

# CTFC



SCIENCE FOR FOREST MANAGEMENT,  
BIODIVERSITY & BIOECONOMY

**Change the future, today**

# Application des outils de modélisation par la gestion hydrologique et forestière en Catalogne

PAULA MARTÍN GÓMEZ



**forêt méditerranéenne**

**Cycle de conférences: Forêt, sol et eau, des alliés naturels**

« Les chemins de l'eau et le changement climatique, outils et gestion adaptative des forêts méditerranéennes » Marseille, 25 d'avril 2023

- 01 Approvisionnement en eau i gestion forestière en Catalogne / page 3
- 02 HIDROBOSC: Projet de collaboration avec l'agence catalane de l'eau / page 5
- 03 La modélisation écohydrologique: medfate / page 7
- 04 Premiers résultats de la modélisation / page 9

INDICE





# Approvisionnement d'eau et gestion forestière en Catalogne

## SITUATION ACTUELLE

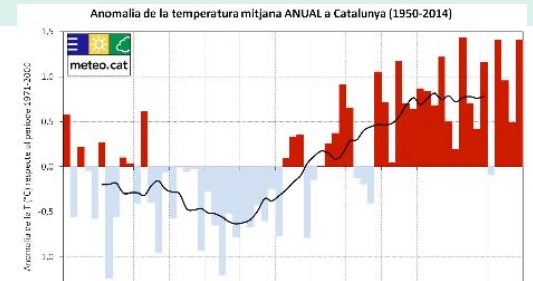


2023: état d'exceptionnalité → Les réserves d'eau de la Catalogne sont à 26%

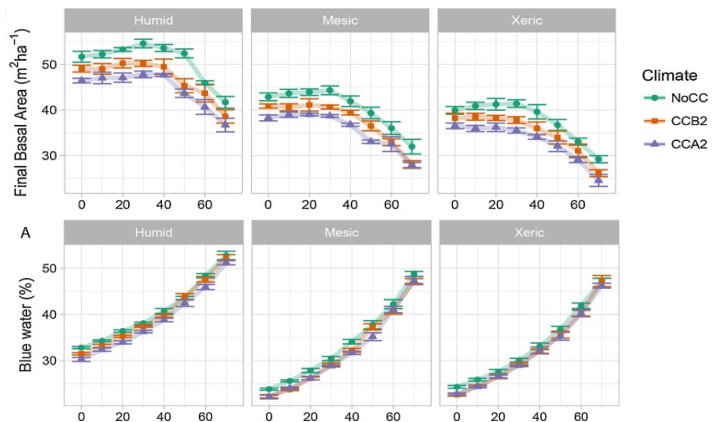
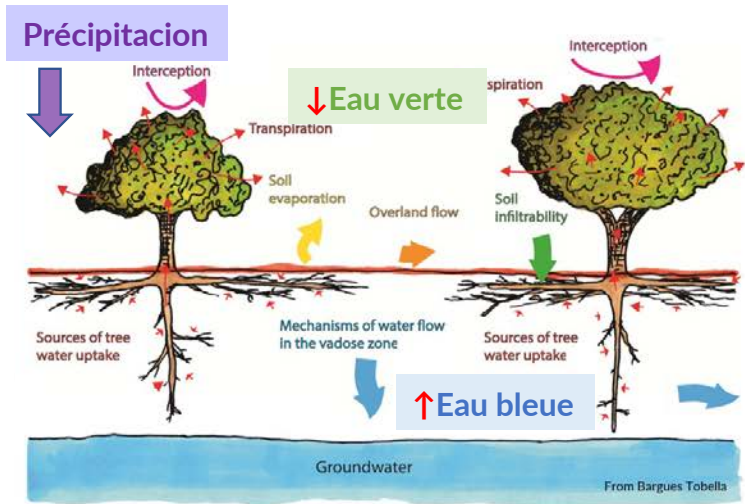
En Catalogne, **les apports fluviaux en régime naturel ont diminué d'environ 5 à 10 % par décennie**, au cours des 4 à 6 dernières décennies (ACA, 2021)

Associé à:

- Le **changement climatique**
- L'augmentation de la **superficie** forestière (10% - années 90)
- La modification de la **structure** forestière (densification 24% - années 90)

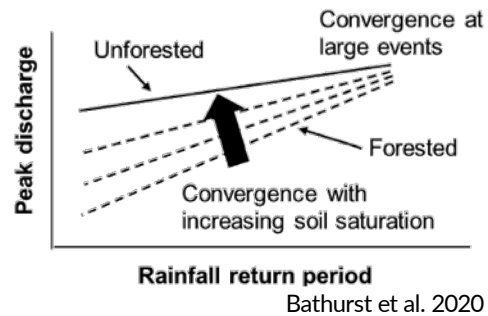


## LA GESTION FORESTIÈRE COMME PARTIE DE LA SOLUTION



*P. sylvestris*, virtual plots, SORTIE+medfate. Ameztegui et al. 2017. *Ecol. Modelling*

La **gestion forestière**, en plus d'améliorer l'état hydrique de la végétation, a le potentiel **d'augmenter l'eau bleue** dans les bassins et, par conséquent, l'eau pouvant être utilisée pour la consommation humaine (**service écosystémique de approvisionnement**) et aussi les **débits écologiques des rivières** (service écosystémique de régulation).



- ❑ Les principaux effets sont sur le faibles débits (sans couverture ↑ magnitude avec = fréquence).
- ❑ De plus petites différences dans débits élevés

Effet des traitements sylvicoles est en fonction de:

- Climat : température, précipitations annuelles
- Différences spécifiques et structure forestière
- Type de sol
- Équilibre avec les autres SE

**Modélisation  
ecohydrologique  
et hydraulique**

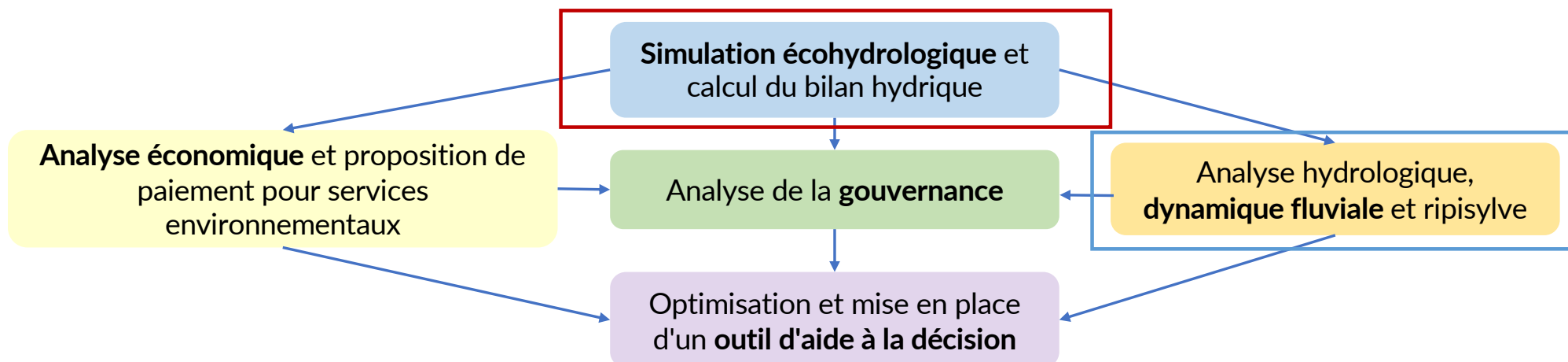
# HIDROBOSC: Projet de collaboration avec l'ACA



**Objectiu:** Développement d'un outil de planification pour la **gestion des eaux et des forêts** dans les bassins hydrographiques de Catalogne

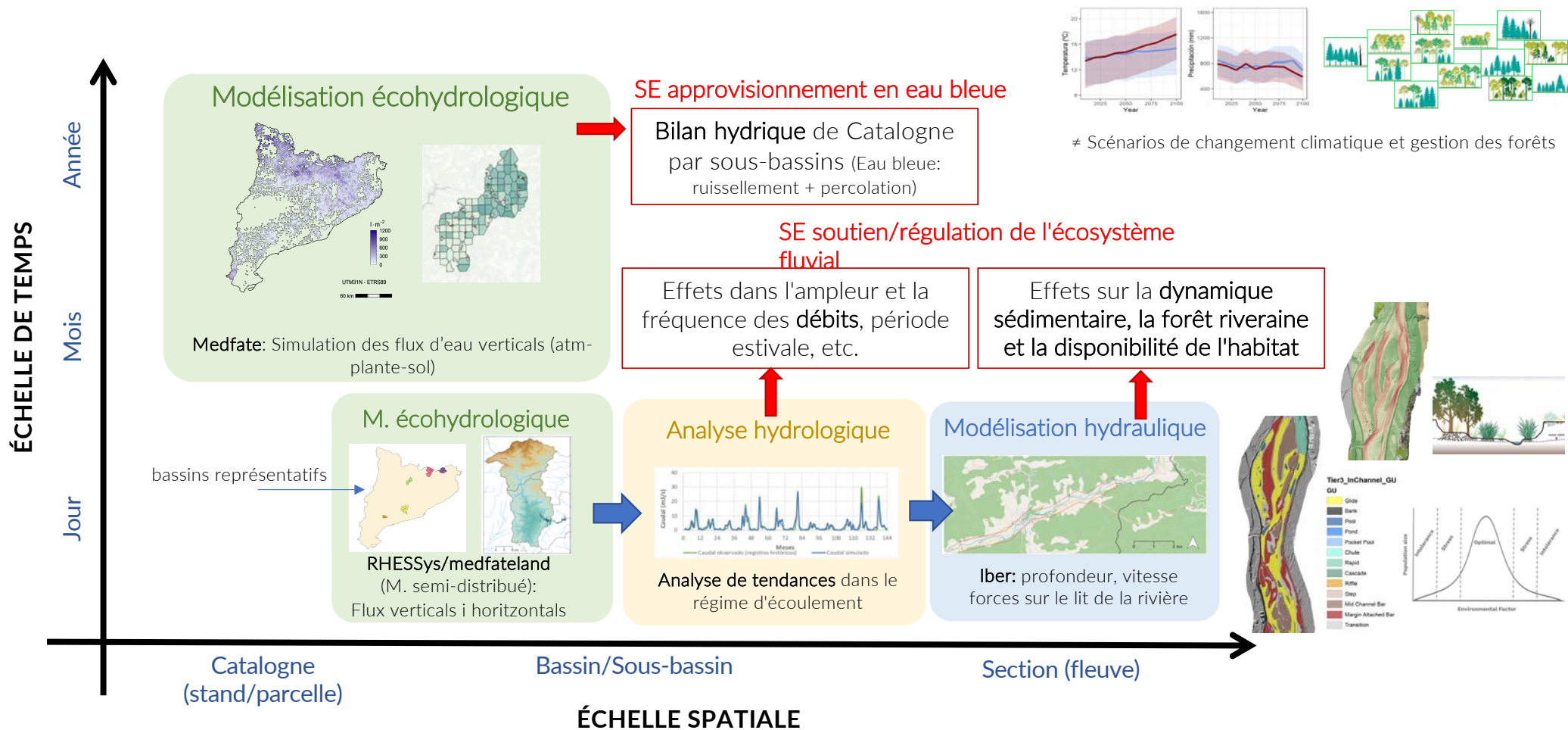


- ❖ Évaluer l'impact des différents modèles de gestion forestière sur les ressources en eau dans un scénario global de changement climatique
- ❖ Proposer des mesures de gestion concrètes dans différents bassins versants de Catalogne.

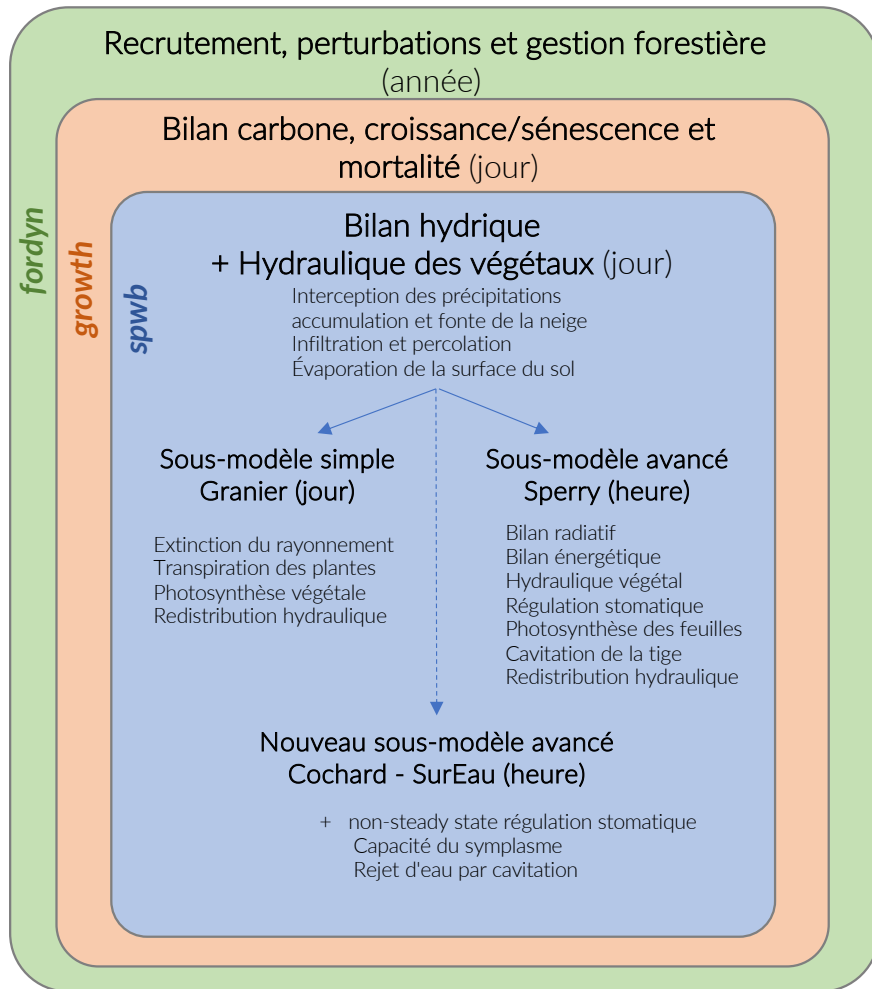




# Approche méthodologique: L'eau, de la forêt au fleuve



# La modélisation écohydrologique: medfate



MEDFATE 2.9.3 (De Cáceres et al. 2015, 2021, *under review*)  
Librairie R medfate (<https://emf-creaf.github.io/medfate/>)

Medfate est paramétré et évalué pour les espèces de la région méditerranéenne, en particulier pour les espèces incluses dans l'Inventaire Forestier National Espagnol (IFN) et pour la région de Catalogne

*La validation des résultats de dynamique forestière avec les données de l'IFN a montré que les évolutions générales de la surface terrière avaient un biais moyen de +0,4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (+7,5%) pour le sous-modèle de bilan hydrique simple, et de +0,9 m<sup>2</sup> ·ha<sup>-1</sup> (+17,4 %) pour le sous-modèle avancé Sperry (De Cáceres et al. *under review*).*

## Projet HIDROBOSC :

Sous-modèle simple Granier + fonction fordyn

INPUTS (packages R « medfateutils », « meteoland » )

- Données de végétation : IFN3 (année ~2000), 9900 parcelles.
- Données sur les sols : base de données mondiale *SoilGrids*
- Données climatiques :
  - Historiques (2000-2020) : interpolation des réseaux de gares météorologiques en Catalogne (SMC) et en Espagne (AEMET)
  - Projections futur (2021-2100) : *EURO-CORDEX*, modèle climatique global (CNRM/CCLM), deux scénarios de concentration représentatifs (RCP) 4.5 et 8.5

## Programmation de la gestion forestière dans medfate (De Cáceres et al. *under review*, Trasobares et al. 2022)

- ❑ Adaptation des directives officielles de gestion forestière en Catalogne (ORGEST) pour chaque espèce dominante
- ❑ Seuils de surface terrière ou indice de Hart Beck pour les débroussaillage et diamètre pour les coupes finales



Espèce dominante

CRECIMIENTO

GESTION

MORTALIDAD

INCORPORACIÓN

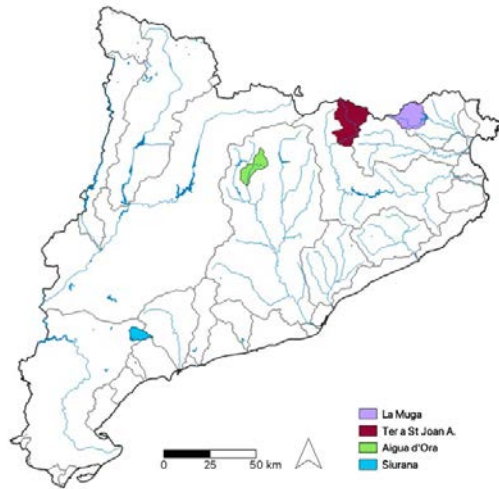


Espècie	Tipus de massa	Tipus d'aclarida	Llindar AB	Llindar HB	Percentatge de aclarida	Diàmetre final	Percentatge tallades finals	Espècie plantació	Diàmetre plantació	Alçada plantació	Densitat plantació
<i>Pinus pinea</i>	regular	Baix	28		25	50	40-60-95	151			280
<i>Pinus sylvestris</i>	irregular	Sistemàtic	35		33						
<i>Pinus uncinata</i>	irregular	Alt-sistemàtic	35		28						
<i>Pinus pinaster</i>	regular	Baix-sistemàtic		25	35	45	100	150	5	5	600
<i>Pinus halepensis</i>	regular	baix	35		33	35	60-95				
<i>Pinus nigra</i>	irregular	Alt-sistemàtic	30		32						
<i>Pinus radiata</i>	regular	Baix-sistemàtic		17	35	25	100	152	5	5	200
<i>Abies/Picea/Pseudotsuga spp.</i>	irregular	Alt-sistemàtic	47		35						
<i>Juniperus/Cupressus</i>	regular	Baix-sistemàtic		17	30	30	40-60-95	115, 116, 117, 61	5	5	200
Altres coníferes	regular	Baix-sistemàtic		17	30	30	40-60-95	33, 120	5	5	200
<i>Quercus ilex</i>	irregular	Sistemàtic	30		40						
<i>Quercus suber</i>	irregular	Baix-sistemàtic	25		20						
<i>Quercus faginea</i>	irregular	Sistemàtic	25		30						
<i>Quercus robur/petraea/canariensis</i>	irregular	Alt-sistemàtic	25		40						
<i>Quercus pyrenaica/pubescens</i>	irregular	Sistemàtic	25		35						
<i>Populus/Platanus spp.</i>	regular	Baix-sistemàtic	20		35	25	100	158, 160	5	5	200
<i>Fraxinus/Salix spp.</i>	regular	Baix-sistemàtic	25		30	25	30-65-95	100, 186	5	5	200
<i>Eucalyptus spp.</i>	regular	Baix-sistemàtic	20		35	18	100	94	5	5	200
<i>Fagus sylvatica</i>	irregular	Alt-sistemàtic	30		28						
<i>Castanea sativa</i>	regular	Baix-sistemàtic	40		33	30	100	32	5	5	600
<i>Betula/Acer spp.</i>	irregular	Sistemàtic	25		25						
Altres frondoses	irregular	Sistemàtic	25		25						
Totes les espècies	Interval mínim entre clares 10 anys			Interval mínim entre tals finals 10 anys			Màxim percentatge de coberta matoll 30%				



# Premiers résultats : Validation du modèle avec des données satellitaires et de jauge

Comparaison du 01/03/2000 au 31/12/2020



## 4 bassins versant représentatifs:

- Cours superior du fleuve
- Essentiellement forestiers
- Gradient bioclimatique
- Existence de données historiques des stations de jaugeage

MODIS (GEE)

Indice de surface foliaire (LAI) - mensuel  
Production primaire brute (PPB) - annuelle  
Évapotranspiration (ET) - mensuelle

Stations de jaugeage officielles ACA

Débit mensuelle (Hm<sup>3</sup>)

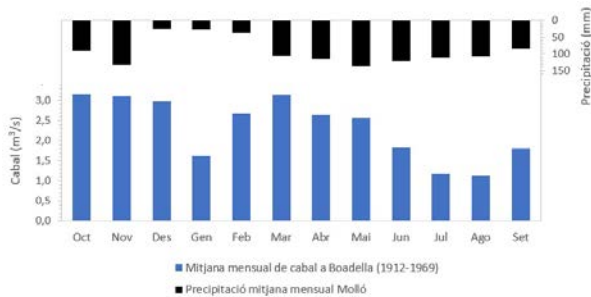
Bassin	% de superficie forestière (simulée)	Corrélation (P) LAI	Corrélation (P) GPP	Corrélation (P) ET	Corrélation (P) Débit – données jaugeage
Muga	87	0,53	0,01	0,91	0,88
Ter	59	0,78	0,37	0,93	0,78
Aigua d'Ora	92	0,6	0,40	0,93	0,78
Siurana	82	0,43	0,55	0,92	0,88

Base de données MODIS : <https://modis.gsfc.nasa.gov/>  
Résolution spatiale : 500 m, temporelle de 4 à 8 jours

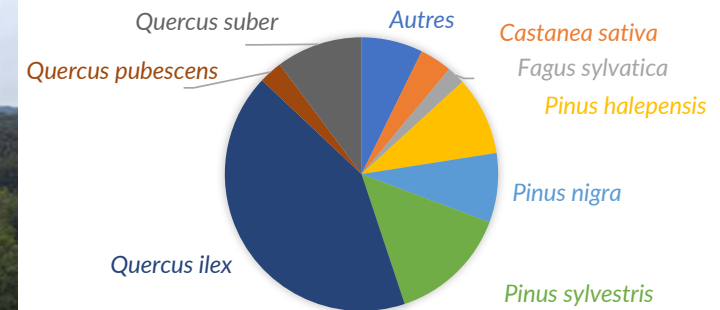
# Premiers résultats : augmentation de l'eau bleue avec la gestion forestière: MUGA



Muga (surface simulée = 151.04 km <sup>2</sup> )						
Eau bleue moyenne annuelle (Hm <sup>3</sup> ) et différence entre gestion forestière et non-gestion (%)						
	Changement climatique RCP 8.5			Changement climatique RCP 4.5		
Date	Non-gestion	Gestion	Différence	Non-gestion	Gestion	Différence
2001-2030	19.10	22.27	17%	22.40	25.33	13%
2031-2060	23.93	30.07	26%	26.67	31.30	17%
2061-2090	24.83	29.43	19%	27.43	35.70	30%



Altitude: 91 (min) – 1426 (max) mètres  
 Précipitation annuelle moyenne: 850-1250 mm  
 Température annuelle moyenne: 9-14°C  
 Type de rivière (DCFC): Rivière de montagne méditerranéenne calcaire  
 Régime hydrologique (DCFC): Régime méditerranéen humide

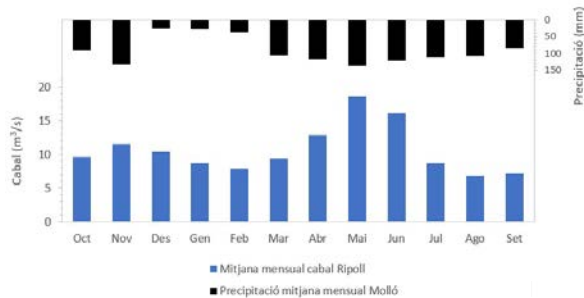


Répartition d'espèces du bois extrait (%)

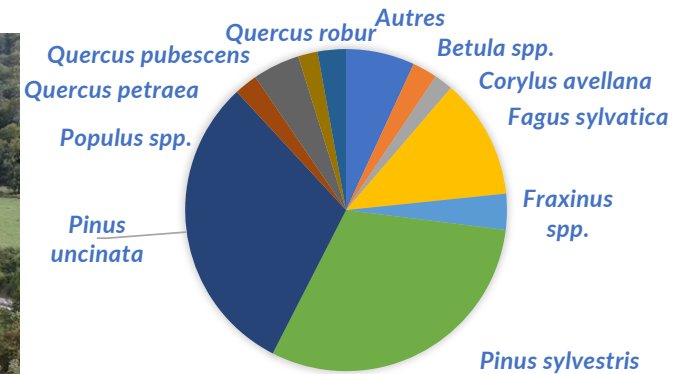
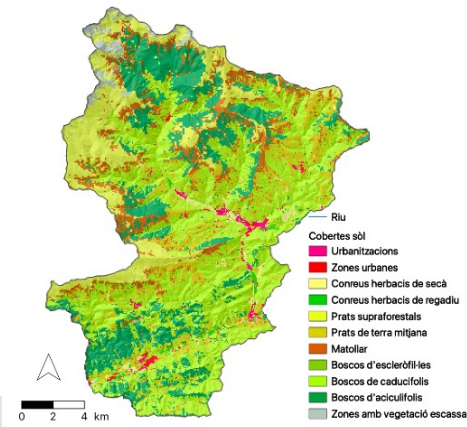
# Premiers résultats : augmentation de l'eau bleue avec la gestion forestière: TER



Ter (surface simulée = 169.75 km <sup>2</sup> )						
Eau bleue moyenne annuelle (Hm <sup>3</sup> ) et différence entre gestion forestière et non-gestion (%)						
	Changement climatique RCP 8.5			Changement climatique RCP 4.5		
Date	Non-gestion	Gestion	Différence	Non-gestion	Gestion	Différence
2001-2030	68.30	75.60	11%	66.97	67.80	1%
2031-2060	49.20	55.80	13%	49.93	50.23	1%
2061-2090	40.57	57.47	42%	43.57	54.97	26%



Altitude: 717 (min) – 2852 (max) mètres  
 Précipitation annuelle moyenne: 1000-1250 mm  
 Température annuelle moyenne: 4-12°C  
 Type de rivière (DCFC): Rivière de montagne méditerranéenne silicique  
 Régime hydrologique (DCFC): Régime d'enneigement



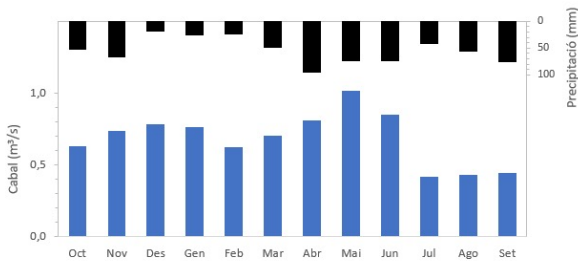
Répartition d'espèces du bois extrait (%)



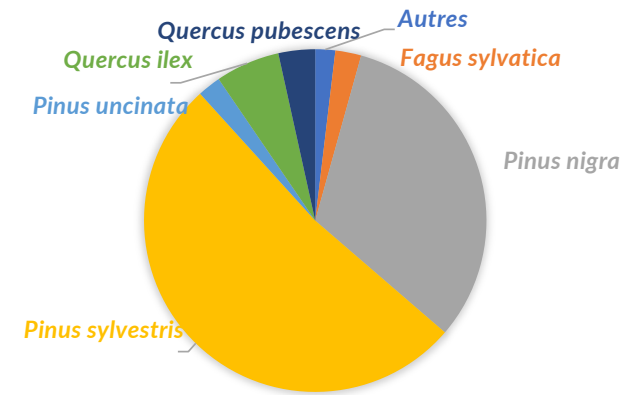
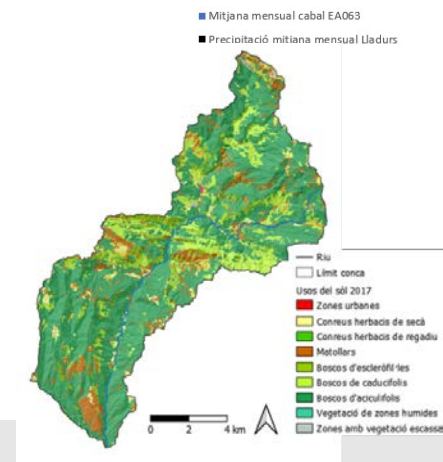
# Premiers résultats : augmentation de l'eau bleue avec la gestion forestière: AIGUA D'ORA



Aigua d'Orà (surface simulée = 108.11 km <sup>2</sup> )						
Eau bleue moyenne annuelle (Hm <sup>3</sup> ) et différence entre gestion forestière et non-gestion (%)						
Date	Changement climatique RCP 8.5			Changement climatique RCP 4.5		
	Non-gestion	Gestion	Différence	Non-gestion	Gestion	Différence
2001-2030	15.90	19.03	20%	16.17	19.17	19%
2031-2060	13.93	19.50	40%	13.33	18.47	39%
2061-2090	10.97	17.00	55%	13.53	22.07	63%



Altitude: 538 (min) – 2310 (max) mètres  
 Précipitation moyenne annuelle: 700-1050 mm  
 Température moyenne annuelle: 4-12°C  
 Type de rivière (DCFC): Rivière de montagne méditerranéenne calcaire  
 Régime hydrologique (DCFC): Régime méditerranéen

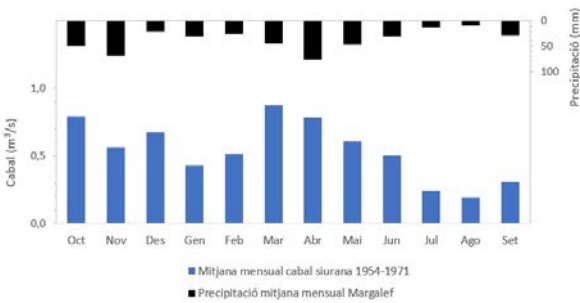


Répartition d'espèces du bois extrait (%)

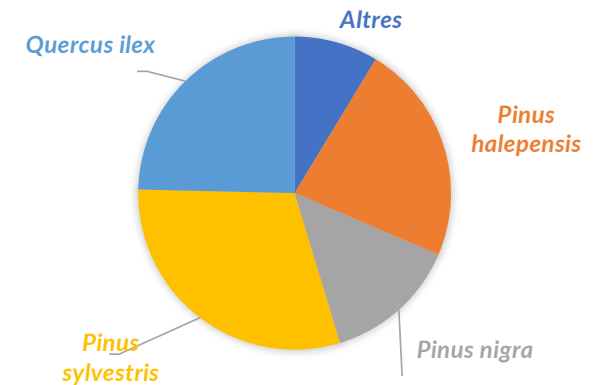
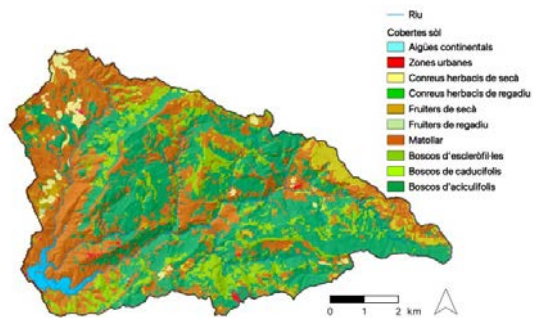
# Premiers résultats : augmentation de l'eau bleue avec la gestion forestière: SIURANA



Siurana (surface simulée = 50.09 km <sup>2</sup> )						
Eau bleue moyenne annuelle (Hm <sup>3</sup> ) et différence entre gestion forestière et non-gestion (%)						
Date	Changement climatique RCP 8.5			Changement climatique RCP 4.5		
	Non-gestion	Gestion	Différence	Non-gestion	Gestion	Différence
2001-2030	3.80	3.87	2%	4.47	4.37	-2%
2031-2060	4.80	5.00	4%	4.83	4.77	-1%
2061-2090	4.07	4.23	4%	5.73	6.07	6%



Altitude: 470 (min) – 1124 (max) mètres  
 Précipitation moyenne annuelle: 550-750 mm  
 Température moyenne annuelle: 11-14°C  
 Type de rivière (DCFC): Rivière bas bassin méditerranéen.  
 Régime hydrologique (DCFC): Régime méditerranéen à débit variable



Répartition d'espèces du bois extrait (%)

## Premiers résultats: signification statistique des changements avec la gestion forestière

	Gestion/Non-gestion	Ruissellement	Percolation	Évapo-transpiration	Infiltration	Eau bleue	Eau bleue/precipitation
La Muga	RCP 8.5	0,975	<0,01**	<0,01**	0,920	<0,01**	<0,01**
	RCP 4.5	0,947	<0,01**	<0,01**	0,780	<0,01**	<0,01**
Ter	RCP 8.5	0,955	<0,01**	<0,01**	0,784	<0,05*	<0,01**
	RCP 4.5	0,839	<0,05*	<0,01**	0,278	0,063	<0,01**
Aigua d'Ora	RCP 8.5	0,943	<0,01**	<0,01**	0,666	<0,01**	<0,01**
	RCP 4.5	0,939	<0,01**	<0,01**	0,589	<0,01**	<0,01**
Siurana	RCP 8.5	0,970	0,405	0,741	0,798	0,658	0,480
	RCP 4.5	0,974	0,505	0,740	0,885	0,666	0,553
Carme-Capellades	RCP 8.5	0,900	0,133	0,754	0,638	0,352	0,181
	RCP 4.5	0,973	<0,05*	0,522	0,875	0,100	<0,05*

P-values obtenues en comparant des scénarios avec un test T-student ( $\alpha = 0,05$ ). Différences significatives en rouge ( $p < 0,01$ ) et orange ( $p < 0,05$ )



- ❑ Différences significatives entre les scénarios de gestion et de non-gestion pour les conques de l'Aigua d'Ora, la Muga et le Ter.
- ❑ Il n'y a pas de différences significatives pour Siurana et Carme Capellades. Limite de précipitations. La gestion forestière ne conseille pas de réduire l'ET.



## MESSAGE RETENU

- ❖ L'application de la **gestion forestière** a le **potentiel d'améliorer la disponibilité de l'eau** dans les bassins, en particulier dans ceux des moyennes et hautes montagnes (400-800 mm).
- ❖ Les **outils de modélisation sont indispensables** pour analyser les effets de différents scénarios de gestion sur le bilan hydrique des bassins et des cours d'eau. Plus précisément, le modèle *medfate* offre le compromis précision/simplification pour être facilement utilisé pour l'analyse de la gestion forestière et du bilan hydrique.
- ❖ Depuis 2022, le CTFC avec le projet **HIDROBOSC**, nous travaillons directement avec les gestionnaires de l'eau (ACA) pour analyser cette relation entre forêts-eau-rivières et **établir des outils d'aide à la décision et des incitations économiques** qui favorisent la mise en œuvre de traitements sylvicoles en Catalogne.

MERCI BEAUCOUP POUR VOTRE ATTENTION

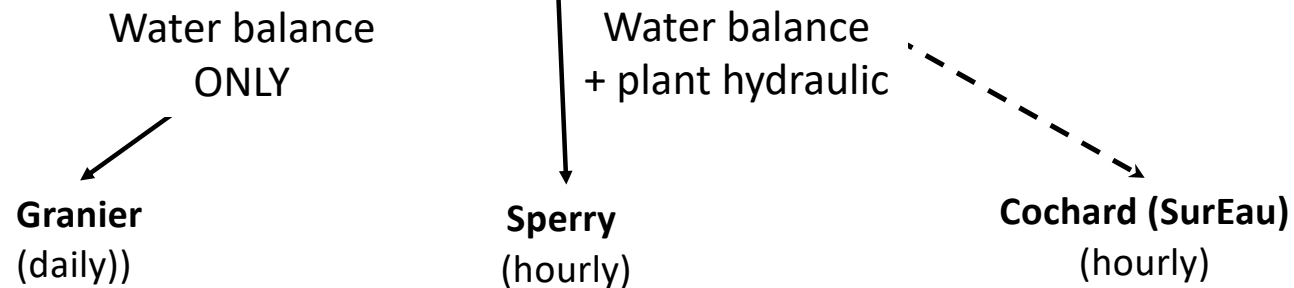
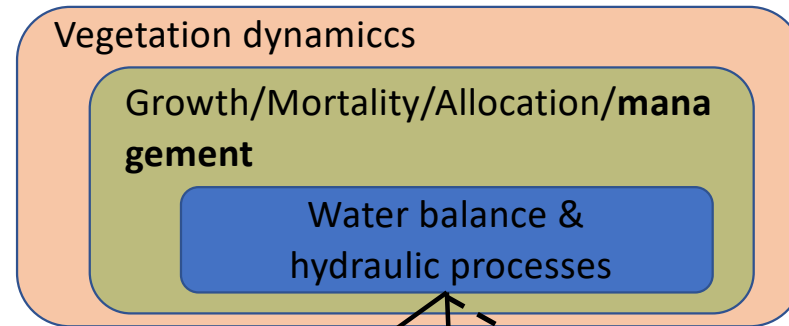
**CTFC**



SCIENCE FOR FOREST MANAGEMENT,  
BIODIVERSITY & BIOECONOMY

**Change the future, today**

# MedFate



Transpiration (T) at stand level  
 $T = F(\text{LAI}, \text{PET})$   
 (Ev) Soil Evaporation =  $G_{\text{soil}} * \text{VPD}$   
 $\text{SWC}_d = \text{SWC}_{d-1} + \text{Rainfall} - T - \text{Ev}$

Transpiration at plant level

- **Optimality**
- $T = K(\mathbf{P}) * (\text{Psoil} - \text{Pleaf})$
- No capacitance
- No cavitation release

Transpiration at plant level

- $g_s(\text{Psi}) \& g_{\text{cuti}}$  model
- Capacitance symplasm
- Water release from cavitation