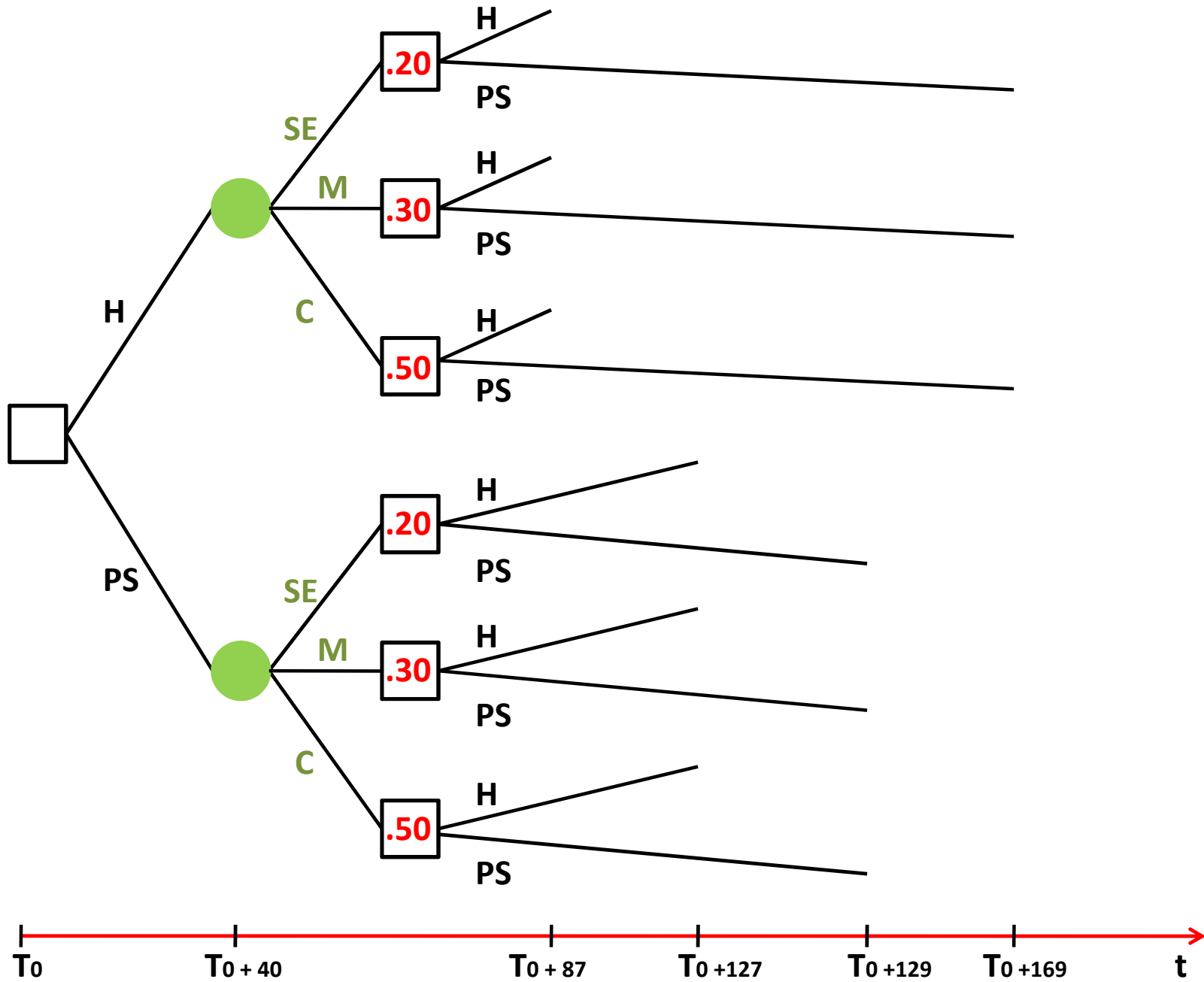


La longueur de chaque feuille doit coïncider avec la date à laquelle le revenu se réalise



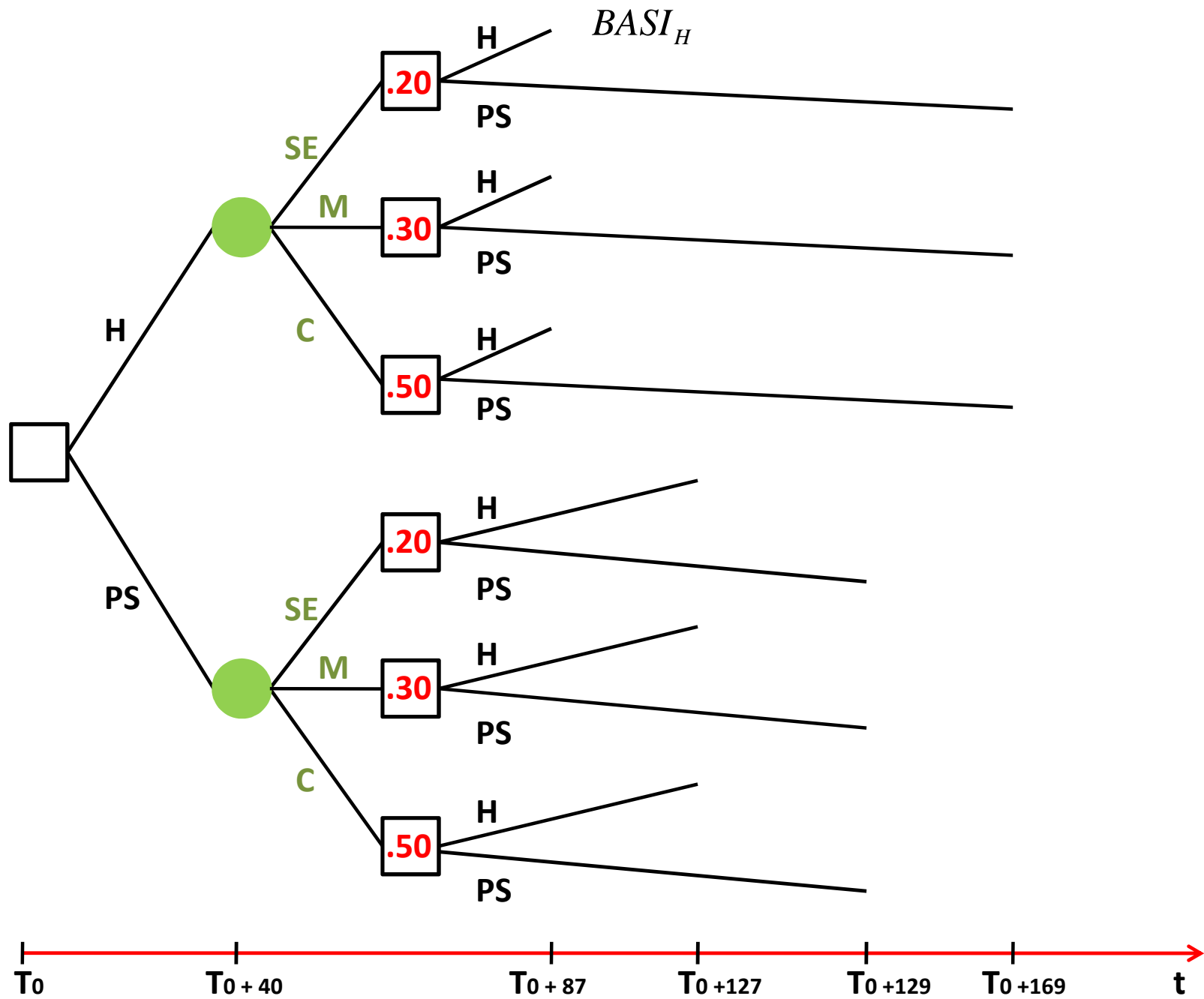
Décisions séquentielles

- Lorsqu'un projet implique des décisions d'investissements par étapes, on utilise la technique de l'arbre de décision.
- Il s'agit d'un graphe orienté sur lequel on représente les décisions (nœuds carrés) et les réactions de l'environnement (nœuds en cercles).
- À chaque évènement on attache une **probabilité...**



Décisions séquentielles

- Lorsqu'un projet implique des décisions d'investissements par étapes, on utilise la technique de l'arbre de décision.
- Il s'agit d'un graphe orienté sur lequel on représente les décisions (nœuds carrés) et les réactions de l'environnement (nœuds en cercles).
- À chaque évènement on attache une probabilité...
- ... et une **valeur**



La valeur de la terre

- La VAN (valeur actualisée nette) de la révolution de longueur N est :

$$BASI = -D(0) + \frac{R(N)}{(1+r)^N} - \frac{D(0)}{(1+r)^N} + \frac{R(N)}{(1+r)^{2N}} - \frac{D(0)}{(1+r)^{2N}} + \frac{R(N)}{(1+r)^{3N}} + \dots$$

- Dans le domaine forestier, cette VAN est généralement appelée **BASI (Bénéfice Actualisé en Séquence Infinie)**

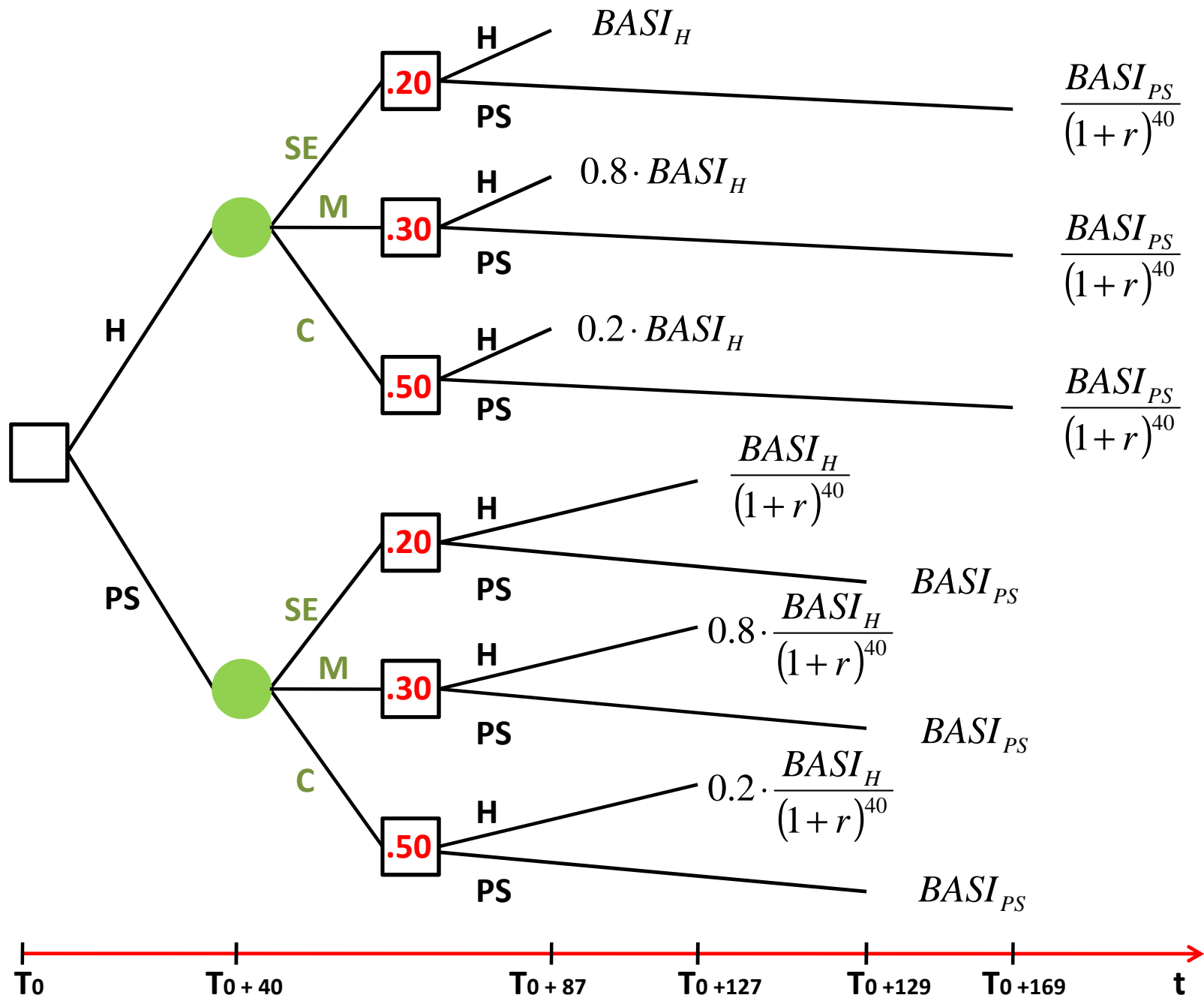
Bénéfice Actualisé en Séquence Infinie

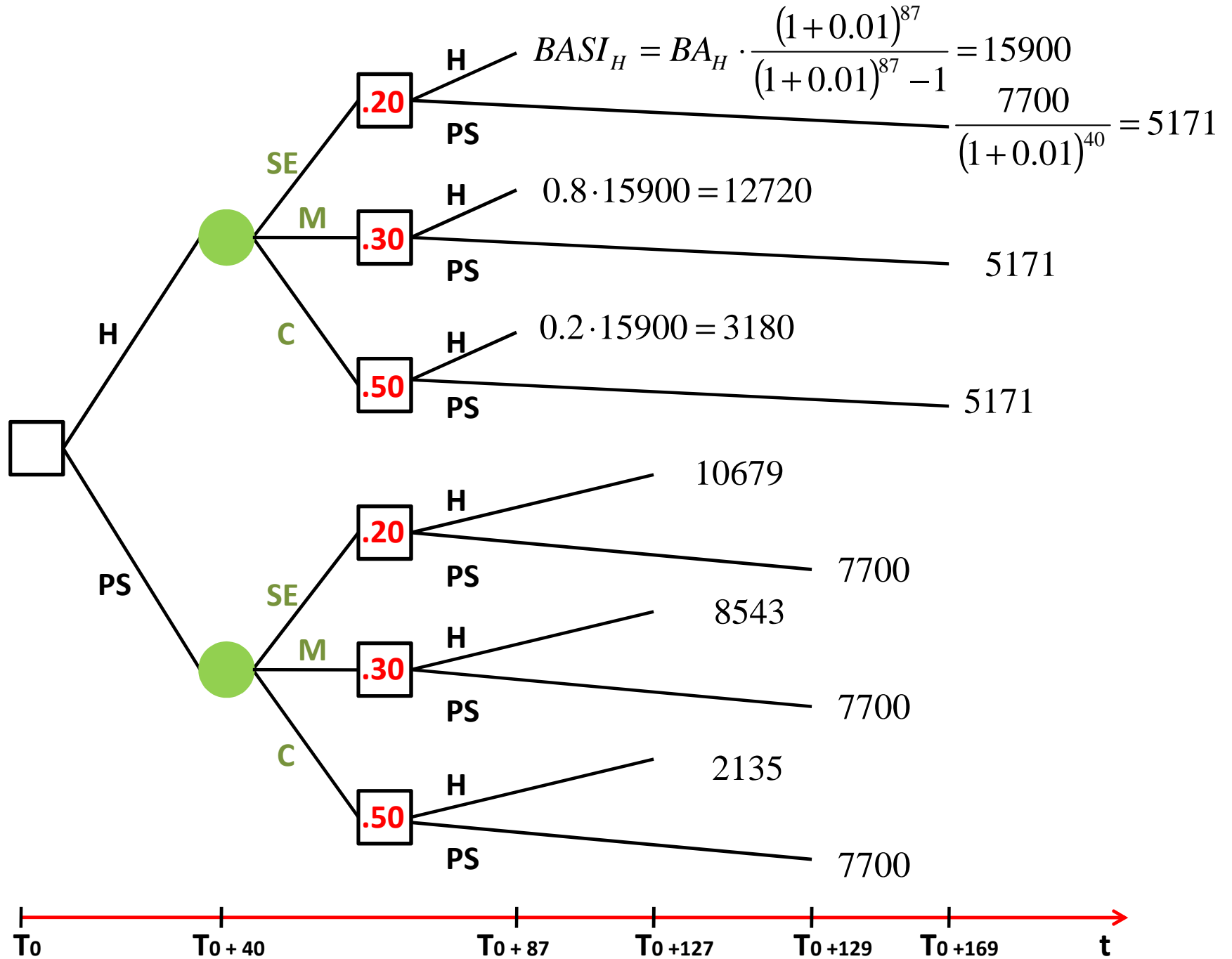
- **BASI (Bénéfice Actualisé en Séquence Infinie)**

$$BASI = \frac{R(N) - D(0) \cdot (1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

- Ou (écriture alternative) :

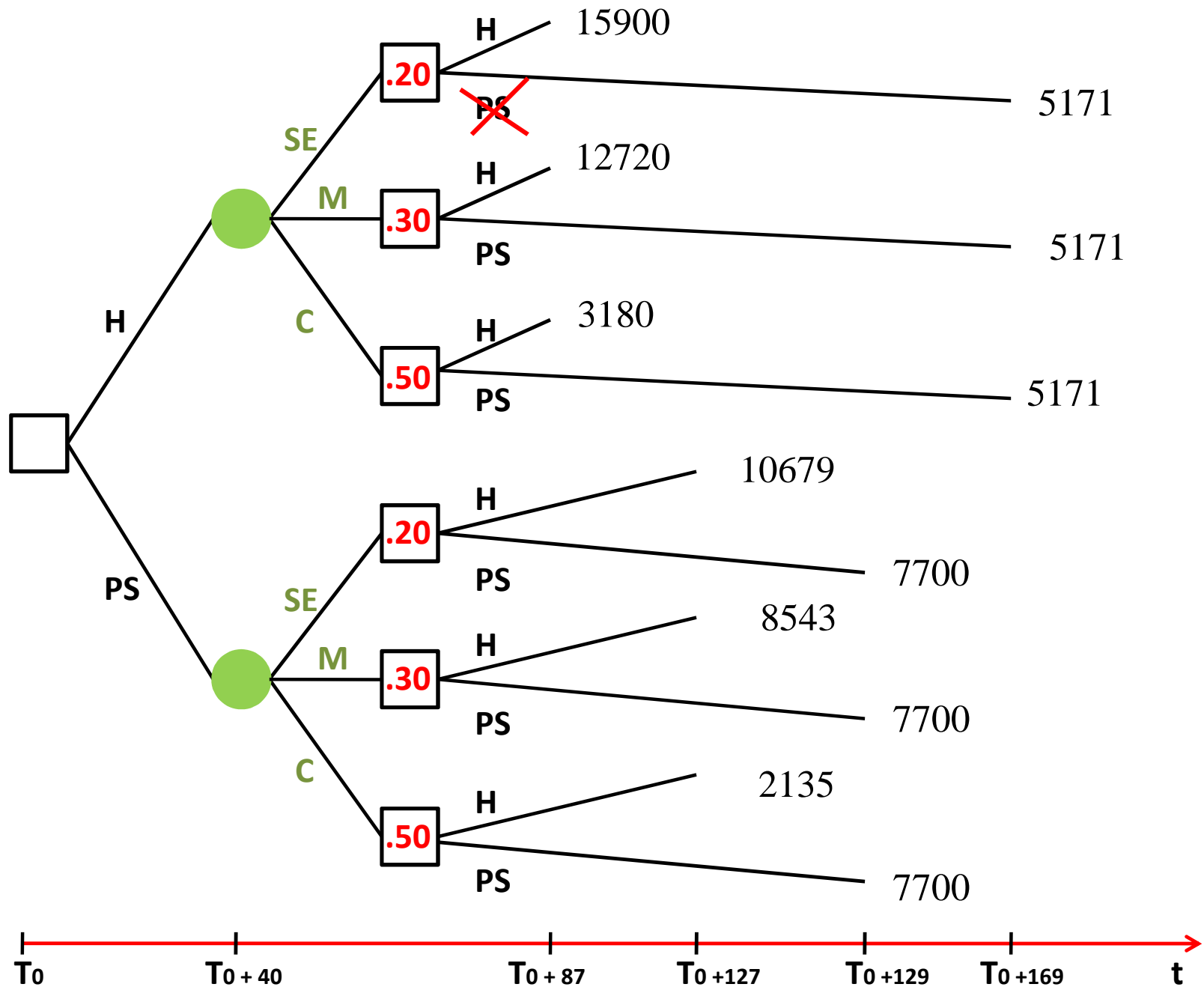
$$BASI = \underbrace{\left(-D(0) + \frac{R(N)}{(1+r)^N} \right)}_{BA} \cdot \frac{(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

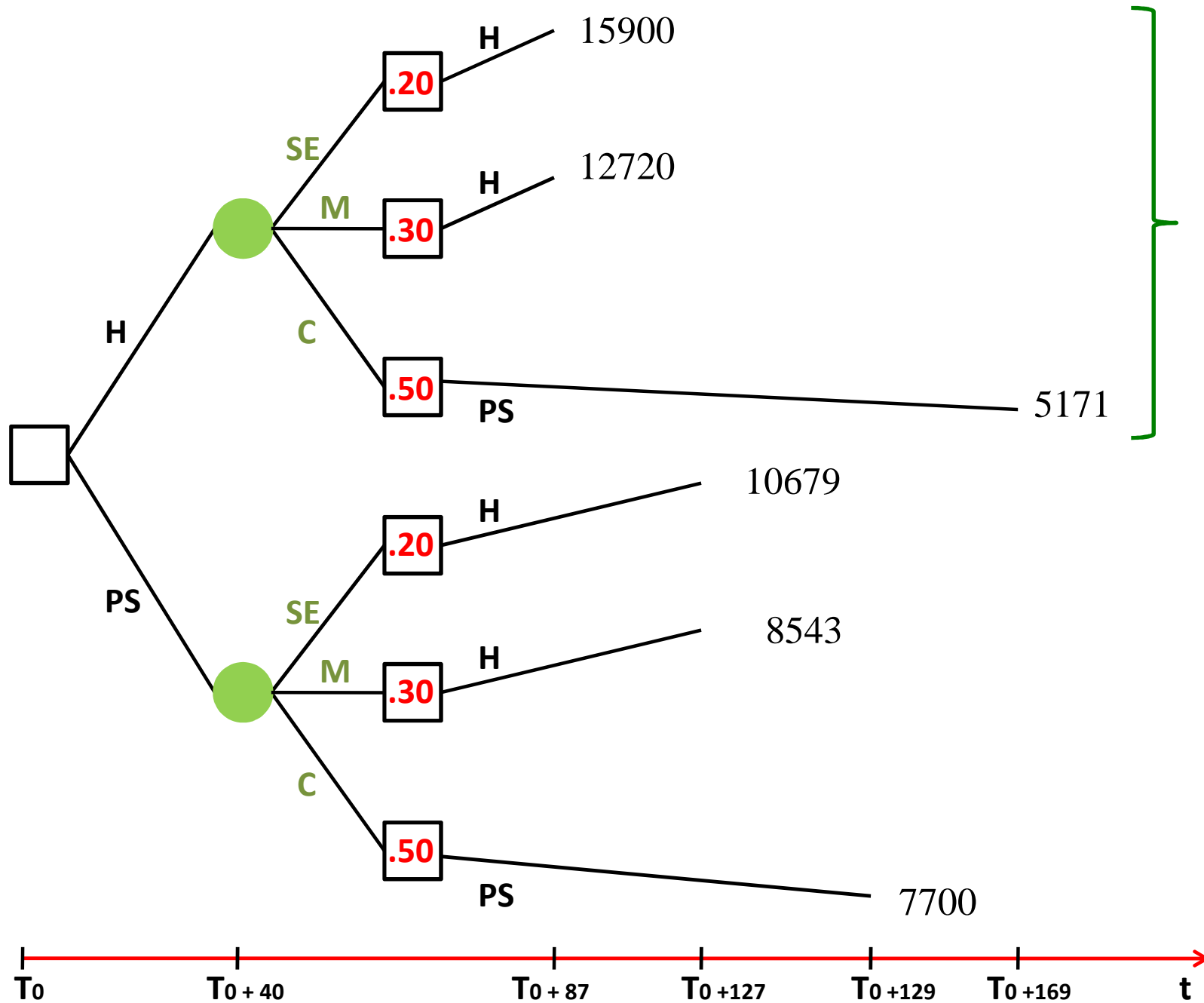


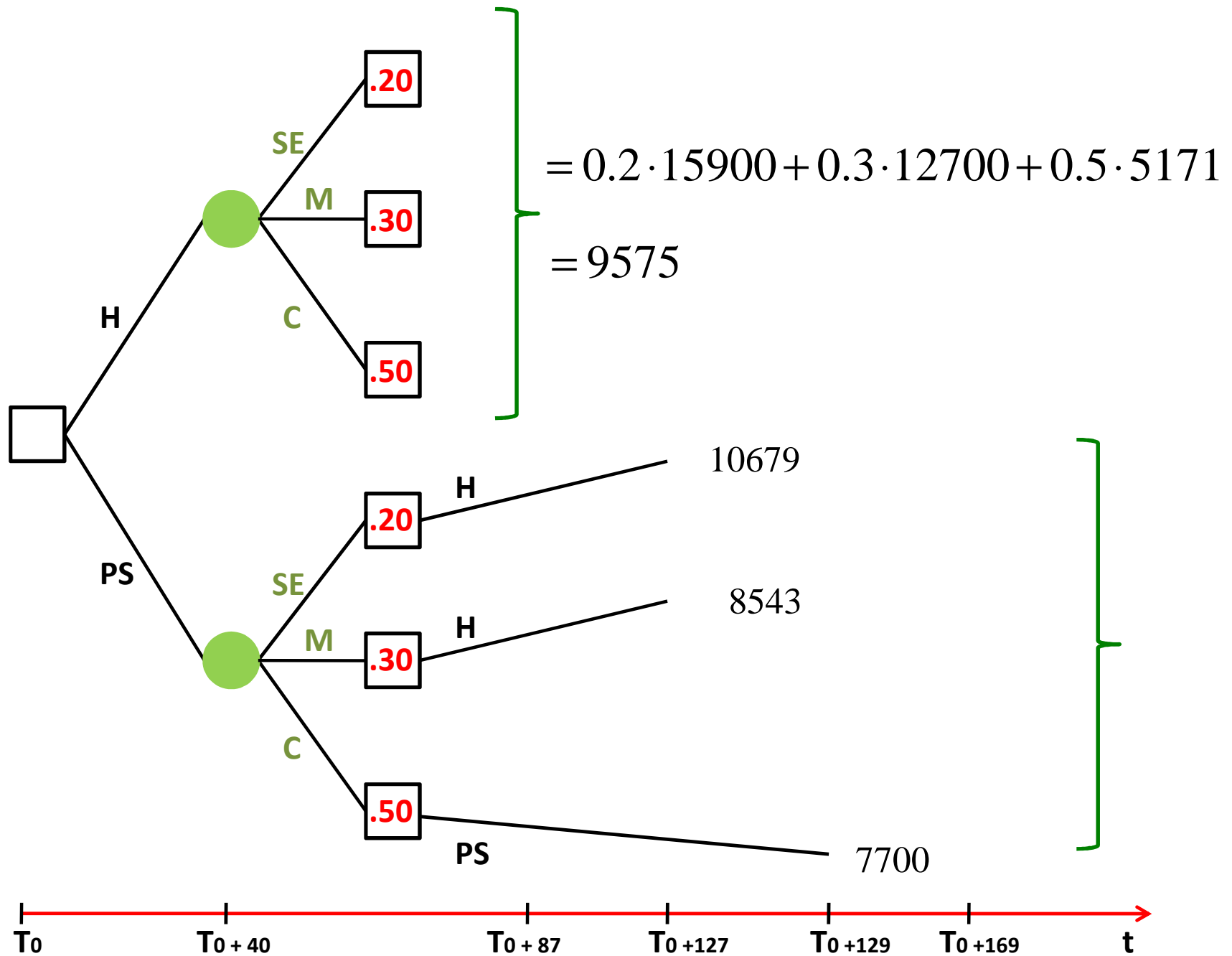


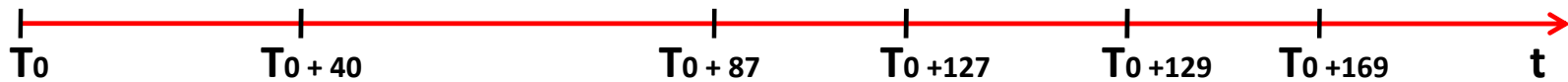
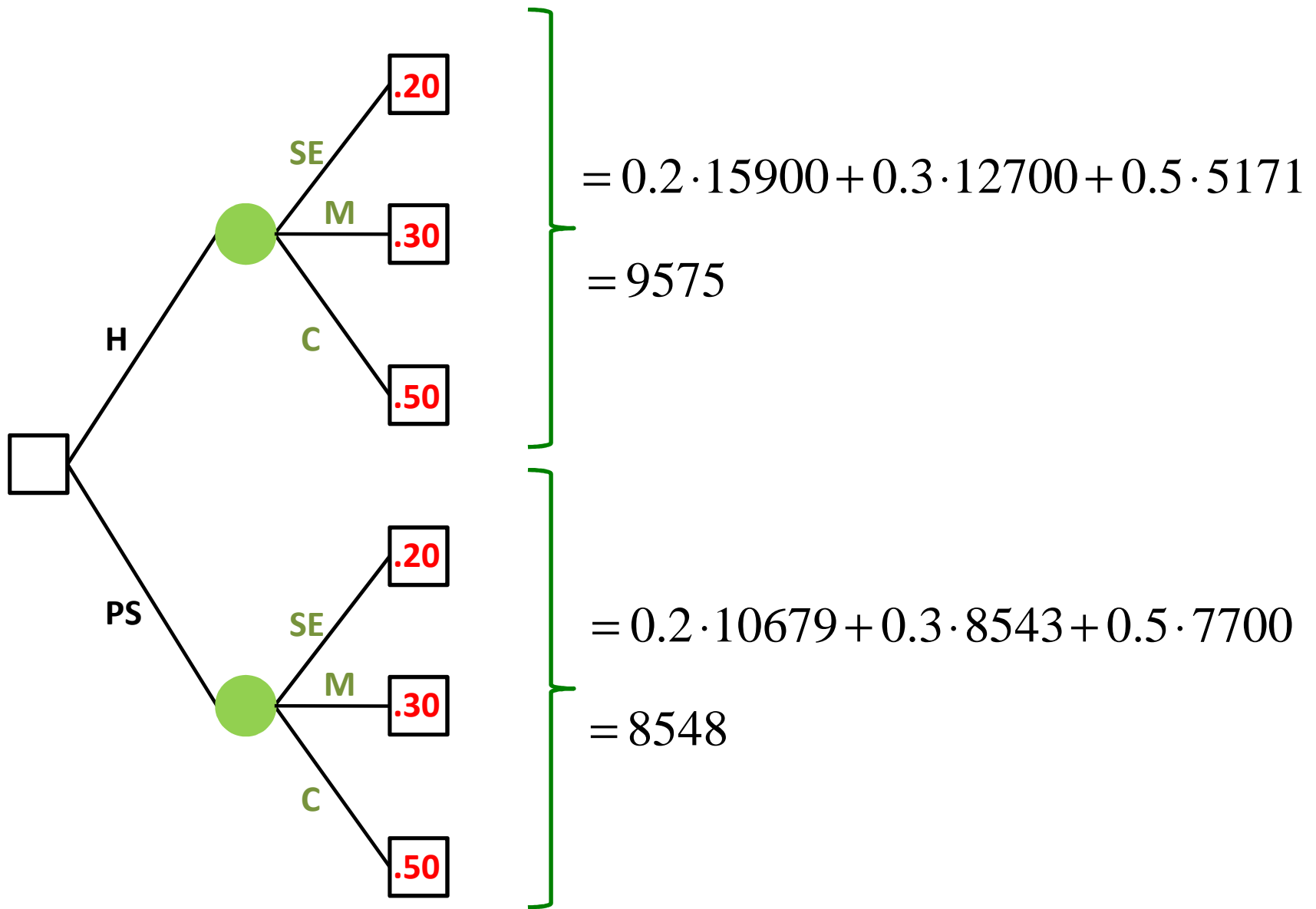
Décisions séquentielles

- Lorsqu'un projet implique des décisions d'investissements par étapes, on utilise la technique de l'arbre de décision.
- Il s'agit d'un graphe orienté sur lequel on représente les décisions (nœuds carrés) et les réactions de l'environnement (nœuds en cercles).
- À chaque évènement on attache une probabilité...
- ... et une valeur
- Le calcul se fait en remontant le graphe de la fin vers le début, en **éliminant à chaque nœud de décisions les branches des décisions dominées.**









Décisions séquentielles

- La solution optimale consiste donc à planter du hêtre au début et changer seulement si un changement catastrophique s'avère au bout de 40 ans.

Structure générale du cours

Risques & Outils de Calcul Économique

1. Intro à l'analyse cout bénéfice (ACB)
2. Le calcul économique en situation de risque
3. Critères de décision et limites
4. Le calcul économique en situation d'incertitude
5. **Décisions séquentielles & application au risque pour la gestion forestière: deux exemples**

Risque, incertitude et révolution optimale

- Le modèle de Faustmann est formulé en anticipations parfaites : productions et revenus futurs sont supposés connus avec certitude dès aujourd'hui.
- Dans la réalité, tant la **production biologique** que les **prix** sont **incertains**.
- Les risques sont très importants dans le choix du terme d'exploitabilité
 - Par exemple, l'augmentation de l'âge se traduit par une plus grande instabilité et donc un plus grand risque de chablis en cas de tempêtes, du moins dans les cas des feuillus (Biro *et al.*, 2000)

Incertitude sur la croissance des peuplements

- Du fait de la complexité des interactions dynamiques entre sol, atmosphère et plantes, la croissance des peuplements est complexe à prévoir. Même pour des peuplements réguliers, il subsiste des incertitudes.
 - Les forestiers utilisent des «tables de production» pour estimer la croissance future de leurs peuplements à partir d'observations réalisées dans le passé.
- Avec le changement climatique, ces tables de production doivent être revues.

Incertitude sur l'occurrence d'évènements extrêmes

- Risques liés :
 - Aux évènements climatiques extrêmes (tempêtes, sécheresse, etc.)
 - Aux incendies
 - Aux attaques sanitaires (insectes ravageurs, champignons, etc.)
- Ces risques sont souvent liés à l'âge du peuplement

L'âge d'exploitabilité en présence de risques naturelles

- **Objectif :**

Déterminer l'âge d'exploitabilité optimal d'une parcelle en présence d'un risque naturel (feu, tempête, maladie...)

- **Difficultés :**

- La probabilité d'occurrence de l'incident naturel dépend elle-même de la durée de la révolution.
- Le nombre d'incidents dans une période donnée peut varier.

→ À la fois le nombre d'incidents par an et le nombre d'années entre deux incidents sont des variables aléatoires.

- **Hypothèses simplificatrices :**

- La probabilité d'un l'incident dans une période donnée est indépendante
 - de l'âge de la plantation
 - des incidents survenus dans les périodes précédentes
- Quand un incident survient, il détruit la parcelle entière

Le modèle de Reed (1984)

- **Hypothèses**

- D_0 : coût de plantation à l'année zéro
- T : durée de révolution
- R_T : revenu de vente de bois à la date T
- Un sinistre (par exemple un incendie) peut intervenir à n'importe quel moment. Lors qu'il intervient,
 - l'ensemble du peuplement est détruit (autrement dit, on néglige la valeur de sauvegarde de la forêt)
 - Le propriétaire repart de zéro et replante, recommençant un nouveau cycle
- λ : probabilité moyenne d'occurrence annuelle du sinistre

Le modèle de Reed (2)

- On suppose que le propriétaire forestier est **neutre par rapport au risque**.
- Le critère de décision pour déterminer la durée de la révolution optimale est alors **l'espérance du BASI (Bénéfice Actualisé en Séquence Infinie)** :

$$E(BASI(T)) = E \left[\sum_{n=1}^{\infty} e^{-r \sum_{i=1}^n X_i} \cdot Y(X_n, T) \right]$$

- La durée optimale de la révolution est la valeur T qui maximise ce BASI.

Le modèle de Reed (3)

- En manipulant on obtient

$$BASI(T)_{avec\ risque} = \frac{\lambda + r}{r} \cdot \frac{R_T - D_0 \cdot e^{(\lambda+r)T}}{e^{(\lambda+r)T} - 1}$$

- La formule du BASI sans risque en temps continu était

$$BASI(T)_{sans\ risque} = \frac{R_T - D_0 \cdot e^{rT}}{e^{rT} - 1}$$

Le modèle de Reed (4)

- La durée optimale de révolution avec risque est définie par

$$\frac{dBASI(T)_{avec\ risque}}{dT} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial R(T)}{\partial T} = (r + \lambda) \cdot \frac{R_T - D_0}{1 - e^{-(\lambda+r)T}}$$

- La formule du BASI sans risque en temps continu était

$$\frac{dBASI(T)_{sans\ risque}}{dT} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial R(T)}{\partial T} = r \cdot \frac{R_T - D_0}{1 - e^{-rT}}$$

- En d'autres termes, l'impact de l'introduction du risque sur la durée optimale de la révolution revient à une hausse du taux d'actualisation de r à $r+\lambda$.

Le modèle de Reed (5)

- Conclusion:
 - L'introduction d'un risque annuel constant sans possibilité de sauvegarde aboutit à une réduction de l'âge d'exploitabilité.
 - Le nouvel âge d'exploitabilité peut être calculé en augmentant le taux d'actualisation de la probabilité annuelle de sinistre.

Conclusions

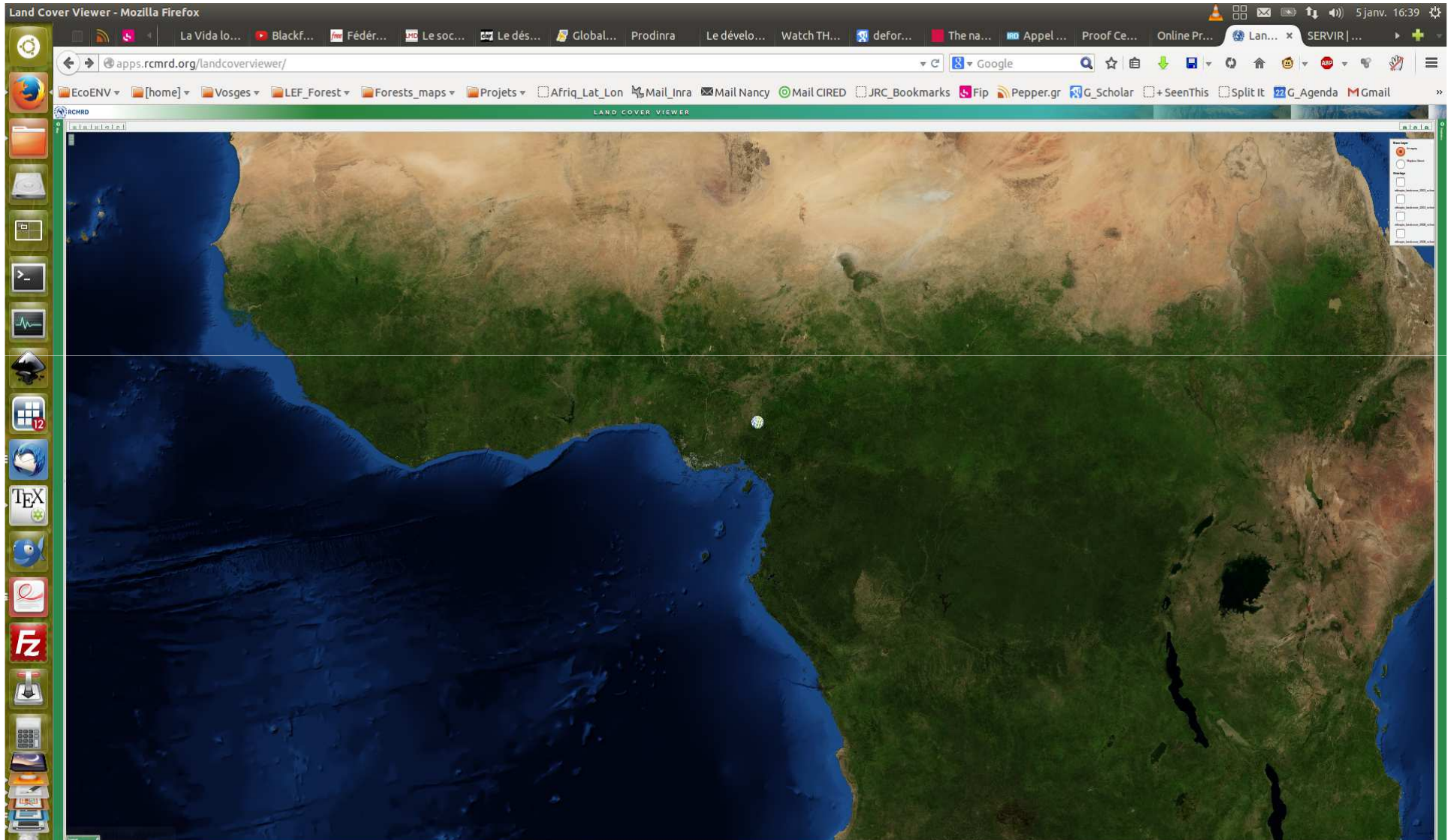
- Plusieurs extensions du modèle de Reed ont été proposées (par exemple Haight *et al.*, 1995).
- La résolution analytique du modèle n'est en général plus possible lorsque des hypothèses plus réalistes sont introduites :
 - Dépendance du risque à l'âge du peuplement
 - Dépendance de la valeur de sauvegarde à l'âge du peuplement
 - Dépendance du risque et de la valeur de sauvegarde à la sylviculture
- Ces cas plus complexes peuvent être étudiés à l'aide de méthodes numériques

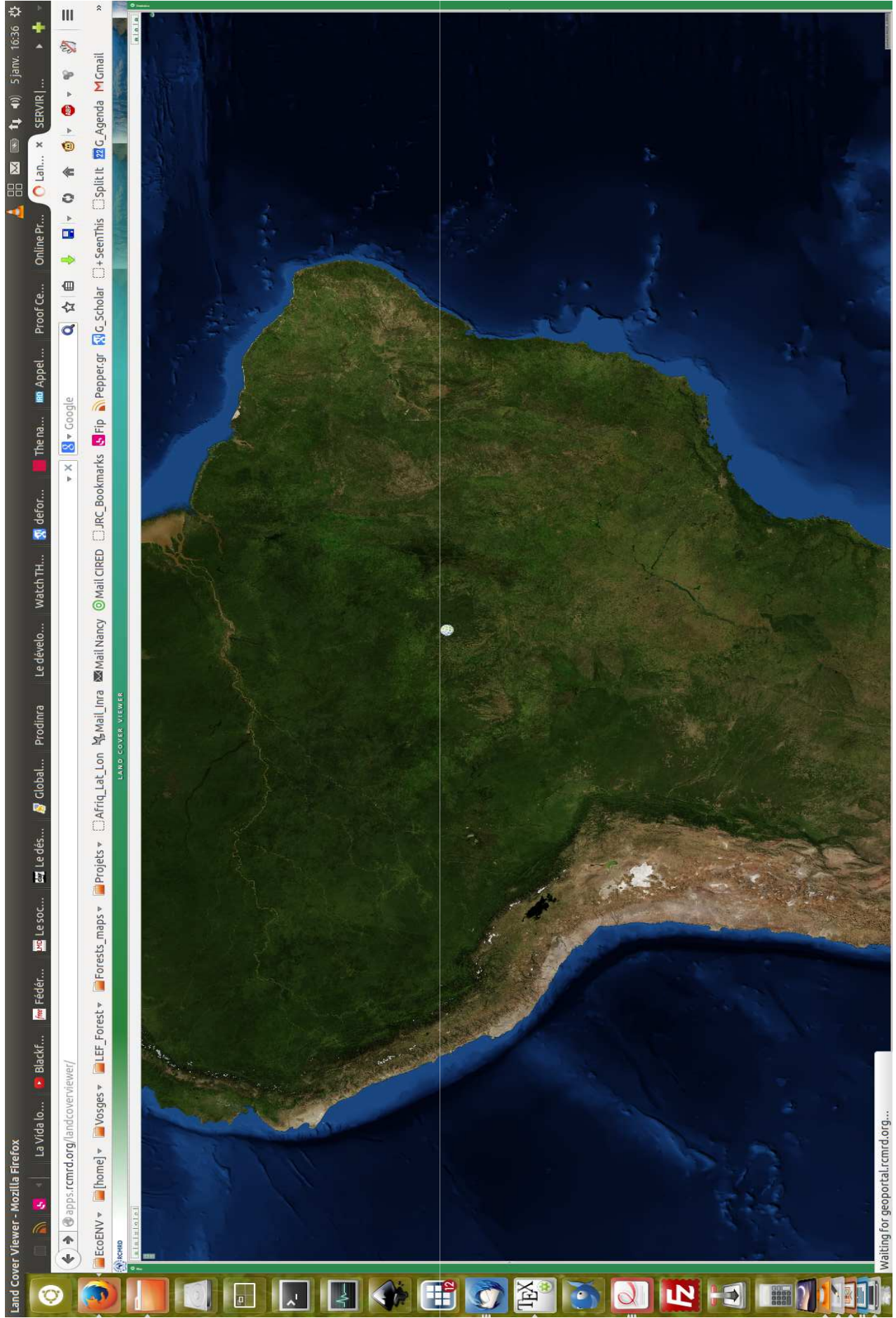
De l'intérêt des données géoréférencées:

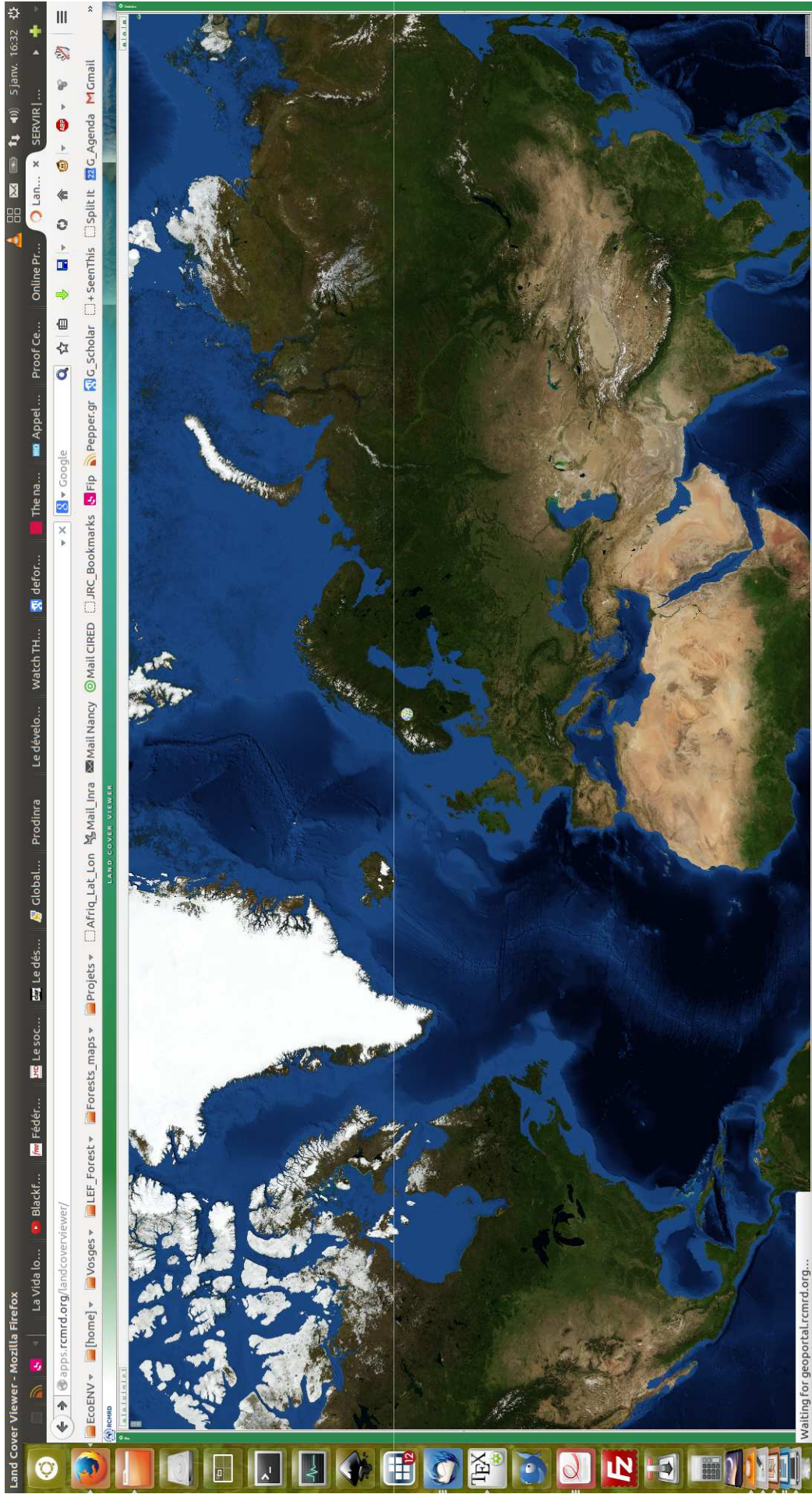
données pour la recherche (land use etc...), quelques exemples

- Land-use, biophysique,
- À apparier (matching) avec des données socio-économiques géoréférencées...
- Sources: majoritairement satellites (coût)

Land use













six billion tweets - Mozilla Firefox

11 déc. 17:32

des im... Groov... Safety Ne... Question... The PE... Intact For... Ubut... passa... doi:10.10... SD Safety... SD Enviro... Accuell... open Loc... [home] LEF_Forest MEGA JRC_Bookmarks Ecouiter Flip DuckDuckGo net2FTP searx GoogleScholar +SeenThis Gmail Webmail CIREL English-French Linguee BiblioSHS

https://api.tiles.mapbox.com/v4/enf.c3azde35/page.html?access_token=pk.eyJ1Ijo1ZW5mlmlwiy516lknLjE492bnMlMQ.Xm2_Uj9RKYTRUCUG4dXZQ#19/48.6895

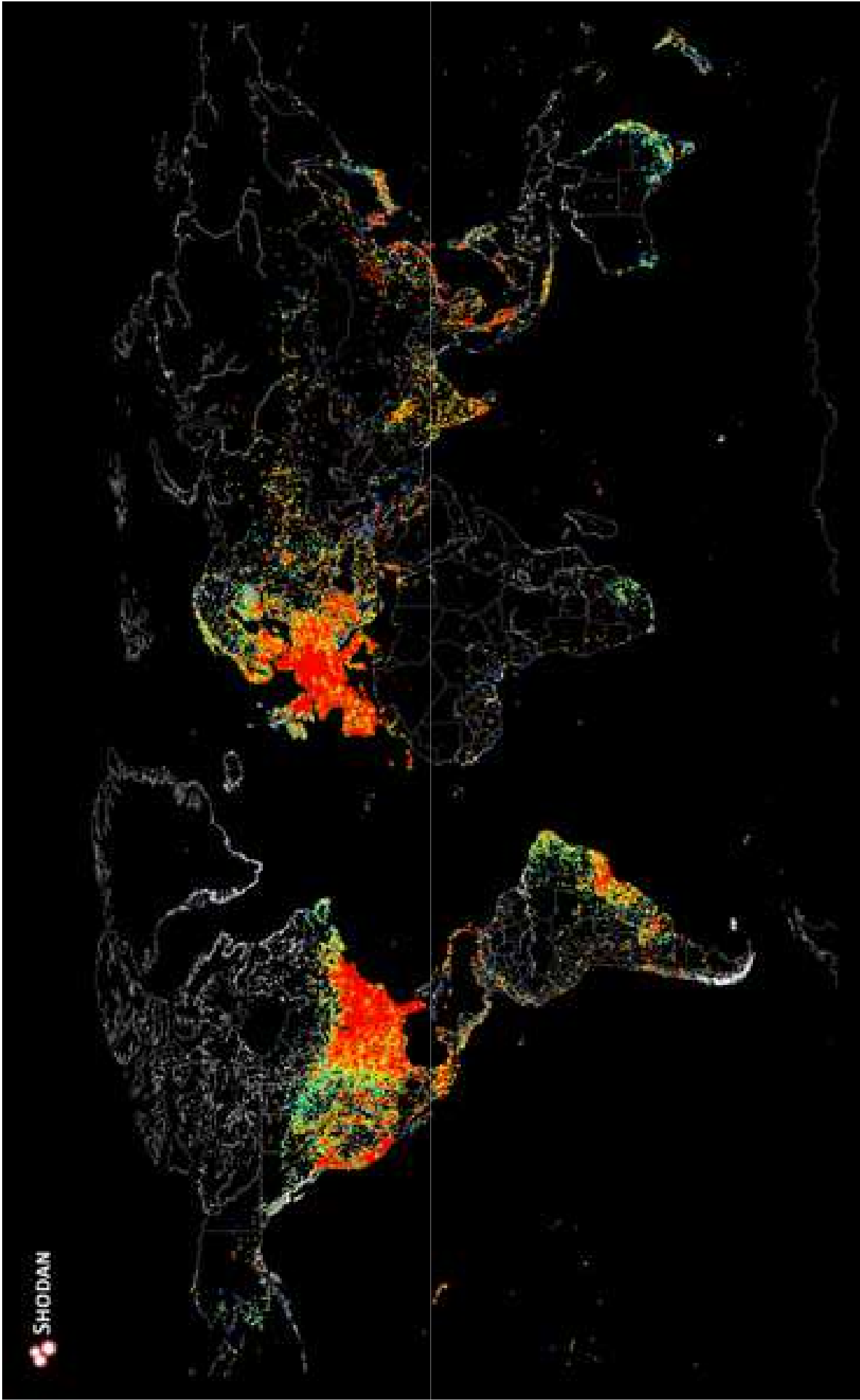
Google

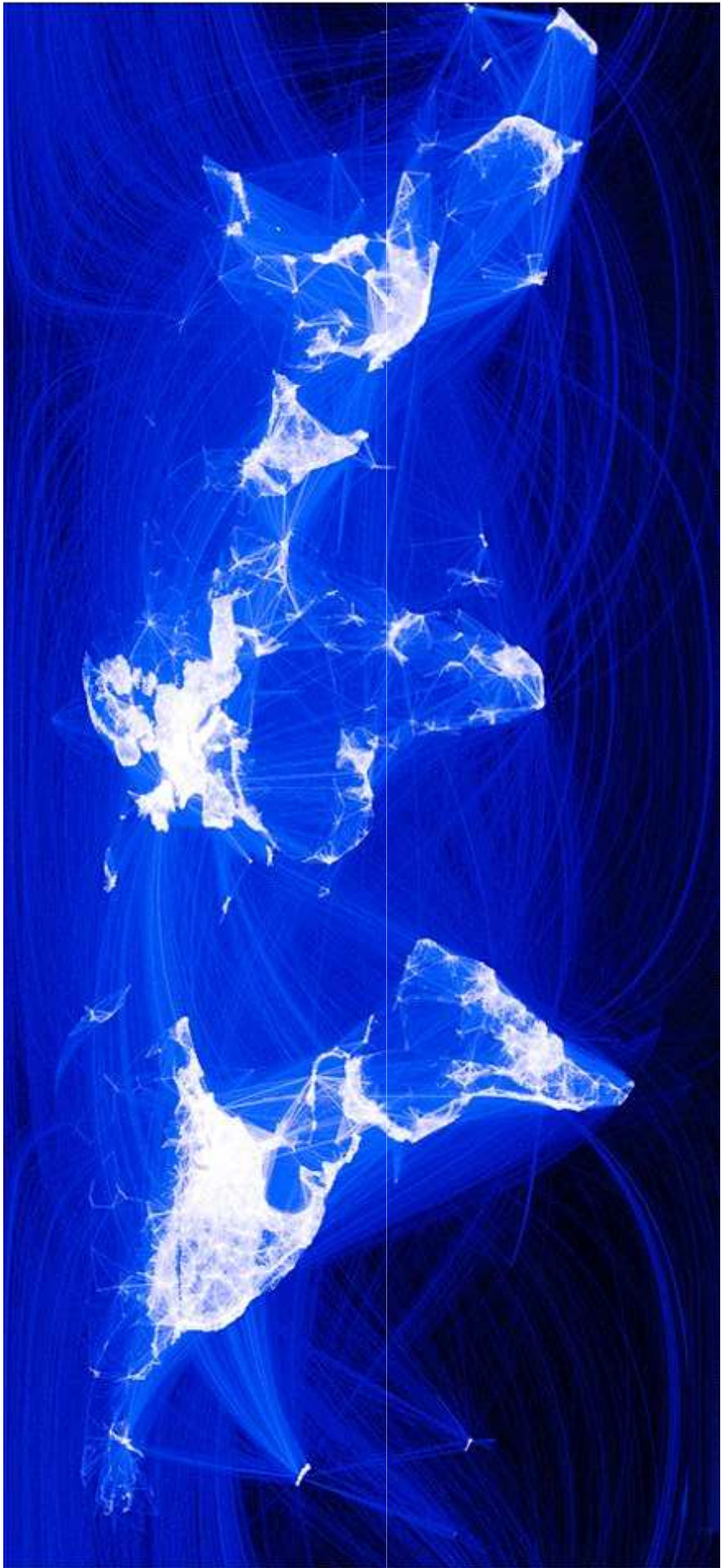
enfr

six billion tweets

© Mapbox © OpenStreetMap Improve this map. Data from the Twitter Streaming API.

The image shows a satellite view of a city grid with numerous green dots scattered across it, representing the locations of six billion tweets. The dots are most densely packed in certain areas, particularly in the central and lower-left portions of the visible map. The map interface includes a search bar at the top with the text 'des im...', a navigation bar with various icons, and a taskbar at the bottom with several application icons. The browser's address bar shows the URL 'https://api.tiles.mapbox.com/v4/enf.c3azde35/page.html?access_token=pk.eyJ1Ijo1ZW5mlmlwiy516lknLjE492bnMlMQ.Xm2_Uj9RKYTRUCUG4dXZQ#19/48.6895'. The browser's title bar reads 'six billion tweets - Mozilla Firefox'. The date and time '11 déc. 17:32' are displayed in the top right corner. The bottom right corner of the map area contains a copyright notice: '© Mapbox © OpenStreetMap Improve this map. Data from the Twitter Streaming API.'

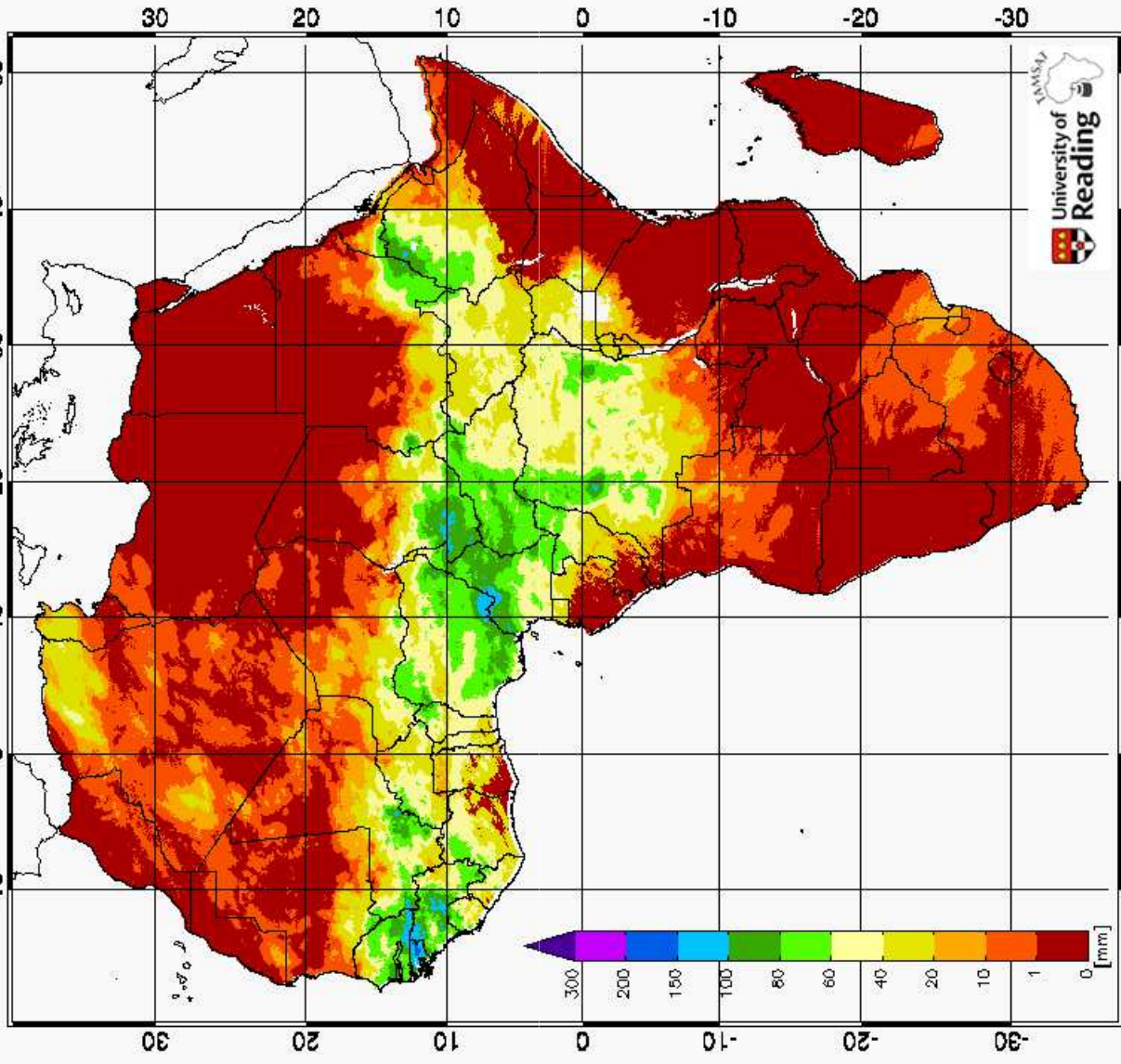




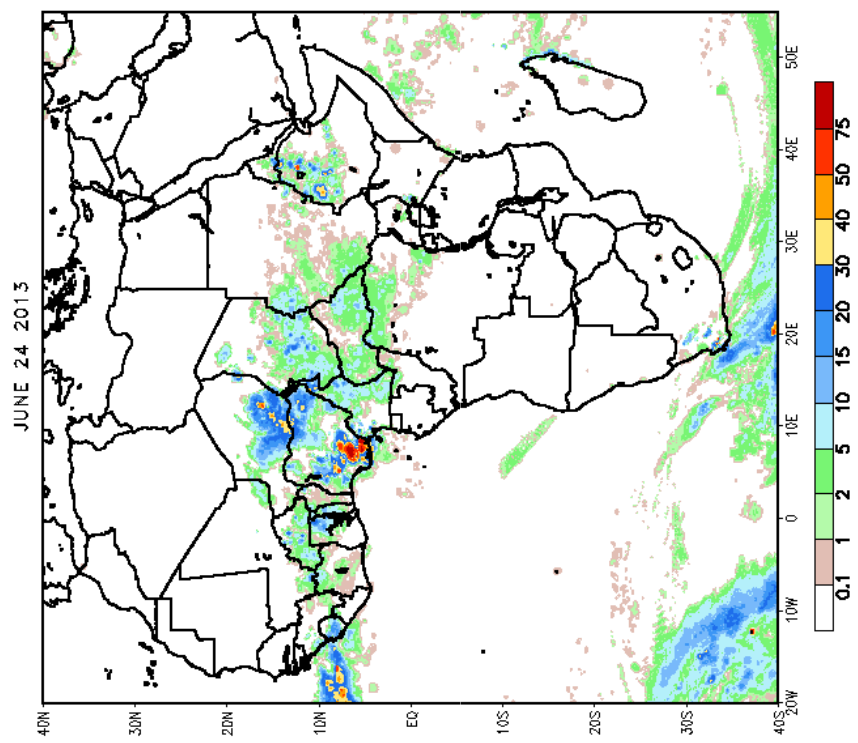
Villes de plus de 250 000 hab



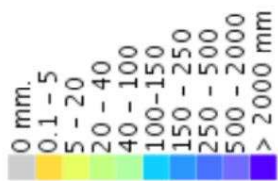
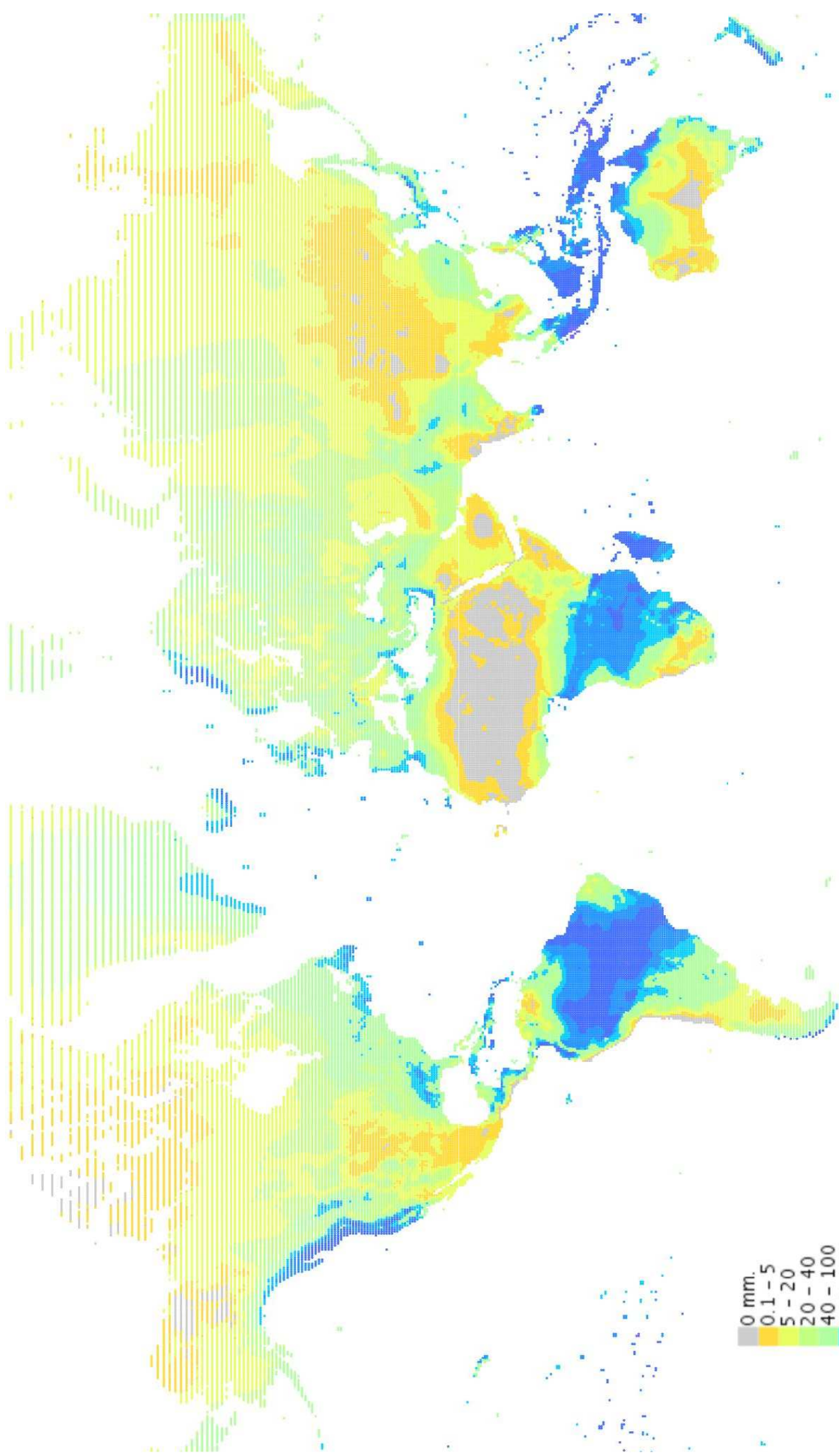
Region: Africa
 Period: Year 2015, Month 09, Dekad 1
 Theme: Rainfall Estimate
 Accumulated rainfall in period
 Source: TAMSAT, derived from MSG TIR



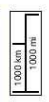
NOAA CPC FEWS-NET Rainfall Estimate (mm):
 based on Satellite and Rain Gauge Data

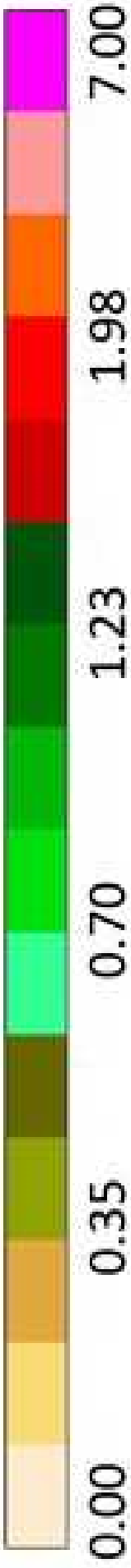
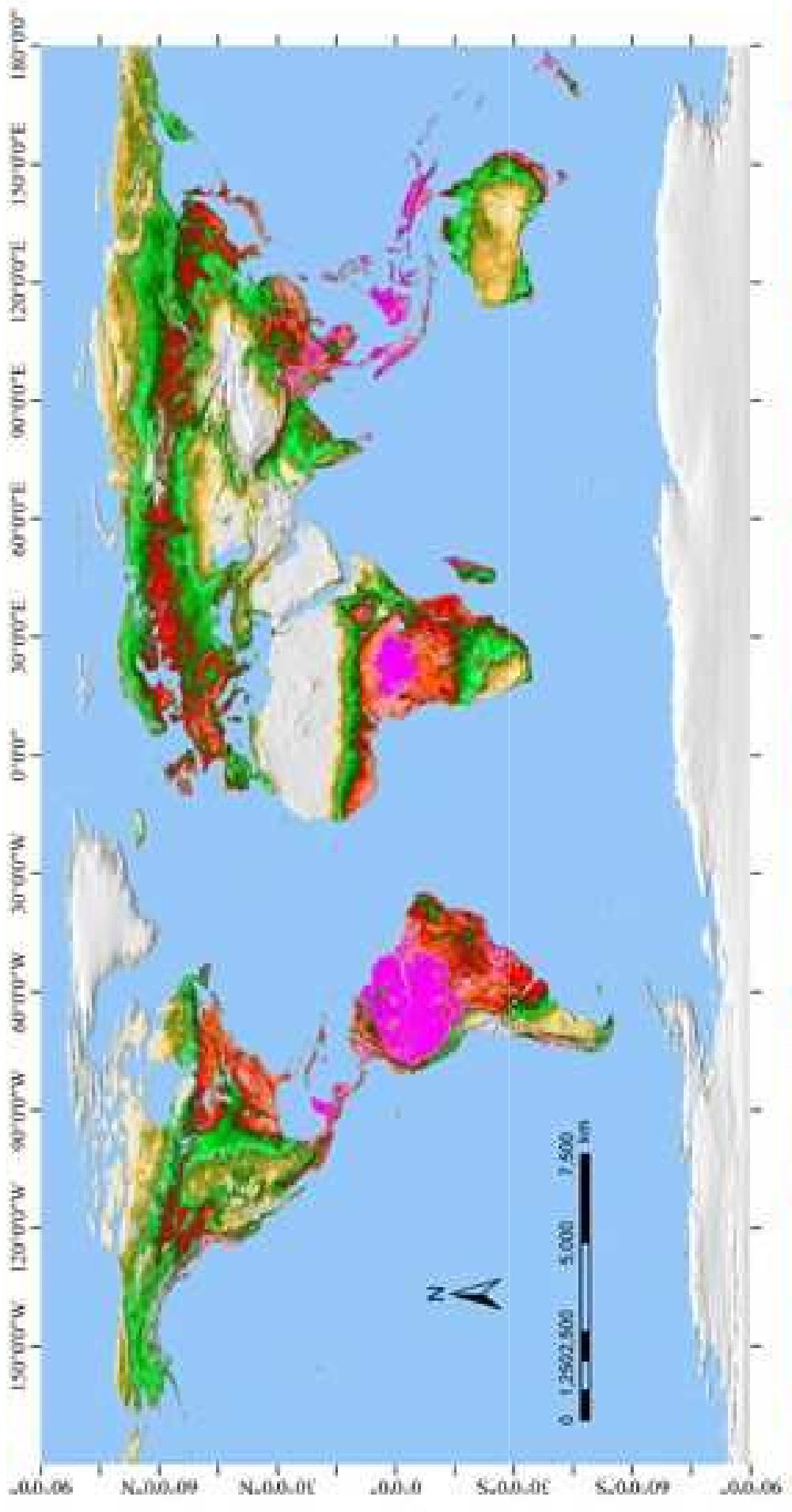


The geographical boundaries are purely a graphical representation and are only intended to be indicative.
 These borders do not necessarily reflect the official EC position.



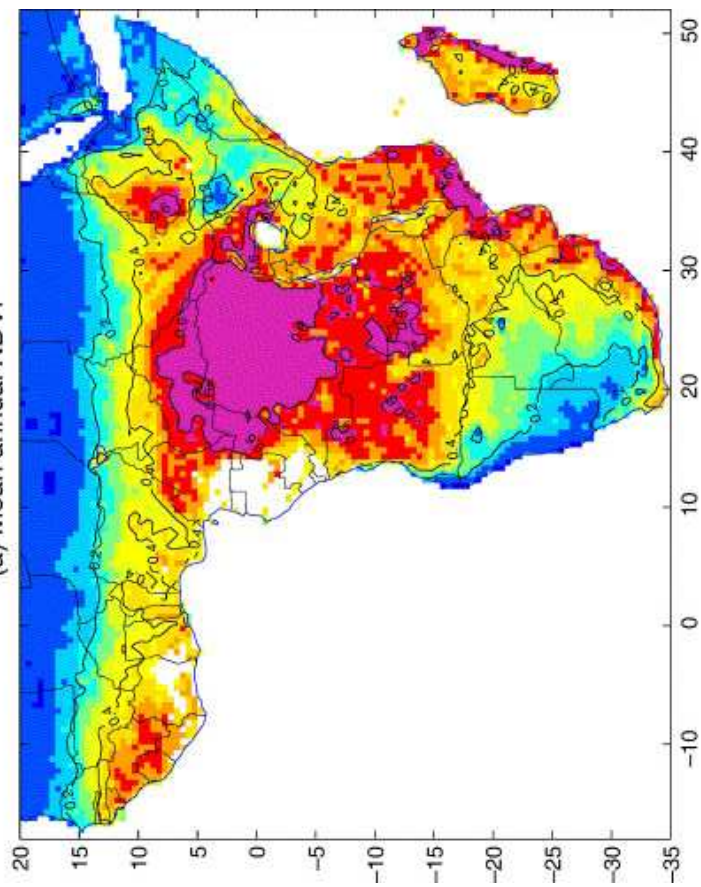
Monthly global precipitation
Globalclimatemonitor.org



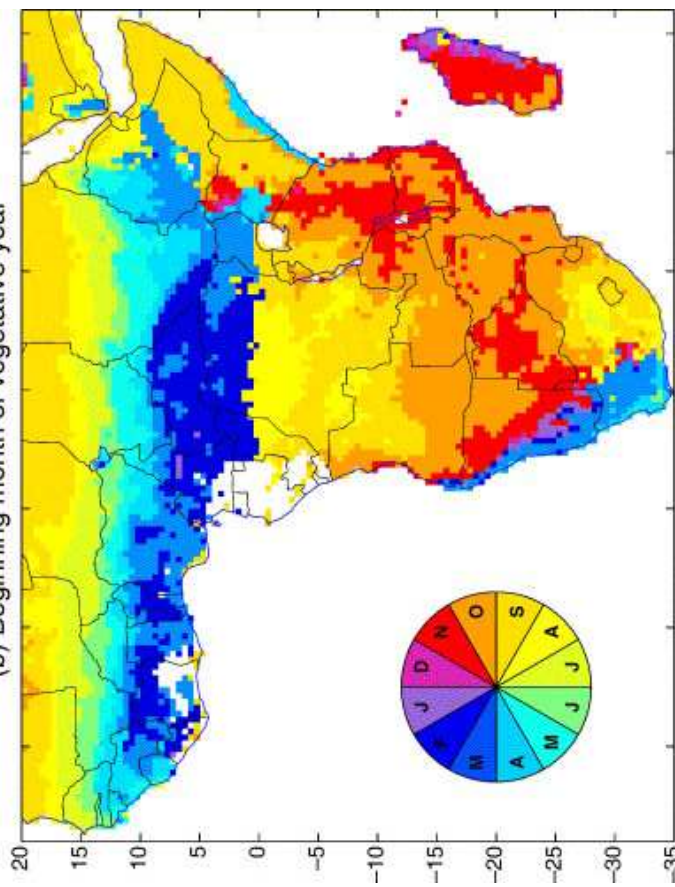


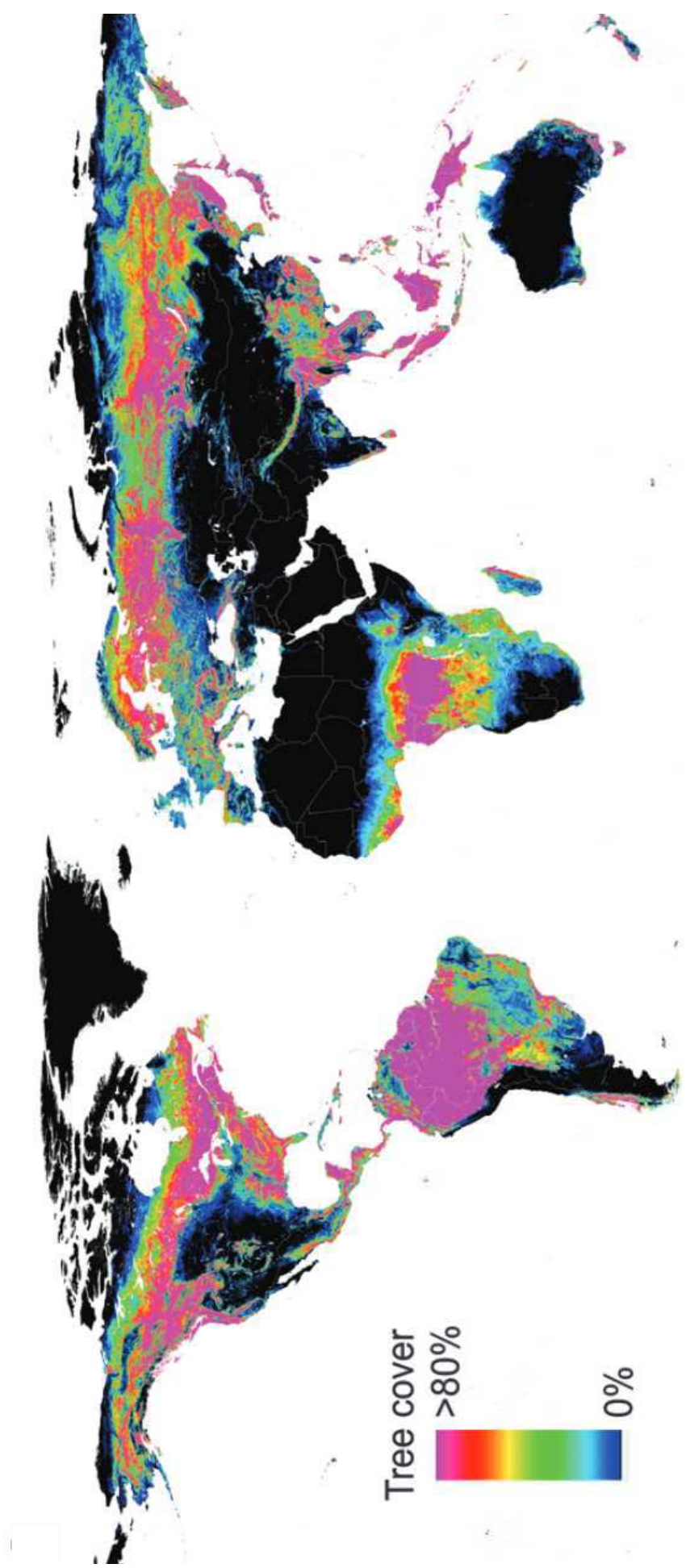
Annual Average GIMMS LAI3g

(a) Mean annual NDVI



(b) Beginning month of vegetative year



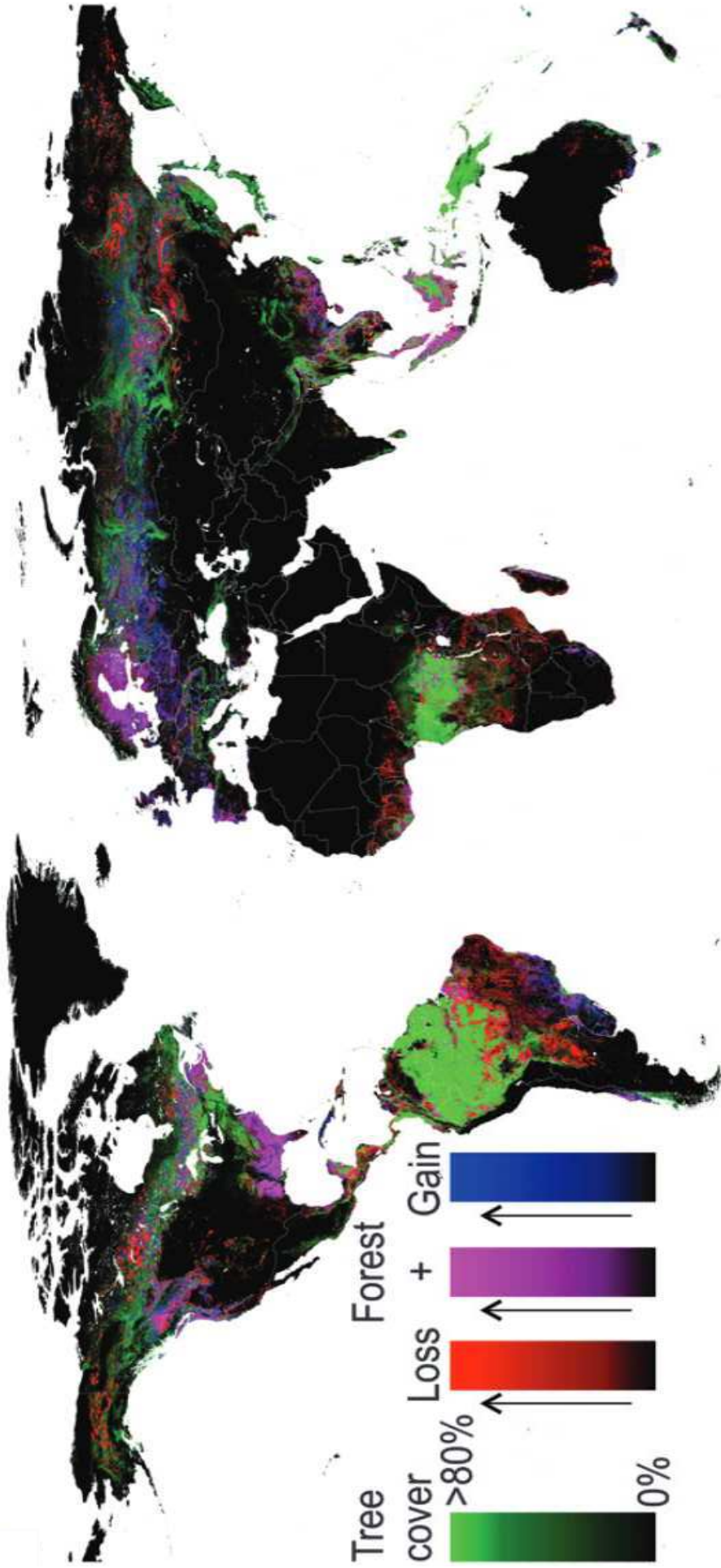


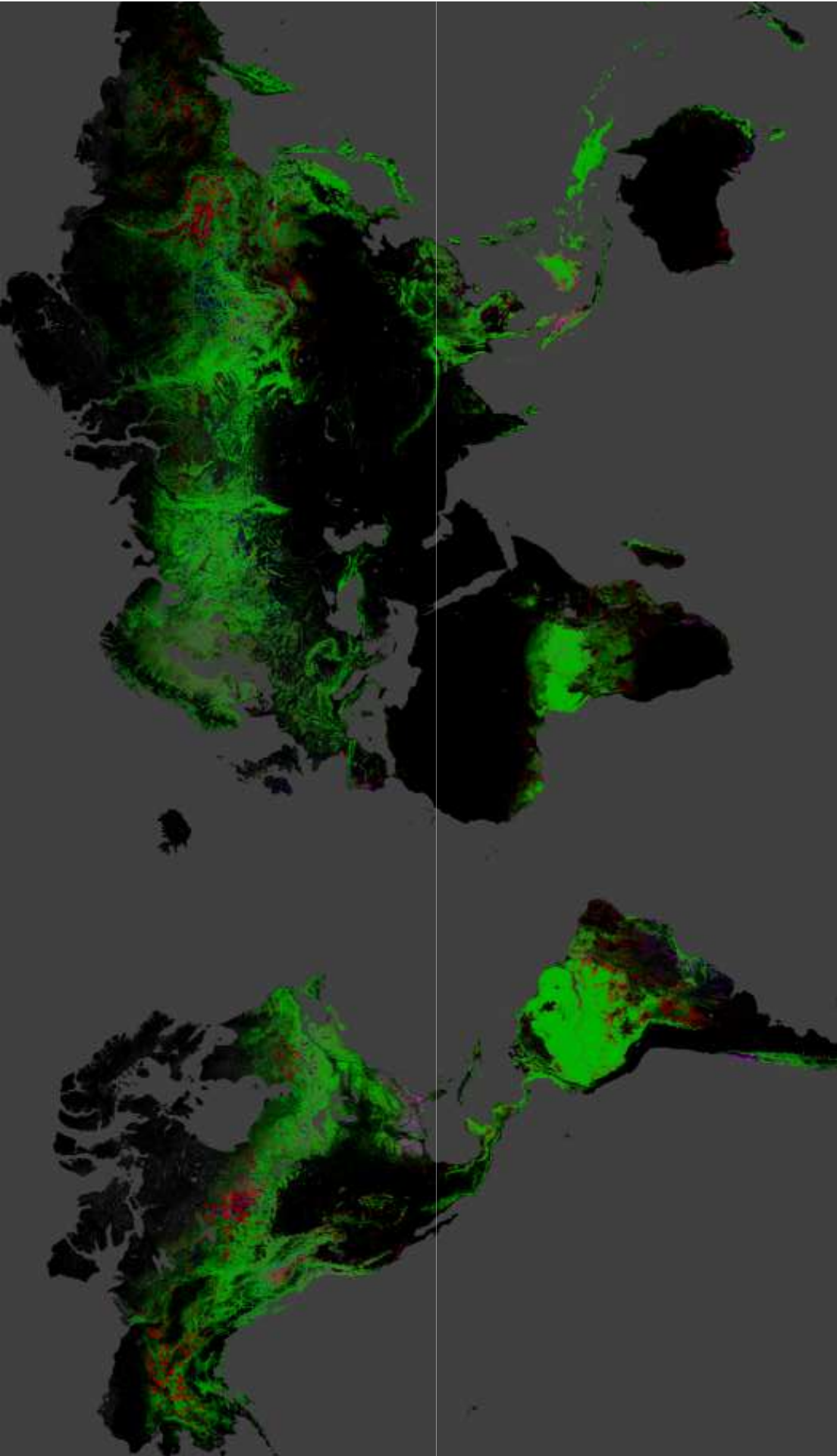
Tree cover

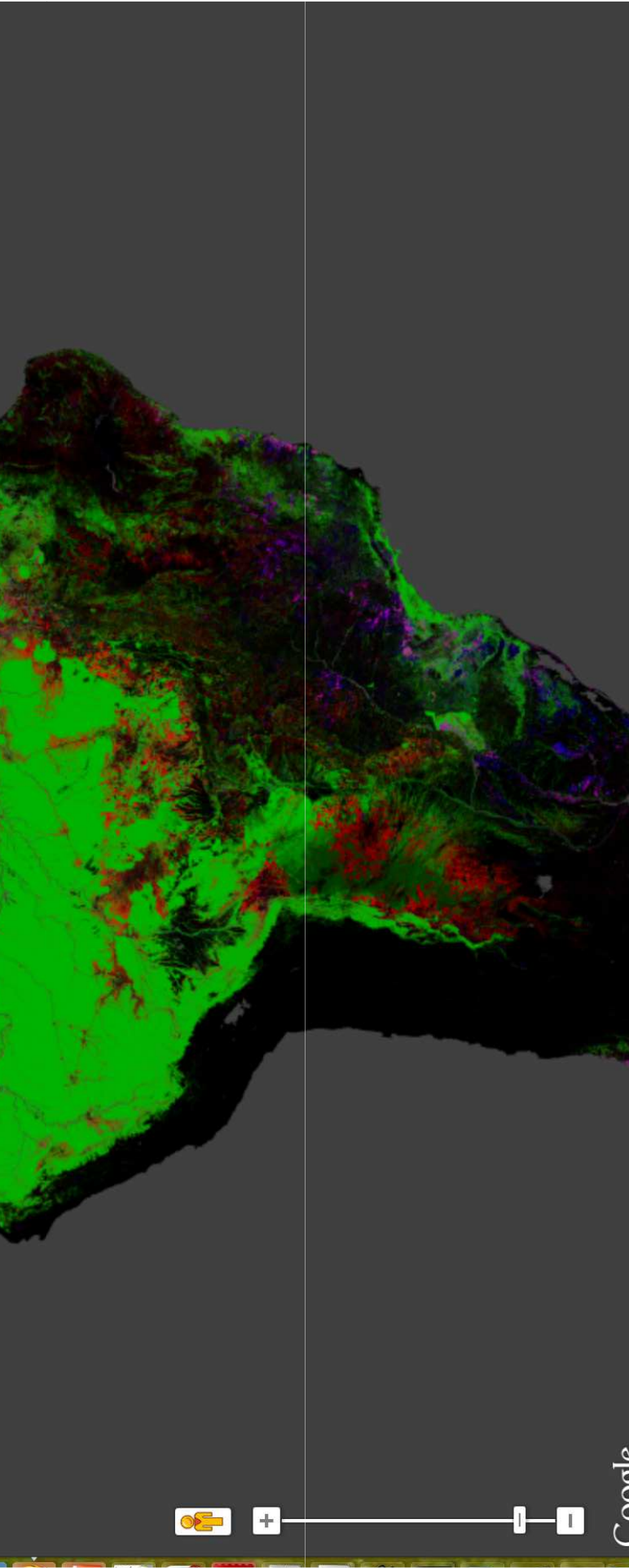
>80%

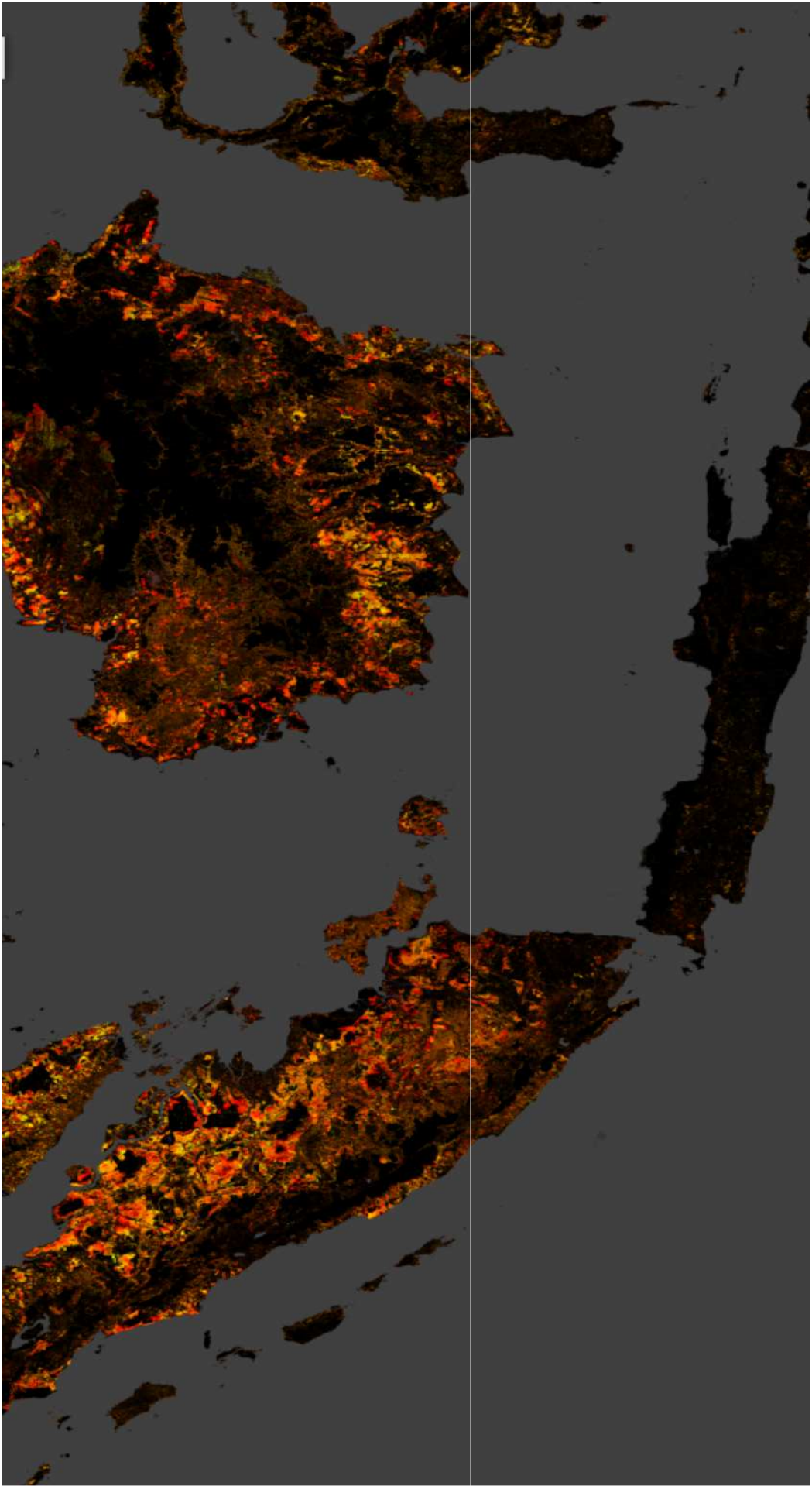


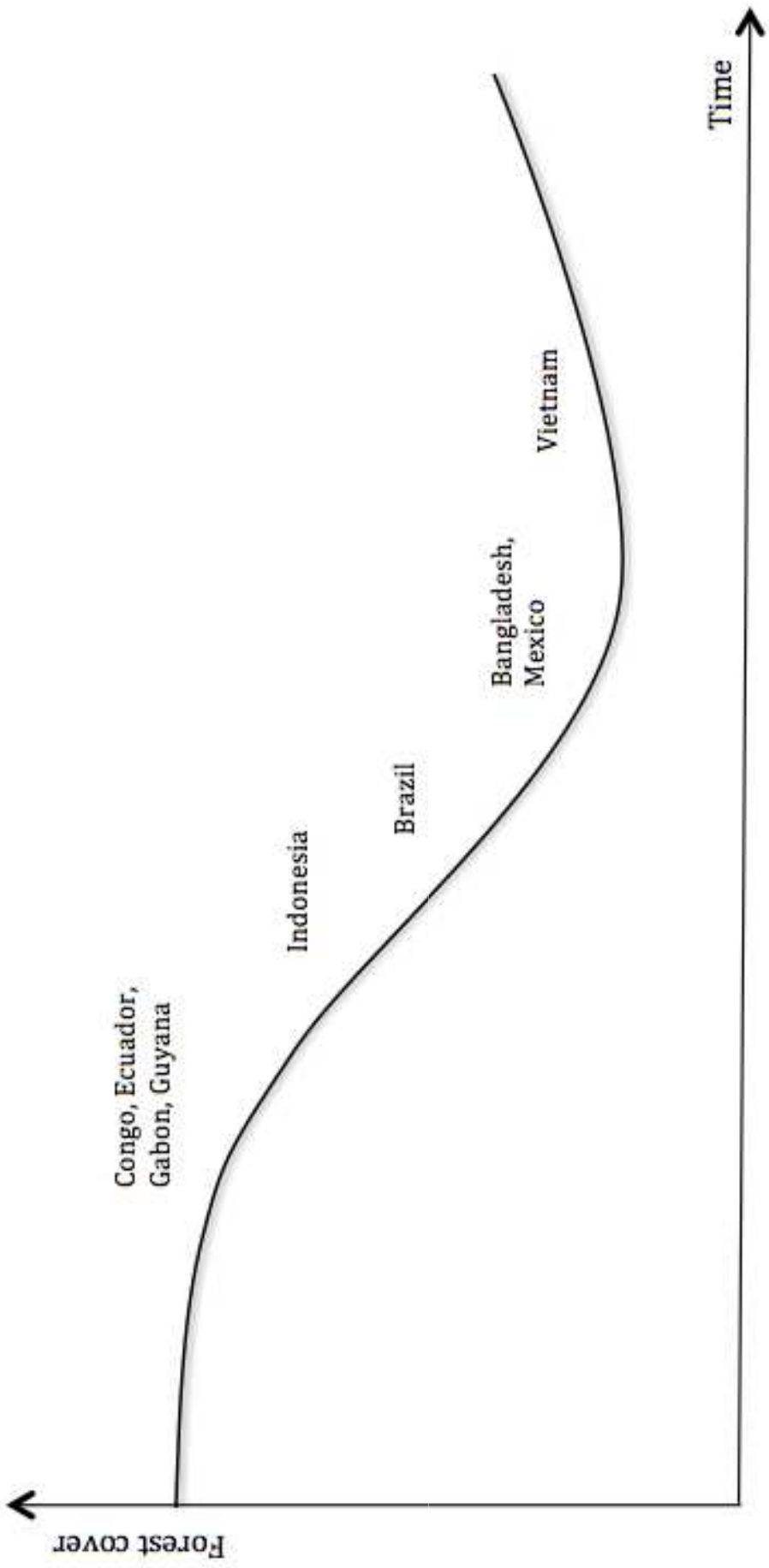
0%







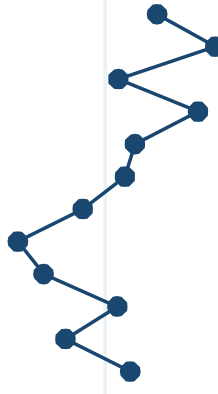




Brazil

Annual deforestation (km²)

30000
20000
10000
0



China

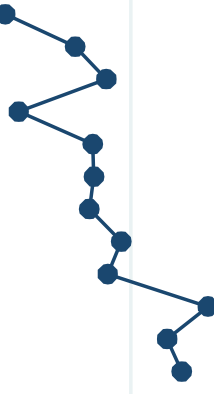


Congo, Dem Rep



Indonesia

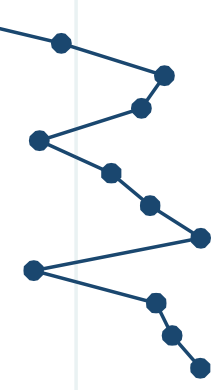
30000
20000
10000
0



Malaysia

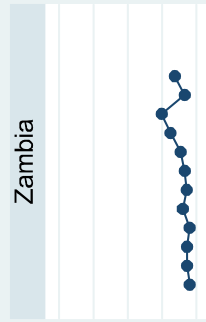
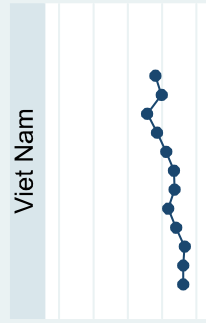
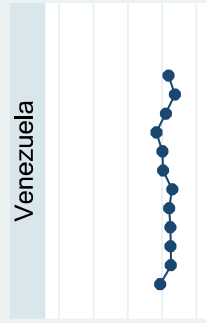
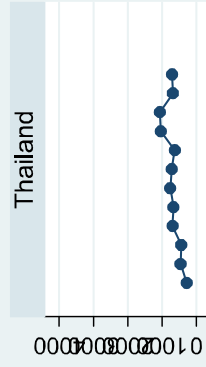
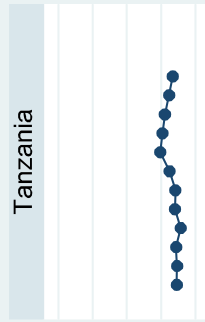
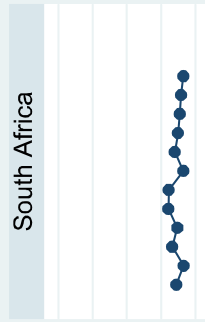
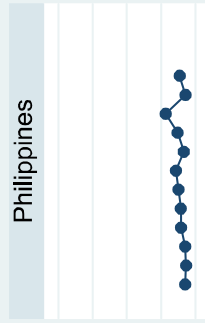
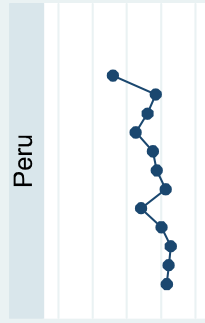
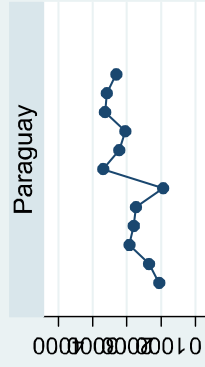
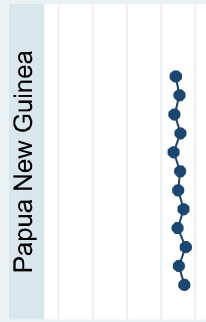
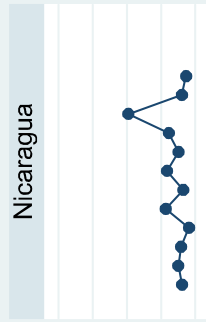
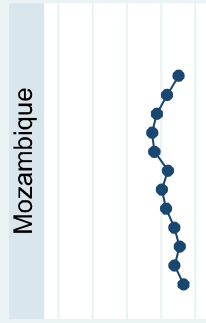
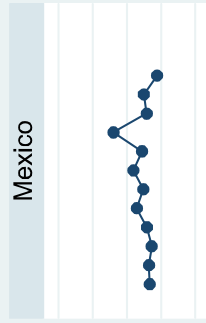
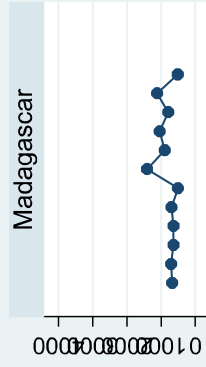
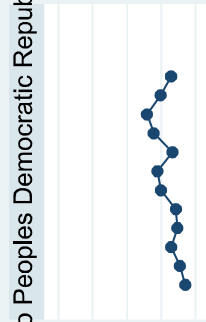
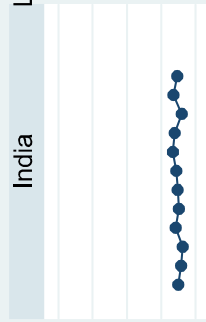
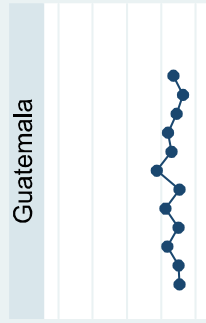
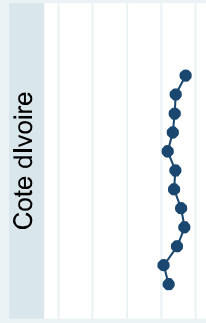
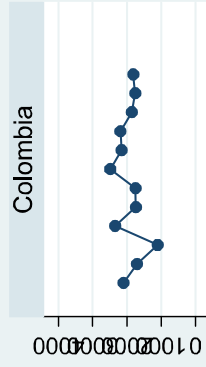
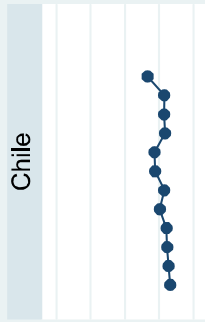
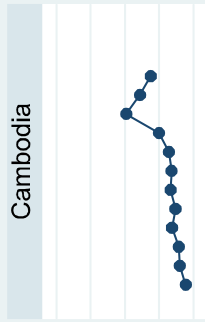
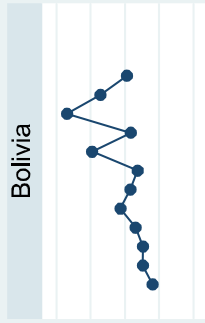
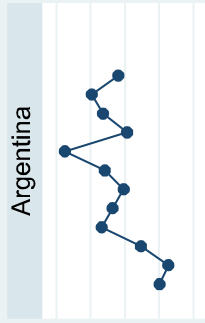
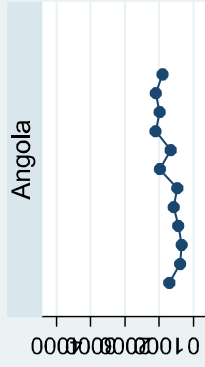


Russia



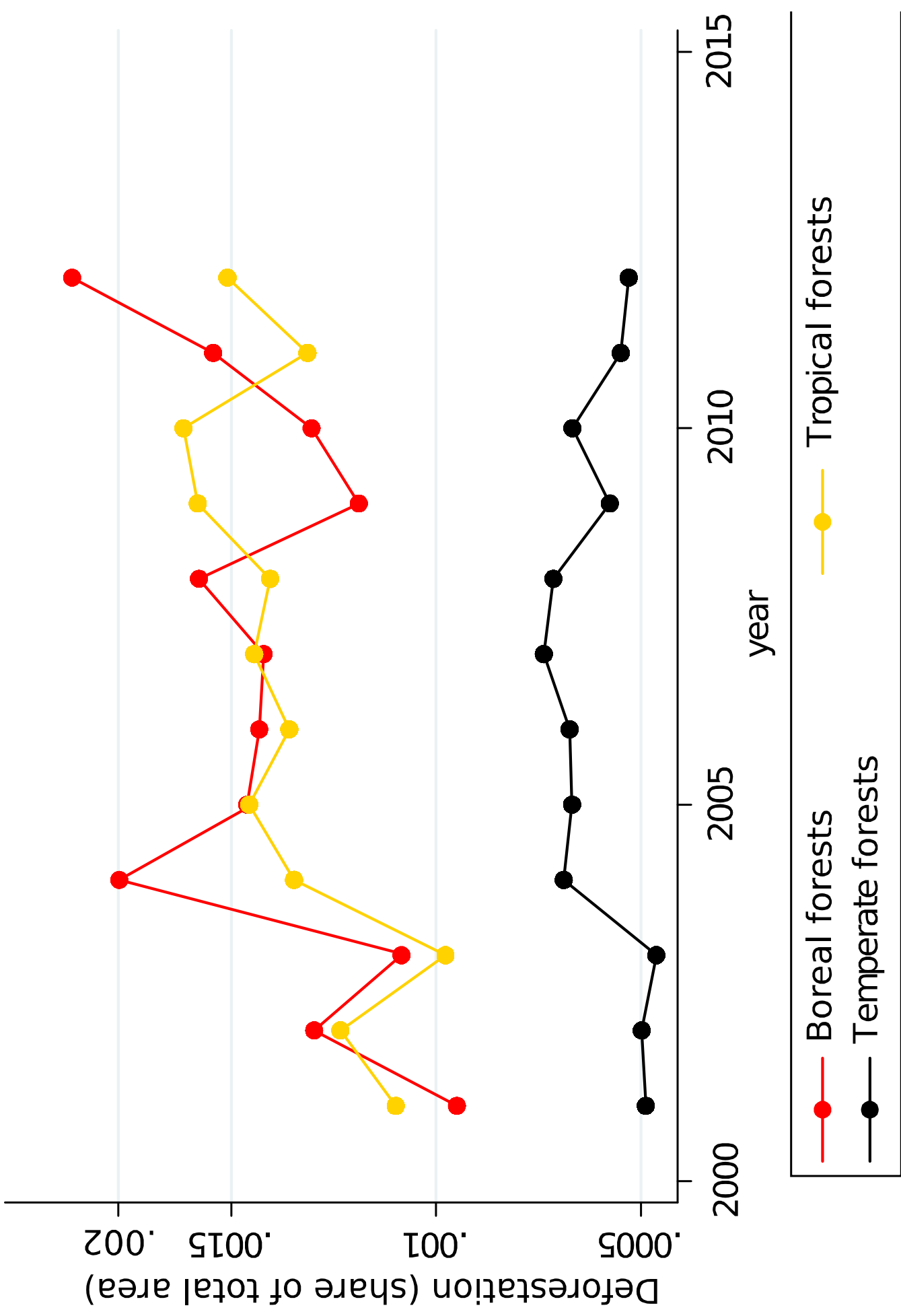
year

2000 2005 2010 2015

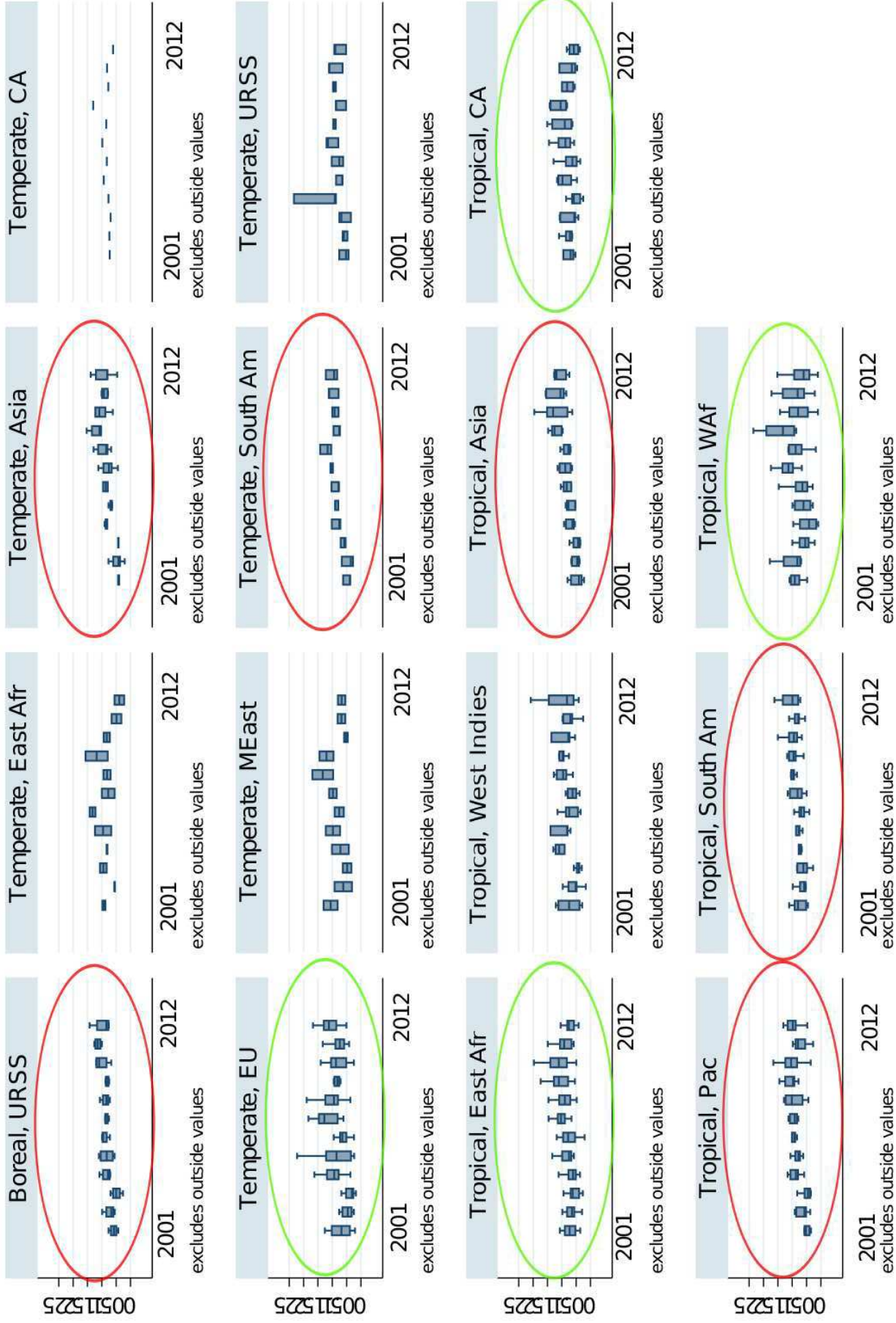


Annual deforestation (km2)

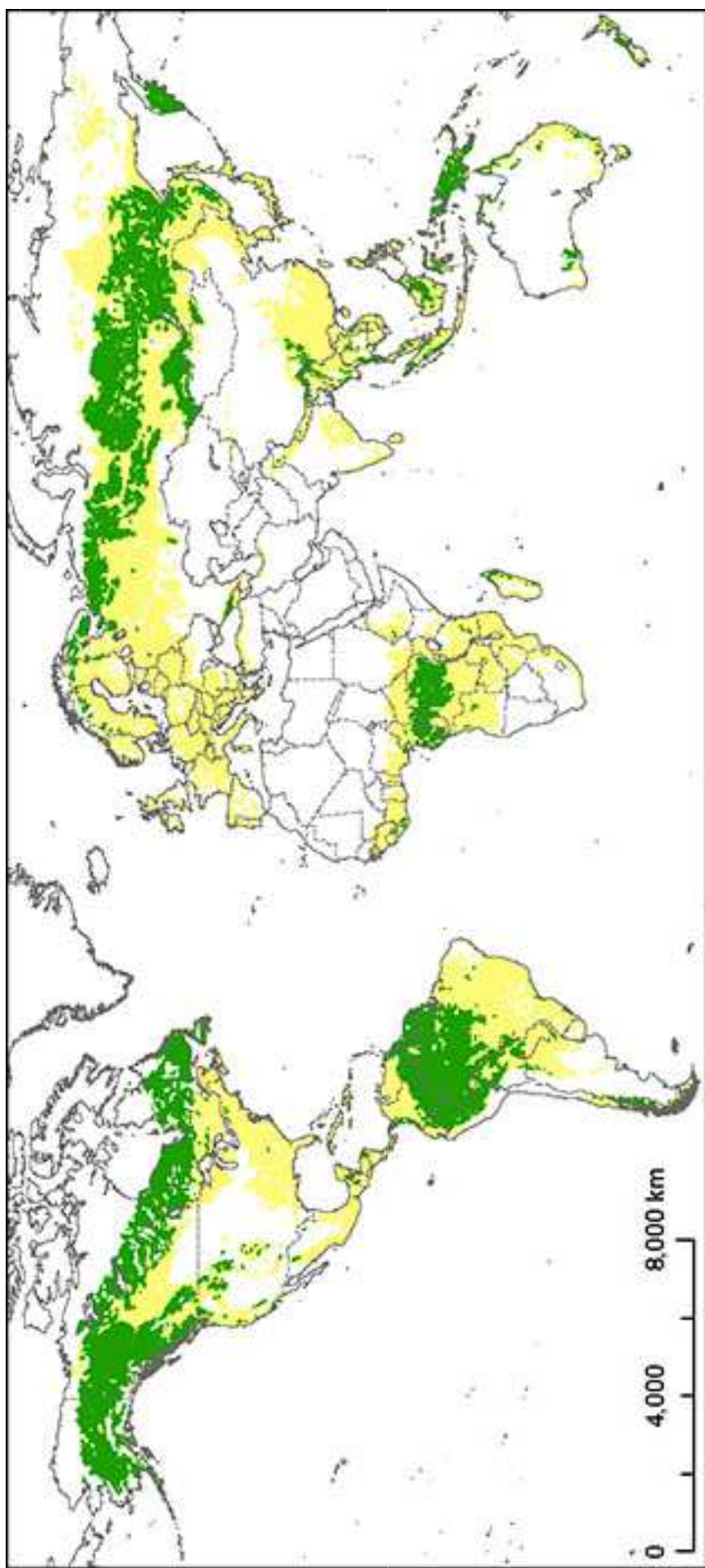
year

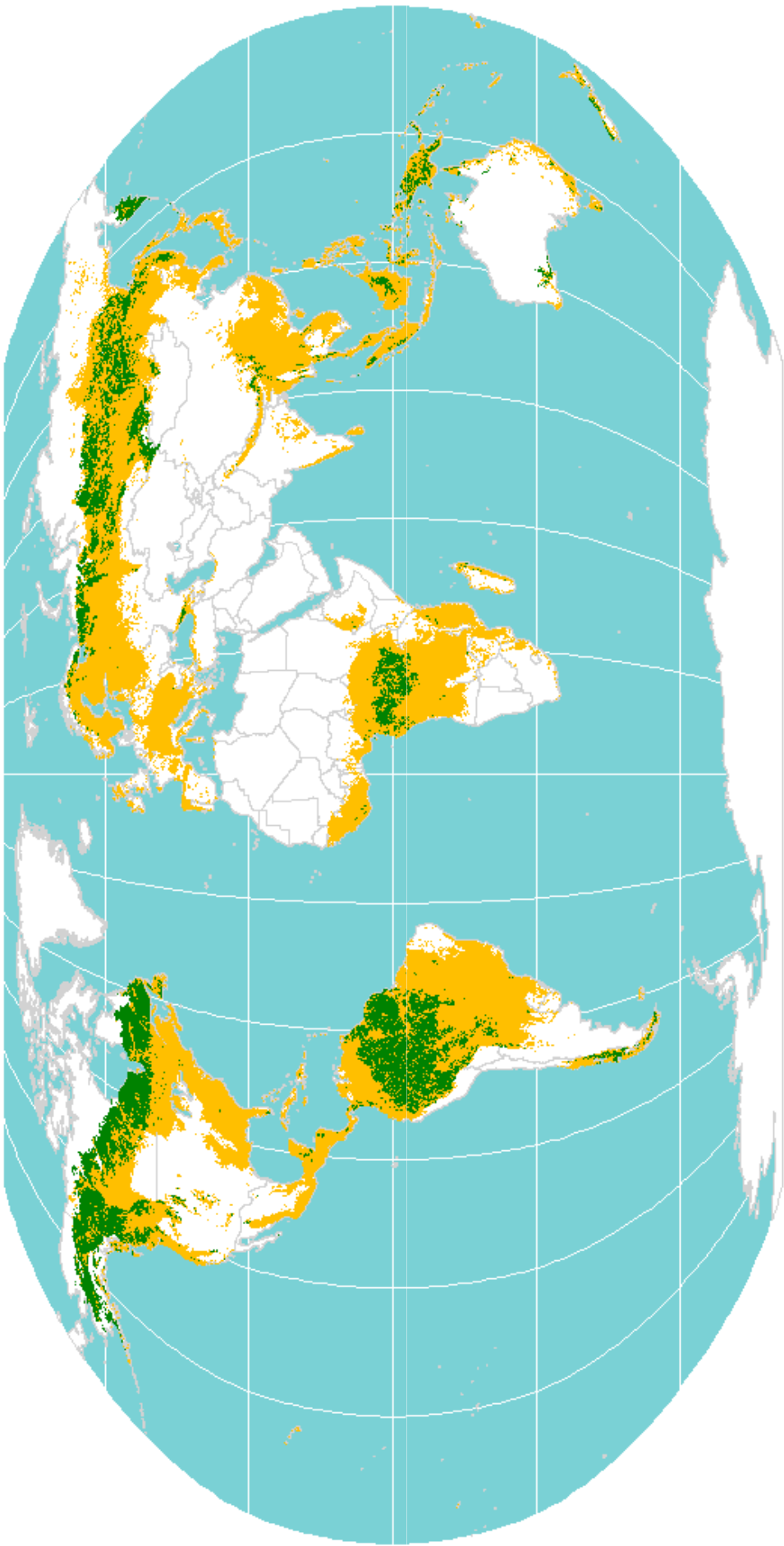


Deforestation: share of 2000–2012 total deforestation in %



Graphs by latitude and region





■ Intact Forest Landscapes (IFLs)

■ Forest zone outside IFL

protectedplanet.net - Explore Protected Areas - Mozilla Firefox

www.protectedplanet.net/#6_7_1.75_0

protectedplanet.net

Explore Terms & Conditions About Help

MEGA JRC_Bookmarks Ecouter Fip DuckDuckGo net2FTP searx GoogleScholar + SeenThis Gmail Webmail CIRED Copy_ Linguue BiblioSHS

LEF_Forest

MEGA

JRC_Bookmarks

Ecouter Fip

DuckDuckGo

net2FTP

searx

GoogleScholar

+ SeenThis

Gmail

Webmail

CIRED

Copy_

Linguue

BiblioSHS

Map | ...

GRID-Are...

MEGA

eduar...

billet t...

Afriqu...

403 Forbi...

Microsoft...

JOKE (...)

How t...

Capita...

Hel

7 nov. 16:58

Search PA's countries...

hide markers

TERRAIN

SATELLITE

Transferring data

Forest Change - Mozilla Firefox

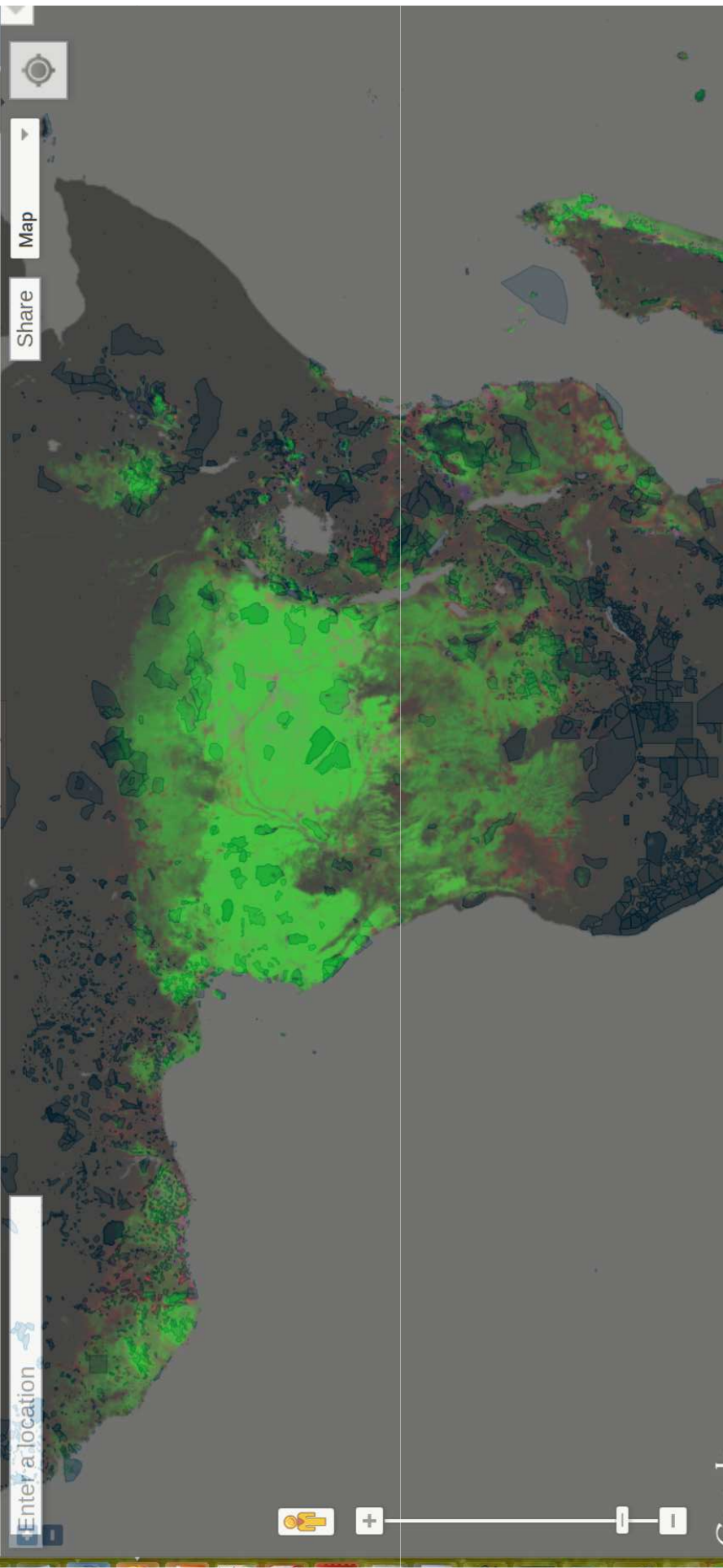
403 Forbidden - Microsoft... JOKE... How to... Ikonawa... Calif... SH+

Google

Google Scholar, Gmail, Webmail GIPED, English-French, Linguee, BilibiliHS, ME

Enter a location

Share Map



Map data ©2014 Basarsoft, Google, Inav/Geosistemas SRL, ORION-ME 500 km

Google

©2014 Basarsoft, Google, Inav/Geosistemas SRL, ORION-ME

Terms of Use

Downloaded by Google Earth Engine · Data Download · Main

Distribuid por Hanson, Defanny, Manra, Hancher et al · Downloaded by Google Earth Engine · Data Download · Main

Detailed description: This is a screenshot of a web browser displaying a satellite map of Europe. The map is overlaid with a color-coded forest change analysis. Large areas of bright green indicate forest gain, while smaller patches of red and purple indicate forest loss. The map is viewed from a high altitude, showing the entire continent. In the top left corner, there is a search bar with the text 'Enter a location'. To the right of the search bar are buttons for 'Share' and 'Map'. At the bottom of the map, there are navigation controls including a person icon, a plus sign, and zoom in/out buttons. The bottom right corner features the Google logo and a scale bar showing '500 km'. Below the scale bar, there is a copyright notice: 'Map data ©2014 Basarsoft, Google, Inav/Geosistemas SRL, ORION-ME'. At the very bottom, there is a footer with the text 'Downloaded by Google Earth Engine · Data Download · Main' and 'Distribuid por Hanson, Defanny, Manra, Hancher et al · Downloaded by Google Earth Engine · Data Download · Main'.