

Les cultivars de châtaigniers face au changement climatique :
*modélisation phénoclimatique et topoclimatique en France,
et nouvelles perspectives*

Yildiz AUMEERUDDY-THOMAS

DR1, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive
Montpellier
France

yildiz.thomas@cefe.cnrs.fr

Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche,
Huelva, Andalucía, 10-13 Septiembre



Syndicat
National des
Producteurs de
Châtaignes



Contexte : La châtaigneraie fruitière, un agrosystème aux valeurs multiples



- ❖ La châtaigneraie fruitière : de multiples productions et usages, **mais aussi de multiples valeurs.**
- ❖ La combinaison de valeurs :
- ❖ un agrosystème de portée internationale pour la **souveraineté alimentaire, l'économie des sociétés castanéicoles** et comme modèle d'un agrosystème durable
- ❖ Fonctions importantes dans le cadre des **ODD: Objectifs du Développement Durable**

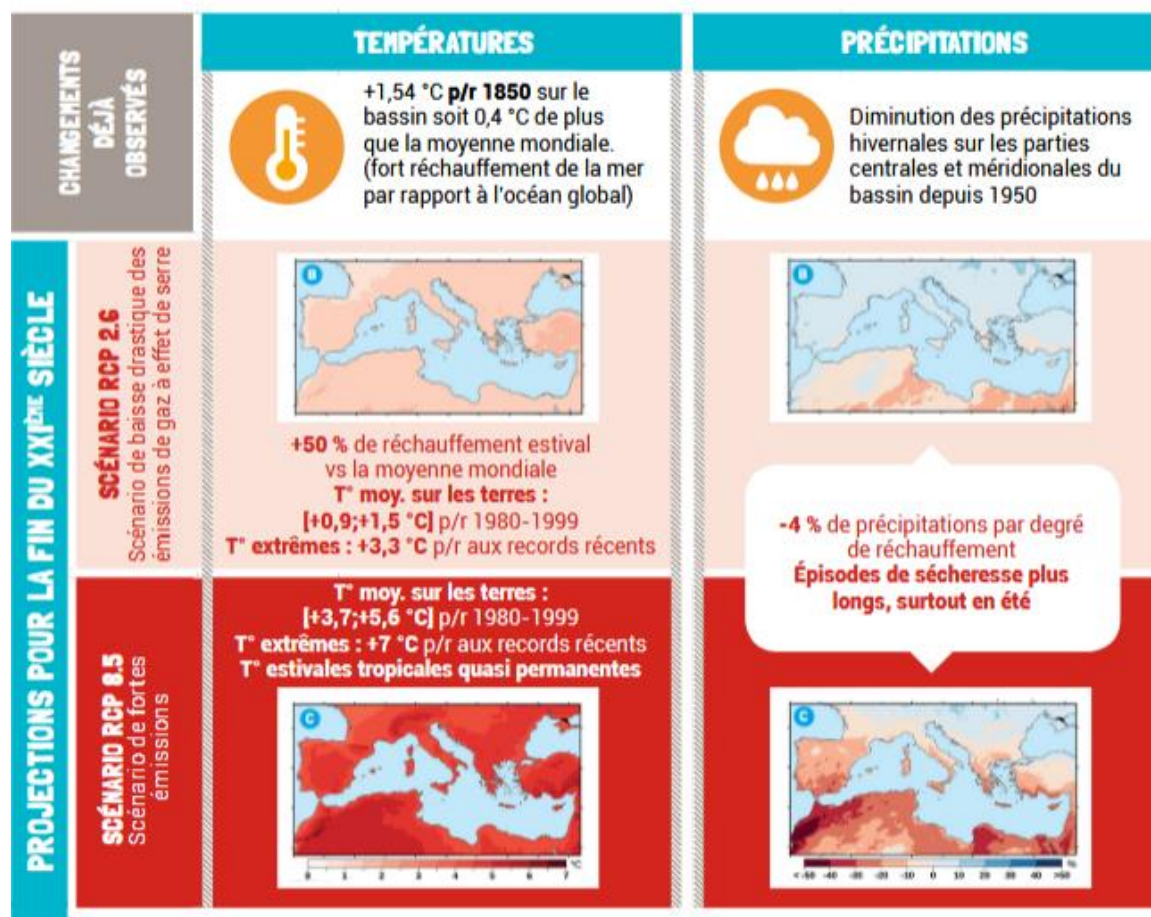
© Figure 1: Source Yildiz Aumeeruddy-Thomas, Eurocastanea, Huelva, Espagne, 2025

Adapté à partir des concepts sur les Valeurs multiples de l'IPBES Plateforme Intergouvernementale pour la Biodiversité et les Services Ecosystémiques.

La Méditerranée un hot-spot du Changement Climatique

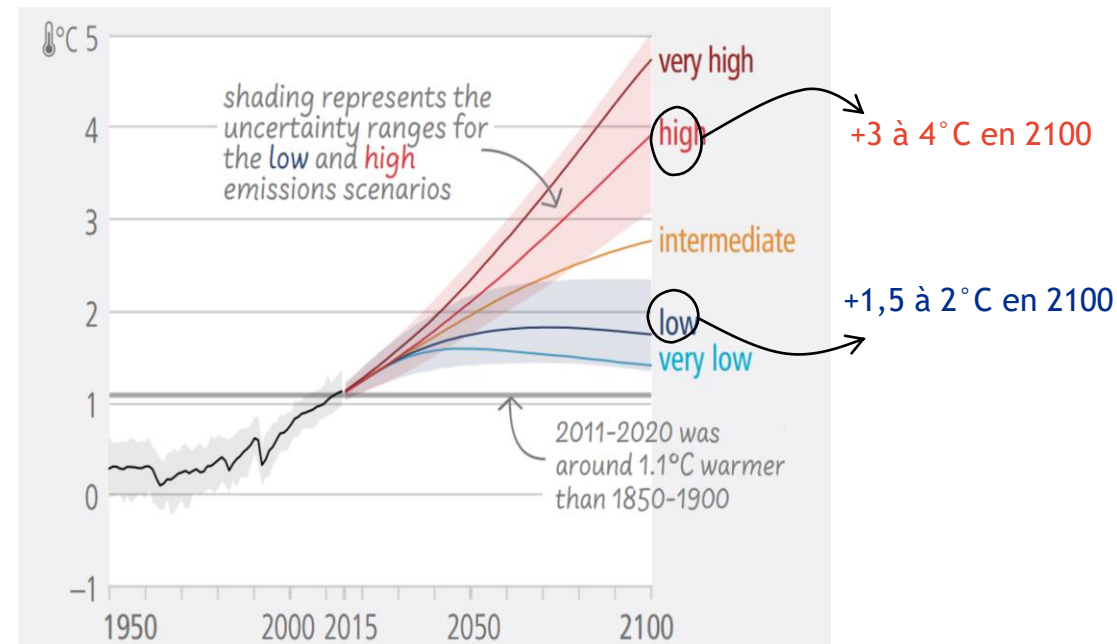
Le bassin méditerranéen, une des régions les plus sensibles au changement climatique

Projection à fin du XXI^{ème} siècle



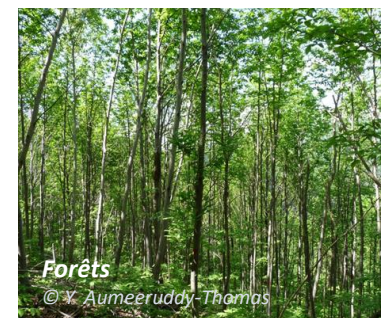
Les dernières prévisions : nous nous situons désormais dans le scénario RPC 8.5 avec une forte probabilité de dépasser + 4° en 2100

Scenarios du GIEC pour prédire le climat futur : RCP 4.5 et RCP 8.5

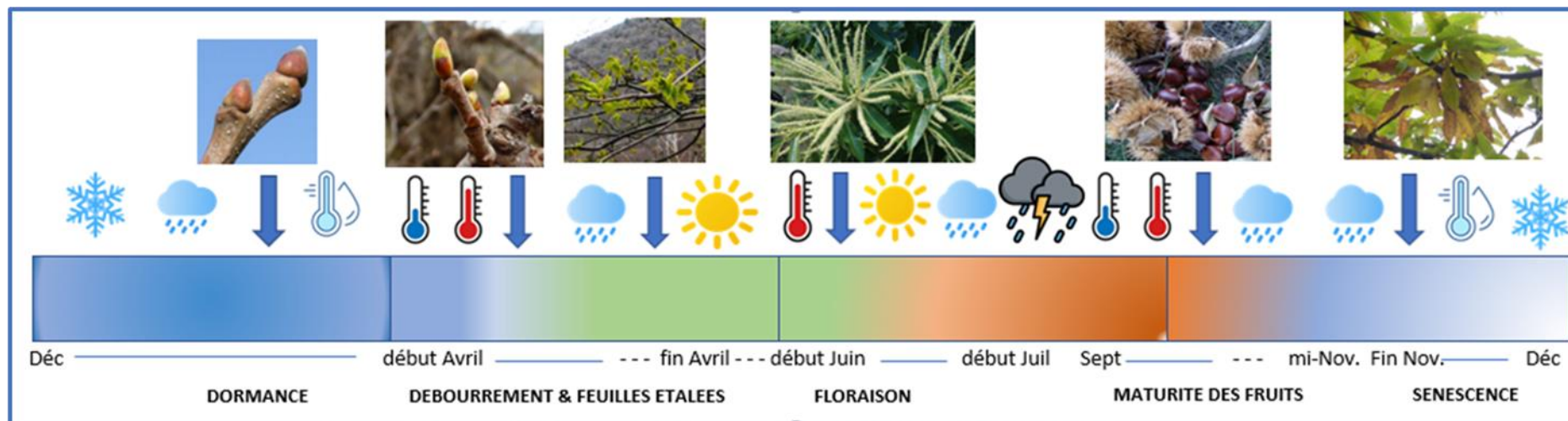


Important de distinguer « Arbres des vergers » et « Arbres des forêts » :
vulnérabilités distinctes par rapport à la sécheresse et aux températures élevées

Caractéristiques des châtaigneraies	Châtaigneraie Traditionnelle CT	Châtaigneraie récente CR	Taillis	Forêts
CULTIVARS				
Diversité de cultivars	ELEVEE 1- 20 /parcelle Sélections anciennes : <i>C. sativa</i>	FAIBLE 1-3 / parcelle, Hybrides récents <i>C. sativa X molissima X crenata</i>	–	Non sélectionnés
Traits fonctionnels phénologie, feuilles, fleurs, fruits	DIVERSITE ELEVEE Dominance de fleurs <u>astaminées</u> Fruits, petits, moyens à gros	DIVERSITE FAIBLE Pas de fleurs <u>astaminées</u> , Dominance gros fruits	–	Dominance de fleurs <u>longistaminées</u> Dominance petits fruits
PORTE-GREFFES				
Types de porte-Greffe	DIVERSITE ELEVEE Semis spontanés, rejets, <i>C. sativa</i> sélectionnés/vigueur Racines pivotantes	FAIBLE : PG : hybrides 90 % = Marsol Boutures ou marcottes, Racines traçantes à semi-pivotantes	Pleins pieds	Pleins pieds
Résistance à l'encre	Non résistant, Données très insuffisantes	Résistants à l'encre, fort besoin en eau	–	–
 Greffe + élagage	GRANDE LONGEVITE > 100 ans + de vigueur et effet de rajeunissement <i>C. sativa</i>)	FAIBLE LONGEVITE 20 - 40 ans + vigueur et production	–	FAIBLE LONGEVITE en situation forestière 30 – 50 ans (Conedera et al. 2016)
ARBRES DE VERGERS			ARBRES DE TAILLIS ET FORETS	
Densité de plantation	50 – 100 arbres/ ha Environnement hétérogène Exposition, pente, sols...	>200 – 100 – 80 arbres/ ha Selon cultivars. Environnement homogène		Forte densité 200/ ha. Forte concurrence pour l'eau
 Sècheresse + T°	+/- Vulnérables selon environnement du verger Selon exposition, sols	Vulnérables Apport d'eau et intrants conséquents	–	TRES VULNERABLES



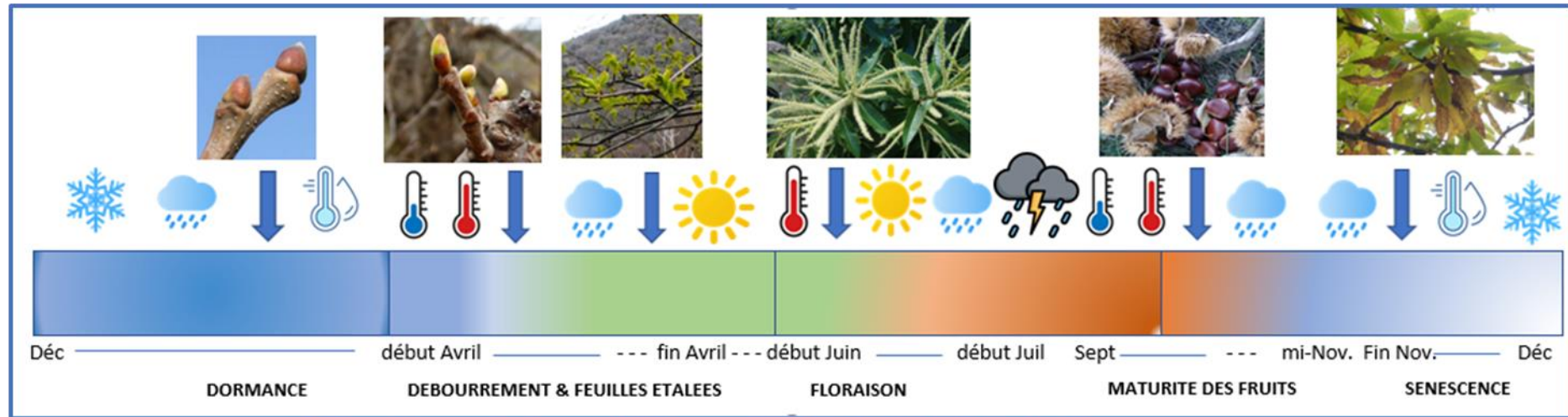
Castanea sativa Mill., son développement et sa sensibilité aux facteurs climatiques



© Figure 2: source Y. Aumeeruddy-Thomas, EUROCASTANEA 2025, Huelva, Espagne

- ❖ Températures et humidité (neige, pluies, rétention dans le sol) affectent la phénologie du châtaignier et son développement.
- ❖ *Castanea sativa* Mill. est adapté à des environnements, y compris des facteurs climatiques hétérogènes : lien à sa répartition historique [Conedera et al. 2021, 2016](#); Il est sensible à des T° maximales et minimales contrastées selon l'origine des cultivars [Lauteri et al. 2003](#).
- ❖ **Les conditions météorologiques cruciales pour les stades phénologiques:** le cumul de froid hivernal: dormance, l'ensoleillement et l'humidité: débourrement, développement foliaire et floraison. Les pluies à partir du 15 Août: maturation et grossissement des fruits.
- ❖ **La combinaison des facteurs T° et humidité, augmente les impacts**
- ❖ T° trop élevées + sécheresse estivale, diminution ou arrêt de l'Evapotranspiration et de la Photosynthèse:
baisse de production sinon mort de l'arbre.
- ❖ Gelées hivernales affectent les bourgeons ; gelées printanières ou tardives affectent feuilles, fleurs ou bois.

Castanea sativa Mill., son développement et sa sensibilité aux facteurs climatiques



© Figure 2: source Y. Aumeeruddy-Thomas, EUROCASTANEA 2025, Huelva, Espagne

- ❖ La variabilité phénologique des cultivars connue par les producteurs nécessite une réponse à l'échelle variétale compte tenu des scénarios de changement climatique (cf. Aumeeruddy-Thomas et al. 2024, Marques et al. 2025)
- ❖ De multiples facteurs climatiques, agissant différemment, à divers stades du cycle phénologique du châtaignier nécessitent des approches de modélisation phéno-climatique de type « Process-based model » qui intègrent l'écophysiologie des cultivars (cf. Chuine I, Beaubien 2001, Ponsa et al. Soumis, Regional Environmental Change)

Mise en place d'un réseau de sites d'observations phénologiques et relevés météorologiques



Nécessité d'un grand jeu de données phénoclimatiques :

Co-construction avec les producteurs et organismes techniques d'un vaste réseau d'observation



ACTION 1
Y.A. THOMAS
& I. Chuine, CEFE

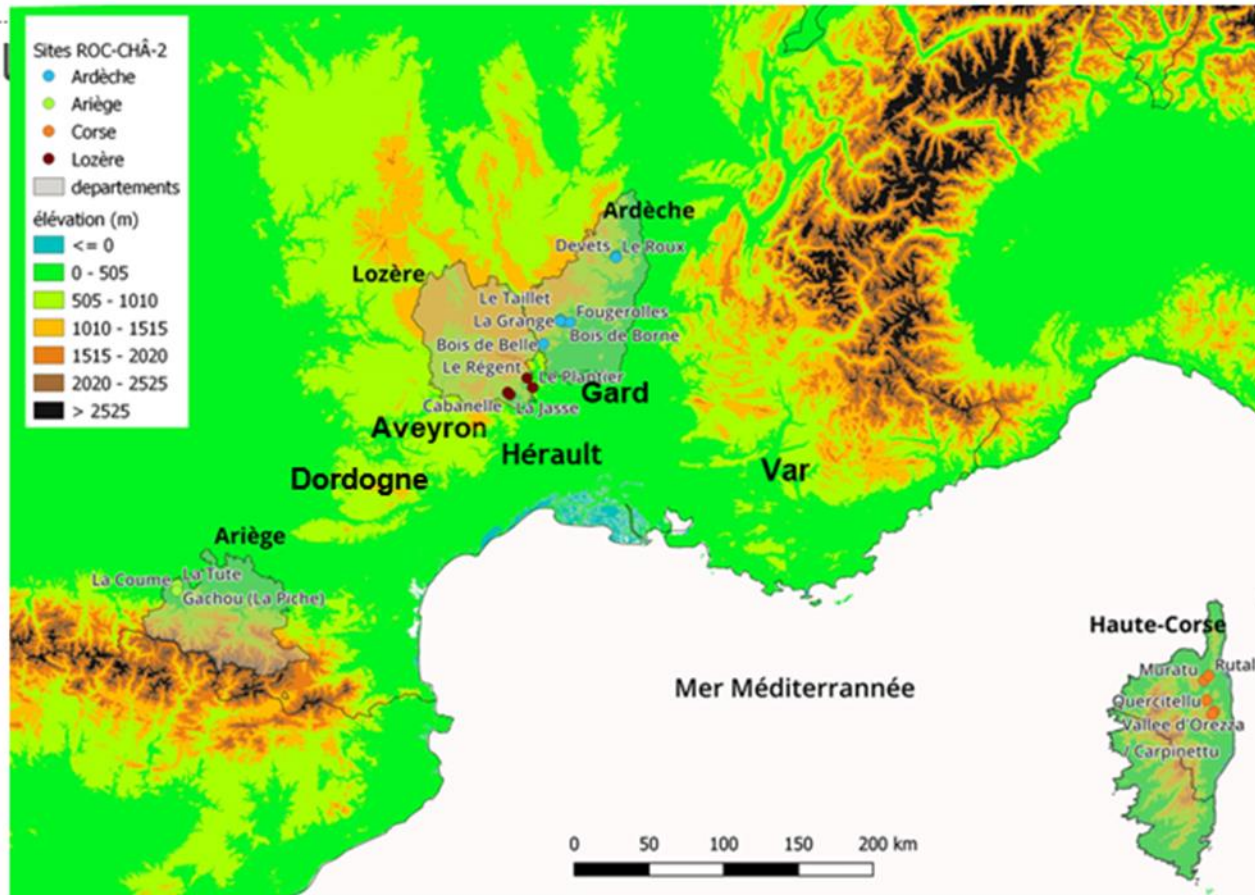


Figure 3. Réseau des sites d'observation phénologiques, ROC-CHÂ & RESILIANCE (2020- 2025... 2028)

- ❖ 33 sites, dans 9 départements (2020 -2025)
- ❖ Une gamme d'altitudes, de situations topo-climatiques et de variétés observées grâce à un groupe de producteurs engagés habitant sur ces sites.
- ❖ Protocole disponible en ligne testé conjointement
- ❖ Coordination bases de données CEFE
- ❖ Recrutement d'une doctorant : Nicolas PONSAS, Modélisation Phénoclimatique (2022-2025)

Mise en œuvre d'observations phénologiques, Plan National Châtaigne, France

Augmentation des variétés observées, intégration des cultivars hybrides



9 Départements	Sites (fermes ou conservatoires) et Référents de Sites	Situations topo-climatiques/ instrumentés	Cultivars observées
Ardèche	7	15	10 <u>Aquyane</u> , <u>Bouche rouge</u> , <u>Comballe</u> , <u>Bouche de clos</u> , <u>Bouche de Bacon</u> , <u>B de Betizac</u> , <u>Garinche</u> , <u>Petite Pourette</u> , <u>Pourette</u> , <u>Merle</u>
Aveyron (Site conservatoire)	1	2	11 <u>Marron Aquépi</u> , <u>Paquette</u> , <u>Verdalle</u> , <u>Cévenole Grosse</u> , <u>Tournive</u> , <u>Maronne</u> , <u>Roussette d'Auzitz</u> , <u>Sauvage de l'Amitz</u> , <u>Vertuale</u> et <u>Raydondoto</u> , <u>Marigoule</u>
Ariège	2	2	2 <u>Patte de Loup</u> , <u>Rousse précoce</u>
Corse du Nord	5	6	4 <u>Ghientile</u> , <u>Tighjulane</u> , <u>Campanese</u> , <u>Morianinca</u>
Dordogne	4	4	5 <u>Bouche de Betizac sur Marsol</u> , <u>Marigoule sur racines</u> , <u>Maraval sur</u> <u>racines</u> , <u>Bellefer sur Marsol</u>
Hérault	4	5	5 <u>Bouche-rouge sur Betizac</u> , <u>Bouche sur Précoce</u> , <u>Miqoule</u> , <u>Bellefer</u> , <u>Genelonque</u> & <u>Marron d'Olargues</u>
Gard-Lozère	8	9	7 <u>Dauphine</u> , <u>Gascaise</u> , <u>Figarette Pellegrine</u> , <u>Rabavraise</u> , <u>Sardoune</u> , <u>Rouge de Ventalon</u>
Var	2	3	3 <u>Marron du Var</u> , <u>Noire Délit</u> , <u>Impérial</u>
TOTAL, <u>Climat Méditer.</u>, 7 Atlantique, 2	33 SITES et REFERENTS de SITES	46 situations topo- climatiques	47 CULTIVARS

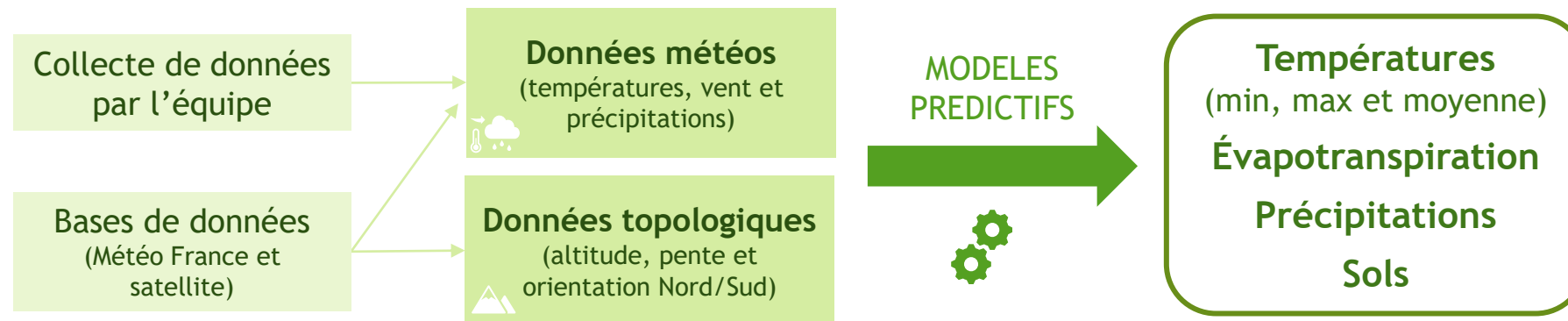
- ❖ Réseau des 33 sites et 46 situations topo-climatiques, projet RESILIANCE
- ❖ Tous les sites sont instrumentés, données climatiques, T°, Humidité air.
- ❖ 33 Référents de Sites - Producteurs rémunérés
- ❖ Engagement fort avec 11 partenaires régionaux, Syndicats et Association de producteurs: définir les priorités régionales et co-coordonner ce réseau
- ❖ Validation d'un protocole commun d'observation



© Tableau 2: Répartition des 33 sites et 47 cultivars dans 9 départements, Projet RESILIANCE, source, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, EUROCASTANEA, Huelva, Espagne

Modélisation topo-climatiques

► Principe de la modélisation topo-climatique :



Valentine Delrieu
Ingénieure d'Etudes
Equipe Interactions
Bioculturelles,
Coll. Equipe Bioflux,
CEFE

► Contraintes :

- Comme toute modélisation, ces calculs reposent sur des probabilités et comprennent nécessairement une **marge d'erreur**.

→ Nécessité de réfléchir en termes de **moyennes sur plusieurs années** pour lisser les anomalies

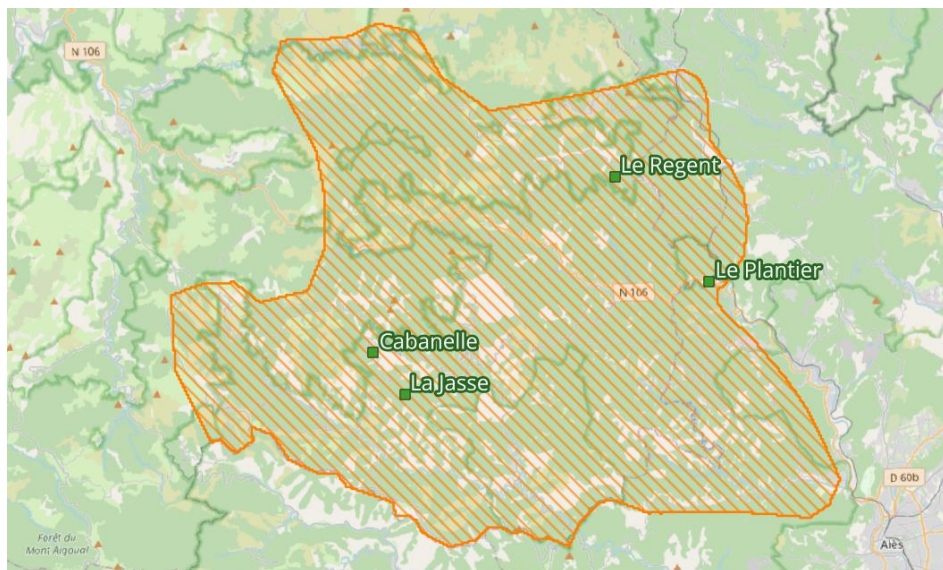
► Applications :

- Données utilisées pour la **modélisation phéno-climatique** sur PHENOFIT 4
- Perspectives d'**outil d'aide à la décision** accessible en ligne projet RESILIÂNCÉ

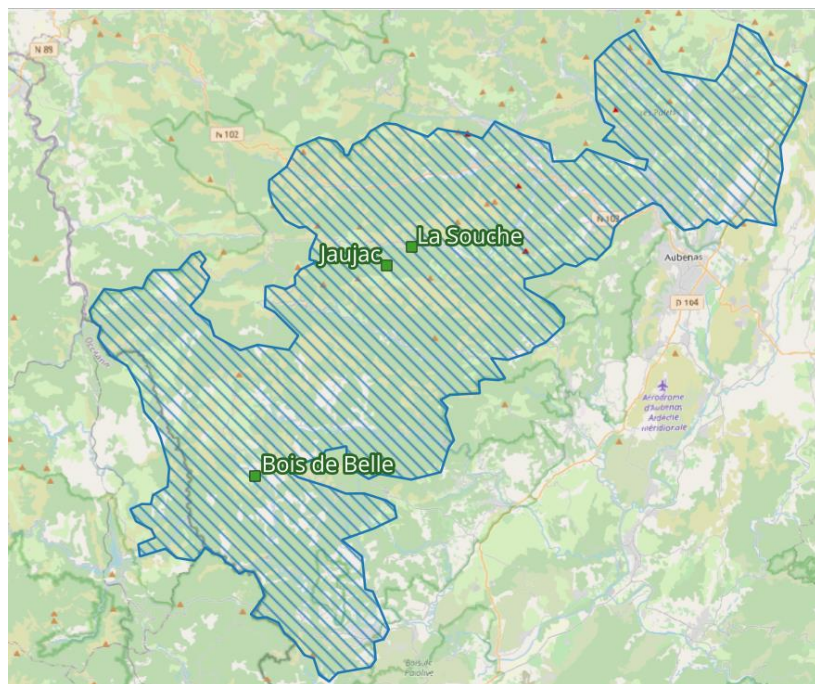
Modélisation topo-climatiques

► Modalités de la modélisation :

- 5 paramètres : températures (min, max et moyenne), évapotranspiration et précipitations
- + données sols
- Résolution : 100 mètres
- 2 zones :



Zone modélisée en Lozère/Gard



Zone modélisée dans le sud de l'Ardèche



Valentine Delrieu
Ingénieure d'Etudes
Equipe Interactions
Bioculturelles,
Coll. Equipe Bioflux,
CEFE

Modélisation topo-climatique

► Modalités de la modélisation :

- 5 paramètres : températures (min, max et moyenne), évapotranspiration et précipitations
- Résolution : 100 mètres
- 2 zones : Lozère/Gard et sud de l'Ardèche
- 4 saisons et 4 périodes de temps (1990-2020, 2026-2050, 2051-2075 et 2076-2100)
- 2 scénarios du GIEC pour le futur : RCP 4.5 et RCP 8.5

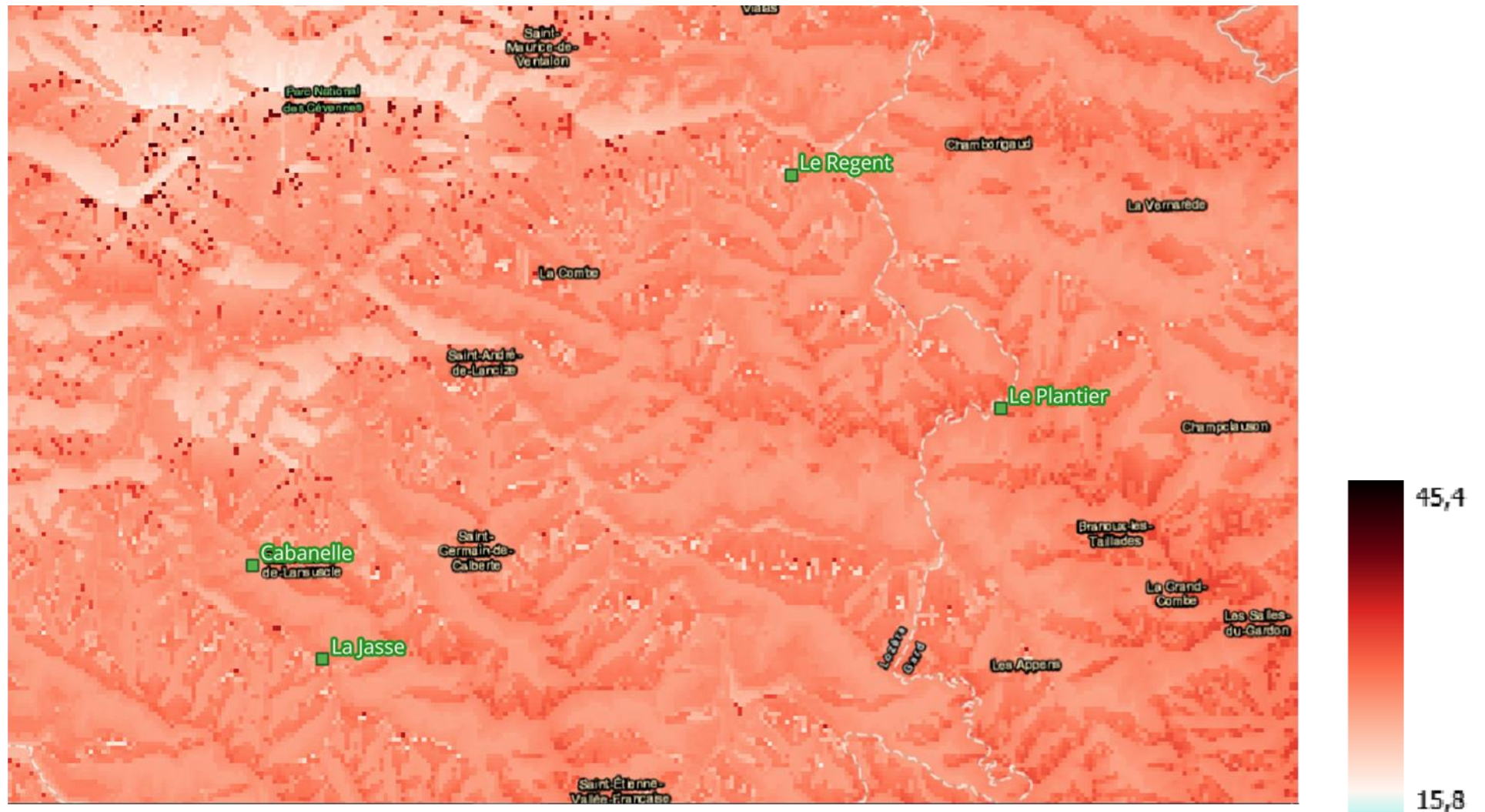
► Résultats : **280 cartes**

5 variables x 2 zones x 4 saisons x (1 période historique + 3 périodes de temps futurs x 2 scénarios)



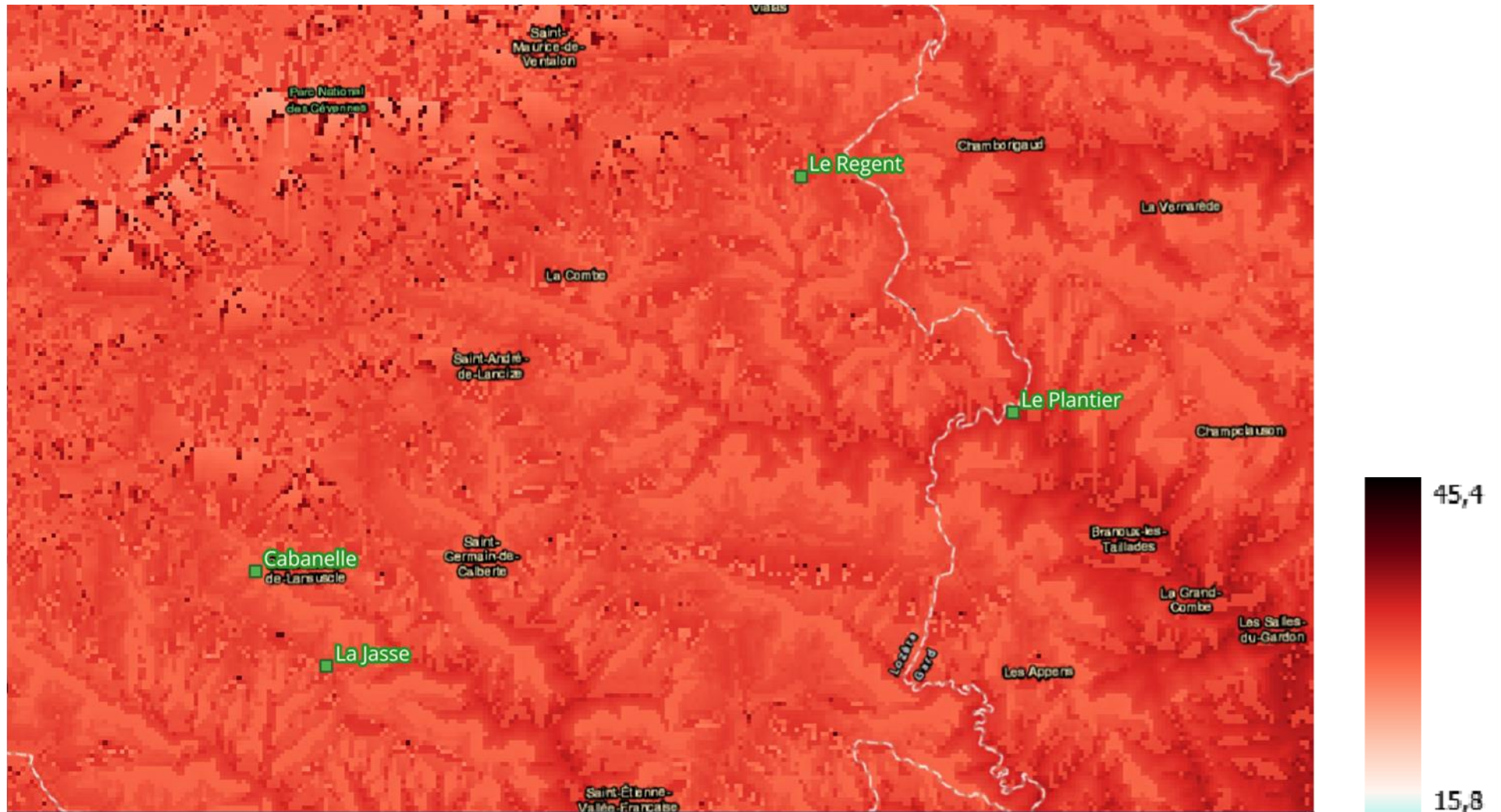
Valentine Delrieu
Ingénieure d'Etudes
Equipe Interactions
Bioculturelles,
Coll. Equipe Bioflux,
CEFE

Moyenne TMAX été 1990-2020



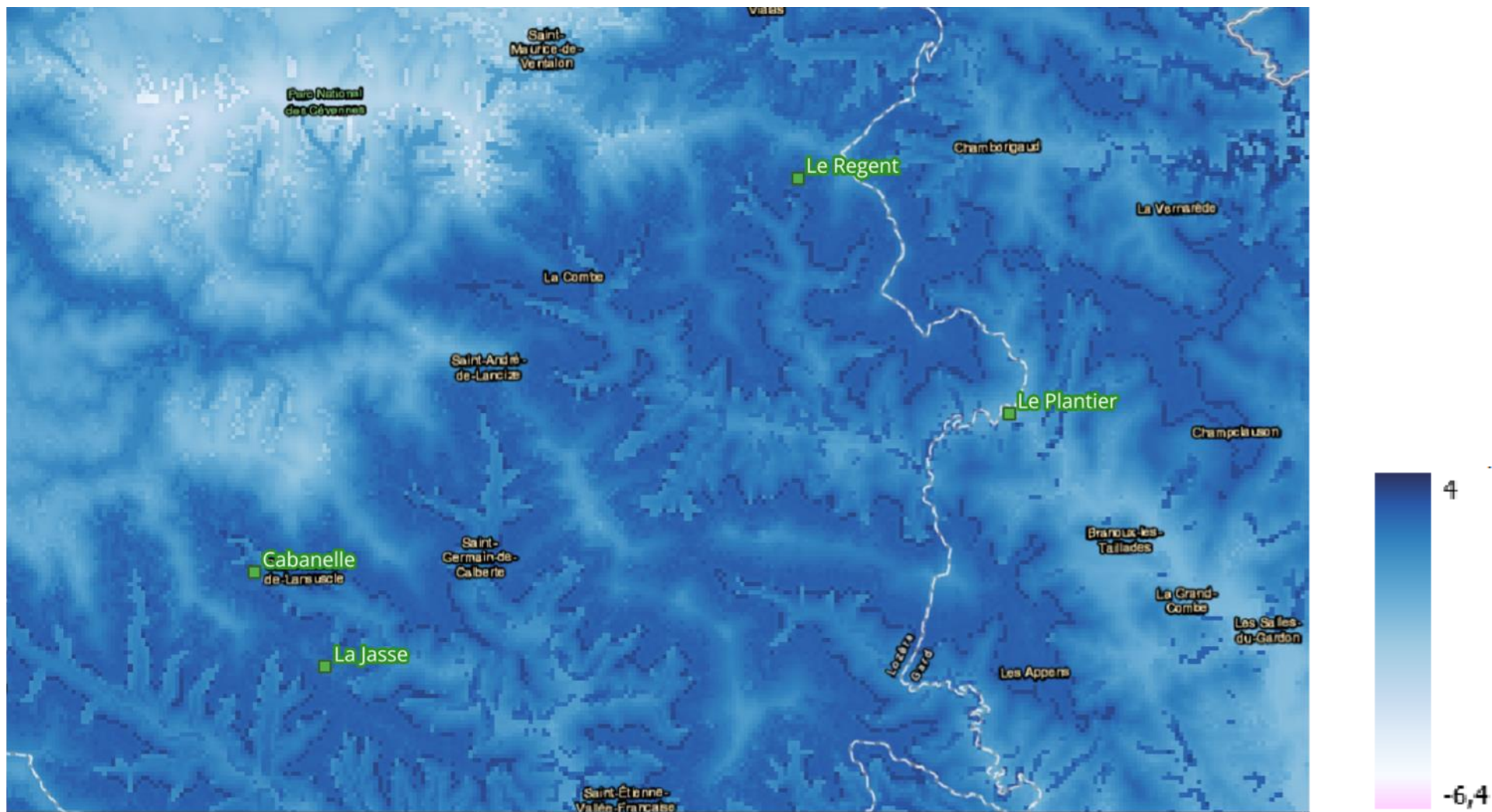
© Figure 4: Source, Valentine Delrieu (2025), ROC-CHÂ, CEFE, Montpellier

moyenne TMAX hiver 2026-2050
(selon RCP 8.5 scenario GIEC)



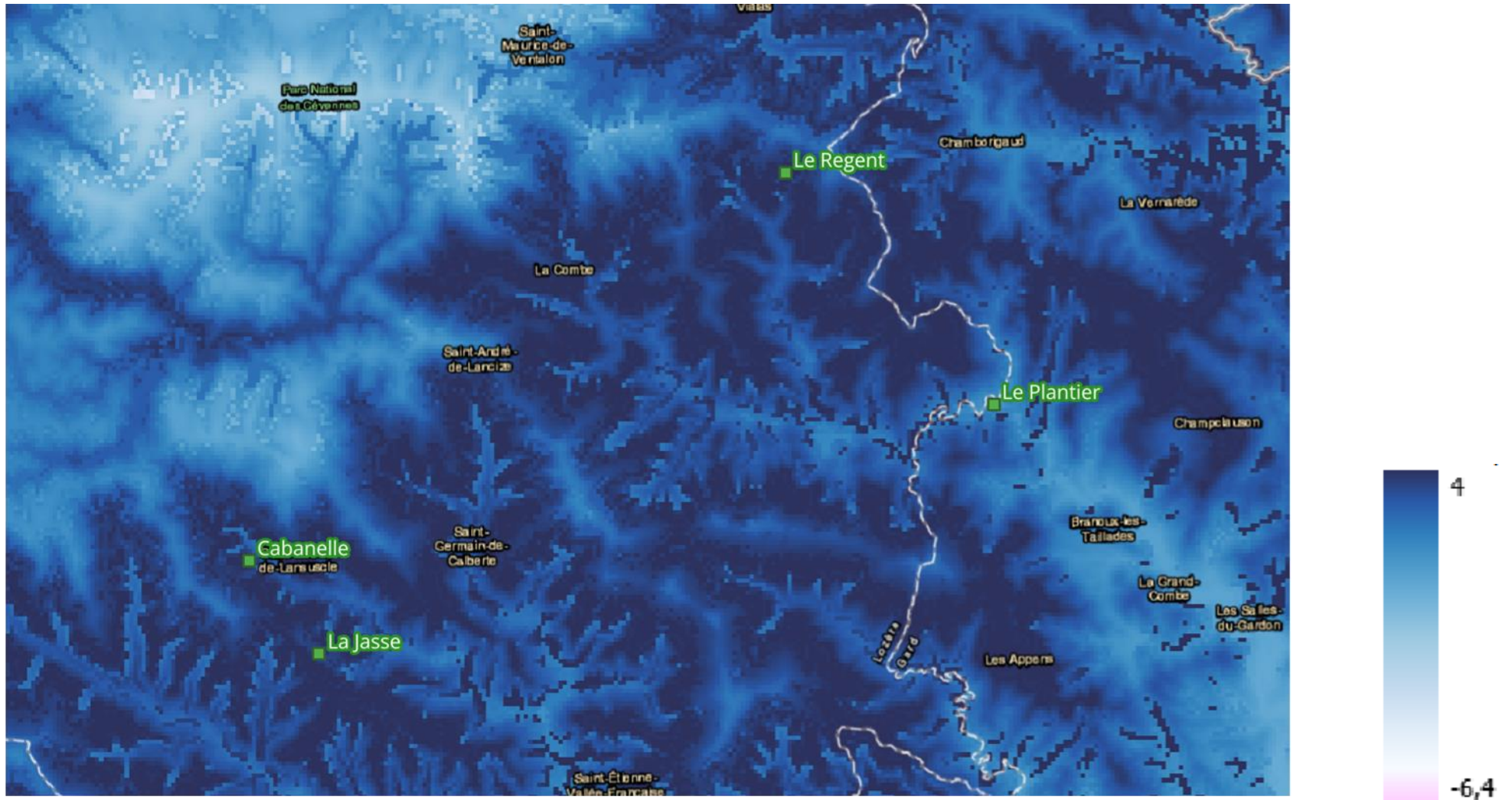
© Figure 5: Source, Valentine Delrieu (2025), ROC-CHÂ, CEFE, Montpellier

Moyenne TMIN hiver 1990-2020



© Figure 6: Source, Valentine Delrieu (2025), ROC-CHÂ, CEFE, Montpellier

Moyenne TMIN hiver 2026-2050 (selon scénario RCP 8.5 GIEC)



© Figure 7: Source, Valentine Delrieu (2025), ROC-CHÂ, CEFÉ, Montpellier

	Moyenne TMAX ETE			Moyenne TMIN HIVER		
	1990-2020	2051-2075 (RCP 8.5)	Taux d'accroissement	1990-2020	2051-2075 (RCP 8.5)	Taux d'accroissement
Cabanelle (alt 600 m)	25.2	29.5	4.3	3.3	4.6	1.3
La Jasse (alt 600 m)	27.2	31.6	4.4	2.3	3.6	1.3
Le Régent (600-700 m)	25.5	31.6	6.1	2.7	4.0	1.3
Les Plantiers (alt. 300m)	26.7	33.6	6.9	0.6	1.7	1.1

Température plus élevée en été
du site situé le plus bas en
altitude et + froid en hiver que
les sites plus élevés

Températures en degrés Celsius

Modélisation de type « process-based » phéno-climatique, passé et simulations futures

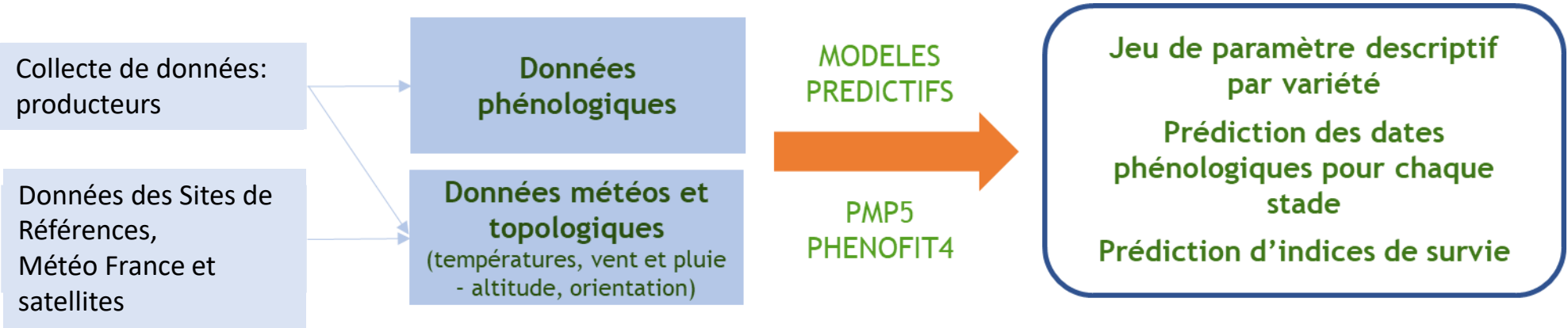


PhD, Nicolas PONSA,
Dir : Yildiz THOMAS
& Isabelle CHUINE

Facteurs climatiques, limites et tolérances de *Castanea sativa*

Température	Toléré, maxima 31 °C/ minima – 16°C, mais maxima sont de 40 ° C et + Toléré: minima -28,9° Valeur létale: - 30 ° sur l’arbre entier / dégâts sur les feuilles: -2 ° min à – 30° max: Fleurs -5,3 min à – 30 °; jeunes fruits: -6 max ; fruits matures, -20 max	<i>selon Gomes-Laranjo et al. 2009; Zhang et al. 2011; Freitas et al. 2021</i> <i>selon Schaberg et al. 2022 (Castanea crenata)</i> <i>selon Ponsa et al. (soumis, 2025), Regional Environmental Change</i>
Humidité	Besoins en pluies: minima 500 - et maxima 3500-mm/ an 800 mm/ an (pour l’Espagne)	<i>Selon Fernandez Lopez et al. 2005 et selon Ponsa et al. (soumis, 2025), Regional Environmental Change</i> <i>Álvarez-Álvarez, P et al (2025). Frontiers in Forests and Global Change</i>

Principes de la modélisation phénoclimatique

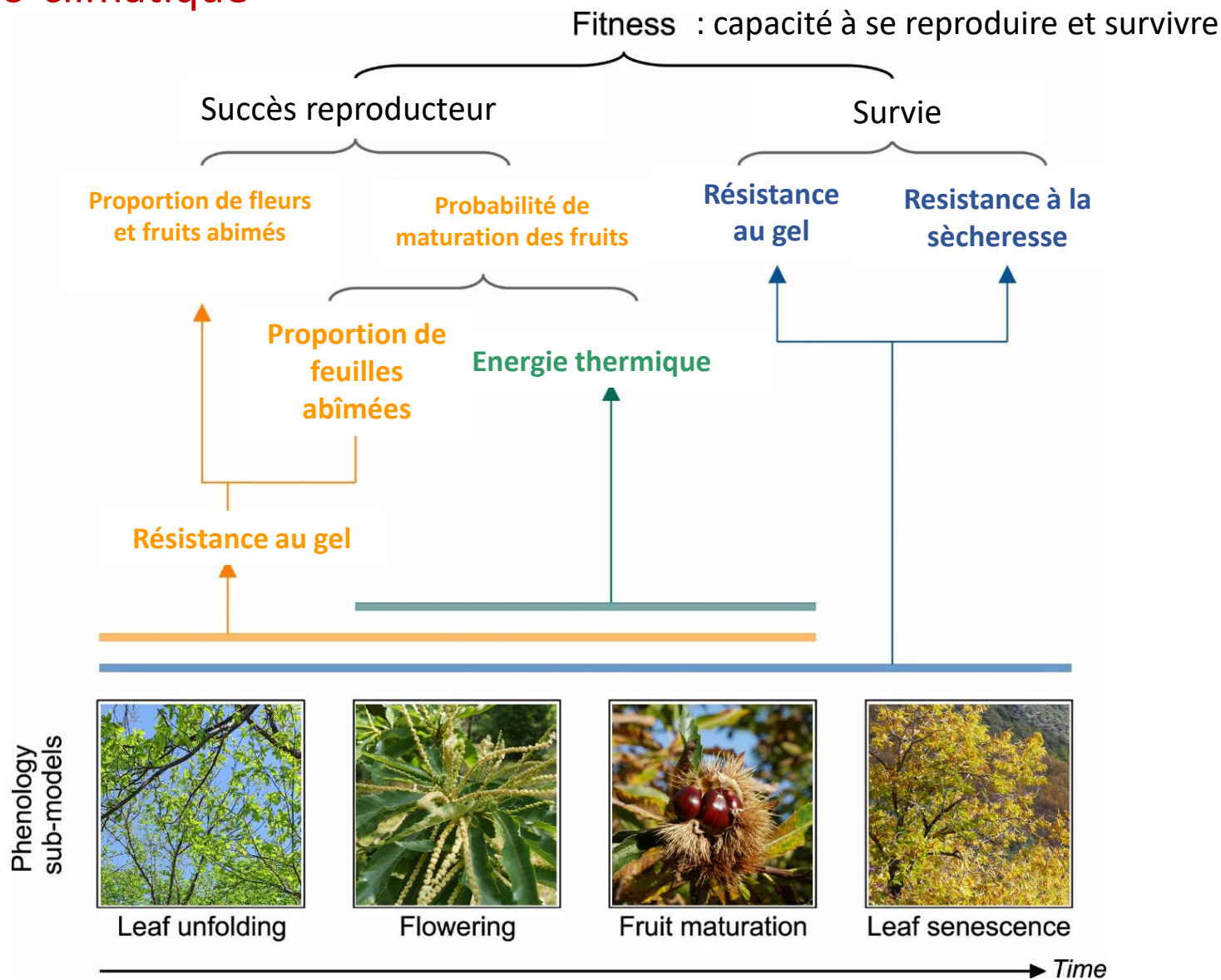


Modélisation phéno-climatique

- PHENOFIT4

Fig 6: Description schématique PHENOFIT4 (Van der Meersch 2025) – processus écophysiologiques et traits fonctionnel simulés, model (Chuine and Beaubien 2001)

Adaptée à la phénologie du châtaignier (pictures ©Ponsa).



PhD, Nicolas PONSA,
Dir: Yildiz THOMAS
& Isabelle CHUINE

Modélisation phéno-climatique : quelques résultats préliminaires de Nicolas Ponsa

Nicolas Ponsa¹, Yildiz Aumeeruddy-Thomas¹, V. Delrieu, F. Mouillot & I. Chuine. (Submitted) 2025. Impacts of climate change on the phenology and distribution range of *Castanea sativa* (Mill.) varieties in southern France's Mediterranean mountains, *Regional Environmental Change*



PhD, Nicolas PONSA,
Dir: Yildiz THOMAS
& Isabelle CHUINE

❖ Résultats de modélisation avec PHENOFIT 4 sur 3 cultivars de la zone Lozère, Cévennes, sur un total de 14 variétés paramétrés avec PMP 5

(Phenology Modeling Platform, PMP 5, <https://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ef/forecast/phenology-modelling-platform>)

- Projection selon plusieurs scénarios climatiques,
- **Passé** : 2001-2020 et **Futur**: RCP4.5 : 2076-2100; RCP8.5 : 2076-2100
- **Augmentation potentielle de l'aire de distribution du châtaignier.**
- Extension en altitude **et vers les plus basse altitude (vallées)** et cultivars maintenus dans les projections de l'aire actuelle (lien à données observées)
- Résultats projections sous condition de retrouver les conditions de vergers, et compte tenu des limites de la modélisation
- Stades phénologiques du débourrement à la fructification plus précoces Voir aussi Marques et al 2025 au Portugal
- Le cumul de froid hivernal serait encore réalisé pour **lever la dormance dans l'aire de l'étude en Cévennes**
- Les 3 variétés montrent **la même gamme d'ordre de précocité**. La plus précoce restera la plus précoce et la plus tardive, la plus tardive.

Conclusion et perspectives du projet RESILÂNCE, du Plan National Châtaigne

- ❖ Nos résultats diffèrent d'autres études qui prédisent une diminution potentielle significative de l'aire de distribution de *C. sativa*.
- Le châtaignier cultivé en verger traditionnel, fortement modifié (élagué et greffé sur *C. sativa*) est **longévif** (> 100 ans) (cf. Tableau 1 présenté) et est un « Arbre de verger ».
- Nous observons des cultivars sélectionnés et non des arbres forestiers (échelle de l'espèce). Les autres études se fondent sur des données forestières (*Freitas et al 2021, Erturk, N., & Aricak, B. (2024), Alvarez et Alvarez 2025*)
- Il pourrait mieux supporter le changement climatique, car il a une **faible densité à l'hectare en condition de verger** et que les arbres forestiers (« **short-lived** » 30-50 ans) ont au contraire un faible accès à l'eau (Conedera et al. 2016) du fait de la **forte densité à l'hectare en forêt**. Des résultats semblables ont été vérifiés sur les chênes verts des Dehesa en Andalousie.
- Il est probable que **le microbiome des sols « vivants » de vergers traditionnels, dont les champignons, qui structurent l'accès à l'eau de l'arbre**, sols enrichis depuis plus de 5 siècles, constituent **des environnements favorables qui augmentent la résistance à la sécheresse**, bien que de gros problèmes d'érosion soient désormais liés au changement climatique.

Autres éléments et perspectives du projet RESILIÂNCÉ du Plan National Châtaigne en France

❖ Autres explications :

- Le gel tardif de printemps va diminuer d'intensité et on peut espérer moins de dégâts du gel: extension vers les vallées en contexte de moyenne montagne.
- Les projections ne montrent pas une limite des précipitations inférieure à 500 mm, la limite de tolérance adoptée dans PHENOFIT 4. Cette limite inférieure pourrait être très variables selon les cultivars et conditions locales dans d'autres zones européennes.
- Limites: le Modèle PHENOFIT intègre la disponibilité en eau pour les stades bourgeons, feuilles, fleurs. Les besoins en eau pour le stade 'fruit' sont mal définis. L'évolution des « orages » du 15 Août à ce jour ne sont pas « correctement » prédits par les météorologues. Manque de données
- Les données de disponibilités en eau des sols proviennent d'une échelle européenne: précision insuffisante

❖ Nos travaux à venir :

- Modéliser une gamme plus importante de cultivars dans d'autres zones notamment Ardèche et Corse du Nord, pour vérifier le schéma obtenu en Lozère. Elargir nos travaux sur les cultivars hybrides, notamment en Dordogne.
- Développer une gamme de techniques sur les sols (compostage, fascines, biochar), irrigation raisonnée, feuilles, protection foliaire, irrigation raisonnée, rôle de l'élevage. ACTION 3 du projet RESILIÂNCÉ (résultats fin 2028).

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous

Les Référents de Sites, l'Equipe du CEFE et tous nos partenaires régionaux

Le SNPC, notamment Michel Grange, Eric Bertoncello, Jean-Roland Lavergne et Bertrand Guerin

Géraldine Magnien (secretariat EUROCASTANEA France)

Arturo Martínez Ronda
Presidente Castañera Serrana SCA

&



Journées Européennes de la châtaigne 2025

Pour l'invitation