ACTES DE COLLOQUE

7ÈMES ASSISES DES VINS DU SUD-OUEST

EAU, TERRITOIRE ET VITICULTURE

13 JANVIER 2023

www.vignevin-occitanie.com

IFV

LES DERNIERS RÉSULTATS DE RECHERCHE ET OUTILS DE L'IFV OCCITANIE CONSULTABLES DIRECTEMENT DEPUIS LA PARCELLE

MÉTÉO

BSV

AGENDA

ACTUALITÉS

CALCULATEURS

TOUTE L'INFO EN OCCITANIE

TÉLÉCHARGEMENT GRATUIT SUR WWW.VIGNEVIN-OCCITANIE.COM

l'Europe s'engage en Occitanie
UNION EUROPÉENNE
La Région Occitanie Pyrénées · Méditerranée
PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN AGRICOLE POUR LE DÉVELOPPEMENT RURAL
L'EUROPE INVESTIT DANS LES ZONES RURALES

Sommaire

EAU, TERRITOIRE ET VITICULTURE

p. 05 *Introduction : le projet VINIoT, création d'un service d'aide au pilotage du vignoble par l'imagerie hyperspectrale et les capteurs pour la détection du stress hydrique, de la flavescence dorée et l'évaluation de la maturité du raisin*

p. 09 Prospective et Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau sur le bassin Sud-ouest - Nicolas Hebert, Agence de l'eau Adour Garonne

p. 14 L'eau de pluie : une nécessité d'imaginer un stockage local et durable - Jean-François Berthoumieu, Association Climatologique de la Moyenne Garonne

p. 21 Comment co-construire un projet de territoire sur l'usage de l'eau ? Jean-Marc Touzard, INRAe

p. 22 Les eaux usées traitées, une nouvelle ressource pour l'irrigation en viticulture ? Expérience sur le territoire de Grand Narbonne - Denis Caboulet, IFV

p. 28 Poids socio-économique de l'agriculture irriguée dans le Sud-ouest - Ariane Degroote, Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie

p. 35 Réponses de la vigne à la contrainte hydrique ; vers une meilleure efficience d'utilisation de l'eau. - Thierry Simonneau, INRAe LEPSE

p. 43 Discussion autour des relations vigne-raisin: effets des facteurs abiotiques - Alain Deloire, L'institut Agro Montpellier, LEPSE

p. 49 Calcul des besoins en eau d'un vignoble à partir de l'évapotranspiration de référence et raisonnement associé - Alain Deloire, L'institut Agro Montpellier, LEPSE

p. 52 Millésime 2022 : quels constats en viticulture ? Thierry Dufourcq, IFV

p. 58 Techniques d'irrigation et innovations des systèmes - Marc Gelly, Ag-Irrig

Interreg Sudoe
EUROPEAN UNION
VINIoT
European Regional Development Fund

VINIoT, service de viticulture de précision basé sur un réseau de capteurs IoT pour la transformation numérique des PMEs dans l'espace SUDOE

Projet VINIoT

Budget FEDER: 1.064.029,34 €

Projet cofinancé par le programme Interreg par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)

Compétitivité des PMEs

La coopération est entre vos mains

www.interreg-sudoe.eu

www.viniot.eu

Le projet VINIoT : création d'un service d'aide au pilotage du vignoble par l'imagerie hyperspectrale et les capteurs pour la détection du stress hydrique, de la flavescence dorée et l'évaluation de la maturité du raisin

Carole Feilhes[1], Fanny Prezman[1], Audrey Petit[1], Maxime Ryckewaert[2], Ryad Bendoula[2], Sylvia Mas Garcia[2], Thierry Simoneau[3], Nicolas Saurin[4], Rocio Pena Rois[5]

[1] Institut Français de la vigne et du vin, pôle Sud-ouest, Lisle sur Tarn
[2] ITAP, Univ Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France
[3] UMR LEPSE, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France
[4] INRAE, Pech rouge, Gruissan
[5]AIMEN, O Porriño, Pontevedra, Espagne

carole.feilhes@vignevin.com

Le projet VINIoT prévoit la création d'un nouveau service technologique de suivi du vignoble, qui permettra aux entreprises du secteur viticole de l'espace SUDOE de suivre le vignoble en temps réel et à distance, à différents niveaux de précision. Le système sera basé sur des images spectrales et sur une architecture IoT qui permettront d'évaluer les paramètres d'intérêt viticole et collecter des données à l'échelle du raisin, de la plante, de la parcelle ou du vignoble .

Le projet VINIoT, mené par un consortium de 7 partenaires Européens comporte quatre phases de travail :

- Design du système
- Validation de terrain
- Transfert des innovations
- Création du VINIoT Hub pour l'innovation

Design

Il s'agit de la conception et mise en œuvre de l'architecture matérielle/logicielle du service qui sera mise en place dans différentes exploitations de démonstration afin d'obtenir des données des vignobles pour développer les algorithmes d'intelligence artificielle. Les algorithmes d'Intelligence Artificielle permettront l'automatisation de la surveillance des vignobles à partir des informations obtenues par les techniques d'imagerie et le réseau de capteurs déployés sur le terrain. Pour cela, des mesures de référence réalisées au vignoble seront associées aux images spectrales acquises sur le végétal. Les algorithmes développés seront alors combinés aux données des capteurs.

Validation

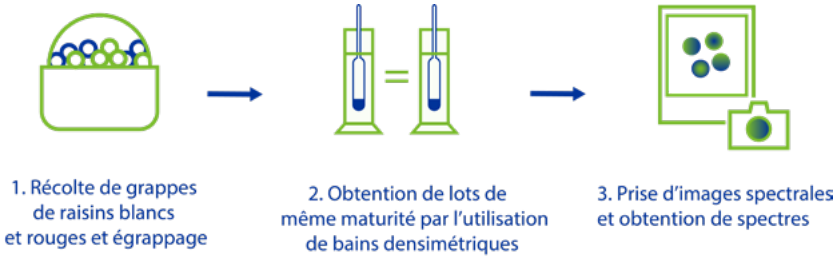
Afin de développer le modèle, des expérimentations ont été mises en place en France, en Espagne et au Portugal. En France, trois thématiques ont été spécifiquement développés : l'évaluation de la maturité, du stress hydrique, et la détection de la flavescence dorée.

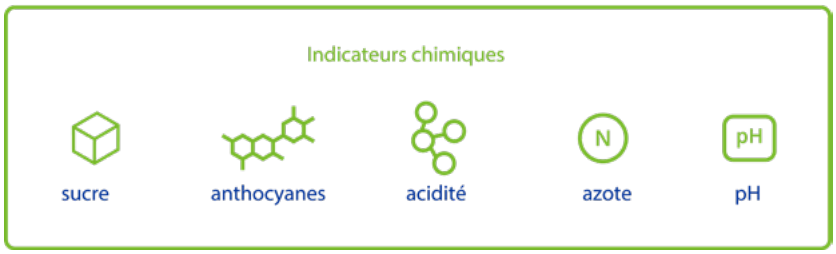
Pour l'évaluation de la **maturité**, il a été décidé de travailler d'abord à l'échelle de la baie au laboratoire, puis à l'échelle de la grappe et enfin au vignoble. L'acquisition de l'image spectrale ainsi que les analyses de référence pour mesurer la maturité (quantité de sucre dans les baies), ont été réalisées au laboratoire, dans un contexte de suivi de la maturité. Ce travail se concentre sur une étude de cas pour prédire la teneur en sucre de plusieurs cépages : Syrah, Fer Servadou

et Mauzac pour la France, Mancia et Treixadura pour l'espagne et Touriga Nacional au Portugal. Ensuite, les mêmes acquisition ont été réalisées en conditions de production, directement sur le terrain. Les acquisitions spectrales ont été réalisées sur les grappes directement sur les ceps de vigne. Une seconde acquisition a été réalisée en laboratoire afin de pouvoir comparer les deux méthodes. Pour analyser les données, une méthode robuste appelée Roboost-PLSR, développée dans le cadre de ce travail (Courand et al., 2022) pour améliorer les performances des modèles de prédiction, a été appliquée sur les spectres après l'acquisition d'images hyperspectrales.

Méthodologie de travail - Maturité

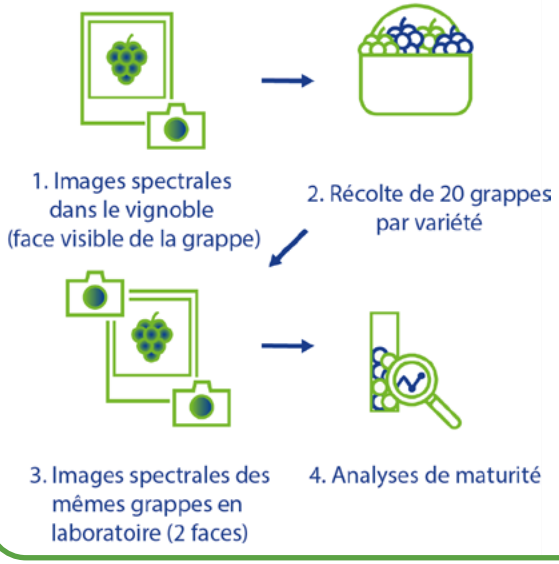
Année 1

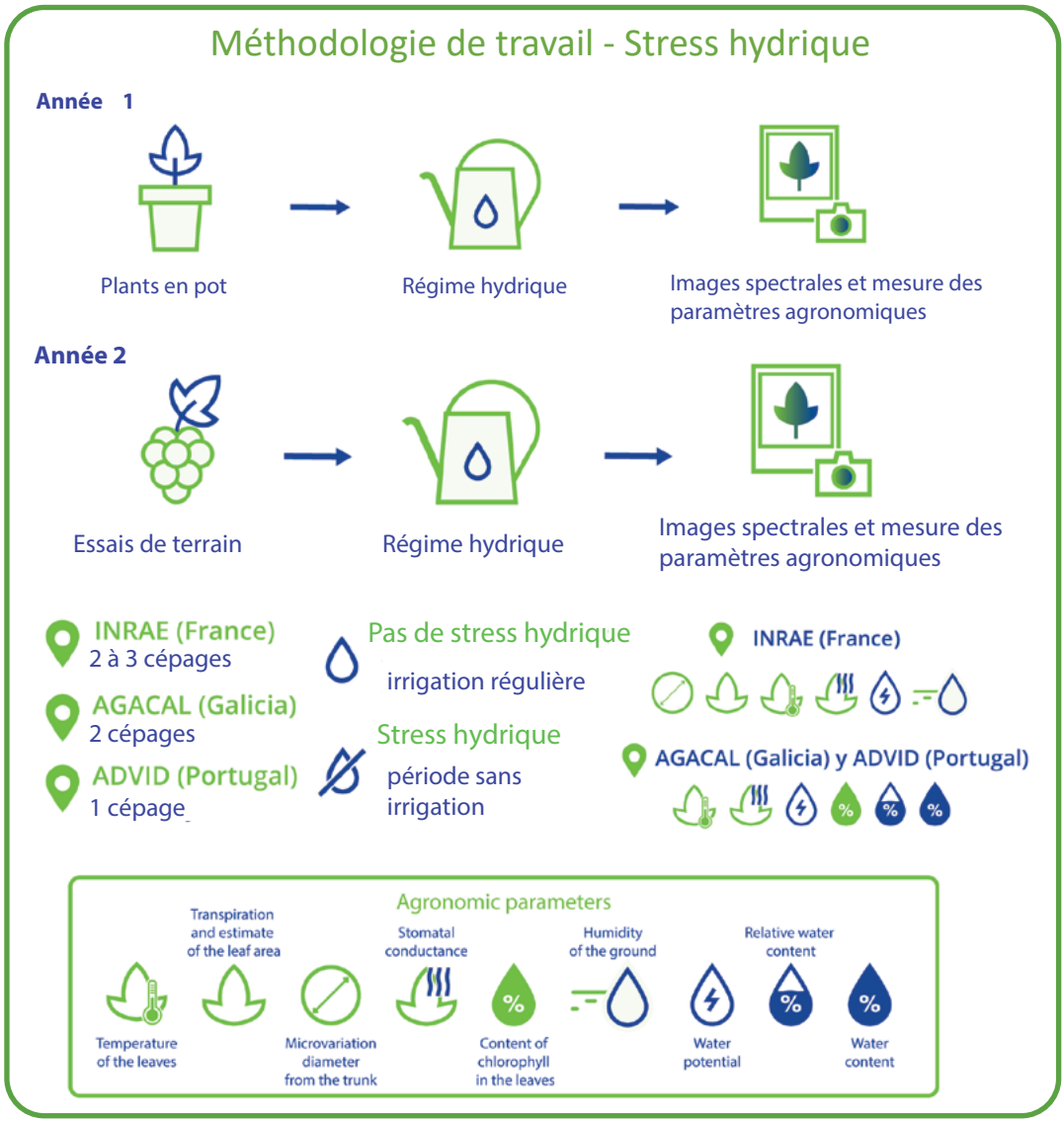




- 3 variétés : Mauzac, Syrah, Fer Servadou
- 3 à 4 dates de récolte tout au long de la phase de maturité du raisin
- En conditions de laboratoire puis sur le terrain
- 191 échantillons analysés et photographiés

Année 2





Concernant l'évaluation du stress hydrique, pour travailler avec une variabilité importante en terme d'état hydrique, les essais ont d'abord été conduits avec des plantes en pot sous 2 régimes hydriques différents. Les installations ont permis la supervision de l'irrigation et des conditions microclimatiques. Les modèles de régression sur les variables agronomiques (conductance stomatique, potentiel hydrique, ...) sont en cours d'étude. En deuxième phase de projet, les études ont été conduite à l'échelle de la plante dans un contexte de production sur le domaine expérimental de Pech Rouge.

Pour détecter la flavescence dorée, le plan expérimental a consisté à travailler à l'échelle de la feuille au laboratoire d'abord, puis au champ. Pour détecter la maladie à partir de l'imagerie hyper-spectrale, une combinaison de résolution de courbe multivariée - moindres carrés alternatifs (MCR-ALS) et d'analyse discriminante factorielle (FDA) a été proposée. Cette stratégie a prouvé son potentiel vers la discrimination des feuilles saines et infectées par la flavescence dorée basée sur l'utilisation d'images hyperspectrales (Mas Garcia et al., 2021).

Transfert

Une fois la preuve de concept établie, l'innovation pourra être transmise aux entreprises intéressée par les service numériques de suivi au vignoble.

VINIoT Hub

Le VINIoT hub est un point de rencontre en ligne pour tous les acteurs d'innovation

(centres de recherche, fournisseurs de technologies, fournisseurs de services, entreprises du numérique, exploitations viticoles, etc). Ce hub permet d'améliorer les connections entre les acteurs, en mettant en relations de demandes avec des besoins entre les entreprises de l'espace du SUDOE. Les activités de transfert réalisées dans le cadre du projet VINIoT sont également promues dans le VINIoT hub - www.viniot.eu

Qui sommes nous ?

Le consortium est composé de 8 partenaires issus des domaines de la recherche, la technologie et du transfert de connaissances :

Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste (AIMEN), Espagne. Coordinateur

Axencia Galega da Calidade Alimentaria (AGACAL), Espagne.

Institut National de la Recherche Agronomique (INRAe), France.

Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense- (ADVID), Portugal.

Institut Français de la vigne et du vin (IFV), France.

Gobierno de La Rioja, Espagne.

Fundación Empresa-Universidad Gallega – (FEUGA), Espagne.

Prospective et Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau sur le bassin Adour-Garonne

Nicolas Hebert, Agence de l'Eau Adour-Garonne

nicolas.hebert@eau-adour-garonne.fr

1. Présentation du bassin Adour-Garonne

Le bassin Adour-Garonne recouvre une grande partie des régions Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, ainsi qu'une partie d'Auvergne-Rhône-Alpes. 25 départements sont concernés dont 18 dans leur quasi-totalité.

Ce bassin se divise lui-même en plusieurs sous-bassins hydrographiques : la Charente, la Dordogne, le Lot, le Tarn-Aveyron, la Garonne, l'Adour, le littoral et les espaces côtiers, auxquels s'ajoutent les eaux souterraines.

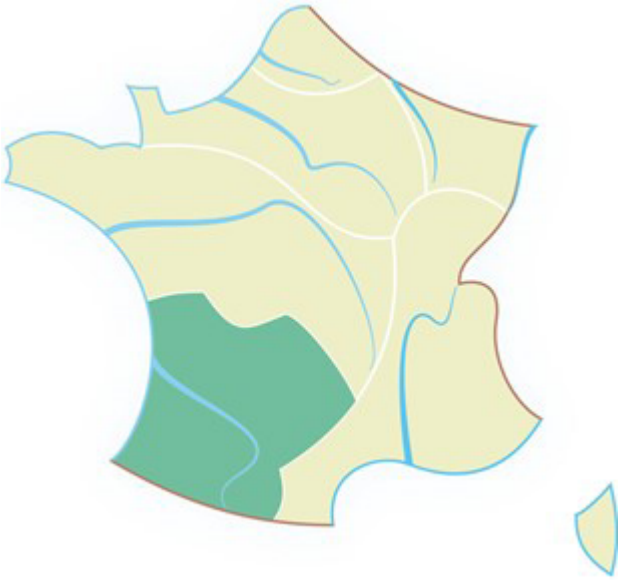


Figure 1 : Délimitation du bassin Adour Garonne

Il représente 20% du territoire métropolitain, se caractérise par une forte ruralité (faible densité de population en dehors des quelques grands pôles urbains : Bordeaux, Toulouse, Bayonne). En termes de ressource en eau, celle-ci est sollicitée pour les différents usages domestiques et économiques (figure 2).

Les prélèvements actuels représentent de l'ordre de 2 milliards de m^3, sur l'année et l'ensemble du bassin.

Une spécificité concernant l'eau potable : 26% de ce volume provient de nappes captives.

Les évolutions observées sont :

- Industries : une stabilité après une période de forte diminution
- Alimentation en eau potable (AEP) : une tendance régulière à la baisse, moins nette ces dernières années
- Irrigation : une baisse de la surface irriguée (-18% entre 2000 et 2010), qui ne se traduit pas clairement dans l'évolution des prélèvements compte tenu de leur forte variabilité interannuelle (pour un même assolement, le volume prélevé pour irriguer peut varier régionalement dans de fortes proportions selon les années et leurs conditions météorologiques)

Les données de consommation, en période d'étiage, sont plus parlantes en termes d'impact sur le milieu (lorsqu'il s'agit de prélèvements en eaux superficielles). Si l'on considère :

- que le prélèvement en période d'étiage représente 5/12ème du prélèvement annuel pour l'industrie et l'AEP, 100% pour l'irrigation,
- que la consommation représente 10% des prélèvements en industrie (18% concernant Golfech), 30% en AEP, 100% en irrigation,

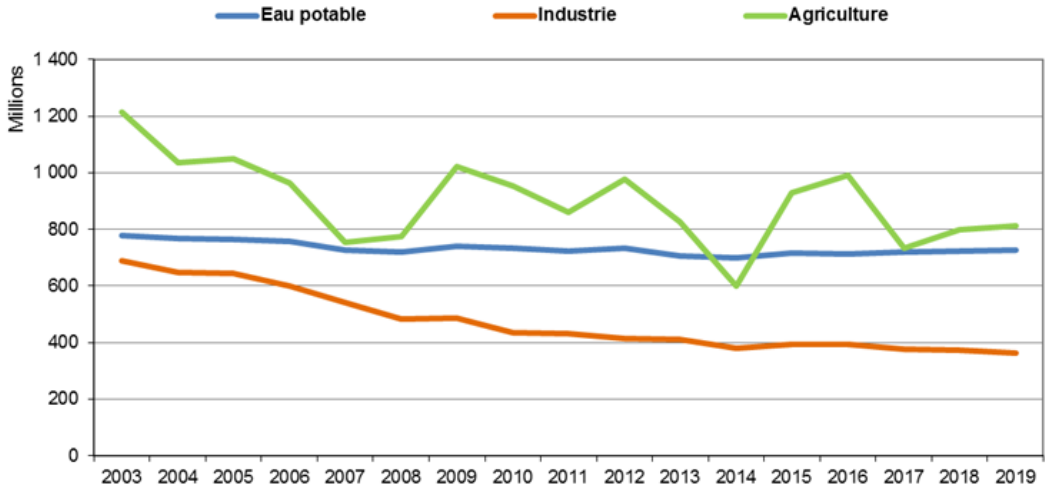


Figure 2 : Evolution des prélèvements annuels (Mm3) sur le bassin Adour-Garonne.
Source : redevances Agence de l'eau - hors prélèvements de la centrale nucléaire EDF du Blayais

la consommation totale actuelle serait de 1 milliard de m3 en période d'étiage, l'irrigation en représentant près de 90%.

Il faut enfin préciser que les valeurs affichées ici sont des moyennes, sur l'année ou sur la période d'étiage. Ces valeurs masquent les variabilités interannuelles ainsi que les besoins en pointe instantanée, auxquels il faudra également répondre, aussi bien en termes de ressources que d'infrastructures.

Au regard de ce besoin, la ressource en eau sollicitée repose essentiellement sur les eaux de surfaces (prélèvements en cours d'eau, nappes phréatiques ou d'accompagnement, retenues). La gestion de ces ressources repose sur des stations hydrologiques de référence, ou « points nodaux », sur lesquels a été fixé un objectif via le débit objectif d'étiage (DOE).

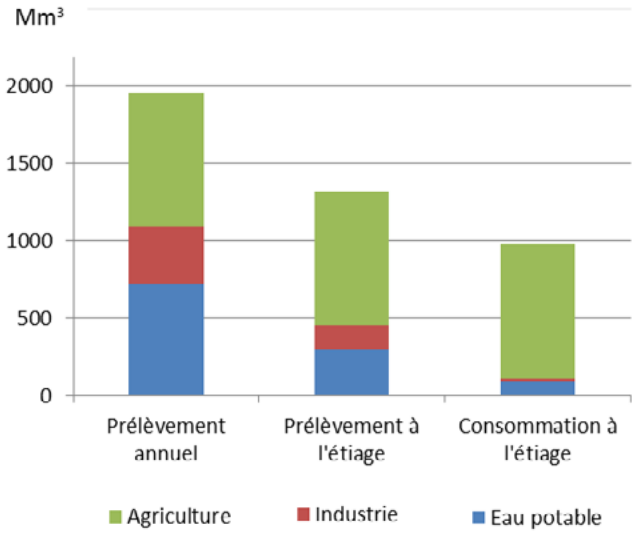


Figure 3 : Prélèvements et consommations annuels en période d'étiage (Mm3) sur le bassin Adour-Garonne. Source : redevances Agence de l'eau - hors prélèvements de la centrale nucléaire EDF du Blayais.

Au regard de ces DOE, le constat actuel est celui d'un déficit, c'est-à-dire un déséquilibre entre besoins et ressources, qui se traduit par la récurrence de la gestion de crise et des restrictions d'usages.

2. Plan d'adaptation au changement climatique

En 2018, le comité de bassin Adour-Garonne adopte un Plan d'adaptation au changement climatique.

Celui-ci pose un diagnostic sévère ; d'ici à 2050, tous les modèles convergent pour prédire notamment:

- Une augmentation de la température moyenne annuelle de l'air d'au minimum + 2°C;
- Une augmentation de l'évapotranspiration (des sols et de la végétation) comprise entre +10% et +30% ;
- Pas d'évolution sensible du cumul annuel de précipitations;
- Une augmentation de la sécheresse des sols ;

- Une diminution de la durée d'enneigement sur les massifs ;
- Une baisse moyenne annuelle des débits naturels des cours d'eau comprise entre -20% et -40% et de l'ordre de -50% en périodes d'étiage qui seront plus précoces, plus sévères et plus longues;
- Une tendance à la baisse de la recharge des nappes, très variable selon les secteurs et le type de nappes, allant de +20% à -50%.

Ces impacts se font déjà sentir aujourd'hui et vont accentuer la forte tension sur les ressources en période d'étiage : le déséquilibre hydrologique entre besoins et ressources actuellement estimé entre 200 et 250 millions de m³ pourrait atteindre, par le seul effet du changement climatique (à stocks, objectif environnemental et usages constants), entre 1 et 1,2 milliard de m3 en 2050.

De plus, la population du bassin, actuellement de 7 millions d'habitants, aura progressé de 1,5 million sur la même période. Enjeu majeur pour l'avenir de notre bassin, la prise de conscience est désormais réelle : il faudra satisfaire les besoins en eau d'une population qui s'accroît et des activités économiques sur le bassin.

Ainsi, si rien n'est fait, le bassin Adour-Garonne, particulièrement vulnérable au changement climatique, va connaître, dans certains territoires, des problèmes d'approvisionnement en eau, tant en termes de disponibilité que de qualité, pénalisant les activités humaines et les milieux naturels, aquatiques et humides. On doit agir collectivement dès maintenant pour éviter ces problèmes.

Malgré une grande diversité géographique et des degrés d'urgence différents, le bassin Adour-Garonne doit ainsi relever, dans un délai très court, quatre grands défis :

- Faire face à une baisse et à une plus grande variabilité de l'hydrologie naturelle et limiter l'effet des sécheresses ;
- Préserver la qualité de la ressource en eau et des milieux aquatiques ;
- Accompagner la mutation des écosystèmes aquatiques ;
- Réduire la vulnérabilité face aux évènements extrêmes.

Au-delà de ces éléments de diagnostic, l'essentiel du contenu du Plan d'Adaptation au Changement Climatique, en termes de mesures d'adaptation, a été intégré au Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne 2022-2027.

3. Prospective sur la ressource en eau

Au regard des enjeux spécifiques de la ressource en eau dans le contexte du changement climatique, un exercice de prospective a été proposé

Tableau 1 : Bilan global besoins/ressources en eaux de surface à horizon 2050

	Volume (Mm³)
Déficit initialement évalué pour 2050	**1000-2000**
Gains économies d'eau (consommation)	200
Gains SFN/agroécologie	50-250
Mobilisation nappes libres	20
Stocks complémentaires pour le soutien d'étiage, dont :	150-500
• Création d'ouvrages de réalimentation	(80-135)
• Mobilisation de barrages hydroélectriques	(70-375)
Mobilisation de petits ouvrages existants	30
Ouvrages de substitution, re-use	20-40
Nouveau déficit évalué pour 2050	**200-700**

au comité de bassin fin 2019, qui consiste à bâtir des hypothèses en termes de besoins et de ressource, à l'échelle de grandes mailles territoriales, afin d'identifier les zones où les usages pourront être satisfaits voire développés et celles qui seront soumises à forte tension.

Le bilan global repose sur des hypothèses fortes en termes d'économies et de mobilisations de ressources complémentaires. Pour autant, il fait apparaître un déficit résiduel encore important qui interrogera sur le maintien de nos objectifs hydrologiques : en maintenant les valeurs actuelles de DOE, la situation hydrologique impliquerait des situations de crises, donc de restrictions, fréquentes et intenses, plus encore que ce qui est actuellement connu, et malgré les efforts d'adaptations qui auront été consentis.

Quelques précisions quant à ces hypothèses en termes d'économies d'eau :

- Pour les prélèvements industriels, les efforts effectués antérieurement ne laissent pas espérer de grosses marges de manœuvre pour l'avenir.
- Pour l'eau potable, d'importantes économies d'eau sont réalisables, chez les utilisateurs comme au sein des réseaux de distribution ; mais elles seront probablement compensées par l'augmentation de population.
- Concernant l'irrigation, des adaptations majeures sont attendues et représentent le principal gain quantitatif du bilan proposé, et ce malgré l'augmentation de l'évapotranspiration : baisse des surfaces irriguées, adaptations des cultures (cultures économes en intrants, cultures à forte valeur ajoutée lorsque la ressource est sécurisée par le soutien d'étiage), adaptation des pratiques.

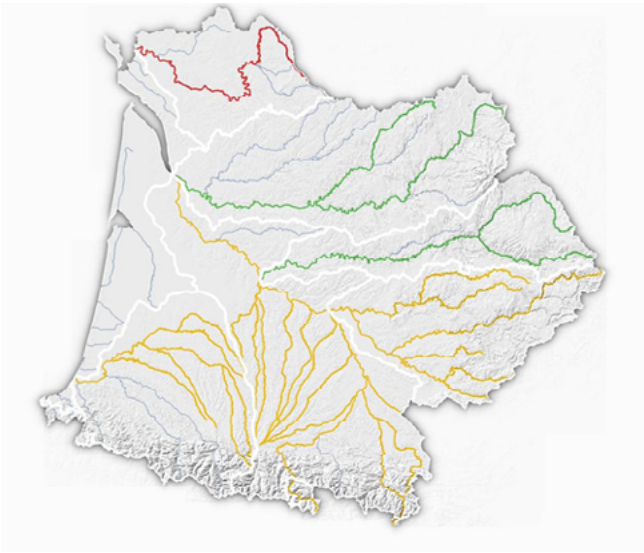


Figure 4 : Potentialité de maintien/développement des prélèvement sur les principaux cours d'eau

En termes de ressources complémentaires, les propositions, fortes au regard des volumes actuellement disponibles (de l'ordre de 540 Mm3 en soutien d'étiage et 300 Mm3 en retenues agricoles), vont induire des coûts d'investissement et de gestion, dont une partie fera l'objet d'un recouvrement auprès des usagers bénéficiaires.

Enfin, les résultats globaux de cette démarche prospective masquent des situations contrastées entre territoires (figure 4).

Les axes Charente-Seudre, Isle-Dronne restent problématiques.

A contrario, les axes Lot et Dordogne-Vézère offrent des potentialités en termes de maintien voire de développement des activités liées au prélèvement d'eau. Ces potentialités sont toutefois directement liées à la possibilité de mobiliser les stocks hydroélectriques existants.

Les axes Garonne, Tarn-Aveyron ou Adour disposent de marges de manœuvre, beaucoup plus limitées, et sous condition de mobilisation d'ouvrages hydroélectriques et/ou de création d'ouvrages structurants pour en soutenir les étiages.

4. Stratégie de retour à l'équilibre quantitatif

Pour répondre aux enjeux actuels et futurs, le comité de bassin a bâti une stratégie de retour à l'équilibre quantitatif qui repose sur cinq axes :

- Dynamiser la mise en place de démarches de Projets de Territoires pour la Gestion de l'Eau (PTGE) pour le retour à l'équilibre : le PTGE est, selon l'instruction ministérielle, « *une démarche reposant sur une approche globale et co-construite de la ressource en eau sur un périmètre cohérent d'un point de vue hydrologique ou hydrogéologique. Il aboutit à un*

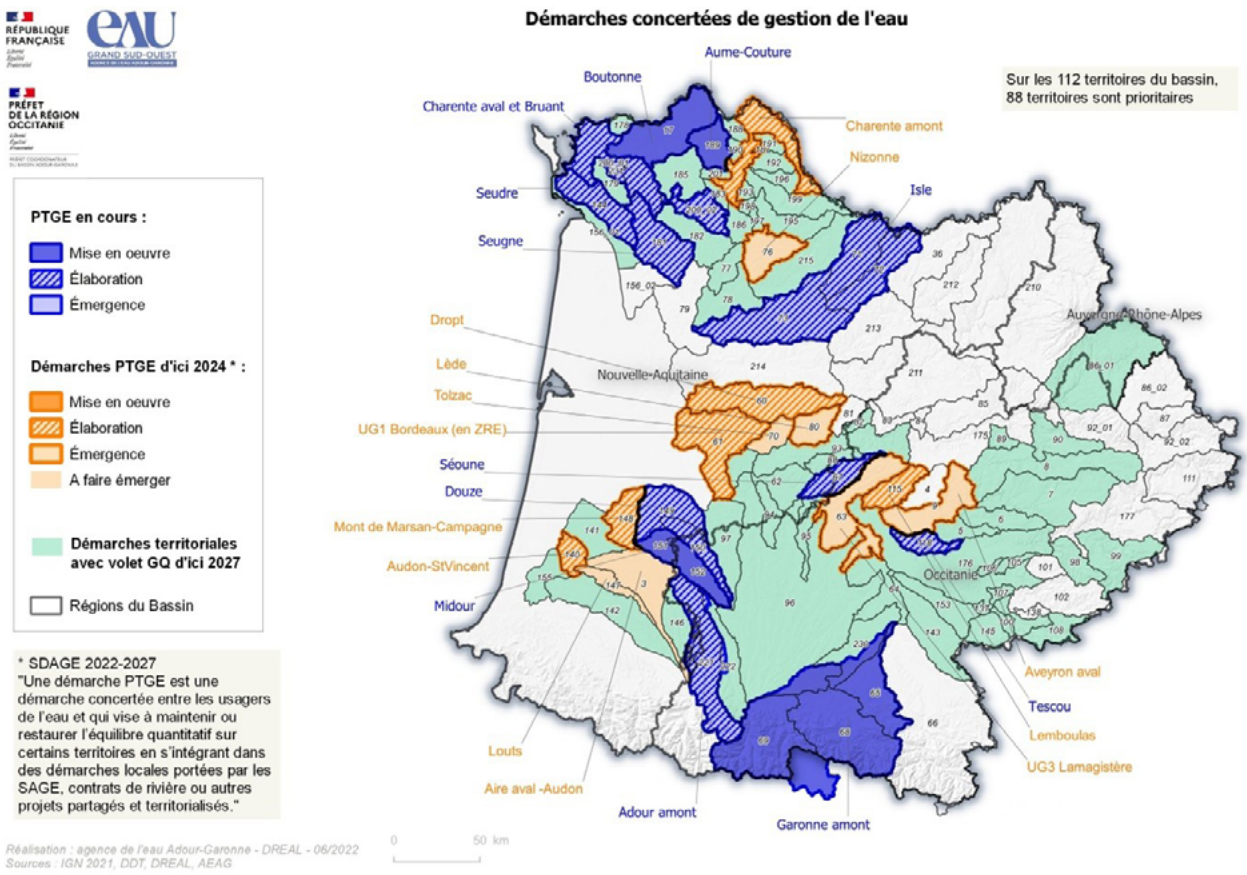


Figure 5 : Démarches concertées de gestion de l'eau

engagement de l'ensemble des usagers d'un territoire (eau potable, agriculture, industries, navigation, énergie, pêches, usages récréatifs, etc...) permettant d'atteindre, dans la durée, un équilibre entre besoins et ressources disponibles en respectant la bonne fonctionnalité des écosystèmes aquatiques, en anticipant le changement climatique et en s'y adaptant. »

- Engager des programmes d'économies d'eau et d'efficience des usages pour restaurer les équilibres à l'échelle des bassins versants, notamment dans le cadre des PTGE et des appels à projets dédiés
- Sécuriser les prélèvements agricoles et faciliter la gestion collective de l'irrigation en articulant le rôle des OUGC (Organismes Uniques de gestion collective par bassin versant) avec les démarches territoriales
- Réduire les périodes de gestion de crise « sécheresse »
- Sécuriser le soutien d'étiage et les besoins milieux /usages sur le long terme : une augmentation des volumes disponibles, via des ouvrages dédiés ou la mobilisation d'ouvrages hydroélectriques, implique un nouveau modèle économique pour en assurer le financement.

La mise en œuvre de cette stratégie s'est déclinée territorialement via les « feuilles de route » des Etablissements publics territoriaux de bassin (EPTB, ou structures assimilées), présentées au comité de bassin fin 2022. Ces feuilles de route permettent de programmer, sur le court, moyen et long terme, les actions à engager en termes de gestion de la ressource en eau. Dès 2023 – 2024, ce sont 120 millions d'euros de travaux qui sont identifiés pour limiter et adapter les territoires aux changements climatiques, mobilisant un mix de solutions.

L'eau de pluie : une nécessité d'imaginer un stockage local et durable

Jean-François Berthoumieu[1] et Julia James[1]

[1]Association Climatologique de la Moyenne Garonne, 846 allée de la Seynes, 47310 Ste Colombe en Bruilhois - www.acmg.asso.fr

acmg@acmg.asso.fr

La demande locale

Depuis 1959, l'ACMG (Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest) œuvre pour lutter contre les aléas climatiques et, depuis 2006, elle recherche et propose des solutions pour s'adapter au réchauffement climatique, aussi bien pour l'agriculture que pour la ville. Grâce à des projets INTERREG SUDOE puis Atlantique elle a pu collaborer avec des Espagnols et Portugais pour mieux comprendre comment ils fonctionnent déjà dans un climat qui devient le nôtre. Avec des Irlandais et des Anglais, l'objectif est de savoir comment ils ont pu aider à imaginer, dans les années 90, une directive cadre de l'eau Européenne autant portée sur l'évacuation rapide des eaux de pluie plutôt que leur ralentissement et leur stockage.

Dans le cadre du projet Interreg TripleC, des enquêtes ont été menées en 2021 auprès d'exploitants agricoles et de Maires pour connaître leur vision du changement climatique, leurs modes d'adaptation, leurs besoins et les freins rencontrés. Il a aussi été possible, à partir des résultats, de comprendre les leviers à activer pour faire de l'élu un relais entre ce qui est vécu localement et les prérogatives.

Les impacts vécus sur le terrain

294 agriculteurs ont répondu à l'enquête, un questionnaire basé sur des réponses libres et des questions ouvertes. Voici une brève présentation de certains des résultats qui vient illustrer le rôle de l'eau au sein des exploitations et les enjeux actuels autour de cette ressource.

La canicule et la sècheresse sont les deux aléas qui impactent majoritairement les agriculteurs/trices sur les 5 dernières années (2022 n'est pas inclue). Concernant les craintes des agriculteurs, la sècheresse et le gel sont les deux aléas qui les préoccupent majoritairement. Le manque d'eau arrive en 2ème position par crainte d'épisodes de plus en plus chauds durant l'été mais aussi au printemps. L'eau, en tant qu'impact direct (orage, pluie, tempête) génère aussi des inquiétudes. Certains agriculteurs ont changé de culture ou ont réduit leur surface irriguée pour pallier au possible défaut de ressource en eau. Cette peur conduit vers une mutation partielle ou totale des exploitations. De plus, de nombreux agriculteurs souhaitent disposer d'eau au printemps pour lutter contre le gel, notamment sur la vigne.

Les adaptations actuelles et besoins futurs pour continuer à produire sur le territoire

Certains agriculteurs mettent en place un ou plusieurs modes d'adaptation (figure 1). Le mode d'adaptation le plus mentionné est l'irrigation et l'amélioration de l'accès à la ressource en eau. Ce mode d'adaptation est aujourd'hui fortement utilisé par les agriculteurs ; cependant une grande majorité d'entre eux se soucie des besoins en eau qui ne cessent de croitre par suite de l'augmentation des températures estivales.

Les agriculteurs ont été interrogés autour de leurs besoins actuels au sein de l'exploitation pour l'adaptation au changement climatique. Ces besoins renseignent sur les freins, les inhibiteurs d'actions au sein des exploitations. Ce

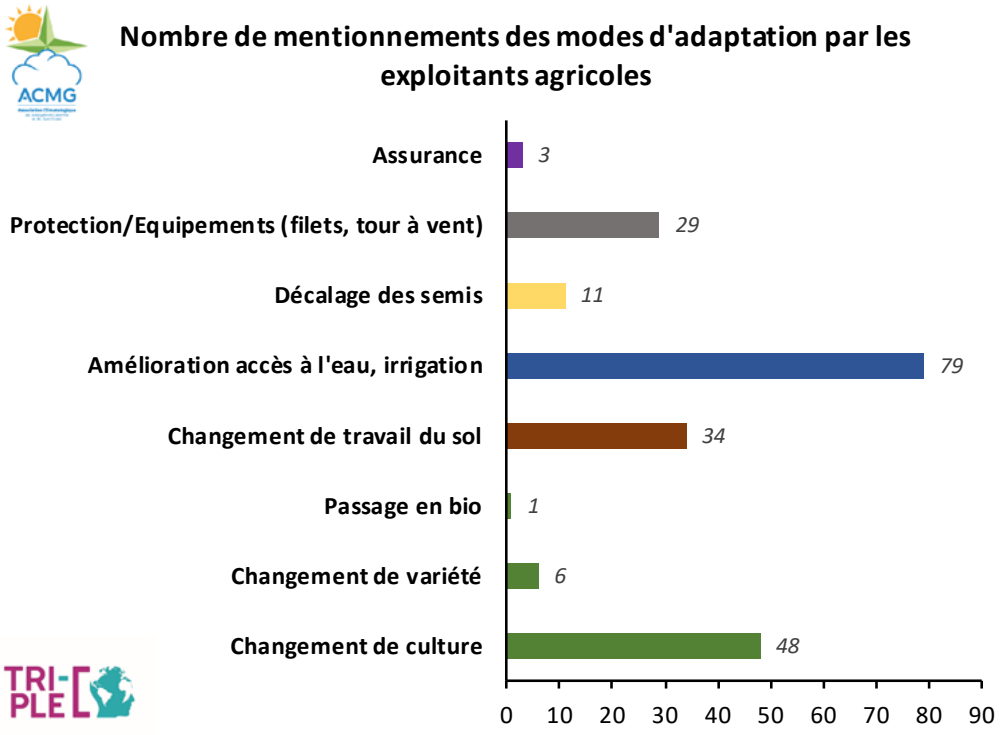


Figure 1 Modes d'adaptation mis en place sur les exploitations pour faire face au CC (enquêtes réalisées dans le cadre du projet Interreg TripleC)

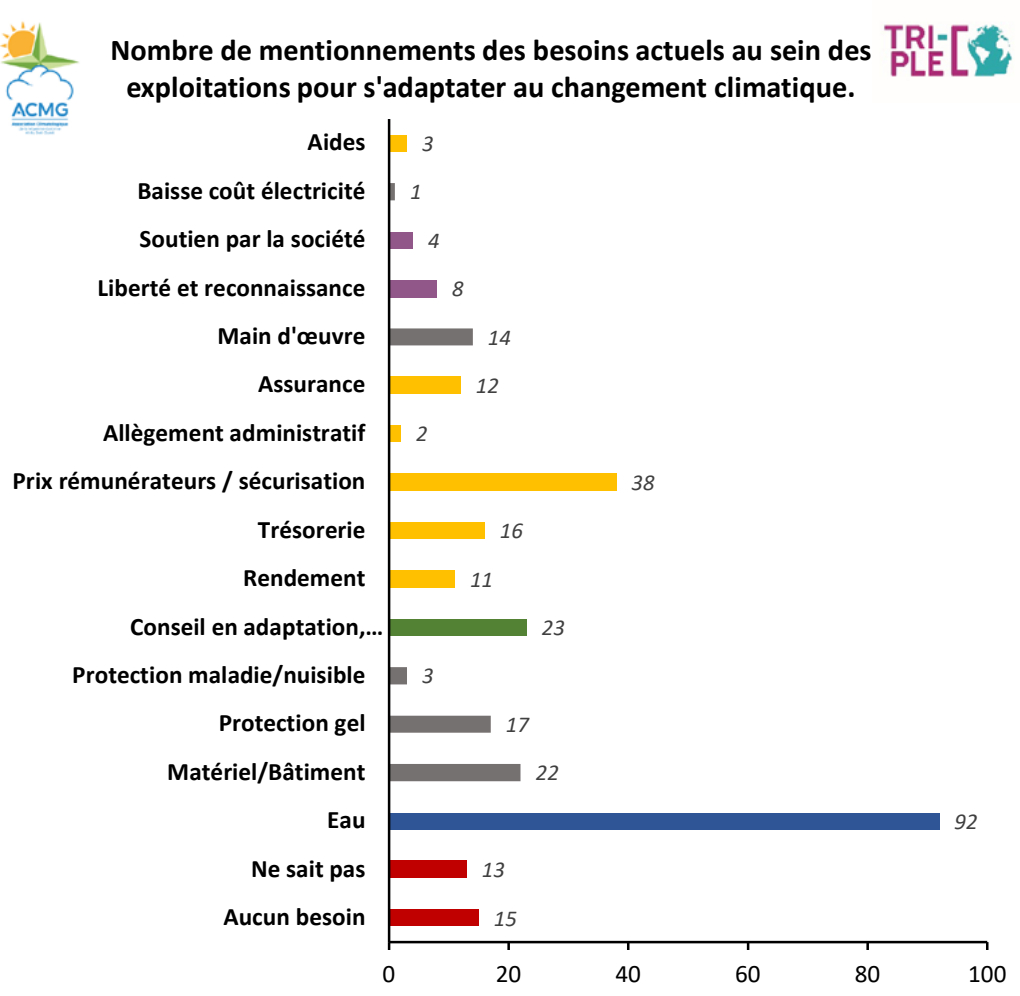


Figure 2 : Résultats d'enquête (réalisées dans le cadre du projet Interreg TripleC) sur les besoins au sein des exploitations pour faire face au CC

besoin actuel vient conditionner le futur des exploitations (figure 2).

Aujourd'hui 92 des 294 agriculteurs ont besoin de la garantie d'apport en eau, cet apport viendra sécuriser la production et leur permettra d'anticiper le futur.

L'eau en tant que ressource dans le contexte de changement climatique

L'ACMG étudie le climat via son réseau agro-climatologique depuis plus de 60 ans. Les données de températures et les pluies sont récoltées chaque jour pour pouvoir comprendre l'évolution des ressources et ainsi soutenir les adaptations agricoles. **L'eau demandée par les agriculteurs, et plus particulièrement l'eau de pluie, est-elle suffisamment disponible aujourd'hui et demain ?**

Températures passées et futures

Les températures ne cessent d'augmenter. En 30 ans, à Agen, la température moyenne a augmenté de 1.5°C, soit 0.5°C tous les 10 ans. L'indicateur le plus simple pour visualiser cette progression est le nombre de journées à plus de 30, 35 et 40°C entre Mai et Septembre (voir ci-dessous). Les prévisions pour le futur prédisent une augmentation du nombre de ces journées avec plus d'une journée sur deux au-dessus de 30°C et le seuil de 35°C dépassé comme l'était le seuil de 30°C dans les années 70 et 80 (figure 3)!

L'évolution des précipitations

La figure n°4 représente les cumuls de pluie de l'année agricole (Octobre à septembre de l'année suivante) mesurés à Agen depuis 1891 complétés par nos prévisions jusqu'en 2047. Il est observé une légère augmentation des normales depuis le début du siècle passé avec des pics provoqués par exemple en 1910 par des poussières émises en haute atmosphère par un météorite qui a explosé au-dessus de la Sibérie, puis entre 1993 et 1944 par l'explosion du volcan Pinatubo en 1991. A chaque fois que la température la terre baisse de 1 à 3°C, une partie de l'eau atmosphérique est forcée à précipiter. Pour le reste, les forçages sont plus incertains.

Les pluies cumulées, à la différence des températures, sont stables. Stables mais variables avec des pluies intenses ce qui se traduit par au moins 50% de ces cumuls reçus sur seulement 10% des jours de pluie, soit entre 12 et 20 jours suivant l'année, alors qu'il nous faut de l'eau tous les jours. Nous remarquons que moins il y a d'eau de pluie et plus il fait chaud en été. 2021 et

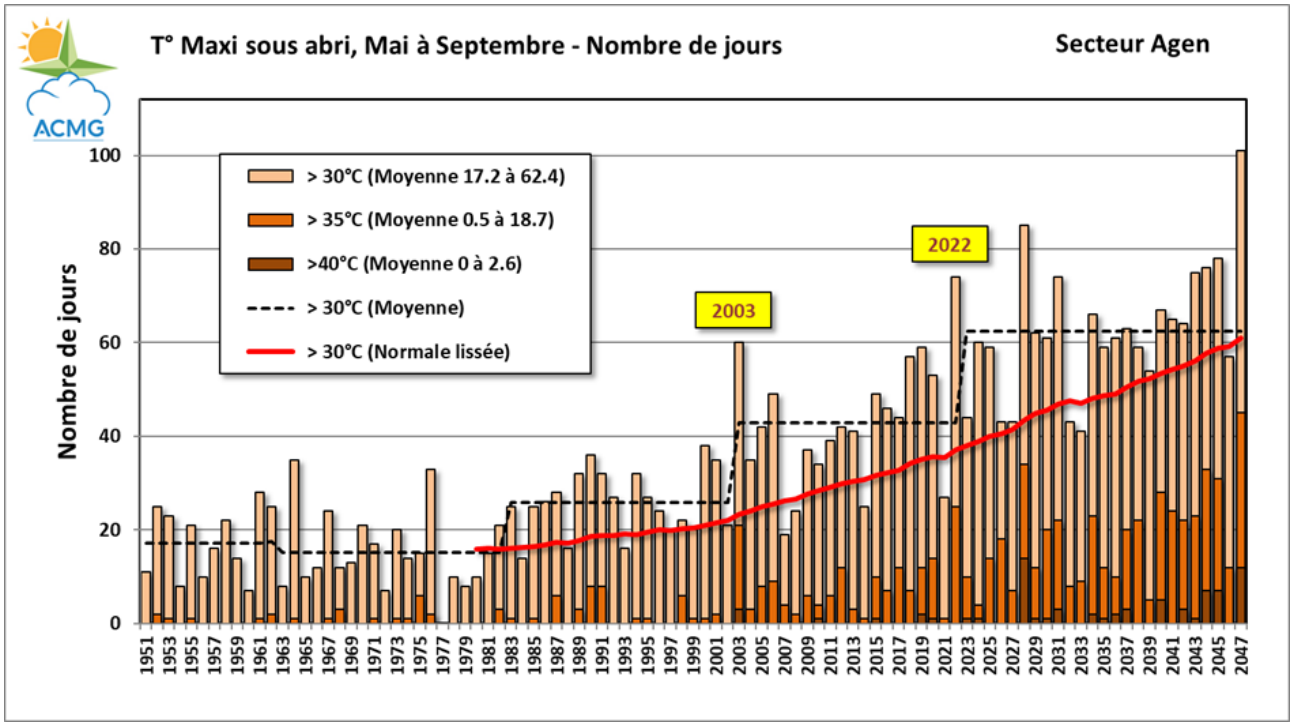


Figure 3 :Températures maximales sous abri entre mai et septembre depuis 1950 dans le secteur d'Agen

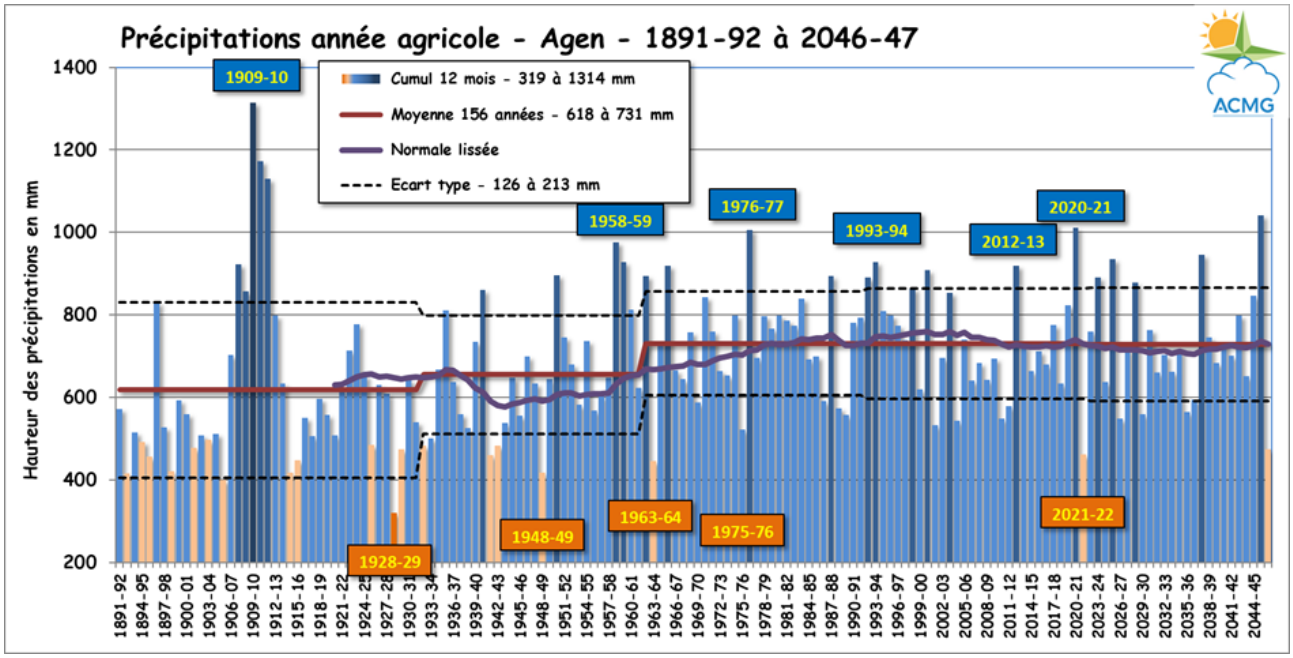


Figure 4 :Précipitations annuelles depuis 1891 et prédiction jusqu'à 2047

2022 illustrent bien ce principe puisqu'il n'y a eu qu'une journée à plus de 35°C à Agen en 2021, où il était tombé 300 mm entre mai et août, alors qu'en 2022 il y a eu 24 journées à plus de 35°C et seulement 130 mm de mai à août.

Cela fait la démonstration d'une ressource en eau bleue (l'eau des précipitations qui circule sous forme liquide à la surface de la Terre) durable, quoique variable, pour sécuriser la production d'eau verte par les végétaux, par évapotranspiration, et par les surfaces liquides ou solides, par évaporation. Cette eau verte correspond, à peu près en France, à 60% des flux de précipitations. L'eau de ruissellement dans les fleuves par exemple représente seulement 16% ce qui permet de comprendre les difficultés estivales puisque son volume disponible est relativement faible. Le solde, soit environ 22%, correspond aux écoulements souterrains.

L'eau verte mise à disposition de végétaux en été permet de transformer, par la photosynthèse, près de 50% de l'énergie solaire incidente en frigories, tout en produisant de la biomasse qui transforme du CO2 de l'atmosphère en Oxygène et en carbone fixé dans les tissus des plantes. L'énergie pour pomper l'eau du sol vers les feuilles est également solaire et donc durable, à condition que de l'eau soit bien disponible au niveau de l'échangeur plante/sol.

La vigne est une de ces plantes les plus performantes pour produire de l'eau verte en conditions estivales sèches et chaudes. Mais elle a ses limites.

L'eau est là et sera là selon l'ACMG mais est-elle disponible pour l'agriculture ?

Quelles solutions basées sur l'eau pour une adaptation au changement climatique ?

L'eau et le végétal, un climatiseur naturel

La carte page suivante (figure 5) est une preuve irréfutable que l'eau et les végétaux ayant accès à de l'eau sont un apport de fraîcheur pour les villes mais aussi les espaces ruraux. L'ACMG a observé via des mesures sous abris et à l'air libre qu'un verger irrigué présente des températures de 12°C plus basses que le chaume voisin.

L'eau est donc une ressource clé pour l'agriculture ainsi qu'une solution d'adaptation pour l'ensemble des territoires. La vigne représente localement des surfaces importantes qui influent et influeront sur ce climat avec des limites qui seront liées à la mise à disposition ou non, au lieu d'échange entre les racines et le sol, de volumes d'eau suffisants, à tout moment et particulièrement durant les vagues de chaleur.

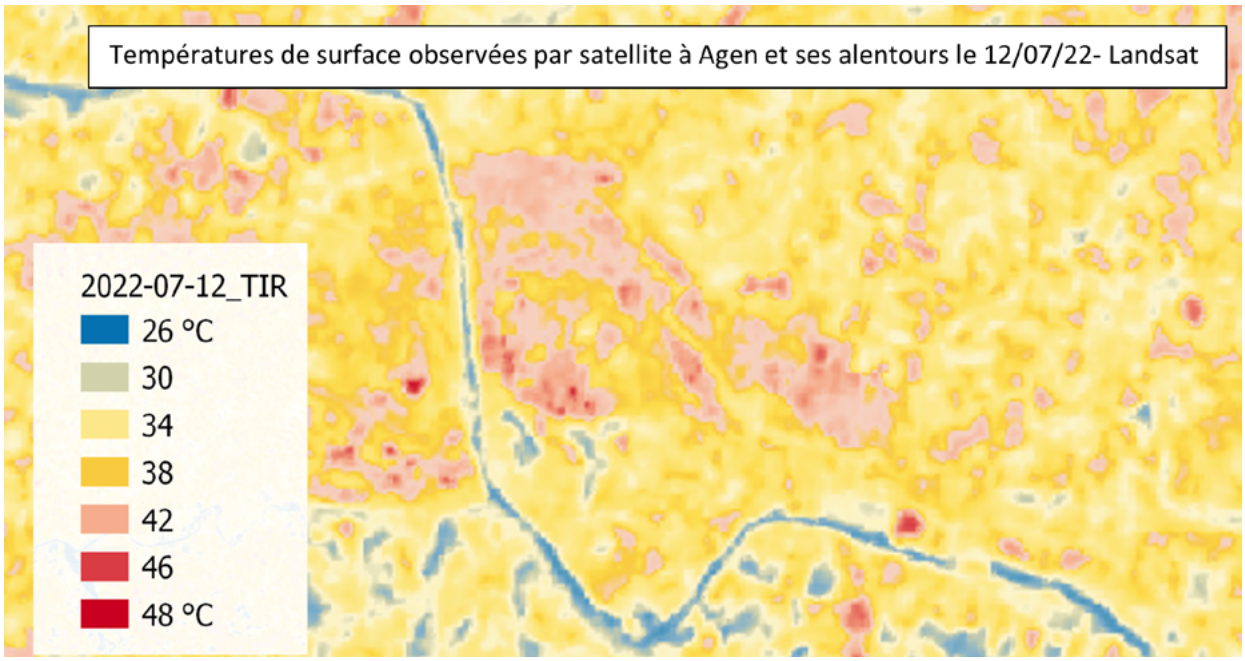


Figure 5 :Image satellite des températures de surface dans le secteur d'Agen (12/07/22)

Rendre l'eau disponible

Le premier réflexe doit être de se rendre compte qu'un sol a une capacité limitée à stocker de l'eau de pluie. Il est important de connaitre les lieux où les flux de ruissellement sont les plus élevés et c'est ce que l'ACMG réalise en ce moment avec le SMEAG et sur l'ensemble du bassin de la Garonne. En parallèle il est urgent de disposer d'information du suivi de la hauteur d'eau des petits cours d'eau qui sont en crue jusqu'à 24 h avant que les grands fleuves le soient. Dans le cadre de Risk-AquaSoil un système a été mis au point et il est testé dans ClimAlert sur une quinzaine de rivières de Moyenne-Garonne.

Une inondation de la Garonne vers Tonneins, c'est, par exemple en février 2021, 25 mm d'eau de pluie qui n'a pas pu s'infiltrer dans les sols en amont. Comment accroitre les volumes des macroporosités des sols et ralentir les écoulements superficiels ? Planter des haies irriguées, créer des mares, des puisards d'infiltration, des ralentisseurs végétaux, des bandes enherbées, autant de solutions connues qui ont du mal à s'étendre compte tenu des coûts d'installation et d'entretien. Est-ce que la nouvelle PAC ou des initiatives locales, lien entre le village et les agriculteurs, vont pouvoir aider ?

En attendant il est indispensable de sécuriser une ressource en eau de qualité plus abondante. Voici, ci-après, les principes que l'ACMG avec le Cluster Eau & Climat préconisent depuis une quinzaine d'années et qui peuvent s'adapter au contexte de la vigne qui voit les principes de production mis en place alors qu'il faisait 1.5°C de moins, atteindre leurs limites.

Comment s'adapter ?

- En appliquant les principes d'une écologie Durable en copiant les anciens qui durant l'antiquité ont su, avec intelligence, créer les conditions de vie autour de l'eau.
- En stockant de l'eau de manière intélligente dans les sols, les zones humides, des lacs de nouvelle génération, en rechargeant les nappes alluviales et en utilisant les eaux usées traitées
- En éconoisant l'eau d'irrigation tant qu'il ne fait pas plus de 33/34°C
- En utilisant, les jours de canicule, cette eau, déjà stockée et économisée, afin d'évapotranspirer au travers de végétaux et ainsi réduire à grande échelle l'amplitude thermique
- 200 mm = -4°C d'amplitude thermique journalière

Quelques exemples de solution de stockage du Lot-et-Garonne.

Depuis la sécheresse de 1964, puis celle de 1976, les collectivités publiques, avec l'Etat, ont aidé à stocker dans des lacs collinaires classiques vis-à-vis desquels des critiques ont été souvent mises en avant : évaporation excessive, qualité de l'eau aval, envasement, réduction de la biodiversité et réchauffement de l'eau. Entre 1998 et 2001, dans le cadre du projet national IrriMieux, un groupe de spécialistes, représentant « les pours et les contres » de ces lacs, ont réussi à travailler ensemble sur un nouveau projet de lac de 800 000 m^3 sur la rivière du Bourbon au Nord d'Agen, dans le Pays de Serres. Pour éviter d'alimenter en aval du barrage de l'eau sans oxygène, comme cela est le cas en été lorsque la stratification thermique se développe, un système de prélèvement à hauteur variable a été installé ce qui permet d'ajuster le niveau de prélèvement pour avoir de l'oxygène et des températures correctes.

Pour réduire l'envasement, un bassin de décantation a été construit en amont. Il a été constaté qu'il permet, comme le fait une mare, de dénitrifier l'eau du ruisseau et d'améliorer la qualité de l'eau, notamment par la réduction de sa turbidité, et, peut-être, en limitant le risque de développement de cyanobactéries. Concernant l'évaporation, des mesures ont été réalisées indiquant que les flux d'évaporation ne sont pas supérieurs aux flux qui seraient évapotranspirés par une prairie et sont bien inférieurs aux flux évapotranspirés par les arbres. Des arbres ont été préservés et plantés en bordure du lac, sauf sur la digue, pour réduire l'effet du vent. Enfin pour la biodiversité, il est évident qu'elle a été fortement modifiée mais le nombre et la quantité d'espèces a été, selon des dire experts, multipliée par un facteur de plus de 1000. Il y a maintenant une vie aquatique intense, des oiseaux migrateurs et sédentaires et les prédateurs naturels comme des putois, loutres et autres rongeurs. Ce lac est utilisé par les agriculteurs de ces côteaux et un tiers du volume sert à maintenir un débit d'étiage dans le cours d'eau où un camping est installé.

Le surcoût des aménagements avait été estimé à moins de 15%

L'autre solution, en cours de validation, est la réalimentation des nappes alluviales de la Garonne. Des tests avaient été réalisés au milieu

Photographie aérienne du Lac du Moulin d'Arasse sur le Bourbon (47) en août 2022secteur d'Agen (12/07/22)

des années 90 avec le BRGM, l'ACMG, la DDA et l'Agence de l'Eau en utilisant les eaux d'un canal latéral à la Garonne et avaient conclu au potentiel de stockage d'environ 50% des eaux injectées sur une période de trois mois, le reste revenant directement à la Garonne. Ce principe est en ce moment repris et étudié par l'ENSEGID et le SMEAG avec un potentiel de stockage de plusieurs millions de m^3 d'eau de la Garonne transitant par ce canal entre février et mai. L'objectif est de retrouver cette eau quelques semaines plus tard dans la Garonne, après avoir circulé dans les nappes, au moment de l'étiage, de plus en plus précoce.

En conclusion

Le réchauffement climatique provoque une demande en eau plus importante mais cette eau, évapotranspirée par la vigne comme par toutes les plantes actives en été, devient une eau verte qui a l'avantage de climatiser naturellement les parcelles et les zones aval (entre 3 et 10°C), de permettre la formation de précipitations, tout en produisant de la biomasse et en fixant du carbone. D'autre part les quantités de pluie, l'eau bleue, devraient rester identiques quoique plus variables avec des périodes plus intenses.

Il est urgent d'appliquer des solutions de bon sens, basées sur la nature, afin de réduire les flux de ruissellement de cette eau bleue, la stocker dans les sols, les zones humides, les nappes, les marres et des lacs de nouvelle génération. Une fois cette eau stockée il faut l'économiser tant que les températures maximales permettent un confort de vie acceptable pour les plantes et les populations en utilisant par exemple des outils de meure précis de l'humidité des sols et d'aide au pilotage de l'irrigation. Enfin il faut adapter la loi sur l'eau au contexte climatique afin que, les jours de canicules, cette eau stockée et économisée, puisse être utilisée pour irriguer des plantes qui nous rafraichiront tout en produisant de la biomasse dans des conditions de température plus favorables. L'agriculture et la vigne, vu les surfaces concernées, sont les premiers atouts dans cette démarche d'adaptation.

Comment co-construire un projet de territoire sur l'usage de l'eau ?

Jean-Marc Touzard et Nina Graveline, INRAE, UMR Innovation, Montpellier

jean-marc.touzard@inrae.fr>

Le changement climatique vient bouleverser les relations entre les vignobles établis et les ressources présentes dans les territoires où ils ont été implantés, et en premier lieu l'eau disponible et utilisée pour les vignes. La modification de la pluviométrie et l'augmentation de l'évapotranspiration, entrainent dans de nombreux terroirs d'Occitanie des bilans hydriques plus négatifs sur la période végétative de la vigne, avec selon la localisation, le type de sol, les cépages et pratiques, des impacts plus ou moins marqués sur les rendements ou les caractéristiques des vins. Les viticulteurs engagent des stratégies d'adaptation visant à faire face à cet enjeu autour de l'eau, avec deux situations contrastées selon la possibilité ou non de développer l'irrigation, et une mise en débat de cette option entre viticulteurs et surtout avec la société. Deux programmes de recherche soulignent l'enjeu de co-construire un projet de territoire sur l'usage de l'eau pour développer une stratégie d'adaptation des vignobles au changement climatique, en voici les principaux enseignements.

Le projet INRAE LACCAVE (2012-21), coordonné par JM Touzard et N. Ollat, qui a étudié l'impact du changement climatique et les stratégies d'adaptation dans le secteur viticole français, avec un questionnement spécifique sur la gestion de l'eau et le développement de démarches prospectives et participatives à différentes échelles territoriales, en particulier en Occitanie.

Le projet européen TALANOA-WATER (2022-24), coordonné pour la partie France par N. Graveline, qui co-construit et évalue sur le bassin versant de l'Aude aval & médiane des stratégies d'adaptation des agriculteurs et viticulteurs face à la rareté de l'eau, et en participant à une gestion concertée et intégrée des ressources en eau. Pour cela de la participation est articulée avec de la modélisation agro-hydro-économique. Le succès des démarches de construction territoriales de stratégies mises en œuvre dans la partie languedocienne de la région Occitanie (Hérault et Aude) dépend de :

- la mise en œuvre d'une instance de concertation élargie, puis son animation conjointe
- le développement d'un diagnostic partagé sur la situation du vignoble, les ressources en eau (bleu, verte, grise) et leurs usages à l'échelle du territoire
- la réalisation d'un exercice minimal de prospective, incluant scenarios climatiques et options stratégiques
- le développement d'une approche territoriale et intégrée, avec une vision circulaire et multiusage de l'eau
- une analyse qui interroge la durabilité et l'évolution des co-usages des différentes ressources en eau
- un engagement d'adoption de techniques économes en eau
- un engagement de pratiques agroécologiques, en particulier par la gestion des sols, permettant économie et stockage en eau, résilience et engagement sur la qualité des eaux résiduelles
- un engagement de soutien équivalent sur vignobles irrigable et non irrigables (justice spatiale)
- une condition de flexibilité pour un redéploiement possible de l'irrigation sur d'autres production (diversification)
- en amont, le développement d'une nouvelle « ingénierie des terroirs » intégrant notamment les compétences permettant la mise en œuvre des points précédents

Les eaux usées traitées, une nouvelle ressource pour l'irrigation en viticulture ? Expérience sur le territoire du Grand Narbonne

Denis Caboulet, Institut français de la vigne et du vin

denis.caboulet@vignevin.com

L'utilisation des eaux usées domestiques pour l'irrigation des cultures est aussi ancienne que l'apparition de la collecte de ces eaux dans les cités antiques romaines et grecques. Dans un contexte de changement climatique et par conséquence d'augmentation des besoins en eau d'irrigation, la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) apparait comme l'une des solutions à développer pour répondre à l'enjeu de maintien à un accès durable en eau, notamment pour l'agriculture et la viticulture. Le but de la REUT est de fournir une quantité supplémentaire d'eau dont la qualité convient à un usage déterminé, sans avoir à attendre une épuration par un cycle naturel (Condom et al. 2012).

1. La REUT dans le monde et en France

Pour préserver les ressources en eaux de qualité à destination de la production d'eau potable, les organisations internationales comme la FAO encouragent de plus en plus l'usage de la REUT. En 2010, on estime que 20 millions d'hectares à travers le monde sont irriguées avec des eaux usées brutes ou diluées, soit environ 10% des terres irriguées. Seul 500 000 ha sont irrigués avec des Eaux Usées Traitées . Dans les régions arides et semi arides, les taux de réutilisation des eaux usées peuvent atteindre 90% (Israel, Jordanie), 25 à 30 % dans le sud méditerranéen, et enfin plus proche de nous 14% en Espagne et 8 % en Italie.

En France, moins de 1 % des EUT sont réutilisées, tous usages confondus. Aujourd'hui, on dénombre environ 65 installations de REUT, dont 40% pour des usages d'irrigation agricole. Les projets les plus anciens et symboliques sont les 300 ha de pomme de terre sur l'île de Noirmoutier, et les 700 ha de blés, betteraves et maïs irrigués près de Clermont-Ferrand depuis 1999.

Sur le territoire de la narbonnaise, depuis 10 ans, différentes initiatives ont permis d'avancer sur la faisabilité technique et économique de la REUT pour l'irrigation de la vigne.

2. La REUT, une démarche de territoire sur la Narbonnaise

Sur le territoire de la Communauté d'Agglomération du Grand Narbonne, la culture dominante est la vigne (20 000 ha). Seule une partie de la zone est raccordée au réseau Bas Rhône Languedoc (BRL) ou à des réseaux collectifs. La pression estivale sur la ressource est importante, et la demande en eau pour l'irrigation de la vigne afin de maintenir une production en quantité et qualité économiquement viable est en augmentation. Dans ce contexte, les besoins en ressources alternatives et nouvelles sont nécessaires pour répondre à cette demande croissante.

Les enjeux de la REUT pour ce territoire sont nombreux :

- Pérenniser l'activité économique viticole dans un contexte de changement climatique
- Préserver les ressources traditionnelles (eau potable, souterraine et de surface)
- Améliorer l'état écologique des lagunes par la diminution voire la suppression des rejets de STEP (Station d'Epuration des Eaux usées) dans ces milieux sensibles
- Favoriser l'économie circulaire et la résilience du territoire vis-à-vis du risque sécheresse

- Engager de nouvelles collaborations et coopérations entre les acteurs économiques, les acteurs de la recherche, la collectivité et les usagers sur la préservation de la ressource en eaux

La première étape initiée sur le territoire a été le programme le programme Irri-Alt'Eau – eau alternative pour l'irrigation- lancé en 2011. Les partenaires de ce programme (Véolia, Aquadoc, INRAe, SCV la Cave de Gruissan et Grand Narbonne) mettent en place un prototype de traitement tertiaire, et un équipement expérimental de 1.5 ha d'irrigation.

En 2017, une étude prospective du Grand Narbonne permet de caractériser les 32 STEP du territoire (figure 1). L'analyse multicritères sur la qualité initiale du rejet de la STEP, les caractéristiques physiques et techniques du site, les bénéfices économiques et environnementaux potentiels, donnent un outil d'aide à la décision pour le déploiement de cette ressource alternative.

C'est dans ce cadre que deux sites ont été mis en place récemment :

- Pilote de Roquefort des Corbières (Vignerons de Leucate, BRL, Grand Narbonne) pour l'irrigation de 15 ha de vignes,
- Démonstrateur Irri-Alt'Eau 2.0 sur la commune de Gruissan pour un périmètre de 80 ha d'irrigation.

Potentiellement, avec l'expérience acquise, un déploiement plus large sur le territoire est envisageable (figure 2).

3. REUT pour l'irrigation agricole : cadre réglementaire, contraintes techniques et organisationnelles

Un cadre réglementaire en évolution

En France, la réutilisation des eaux usées traitées est encadrée par deux arrêtés ministériels de 2010 et 2014. Cette réglementation stricte est nécessaire sur les plans sanitaire et environnemental pour préserver les populations. Cependant, certaines contraintes complexifient

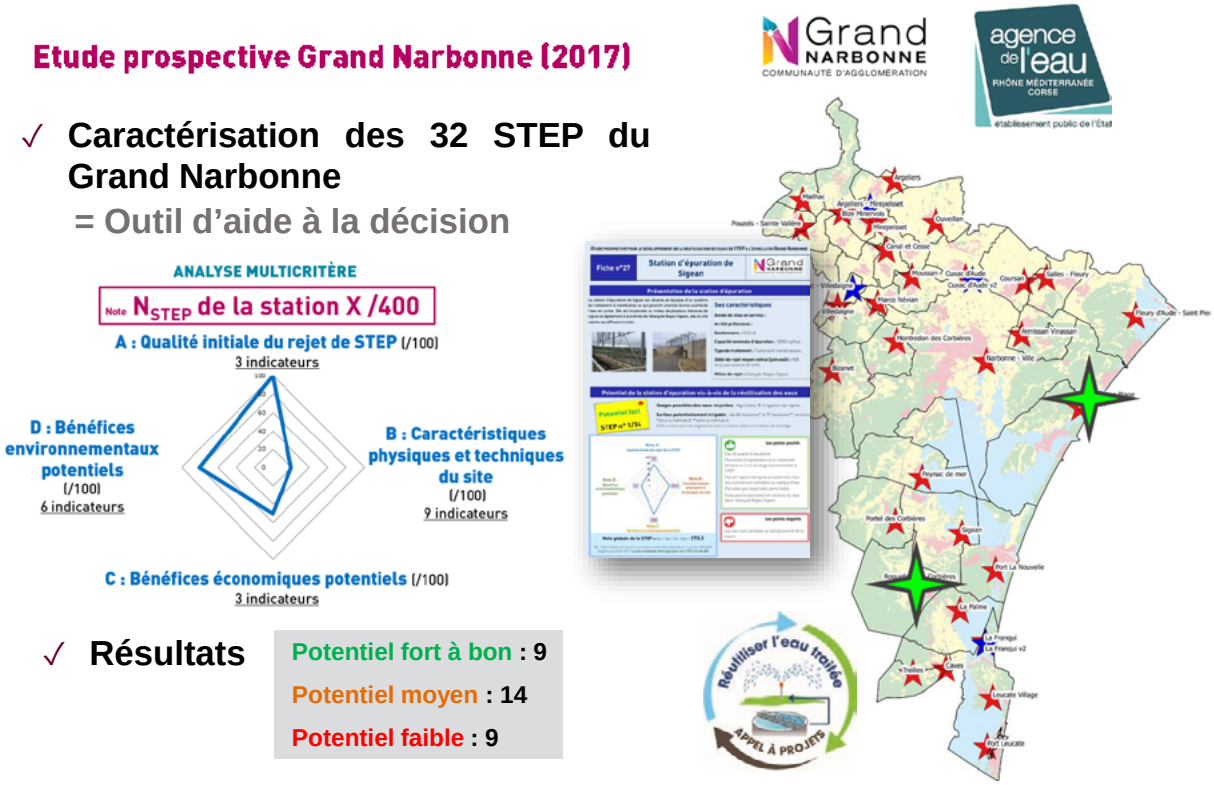


Figure 1 : Etude prospective Grand Narbonne, 2017. (source :Webinaire INRAe-Grand Narbonne, 8 mars 2021)

le montage des dossiers au point, parfois, de mettre à mal la viabilité de certains dossiers. La nouvelle loi européenne du 25 Mai 2020, tend à harmoniser les règlements nationaux, et en simplifiant les règles devrait faciliter l'utilisation de la REUT. Des objectifs chiffrés ont été fixés : « passer de 1.7 milliard de m3 de REUSE à 6.6 milliard ». Les nouvelles règles européennes doivent être traduites à l'échelon français courant 2023.

Ces différents règlements définissent quatre qualités d'eau (A, B, C, D) qui sont utilisables en fonction du type de cultures (vivrières, transformées, industrielles) et des types d'apport de l'eau (avec et sans contact avec la culture). Pour la vigne, la qualité C avec un apport par goutte à goutte est requise sur les deux sites du narbonnais. Cependant, pour un autre projet sur le lido entre Marseillan et Sète, c'est une qualité A qui est demandé par les autorités délivrant les autorisations, dû à un risque environnemental plus important.

Dans les nouveaux règlements, les seuils microbiologiques permettant d'atteindre la qualité d'eau requise seront définis par des populations maximum de pathogènes, et non plus par des performances (abattement entre l'entrée de la STEP et le point d'usage) comme l'exige la loi française actuelle. Les nouveaux seuils européens sont plus exigeants, mais leur application sera plus simple et logique. Elle sera accompagnée de contrôles sanitaires plus fréquents, et d'un plan de gestion des risques afin de pouvoir réagir au plus vite en cas d'incidents.

Aspects quantitatifs de cette ressource

Pour avoir un projet viable, il est nécessaire d'avoir une adéquation spatiale entre la ressource (STEP) et l'usage (le vignoble). Une STEP (station d'épuration des eaux usées) de village languedocien de 1000 habitants, au cœur du vignoble et des besoins d'irrigation, ne permet d'apporter de l'eau que pour 15 à 20 Ha de vignes sur un total de 600ha (cas du pilote de Roquefort des Corbières). Dans le cas des centres urbains importants, la ressource est grande, mais l'urbanisation à souvent « éloigné » le vignoble. C'est pourquoi, de nombreux projets autour du bassin

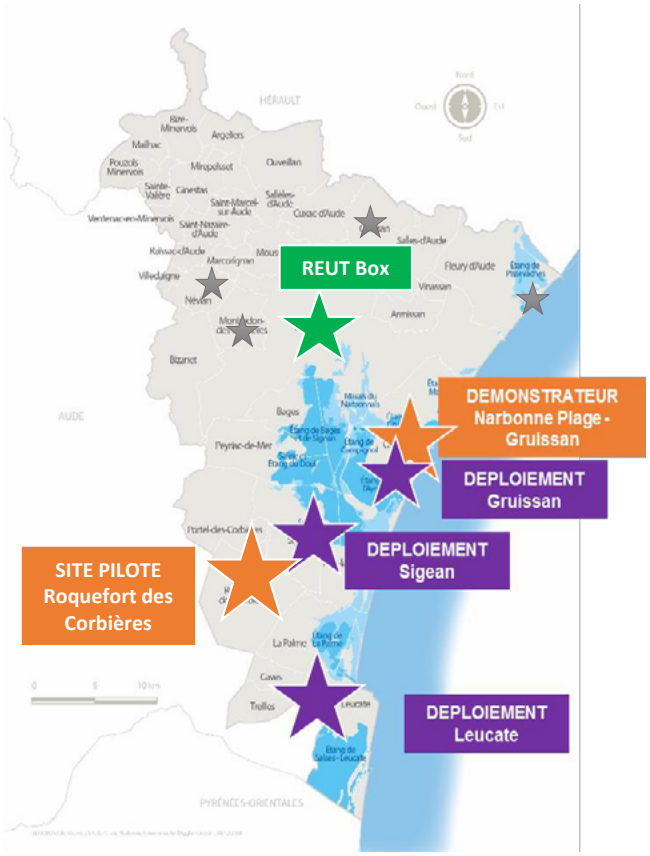


Figure 2 : Etat des lieux des sites REUT sur le Grand Narbonne, et les déploiements envisagés (source :Webinaire INRAe-Grand Narbonne, 8 mars 2021)

méditerranéen se sont implantés sur la côte, où la présence touristique et les besoins en irrigation sont concordants au cœur de l'été. Ainsi à Narbonne plage (projet Irri-Alt'Eau) le potentiel de la ressource permettrait d'irriguer 300 à 400 ha de vignes. En termes de débit, la ressource EUT n'est pas continue : débit très réduit la nuit, variation hebdomadaire, ce qui nécessite un stockage temporaire après le traitement tertiaire/avant irrigation (Irri-Alt'eau) ou entre la STEP et le traitement tertiaire (Roquefort).

Des traitements tertiaires supplémentaires nécessaires pour avoir la qualité C

Les traitements des STEP doivent garantir une performance sur la DBO5 (demande biochimique en oxygène), DCO (demande chimique en oxygène) et sur les matières en suspension. A cela s'ajoute, en cas de rejet dans des milieux eutrophisants, une obligation de traitement du phosphore et de l'azote (figure 3). On peut comprendre à ce stade que les EUT ne sont pas équivalentes en termes analytiques, et dans le cas de leur réutilisation à des fins d'irrigation agricole,

Bassin de stockage du projet de traitement des eaux de Roquefort des Corbières

un traitement tertiaire est nécessaire pour respecter le cadre réglementaire.

Les filtrations sur sable et à tamis en début de traitement tertiaire éliminent de la Matière en Suspension (MES) et de la matière organique, ce qui optimise le traitement des pathogènes, et limite les risques d'encrassement du réseau. Le traitement de désinfection et d'élimination des pathogènes peut se faire par UV, ozonation, chloration.

La chloration en fin de cycle d'irrigation, ou en continu permettent de limiter le développement de biofilms au niveau des canalisations et des gouttes à gouttes pour éviter les colmatages.

L'enchainement des traitements STEP, puis tertiaires sont complexes, et en cas de défaillance, la source d'irrigation peut temporairement disparaître.

Cette production et distribution de l'eau est plus complexe que pour des ressources traditionnelles d'un point de vue organisationnel : des conventions et des accords tri ou quadripartites sont nécessaires entre la collectivité qui détient la compétence assainissement, le gestionnaire de celle-ci, le responsable du traitement post STEP et enfin le groupement d'agriculteurs (ASA).

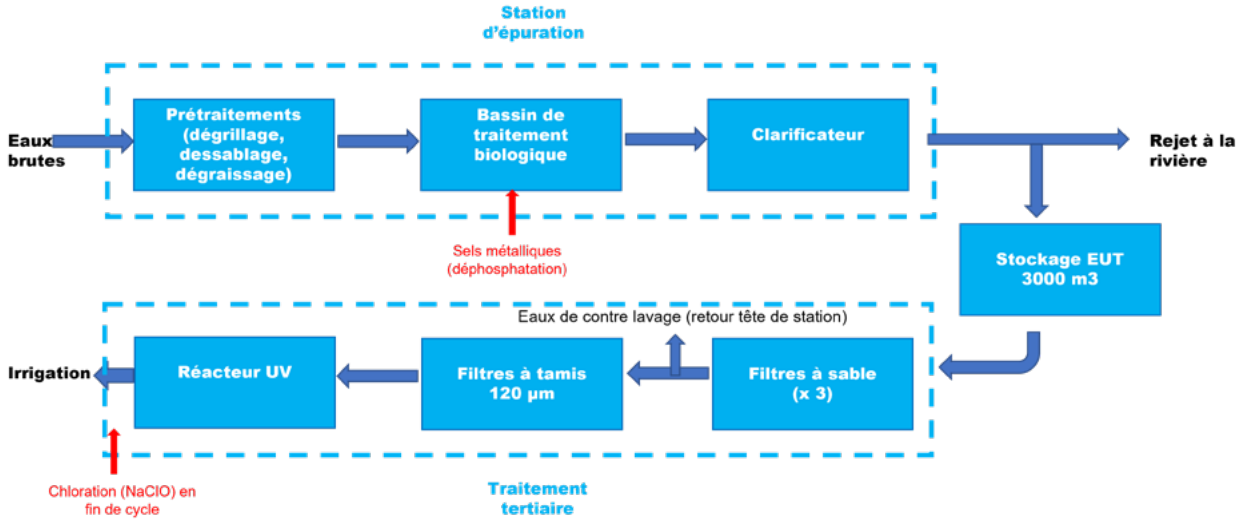


Figure 3 : Schéma du traitement global des eaux du site de Roquefort des Corbières (source BRL Exploitation)

4. Les Impacts agronomiques au vignoble

Risques sur les sols : une gestion nécessaire de la balance bénéfices/risques

Préserver les sols de pollutions graves, est une obligation, et tout projet de REUT doit commencer par s'intéresser aux valeurs mesurées en sortie de STEP. L'analyse des risques au niveau de la collecte des eaux et les mesures de prévention mise en place, permettent aujourd'hui de fortement diminuer les problèmes potentiels. A ce jour, aucun texte n'encadre strictement les risques de polluants.

Les flux de métaux lourds observés pour les deux stations pilotes du programme Irri-Alt'Eau et Roquefort sont conformes aux recommandations de l'OMS pour l'eau d'irrigation. A titre d'exemple, pour le zinc et le cuivre, sur le site de Roquefort, avec un apport de 80 à 100 mm par an cumulé sur 10 ans, le flux est 100 à 1000 fois inférieur au référentiel pour l'épandage des boues de STEP.

En ce qui concerne les molécules médicamenteuses, les risques dans le cadre de la production viticole, sans contact de l'eau avec la récolte, est très faible voire nul. Pour le projet Irri-Alt'Eau, le suivi de quelques molécules dans le raisin et le vin n'ont pas pu démontrer de contamination.

Le dernier point de vigilance à avoir, comme pour toutes les eaux d'irrigation est la salinité. Les EUT, dont l'origine est de l'eau potable, peuvent s'enrichir en sels, dans le réseau de collecte des eaux usées. Si ces réseaux gravitaires et imparfaitement étanches sont sous le niveau de la mer, il y a potentiellement un risque. Tous les projets côtiers sont potentiellement soumis à cet aléa.

Apports de fertilisants

Le tableau 1 ci-contre rassemble les données d'apports de nutriments, en fonction des apports d'eau et des deux sites d'expérimentation. Pour l'azote il y a un rapport de 1/10 entre les deux sites. Les eaux de Irri-Alt'eau peuvent fournir jusqu' à 40 U/ha d'azote alors que les quantités à Roquefort sont non significatives. Les apports de phosphore sont négligeables dans les deux cas ce qui est satisfaisant car les sols viticoles sont toujours suffisamment pourvus pour cet élément. Enfin pour le potassium, les 30 U/ha apportés au maximum, correspondent à une fumure d'entretien.

Ces apports sont un point positif de la technologie de réutilisation des eaux usées, cependant quelques points de vigilances sont nécessaires :

- La période d'apports des eaux en fin de cycle de la vigne, n'est pas en adéquation avec le moment optimum d'apport de l'azote. Il faut être vigilant aux risques de transfert lors des pluies automnales, en fonction des sols
- Pour certaines parcelles très vigoureuses, un apport de 40 U/ha peut être excessif : comment peut on gérer le différentiel de besoins entre les parcelles ?
- Pour les apports de potassium, il faut être vigilant vis-à-vis du risque de déséquilibre du rapport K/Mg

Dans le cadre du projet Irri-Alt'Eau, sur deux parcelles aux sols différents, l'apport d'EUT comparé à de l'eau potable impacte l'azote assimilable des moûts et la vigueur. Sur Roquefort des Corbières, aucun effet de la fertilisation sur les paramètres agronomiques n'est constaté.

5. Conclusion

Le déploiement de la REUT est à ce jour dépendant de l'évolution de la réglementation et de l'augmentation de la demande en eaux agricoles en relation avec les autres usages. Les coûts importants d'investissement en traitements supplémentaires pour une utilisation temporelle restreinte à deux mois dans le cas de la viticulture, nécessite une réflexion sur des projets multi-usages associés à des besoins autres (nettoyages urbains, défense incendie, espaces verts, autres cultures…).

Tout nouveau projet devrait aussi s'intéresser à une analyse du cycle de vie, comparé à un approvisionnement en eau plus conventionnel. En effet dans certains cas la REUT peut être une « fausse bonne idée ».

Tableau 1 : Potentiel de fertilisation par les EUT : Comparaison des deux techniques de traitement utilisés par les stations d'épuration

Quantité d'eau annuelle par ha		Macronutriments apportés (kg/ha) et pourcentages par rapport aux besoins annuels					
		Projet Irri-Alt'Eau			Roquefort des Corbières		
		Azote	Phosphore	Potassium	Azote	Phosphore	Potassium
m^3	mm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
300	30	13	0,3	9	0,7	0,04	8
500	50	21	0,6	15	1,1	0,07	14
750	75	32	0,9	23	1,7	0,11	21
1000	100	42	1,1	30	2,2	0,14	28

Enfin l'évolution rapide des besoins en eaux depuis 30 ans en corrélation avec l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) ne pourra peut-être pas uniquement être corrigée par des apports d'eau et il semble nécessaire de s'interroger sur des mesures d'adaptations plus structurelles du vignoble (densité, encépagement, ombrage) .

Mise en place du réseau pour le projet Irri-Alt'Eau, irrigation de 80 ha de vignes

Poids socio-économique de l'agriculture irriguée en Adour-Garonne

Ariane Degroote et Pierre Goulard, Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, Castanet Tolosan

ariane.degroote@occitanie.chambagri.fr

Le bassin Adour-Garonne est caractérisé par une diversité de climats, de reliefs, de sols et de paysages, qui sont les bases d'une agriculture elle-même diversifiée et assez riche. L'agriculture tient une place importante dans le bassin Adour-Garonne occupant 50% de la surface du bassin (SAU) et la densité de population en milieu rural est relativement importante, environ 30% par rapport à 20% au niveau national . L'agriculture et l'agroalimentaire constitue le 1er secteur économique du bassin et contribue à hauteur de 4,8% du PIB, soit 2 points de plus que la contribution nationale .

Au sein du secteur agricole, l'irrigation est dans le sud-ouest une pratique qui concerne près d'un quart des exploitations, soit plus de 20 000 exploitations, pour environ 10% de la SAU soit plus de 500 000 ha. Cependant, le manque de connaissance sur le poids socio-économique de l'agriculture irriguée du bassin Adour-Garonne et l'absence de données à cette échelle hydrographique a conduit les deux chambres régionales d'agriculture Occitanie et Nouvelle-Aquitaine à mener, en partenariat avec la DRAAF Occitanie et avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, une étude socio-économique qui s'est déroulée de septembre 2020 à décembre 2021 .

Cette étude a pour objectif de mettre en lumière la place et le rôle de l'agriculture irriguée dans l'économie agricole et agro-alimentaire du bassin Adour-Garonne. Elle a pour finalités de contribuer aux réflexions en cours sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique et à aider à la prise de décisions en matière de politiques publiques.

Une étude quantitative et qualitative à deux échelles

Cette étude se structure en deux parties : la première partie, à l'échelle d'Adour-Garonne, vise à quantifier l'enjeu socio-économique que représente l'irrigation avec des zooms sur certaines filières (fruits, semences) et repose sur l'analyse de données statistiques et comptables (échantillon de données Cerfrance 2015-2018) ainsi que d'enquêtes filières. L'approche méthodologique complexe, lié à cette délimitation hydrographique, a permis de consolider des ordres de grandeur plus que des chiffres exacts.

La seconde partie nuance les grandes tendances en apportant des éléments complémentaires, plus qualitatifs et plus localisés sur la place de l'irrigation dans la dynamique des territoires et au sein des exploitations. Pour cela, la méthode de diagnostic agraire développée par l'UFR Agriculture Comparée et Développement Agricole d'AgroParistech a été mobilisée afin d'analyser de manière exhaustive l'évolution de l'agriculture d'un territoire, d'expliquer les logiques de fonctionnement des différents types d'exploitations et comparer leurs résultats technico-économiques. Cette approche repose sur un travail important de terrain avec des entretiens approfondis auprès d'agriculteurs. Cinq sous-bassins ont été retenus afin de représenter la diversité géographique et agricole du bassin Adour-Garonne : Boutonne Amont (79), Landes de Gascogne (40), Adour Amont (32, 65), Tarn aval (82), Lauragais tarnais (81, 31). Les territoires ont été choisis de manière à être contrastés entre eux mais suffisamment diversifiés pour effectuer des comparaisons entre les différents types d'exploi-

tations d'un territoire, notamment celles qui irriguent et celles qui n'irriguent pas.

Dans chacun de ces territoires, l'approche historique a permis d'expliquer comment l'irrigation s'inscrit dans les dynamiques d'évolution. Chaque territoire est caractérisé par une diversité de contextes pédoclimatiques qui conduit à une diversité d'accès à l'eau pour les agriculteurs et qui explique les opportunités que certains agriculteurs ont pu avoir pour accéder à cette ressource. L'évolution de l'agriculture, et de l'irrigation, est spécifique à chaque territoire. Elle varie selon les modes de faire-valoir en place, les vagues migratoires qu'ont pu connaître certains territoires, les conditions d'accès aux marchés, les politiques publiques locales, etc. Cette évolution de l'agriculture et de l'irrigation permet d'expliquer la diversité agricole actuelle de chacun de ces 5 territoires. Dans les territoires où l'accès à l'eau est limité, la compréhension des dynamiques historiques est particulièrement importante pour expliquer la diversité des situations actuelles sur ces territoires marqués par une plus grande hétérogénéité de systèmes de production.

Une forte contribution économique à la production agricole du bassin Adour-Garonne

L'agriculture irriguée du bassin Adour-Garonne contribue de manière importante à la production agricole régionale et nationale. Elle participe en particulier à la production de maïs et de protéagineux (principalement destinés à la fabrication d'aliments pour le bétail) mais aussi à la production de fruits et de légumes. D'autres productions sont moins fréquemment irriguées comme les céréales à paille ou les oléagineux (tournesol, colza) quoique les impacts du changement climatique tendent à faire augmenter le recours à une irrigation d'appoint sur ces cultures.

L'étude a ainsi permis de montrer que la production agricole liée à l'irrigation du bassin Adour-Garonne correspond à 18% des volumes (5 Mt) de la production végétale hors vins mais à 41% de sa valeur (1,8 Mds €). La valeur créée par l'agriculture irriguée est principalement le fait des cultures de fruits, légumes et semences qui sont des cultures à haute valeur ajoutée (cf. figure 1). La culture du maïs tient toujours une place prépondérante même si sa part a diminué de 10 points de pourcentage entre 1990 et 2020, laissant la place à une plus grande diversité de cultures, notamment oléo-protéagineux et vergers.

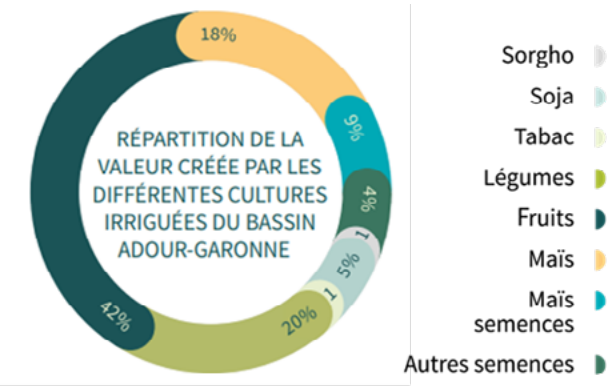


Figure 1: Répartition de la valeur créée par les différentes cultures irriguées du bassin Adour-Garonne (source des données : Agreste – Comptes de l'agriculture 2015-2018)

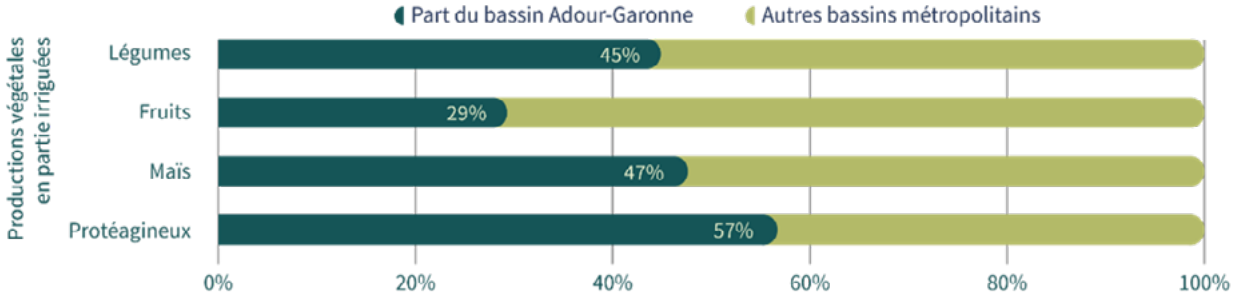


Figure 2 : Participation du bassin Adour-Garonne dans la valeur de la production agricole métropolitaine (source des données : Agreste – Comptes de l'agriculture 2015-2018)

À l'échelle de la France, l'agriculture du bassin Adour-Garonne est à l'origine d'une part importante du chiffre d'affaires des productions de fruits, légumes, maïs et protéagineux qui sont des cultures en partie irriguées (cf. figure 2). Le bassin participe ainsi fortement à la production de ces filières au niveau métropolitain, contribuant en ce sens à la souveraineté alimentaire du pays.

A titre d'illustration, le bassin Adour-Garonne, grâce à l'irrigation, produit une large gamme de semences (grandes cultures et plantes potagères) et la France est ainsi le premier exportateur mondial de semences. Le bassin Adour-Garonne produit ¼ des fruits métropolitains, en volume et en valeur et produit 30% des pommes françaises ; il est le premier bassin de production de kiwi, de prunes de table et prunes d'ente et de noisettes.

L'irrigation favorise le maintien d'emploi dans les territoires

Les cultures irriguées génèrent directement et indirectement des emplois sur le territoire où elles sont situées. Au niveau des exploitations, les productions les plus irriguées exigent souvent des besoins importants en main d'œuvre. L'irrigation génère ainsi, toutes productions confondues, 28 000 emplois agricoles (exploitants et salariés) soit 17% de l'emploi agricole. Les exploitations ayant une part élevée de cultures à forte valeur ajoutée peuvent avoir jusqu'à 3,7 UTH pour 100 ha contre 1,6 UTH en pluvial.

Au niveau de l'aval des filières, les entreprises de collecte et de transformation de ces cultures sont majoritairement situées à proximité des zones de production. 6% des entreprises agro-alimentaires du bassin ont un lien fort à l'irrigation et emploient 10% des salariés des industries agro-alimentaires. Les entreprises du premier niveau d'aval avec un lien très fort à l'irrigation maillent le territoire du bassin Adour-Garonne. Comme le montre la carte ci-dessous, ces entreprises connaissent une certaine concentration le long de la vallée de la Garonne du fait des filières de production de fruits :

A titre d'illustration, le diagnostic agraire dans le Lauragais tarnais a montré que l'irrigation est l'un des moyens de maintenir des exploitations avec de plus petites surfaces par actif. Dans ce territoire, l'irrigation s'est développée à partir des années 1970 avec la création de retenues collinaires pour irriguer notamment du maïs grain. Cependant, à partir des années 1990, pour des raisons à la fois agronomiques et économiques, le recours à l'irrigation a fortement décliné. En effet, ces années sont caractérisées par une chute généralisée des prix agricoles et

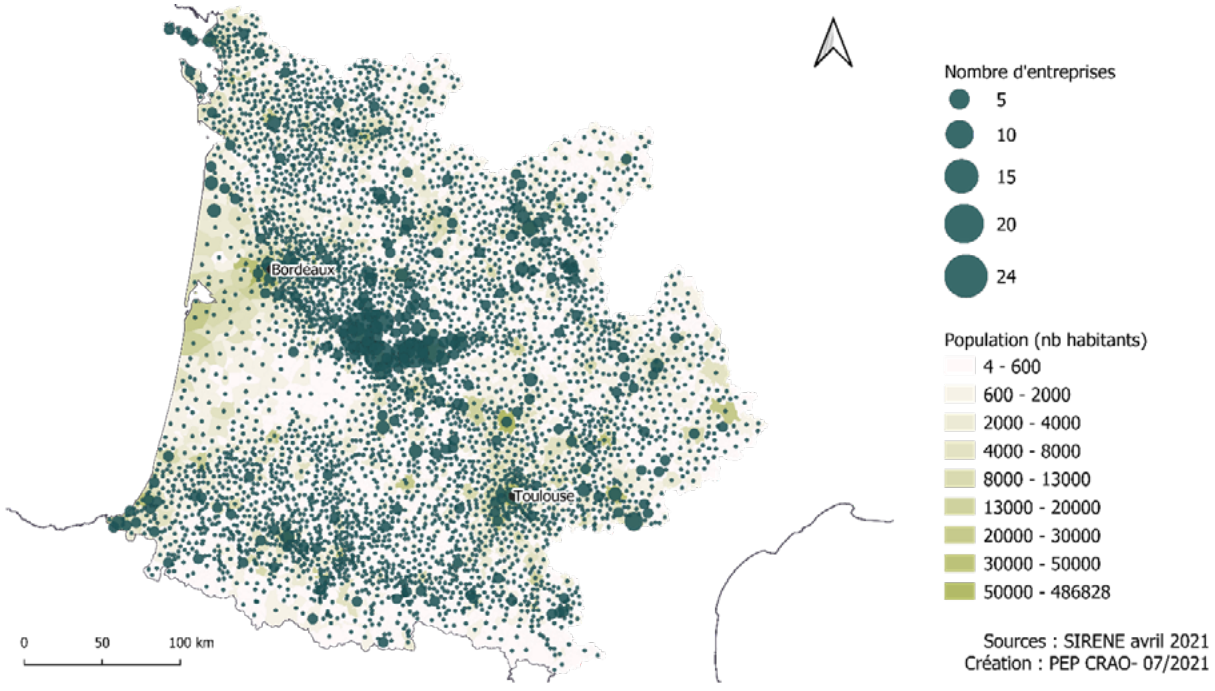


Figure 3 : Localisation des entreprises ayant un lien très fort à l'irrigation dans le bassin Adour-Garonne

en parallèle par une augmentation des prix des moyens de productions agricoles et notamment de l'énergie. L'irrigation devient ainsi de plus en plus coûteuse alors qu'elle demande, dans ces coteaux, un temps de travail important. S'ajoutent en plus à cela des problèmes agronomiques liés à une irrigation parfois trop importante pour des sols à relativement haut taux d'argiles. Dans ce contexte, les agriculteurs ont mis en œuvre différentes stratégies pour maintenir leurs exploitations et notamment :

- Pour les plus grandes exploitations, une stratégie d'agrandissement avec un arrêt de l'irrigation pour se concentrer sur la production de cultures céréalières en pluvial (blé, tournesol) qui dégagent de plus faibles valeurs ajoutées par unité de surface mais nécessite moins de main d'œuvre. Lors de leur reprise ces exploitations viennent la plupart du temps nourrir des entreprises de travaux agricoles qui cultivent, sur ce même modèle agronomique, souvent plus de 1 000 ha.

- Pour les plus petites exploitations, une stratégie d'augmentation de la valeur ajoutée créée par hectare. Pour certaines exploitations, cela s'est traduit par un maintien de l'irrigation sur une partie des surfaces pour des productions à plus haute valeur ajoutée (semences potagères).

La comparaison de deux systèmes montre que, pour un même niveau de valeur ajoutée nette par actif, le système irrigué s'étend sur un nombre moins important d'hectares et crée donc davantage d'emploi (figure 4) :

L'irrigation, un potentiel de valeur ajoutée au sein des exploitations agricoles

L'irrigation permet généralement de garantir rendement et qualité des productions. Suivant les territoires, elle conditionne aussi l'accès à certaines cultures à haute valeur ajoutée (fruits, légumes, semences) qui permettent une nette amélioration des résultats économiques des exploitations.

La valeur ajoutée correspond au chiffre d'affaires des productions, auquel on soustrait l'ensemble des consommations intermédiaires utilisées pour les produire. Sur la période étudiée (2015-2018), la valeur ajoutée par hectare augmente de 200 à 600 € pour les groupes d'exploitations ayant un lien de plus en plus fort à l'irrigation (figure 5).

A titre d'illustration, le diagnostic agraire conduit dans la partie gersoise de la vallée de l'Adour et de ses coteaux a permis de montrer le gradient de valeur ajoutée des systèmes pluviaux aux systèmes les plus irrigués (hors domaines viticoles). Dans la vallée, l'accès à l'eau permet aux exploitations d'avoir accès à des cultures contractuelles à haute valeur ajoutée par hectare (figure 6) comme le maïs semence et les cultures légumières (maïs doux, haricots verts). Certaines exploitations avec des surfaces agricoles plus réduites ou avec une moins grande part de surfaces irrigables complètent leur système avec des ateliers avicoles (canards prêt-à-gaver et gavage notamment) qui permettent aussi de dégager plus de valeur ajoutée du maïs produit. Dans les coteaux alentours, les systèmes de polyculture-

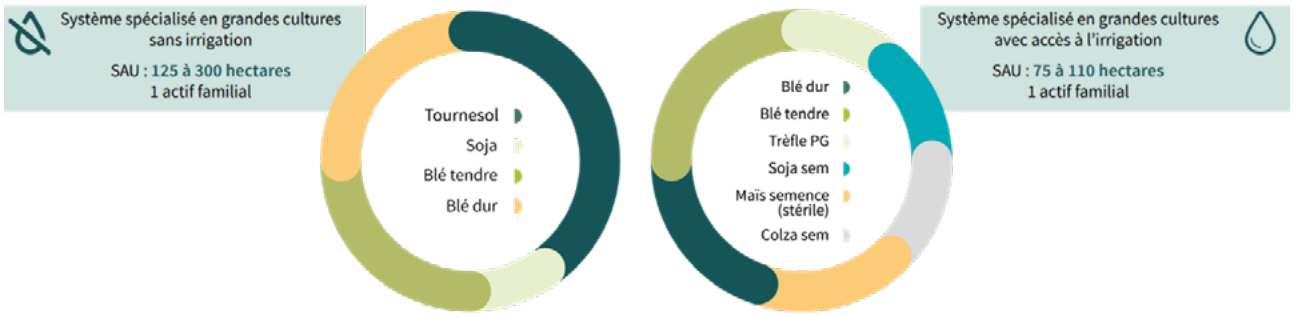


Figure 4 : Comparaison des assolement-types de deux systèmes de production dégageant environ 50 000€ de valeur ajoutée par actif, à partir du diagnostic agraire du Lauragais tarnais

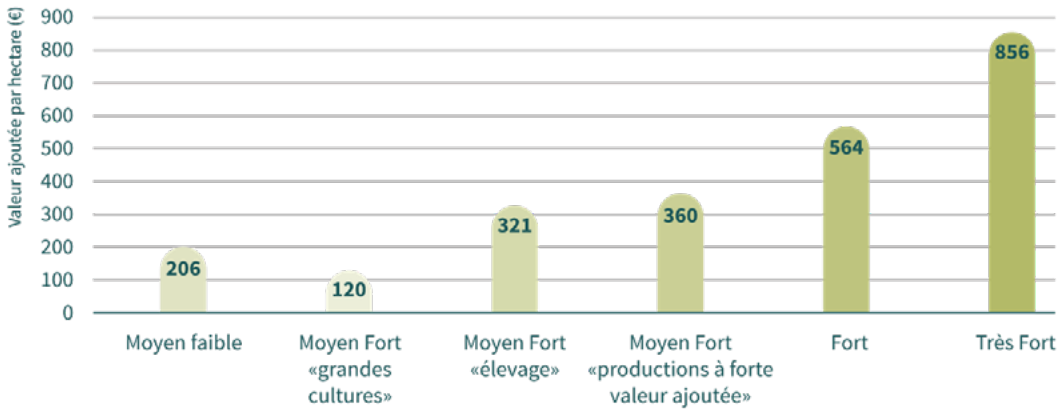


Figure 5: Évolution de la valeur ajoutée par hectare des exploitations selon leur lien à l'irrigation (source des données : Échantillon Cerfrance bassin 2015-2018ajoutée par actif, à partir du diagnostic agraire du Lauragais tarnais

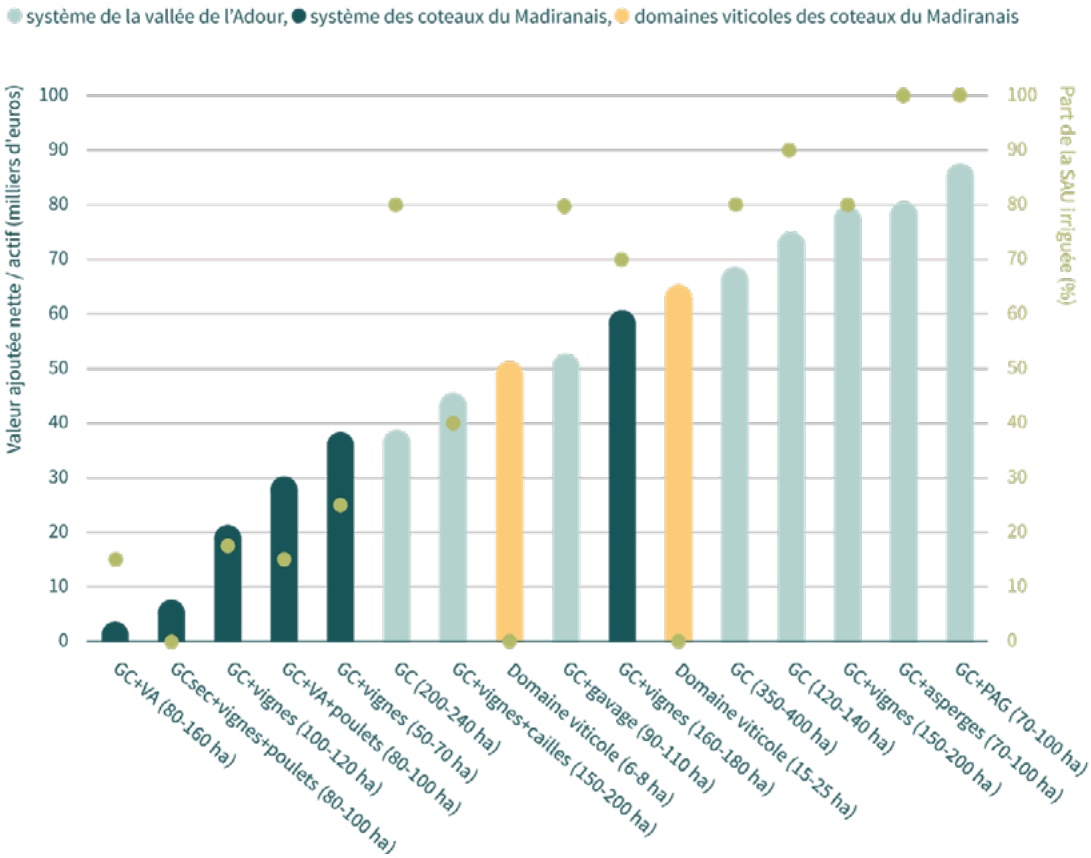


Figure 6 : Valeur ajoutée nette par actif et part de la SAU irriguée pour les différents systèmes modélisés dans le cadre du diagnostic agraire de l'Adour Amont

élevage (vaches allaitantes, vaches laitières) ou de polyculture viticole spécialisés, peu ou pas irrigués, dégagent, dans le contexte de prix actuels, de bien plus faibles valeurs ajoutées. Les exploitations des coteaux qui dégagent le plus de valeur ajoutée sont les domaines viticoles. En conséquence, l'accès à des terres irrigables est devenu un facteur très discriminant dans le processus d'installation des nouveaux agriculteurs car il est vu comme une garantie de la viabilité économique du système à venir. Le graphique ci-dessous compare les niveaux de valeur ajoutée produite par actif pour les différents systèmes de production modélisés. Pour chaque type de système, ces résultats sont mis en regard de la part de la SAU qui est irriguée.

L'accès à l'eau, facteur de résilience des exploitations agricoles face aux aléas climatiques et économiques

Dans le contexte actuel de changement climatique et de multiplication des épisodes climatiques extrêmes, l'accès à l'eau est un facteur de résilience économique pour les agriculteurs. L'irrigation permet de faire face notamment aux épisodes de sécheresse et de gel et d'assurer la récolte. Dans les élevages, elle sécurise les ressources fourragères et l'autonomie de l'agriculteur. De plus, sur certains territoires, l'irrigation permet l'accès à des cultures contractuelles (semences, cultures légumières) dont les prix sont moins soumis aux aléas des marchés agricoles.

En système irrigué, les volumes de production sont relativement stables dans le temps. Pour les quatre principaux départements producteurs de maïs (46% de la sole de maïs du bassin), les écarts de rendement à la moyenne sur la période d'étude (2015-2018) sont bien plus faibles pour le maïs irrigué (en bleu sur le graphique ci-dessous) que pour le maïs non irrigué (en vert). Ainsi, l'irrigation permet de diminuer la variabilité des rendements (figure 7).

L'irrigation, un levier possible de la transition agroécologique

Dans le contexte environnemental, social et économique actuel, les agriculteurs qui ont recours à l'irrigation sont de plus en plus engagés dans la recherche d'une amélioration de l'efficience de l'eau utilisée. Pour les agriculteurs, chercher une meilleure efficience de l'eau c'est chercher à atteindre un ou des résultats (de rendement, de qualité) en utilisant de manière optimale la ressource en eau et en minimisant les impacts négatifs qui pourraient être induits par cette utilisation. Cela se concrétise par des économies en eau, par la mise en place d'un pilotage de l'irrigation mais aussi par des changements de pratiques agricoles et d'utilisation de l'eau.

En sécurisant les différentes phases de développement des plantes (levée, floraison, remplissage…), l'irrigation facilite la réussite d'une grande gamme de cultures, de printemps, d'hiver ou en dérobé. Cela peut permettre de diversifier les assolements culturaux et fourragers (méteils, légumineuses, …) et d'allonger les rotations. Cela peut également permettre, en faisant lever rapidement les cultures ou les couverts, d'étouffer efficacement les adventices et donc de limiter le recours aux herbicides. Ainsi, l'irrigation peut être, dans certains territoires, un levier efficace pour la mise en place de pratiques

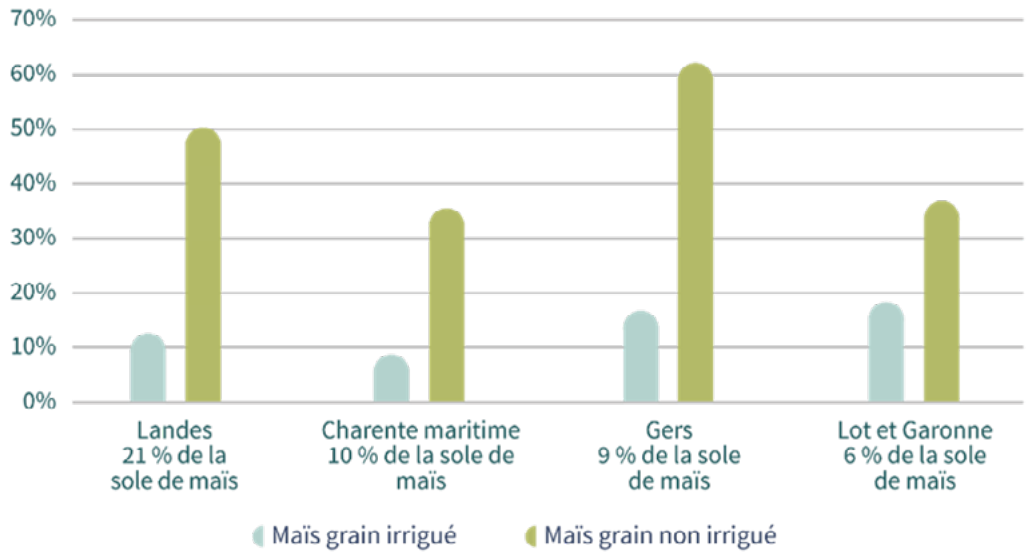


Figure 7 : Amplitude entre les rendements minimum et maximum pour la culture de maïs grain en pluvial et en irrigué par rapport au rendement moyen départemental sur la période 2015-18 (source des données : Agreste – statistiques agricoles annuelles

plus agroécologiques et assurer des niveaux de production stables pour sécuriser des filières locales émergentes.

Dans certaines situations, en permettant l'accès à des cultures contractuelles aux prix relativement élevés et stables, l'irrigation donne la marge de manœuvre économique nécessaire aux agriculteurs pour faire ces essais de changements de pratiques ou de cultures.

Ce portrait socio-économique de l'agriculture irriguée du bassin Adour-Garonne chiffre la contribution notable de l'irrigation à la création de richesse et d'emplois au sein des exploitations et des entreprises l'aval. Les analyses socio-économiques détaillées des 5 territoires, grâce aux diagnostics agraires, illustrent la diversité des situations du bassin et explicitent la place spécifique de l'eau dans les territoires et les exploitations agricoles. Cette approche territoriale est indispensable pour appréhender la question complexe de la gestion de l'eau pour l'agriculture ; en ce sens, la méthode de diagnostic agraire a montré tout son intérêt pour consolider les connaissances lors des phases de diagnostic des Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau afin de fournir une base objective, partagée et dynamique de l'agriculture dans l'objectif de discuter de l'avenir et d'établir des scénarios prospectifs.

---

[1]Comité de bassin Adour-Garonne. (2019). Etat des lieux. In Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Adour-Garonne 2022-2027 (p. 148).

[2]Chambres d'agriculture du bassin Adour-Garonne. (2018). Eau et Agriculture Bassin Adour-Garonne - Chiffres clés.

[3]L'ensemble des publications de l'étude sont disponibles sur le site de la Chambre régionale d'agriculture Occitanie.

[4]Cochet, H. et Devienne S. (2006), Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. Cahiers d'Agricultures, vol 15, N°6, p.578-583.

[5]L'un des choix méthodologiques de l'étude a été d'évaluer ce chiffre hors vigne en raison de la part importante de la valeur des productions viticoles dans le bassin.

Réponses de la vigne à la contrainte hydrique; vers une meilleure efficience de l'eau

Thierry Simonneau,
UMR LEPSE, Université Montpellier-INRAE-Institut Agro Montpellier SupAgro - Montpellier, France

thierry.simonneau@inrae.fr

Introduction

Dans de nombreux vignobles, le changement climatique planétaire en cours entraîne des déséquilibres de plus en plus marqués entre les quantités d'eau qui s'échappent par évapotranspiration (et qui augmentent avec le réchauffement planétaire) et les quantités apportées par les pluies (dont l'évolution est moins nette) (Neethling et al., 2021). Pour éviter les déficits hydriques qui en résultent, notamment les sécheresses estivales, il suffirait donc de choisir des situations et des pratiques pour lesquelles les apports d'eau (par précipitation ou irrigation), stockés dans la zone d'enracinement, dépassent la consommation par évapotranspiration. Cependant, chez la vigne, on sait qu'un léger déficit hydrique est favorable à l'élaboration de la qualité alors que l'excès d'eau lui est défavorable (van Leeuwen et al., 2016). De plus, la compétition croissante pour l'usage de l'eau impose de limiter au maximum les apports et d'optimiser l'usage des ressources naturelles. La situation idéale ne peut donc se réduire à ajuster l'offre en eau à la demande évaporative. Il faut plutôt s'intéresser aux conséquences d'un apport d'eau insuffisant. Cela revient à rechercher jusqu'où un déficit hydrique peut avoir des effets positifs et à partir de quel niveau celui-ci devient pénalisant pour la production. Cette problématique a fait l'objet d'une multitude de travaux depuis plusieurs décennies. Elle occupe cependant toujours une place importante dans les études actuelles pour plusieurs raisons.

1. S'accorder sur la façon d'évaluer la contrainte hydrique.

La première difficulté est de s'accorder sur la façon de définir la situation de référence, hors contrainte hydrique. On pourrait considérer qu'il s'agit de la situation où le stock d'eau présent dans le sol n'entraîne jamais de conséquence néfaste observable sur la santé de la plante, sur sa production, ni sur sa longévité. Mais de manière plus simple, on peut admettre que l'absence de contrainte hydrique correspond à une situation de disponibilité en eau dans le sol telle que la transpiration de la plante est égale au maximum imposé par les conditions atmosphériques, c'est-à-dire la demande évaporative pour le couvert considéré, déterminée par le déficit de saturation en vapeur d'eau dans l'air, qui mesure le degré de sécheresse de l'air, le rayonnement intercepté par le feuillage, la vitesse du vent et l'architecture du couvert qui modulent les propriétés d'échange de chaleur et d'eau entre la plante et l'atmosphère. En effet, les effets d'un dessèchement du sol sur les caractéristiques de la plante autres que sa transpiration interviennent à des niveaux extrêmement variables de disponibilité en eau suivant la variété et la conduite du vignoble. C'est moins le cas pour la transpiration, mais ça l'est tout de même, notamment en fonction de la variété (Coupel-Ledru et al., 2014) et du porte-greffe (Marguerit et al., 2012).

Pour estimer la transpiration maximale de la plante, associée à la proposition de définition de situation hors contrainte hydrique, on utilise alors souvent des calculs dérivés d'une formule qui caractérise une condition standard proche

de l'évaporation d'une nappe d'eau libre (celle d'un gazon ras bien couvrant et bien pourvu en eau), mais qu'il faut adapter aux conditions locales et à la structure en rang des vignobles (Allen et al., 2005), ce qui nécessite souvent des simplifications (voir les articles de A. Deloire et A. Pellegrino dans ce fascicule).

Une première façon simple d'évaluer la contrainte hydrique peut revenir alors à calculer la différence entre la transpiration maximale, calculée par la formule citée ci-dessus adaptée au vignoble considéré, et les apports d'eau qui restent stockés dans le volume de sol enraciné (stock initial, précipitations et irrigations, moins les éventuelles pertes par ruissellement et drainage) sur une période donnée. Cette première proposition permet de tracer des relations assez robustes pour un site donné entre l'intensité de la contrainte hydrique ainsi calculée et l'impact sur les différentes fonctions physiologiques impliquées dans l'élaboration de la production (van Leuween et al., 2016). Il est intéressant de noter que des contraintes hydriques assez poussées peuvent rester favorables à la qualité des vins (rouges, notamment, à l'image des vignobles de St Emilion) alors que de nombreux processus physiologiques sont altérés.

Une deuxième difficulté apparaît lorsque l'on souhaite constituer des référentiels en comparant ou agréger les observations sur différents sites, avec des transpirations maximales estimées très différentes. Dans ce cas, on peut tenter de raisonner le déficit hydrique non pas de manière absolue (en mm d'eau ou L/m2 par exemple) mais de manière relative en le rapportant aux besoins en eau de la plante (en % de couverture des besoins définis par la transpiration maximale).

Une troisième difficulté apparaît dès lors que l'on cherche à retracer l'évolution de la contrainte hydrique au cours du cycle de la plante, ce qui est important pour identifier les phases durant lesquelles la plante est plus ou moins sensible à la contrainte. Pour estimer correctement jour après jour l'évolution du stock d'eau dans le volume enraciné, même lorsque la contrainte hydrique se développe, il faut alors tenir compte de la diminution de transpiration observée classiquement en réponse au dessèchement du sol. Mais, comme on l'a dit plus haut, cette réponse de la transpiration dépend du matériel végétal considéré, voire des conditions de culture, ce qui introduit de nouvelles approximations. Celles-ci se cumulent alors avec les approximations nécessaires à l'estimation de la transpiration maximale en début de cycle et peuvent conduire à un cumul d'erreurs important sur l'écart calculé en fin de cycle, lorsque la contrainte hydrique devient marquée, entre les apports d'eau et l'estimation de la transpiration et de son évolution.

De plus, il est difficile de donner des valeurs pour cette évolution du stock d'eau dans le sol qui soient valables dans une large gamme de situations. Il demeure en effet une dernière difficulté liée au fait que la disponibilité d'un stock d'eau donné dans le volume d'enracinement dépend des propriétés physiques du sol. Ainsi, pour un même stock d'eau, un sol sableux exercera beaucoup moins de forces de rétention sur l'eau qu'un sol plus argileux (mais ce dernier pourra stocker davantage d'eau libre sans drainage comparé au sol sableux).

Finalement, la manière la plus objective de raisonner l'intensité d'un déficit hydrique consiste à utiliser le concept de potentiel hydrique, défini par l'énergie que peut fournir une quantité d'eau donnée lorsqu'elle passe de son état actuel à l'état d'eau libre (eau pure, à hauteur du niveau de la mer et sans force de liaison avec un quelconque support). Ce concept permet de comparer des situations pédoclimatiques souvent différentes.

2. Les variations de potentiel hydrique dans la plante comme première conséquence de la contrainte hydrique appliquée.

Dans la plante, l'eau est généralement sous tension dans les tissus morts (en particulier dans les vaisseaux conducteurs du xylème). Ou alors elle est retenue à l'intérieur des cellules par les molécules dissoutes qui exercent des tensions osmotiques sur l'eau, tensions en partie compensées par les pressions des parois des cellules lorsque ces dernières sont turgescentes. Dans tous les

cas (à l'exception de la période des pleurs), l'eau dans la plante est sous tension et ne serait pas capable de fournir de l'énergie en passant à l'état d'eau libre. Il faut au contraire fournir de l'énergie pour libérer l'eau de la plante. C'est précisément ce que l'on fait au moyen des chambres de pression dites de Schölander. La pression qu'il faut appliquer à une feuille fraîchement sectionnée pour faire émerger une goutte de sève brute hors de la base sectionnée de la feuille permet d'obtenir une mesure du potentiel hydrique de la feuille. En effet, cette pression est exactement l'opposé de la tension qui s'exerçait sur l'eau lorsque la feuille était encore attachée à la plante. Le potentiel de l'eau sous tension dans la feuille prend donc une valeur négative (l'opposé de la pression appliquée) inférieure au potentiel hydrique nul de l'eau libre. Finalement, les processus physiologiques sur lesquels le fonctionnement de la plante repose (développement, croissance, photosynthèse, métabolisme, etc…) peuvent être étudiés en fonction de la valeur de ce potentiel hydrique dans la plante.

Le potentiel hydrique dans la plante est d'autant plus négatif que la demande en eau s'accentue et que la disponibilité de l'eau s'amoindrit. Dans un vignoble bien pourvu en eau, le potentiel hydrique, mesuré dans les feuilles dont la transpiration varie au cours de la journée, varie entre des valeurs proches de 0 MPa la nuit (transpiration minimale) et de -1,7 MPa (-17 bars !) le jour, lorsque la transpiration atteint son pic en fin de matinée, au plus fort de la demande évaporative. Dans les tiges, le potentiel hydrique se situe à des valeurs intermédiaires entre celui des feuilles et celui du sol. Il est possible de mesurer le potentiel hydrique des tiges par la même technique de la chambre de pression sur une feuille mais en l'enfermant préalablement dans un sac étanche, opaque, qui l'empêche de transpirer. Dans ces conditions, le potentiel hydrique de la feuille se met en équilibre avec son point d'attache sur la tige. Cette mesure présente l'intérêt d'être moins variable au sein de la plante et surtout d'être plus sensible aux variations d'état hydrique du sol que la mesure du potentiel hydrique d'une feuille qui transpire (ce dernier étant régulé dans une gamme assez étroite par la fermeture stomatique lorsque le déficit hydrique s'installe ainsi qu'on l'explique plus loin).

Lorsque le sol se dessèche, son propre potentiel hydrique diminue plus ou moins rapidement en fonction de ses caractéristiques physiques de rétention en eau, pour atteindre des valeurs aussi basses que -1,5 MPa (-15 bars !) dans les cas les plus sévères observés au vignoble. Le potentiel hydrique dans les feuilles et dans les tiges suit alors cette même évolution et atteint lui aussi des valeurs très basses, du même ordre en fin de nuit, et encore plus basses vers midi lorsque la transpiration a toujours lieu et augmente les tensions dans la plante (jusqu'à -2,0 voire -2,5 MPa).

3. Impacts de la contrainte hydrique sur le fonctionnement physiologique et la production

Les conséquences à court terme de cette baisse de potentiel hydrique sur le fonctionnement physiologique de la plante sont nombreuses et interviennent plus ou moins rapidement au cours d'un dessèchement du sol. La diversité des variétés et des porte-greffes ainsi que des pratiques culturales s'accompagne d'une forte variabilité de ces réponses et il est parfois difficile d'en tirer des règles générales. Ceci aussi explique pourquoi les études de cas sont encore nombreuses, sans compter le fait qu'il est rare que la contrainte hydrique soit seule à l'origine des réponses observées. En particulier, les contraintes hydriques peuvent être associées à une chute des feuilles de la base, ce qui augmente alors l'exposition des grappes à la lumière ainsi que leur température. On peut toutefois relever quelques grandes tendances brièvement rappelées ici (voir l'article de A. Deloire et A. Pellegrino pour plus de détails).

La baisse de potentiel hydrique se traduit très rapidement par une altération du développement du feuillage et de son fonctionnement : arrêt de croissance foliaire (d'abord sur les rameaux secondaires ; Pellegrino et al., 2006), baisse de la capacité photosynthétique et, dans les cas de baisse sévère du potentiel hydrique, flétrissement voire chute des feuilles. Le fonctionne-

ment racinaire semble quant à lui moins sensible à la baisse de potentiel hydrique (Cramer et al., 2013), ce qui permet à la plante de continuer à explorer l'eau du sol, mais la croissance des racines finit elle aussi par être altérée.

Certains effets du dysfonctionnement foliaire sont directement pénalisants pour la production. On note ainsi une diminution de la quantité de sucre par baie mais également une diminution du volume des baies (Ollat et al., 2002), qui peut être la simple conséquence de la baisse des forces osmotiques exercées par le sucre pour attirer l'eau à l'intérieur des cellules des baies. Mais la limitation de croissance des baies peut aussi résulter d'une rigidification des parois cellulaires lorsque la baisse de potentiel hydrique devient forte. Ceci conduit alors à une augmentation de la concentration en sucre et à de (trop) forts degrés alcooliques potentiels. On note également une baisse du nombre de baies par grappe voire un flétrissement des baies en cas de baisse sévère du potentiel hydrique, ce qui accentue encore l'augmentation de la concentration en sucre par baie. On note enfin une baisse de concentration en acide malique, voire tartrique, et globalement une perte d'acidité.

Les effets de la baisse de potentiel hydrique sur les métabolites secondaires sont plus variables et ne sont pas détaillés ici. Par ailleurs, la baisse modérée du potentiel hydrique s'accompagne d'une diminution de la teneur en azote assimilable dans les moûts à la vendange, ce qui est généralement associé à une dégradation de la qualité des vins, blancs notamment, qui libèrent moins d'arômes fruités et floraux et deviennent plus astringents.

Le lien entre altération du fonctionnement foliaire et modification du développement et de la composition des raisins reste assez mal connu. Même dans le cas des métabolites primaires, dont la quantité par baie baisse avec l'intensité de la contrainte hydrique, les parts respectives de cette baisse qui sont liées soit à un effet de blocage du chargement en sucres au niveau des baies, soit à une altération de la fourniture des sucres par le processus de photosynthèse dans les feuilles ou du fait de la limitation du développement foliaire, restent à éclaircir. De ce fait, il reste difficile de prévoir les conséquences d'une modification du ratio entre surface foliaire et charge en fruits par pied et encore plus difficile de déterminer la période idéale pour de telles modifications.

Il ne faut pas oublier non plus que la vigne est une plante pérenne, assez fortement taillée, chez laquelle les réserves en sucres (non solubles, tels que l'amidon), stockées dans le bois (notamment les racines) jouent un rôle important à la fois pour tamponner les épisodes de sécheresse et pour assurer le redémarrage du cycle à chaque printemps. L'état de ces réserves avant chaque épisode de sécheresse est donc crucial. Ainsi, un bon niveau des réserves en sucres peut permettre de gommer totalement l'impact d'une baisse de potentiel hydrique sur le chargement en sucre dans les baies. En effet, les baies, qui sont des puits très forts pour les sucres, sont capables de mobiliser ces réserves en l'absence de production de sucre par la photosynthèse. Mais si l'épisode de sécheresse se produit précocement dans le cycle ou bien se répète d'année en année, l'épuisement des réserves peut conduire à une diminution du chargement en sucre des baies (Tiffon-Terrade et al., à paraître).

Une autre particularité de la vigne est l'élaboration de la production sur 2 cycles consécutifs avec la formation des ébauches fructifères dès l'année qui précède la récolte. Une baisse de potentiel hydrique trop forte une année donnée (de même qu'un niveau trop faible des réserves en sucre dans le bois), peut alors se répercuter sur la fertilité (le nombre d'inflorescences par rameau) de l'année suivante. En particulier, lorsque la baisse de potentiel hydrique intervient tôt au moment de la floraison, ce sont les ébauches d'inflorescences qui donneront les grappes l'année suivante qui sont touchées (Guilpart et al., 2014).

4. Adaptation de la vigne à la contrainte hydrique : réguler la transpiration avant tout

Comme toutes les plantes, la vigne a évolué pour s'acclimater aux situations de déficit hydrique en limitant les baisses de potentiel hydrique dans ses organes de plusieurs manières.

En premier lieu, il est rare d'observer de très faibles valeurs de potentiel hydrique dans la plante car les stomates, ces structures cellulaires qui ménagent des orifices microscopiques par lesquels l'eau s'échappe sur la face inférieure des feuilles, sont capables de réduire leur ouverture. Cela diminue les pertes d'eau par transpiration avec deux conséquences bénéfiques pour la plante. Tout d'abord, le dessèchement du sol est retardé, ce qui peut permettre de limiter la baisse de potentiel hydrique dans le sol et dans la plante jusqu'au prochain apport d'eau, voire jusqu'à la récolte. Ensuite, la baisse de transpiration s'accompagne d'une limitation des tensions qui se développent sur l'eau dans la plante au cours de la journée. En terme de potentiel hydrique dans les feuilles, la fermeture stomatique permet bien souvent de maintenir le potentiel hydrique dans les feuilles au-dessus de 1,7 MPa environ, même en présence d'une forte demande évaporative.

On pourrait parler de l'impact de la baisse du potentiel hydrique sur les limitations de croissance foliaire ou les chutes de feuilles de la même manière que pour la fermeture des stomates. Là encore, la conséquence en est une baisse de la transpiration à l'échelle de la plante, ce qui permet de ralentir le dessèchement du sol et de limiter les chutes de potentiel hydrique dans la plante. Il s'agit donc bien de réponses adaptatives à la contrainte hydrique.

Grâce à ces réponses, la vigne évite dans la plupart des cas le développement d'un phénomène catastrophique, l'embolie gazeuse (Lovisolo et al., 2008), c'est-à-dire l'apparition de bulles gazeuses (vapeur d'eau et air) dans les vaisseaux conducteurs de la sève brute. Plus le potentiel hydrique baisse dans les vaisseaux, plus le nombre de vaisseaux obstrués par ces bulles de gaz augmente. Ce phénomène peut finir par empêcher la réhydratation des organes qui transpirent et conduire à la mort de la plante par déshydratation. Il a été montré récemment, d'une part que la fermeture des stomates permettait d'éviter les baisses de potentiel hydrique à l'origine de cette embolie gazeuse, d'autre part que les vaisseaux conducteurs les plus sensibles étaient situés dans les pétioles des premières feuilles formées à la base des rameaux (Charrier et al., 2018). La déshydratation observée préférentiellement pour les feuilles de la base des plantes pourrait s'expliquer ainsi et constituerait un sacrifice utile à la survie du reste du feuillage grâce à la réduction de la surface foliaire transpirante de la plante (Dayer et al., 2020).

Le contrôle efficace des pertes en eau par la fermeture stomatique en cas de contrainte hydrique fait de la vigne une espèce globalement bien adaptée à la sécheresse (Simonneau et al., 2017). Ce comportement peut être qualifié d'isohydrique, car il permet d'éviter les fortes de baisses de potentiel hydrique quand la plante transpire avec une faible disponibilité de l'eau. Il s'oppose au comportement dit anisohydrique observé chez d'autres espèces telles que le tournesol qui, elles, voient leur potentiel hydrique chuter avec celui du sol lors d'un dessèchement (Tardieu et Simonneau, 1998). Chez Vitis vinifera, une certaine variabilité génétique de ce comportement a été observée (Coupel-Ledru et al., 2014) mais aucun lien clair avec une plus ou moins bonne tolérance à la sécheresse n'a pu être établi.

5. Assurer la production tout en améliorant l'efficience d'utilisation de l'eau

L'absence de lien clair entre comportement isohydrique et tolérance à la sécheresse peut s'expliquer en grande partie par le fait que la fermeture des stomates, tout comme les limitations de croissance foliaire, ont un coût : c'est la réduction de l'assimilation du carbone (photosynthèse). En effet, la transpiration et la photosynthèse sont étroitement liés pour deux raisons au moins. En premier lieu, ces 2 processus partagent une même voie de passage à travers les stomates pour l'entrée du CO2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse et la sortie de vapeur d'eau par transpiration (on parle d'échanges gazeux). En second lieu, les 2 processus dépendent tous les 2 de la surface foliaire de la plante.

Le couplage entre assimilation du carbone (photosynthèse) et transpiration, décrit ci-dessus à l'échelle foliaire instantanée, se retrouve donc à l'échelle de la plante et du cycle entre la quantité

d'eau transpirée sur le cycle et la biomasse produite. Ce couplage entre transpiration et photosynthèse ou production a donné naissance au concept d'efficience d'utilisation de l'eau (EUE), décliné lui aussi à ces différentes échelles. A l'échelle instantanée et de la feuille, l'EUE est le rapport entre flux de photosynthèse (mesuré par exemple en µmol de CO2 par m2 de feuille et par seconde) et flux de transpiration (mesuré par exemple en µmol d'eau par m2 et par seconde). L'EUE correspond alors à la quantité de CO2 atmosphérique assimilé par quantité unitaire d'eau consommée (en µmol CO2/µmol H2O). A l'échelle de la plante et du cycle, l'EUE est le rapport entre rendement (en kg de raisin/ha par exemple) et quantité totale d'eau consommée (en L/ha ou mm d'eau par exemple). L'EUE correspond alors à la quantité récoltée pour chaque quantité unitaire d'eau consommée (en Kg de raisin/L d'eau par exemple).

A l'échelle de la feuille, le couplage entre photosynthèse et transpiration se traduit par une relation qui n'est pas linéaire. En effet, la relation entre photosynthèse et niveau d'ouverture stomatique n'est elle-même pas linéaire. Les faibles niveaux d'ouverture stomatique associés à la contrainte hydrique constituent la principale limite de la photosynthèse qui augmente bien avec l'ouverture des stomates. Par contre, pour les forts niveaux d'ouverture stomatique, la photosynthèse est limitée non plus par l'entrée du CO2 dans la plante à travers les stomates, mais pas la machinerie biochimique qui fixe le carbone et synthétise les sucres. La photosynthèse plafonne alors pour les fortes valeurs d'ouverture stomatique. Ce n'est pas le cas de la transpiration qui continue d'augmenter lorsque les stomates s'ouvrent davantage. Il en ressort que l'EUE, qui est le rapport entre photosynthèse et la transpiration, diminue lorsque l'ouverture stomatique augmente.

De manière analogue, lorsqu'on augmente la surface foliaire, la photosynthèse finit par être limitée par la quantité de rayonnement disponible pour chaque feuille car les feuilles s'entassent et finissent par s'auto-ombrer. Par contre la transpiration continue d'augmenter avec l'augmentation de la surface foliaire, car elle est beaucoup moins dépendante de la lumière interceptée (même si l'auto-ombrage provoque une fermeture stomatique, seulement partielle toutefois, et diminue la température moyenne des feuilles, ce qui réduit la demande évaporative). Il en ressort que l'EUE diminue lorsque la surface foliaire augmente en provoquant de l'auto-ombrage.

D'après ce qui précède, la solution pour augmenter l'EUE, c'est de limiter l'ouverture stomatique et l'auto-ombrage. C'est effectivement ce que l'on constate chez des plantes soumises à une contrainte hydrique qui ont une meilleure efficience d'utilisation de l'eau que les plantes bien pourvues en eau. Des relations assez étroites ont été établies entre le potentiel hydrique des plantes mesuré en fin de nuit (un indicateur de la disponibilité de l'eau dans le sol) et un indicateur de l'EUE (l'enrichissement des moûts en 13C, isotope lourd du carbone présent naturellement en faible quantité dans l'atmosphère mais plus difficilement assimilé que l'isotope lourd 12C dominant). Cette augmentation d'EUE en situation de contrainte hydrique est souvent le résultat à la fois d'une fermeture stomatique partielle et d'un moins bon développement foliaire qu'en situation bien irriguée (Coupel-Ledru et al., 2022).

Indépendamment du niveau de contrainte hydrique, il apparaît également possible d'augmenter l'EUE en diminuant l'auto-ombrage tout en conservant un bon développement foliaire en choisissant un système de taille et de palissage approprié. Par exemple, pour un même objectif de production (même nombre de rameux fructifères à l'hectare), le palissage vertical haut en espalier à forte densité de pieds (1,80 m entre rangs, 1 m entre pieds) présente une EUE nettement meilleure que le même palissage à faible densité de pieds (3,60 m entre rangs, 1 m entre pieds) du fait de l'auto-ombrage créé par la forte densité de rameaux par mètre linéaire de rang pour ce dernier système. Les systèmes en lyre et rideau simple présentent également une bonne EUE quoique plus variable entre plantes dans le dernier cas (Prieto, 2011).

Cependant, il apparaît difficile d'augmenter fortement l'EUE en poussant à l'extrême la fer-

meture stomatique ou la réduction de surface foliaire car on va réduire dans le même temps l'assimilation du carbone avec ses conséquences sur la fourniture d'énergie et l'élaboration des structures nécessaires à la croissance de la plante et, finalement, à sa production. On peut s'interroger également sur l'impact d'une modification du rapport feuilles/fruits. Les études sur l'impact de l'intensité et de la date d'effeuillage (sans exposer les grappes !) en fin de cycle sont certainement à poursuivre.

De manière étonnante, en situation de déficit hydrique modéré, il n'est pas rare d'observer un maintien de la croissance des baies et de leur chargement en sucres, même lorsque la fermeture des stomates provoque l'arrêt presque total de la photosynthèse. Le rôle tampon des réserves en amidon dans le bois occupe probablement une place importante dans cette réponse car lorsque ces réserves baissent sous l'effet d'une contrainte hydrique à l'issue d'un premier cycle, la croissance des baies au cours du cycle suivant finit par être altérée (Tiffon-Terrade et al., à paraître). Malgré tout, ce mécanisme permet de maintenir une EUE élevée à l'échelle de la plante (kg raisin / L d'eau consommée) en cas d'épisode passager de contrainte hydrique, car il en tamponne l'impact sur le rendement. Sa variabilité génétique est en cours d'analyse dans un programme conduit à Montpellier.

Enfin, la variabilité génétique d'EUE observée dans des panels de variétés (Tomas et al., 2012) ou des descendances (Coupel-Ledru et al., 2016), et les multiples déterminants génétiques détectés laissent également penser que d'autres mécanismes physiologiques à l'origine des variations de l'EUE sont encore à découvrir. Les plus intéressants sont ceux qui permettent à la fois le maintien de l'EUE et de la croissance. Récemment, l'un d'entre eux a été identifié : il s'agit de la réduction de la transpiration la nuit. En effet, il a été montré que les stomates restaient légèrement ouverts la nuit, provoquant des pertes d'eau variables génétiquement et inutiles pour la photosynthèse. On peut donc sélectionner des variétés qui économisent l'eau la nuit sans altérer l'ouverture stomatique et la photosynthèse le jour.

Conclusion

Continuer d'agréger les observations pour établir des parcours hydriques adaptés à chaque objectif et chaque contexte de production.

Finalement, la connaissance de l'ensemble des réponses physiologiques permet de raisonner un certain nombre de leviers déjà largement utilisés par les viticulteurs pour conduire le vignoble en condition de déficit hydrique. On retrouve notamment la manipulation des surfaces foliaires (qui ralentit le dessèchement du sol et limite les chutes de potentiel hydrique dans la plante en cours de journée), l'ajustement de la charge en fruit (qui permet d'ajuster l'objectif de production aux capacités de synthèse des sucres). On dispose déjà des principaux repères pour guider ces pratiques afin de maintenir l'évolution du potentiel hydrique dans la plante tout au long du cycle, autrement dit son parcours hydrique, sur une trajectoire favorable à l'atteinte des objectifs.

Mais les effets les plus marquants ne pourront être obtenus que par des changements plus profonds dans le vignoble tels que la plantation à faible densité de variétés plus économes en eau et surtout avec une meilleure efficience d'utilisation de l'eau. On recherchera également des porte-greffes vigoureux au niveau racinaire mais permettant de contenir la vigueur du scion. De nombreux programmes de caractérisation des ressources génétiques sont en cours dans cette perspective, en lien avec des objectifs de qualité qui ont fortement évolué à l'image du potentiel alcoolique qu'il s'agit aujourd'hui de limiter.

Références

Allen R.G., Pereira L.S, Smith M., Raes D., Wright J.L. (2005) FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. Journal of irrigation and drainage engineering 131(1), 2-13.

Charrier G., Delzon S., Domec J.-C., Zhang L., Delmas C.E.L., Merlin I., Corso D., et al. (2018) Drought will not leave your glass empty: Low risk of hydraulic failure revealed by long-term drought observations in world's top wine regions ». Science Advances 4(1).

Coupel-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Doligez A., Cabrera-Bosquet L., Péchier P., Hamard P., This P., Simonneau T. (2014) Genetic variation in a grapevine progeny (Vitis vinifera L. cvs Grenache × Syrah) reveals inconsistencies between maintenance of daytime leaf water potential and response of transpiration rate under drought. Journal of Experimental Botany, 65, 6205-6218.

Coupel-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Gallo A., Gago P., Pantin F., Doligez A., Simonneau T. (2016) Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(32), 8963-8968.

Coupel-Ledru A., Lebon E., Goutouly J.P., Christophe A., Gago P., Brault C., This P., Doligez A., Simonneau T. (2022) Phenotyping for drought tolerance in grapevine populations: the challenge of heterogeneous field conditions. In 'Improving Sustainable Viticulture and Winemaking Practices. Editor(s): J. Miguel Costa, S. Catarino, J. M. Escalona, P. Comuzzo, 65-83.

Cramer G. R., Van Sluyter S. C., Hopper D. W., Pascovici D., Keighley T., Haynes P. A. (2013) Proteomic analysis indicates massive changes in metabolism prior to the inhibition of growth and photosynthesis of grapevine (Vitis vinifera L.) in response to water deficit. BMC Plant Biology, 13, 49.

Guilpart N., Metay A., Gary C. (2014) Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. European Journal of Agronomy, 54, 9-20.

Lovisolo C., Perrone I., Hartung W., Schubert A. (2008) An abscisic acid-related reduced transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. The New Phytologist, 180, 642-651.

Marguerit E., Brendel O., Lebon E., Van Leeuwen C., Ollat, N. (2012) Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. The New Phytologist, 194, 416-429.

Ollat N., Diakou-Verdin P., Carde J.-P., Barrieu F., Gaudillère J.-P., Moing A. (2002) Grape berry development. A review. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 36, 109-131.

Neethling E., Goulet E., Quenol H. (2021) Evolution des précipitations et du bilan hydrique dans le contexte du réchauffement climatique. Revue des Œnologues, 181, 39-42.

Pellegrino A., Gozé E., Lebon E., Wéry J. (2006) A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. European Journal of Agronomy, 25, 49-59.

Prieto J. (2011) Simulation of photosynthesis and transpiration within grapevine (Vitis vinifera L .) Canopies based on a 3D architectural model. Application to training system evaluation. PhD thesis. Institut Agro, Montpellier SupAgro.

Dayer S., Herrera J.C., Dai Z., Burlett R., LamarqueL.J., Delzon S., Bortolami G., Cochard H., Gambetta G.A. (2020) The sequence and thresholds of leaf hydraulic traits underlying grapevine varietal differences in drought tolerance, Journal of Experimental Botany, 71(14), 4333–4344.

Simonneau T., Lebon E., Coupel-Ledru A., Marguerit E., Rossdeutsch L., Ollat, N. (2017) Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status? Oeno One, 51(2), 167–179.

Tardieu F., Simonneau T. (1998) Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand. Modelling isohydric and anisohydric behaviours. Journal of Experimental Botany, 49, 419-432.

Tiffon-Terrade B., Simonneau T., Caffarra A., Boulord R., Pechier P., Saurin N., Romieu C., Fumey D., Christophe A. (à paraître). Delayed grape ripening by intermittent shading to counter global warming depends on carry-over effects and water deficit conditions. Oeno One.

Tomas M., Medrano H., Pou A., Escalona J. M., Martorell S., Ribas-Carbo M., Flexas J. (2012) Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole-plant level. Australian Journal of Grape and Wine Research, 18(2), 164–172.

van Leeuwen C., Darriet P., Pons A., Dubernet M. (2016) Effet du changement climatique sur le comportement de la vigne et la qualité du vin. Revue Française d'Œnologie, 274, 2-10.

Discussion autour des relations vigne-raisin en réponse aux facteurs abiotiques

Alain Deloire et Anne Pellegrino, Université de Montpellier, L'Institut Agro, France

alain.deloire@supagro.fr ; anne.pellegrino@supagro.fr

Cet article de synthèse est largement inspiré par la publication « Deloire A. & Pellegrino A., 2021. Rappels sur la vigne et le déficit hydrique. Quels leviers au vignoble à courts et moyens termes? IVES Technical Reviews, https://ives-technicalreviews.eu/article/view/4842 ». Il porte principalement sur la vigne et l'eau, facteur abiotique crucial pour le fonctionnement vigne-raisin et les profils aromatiques des vins.

Introduction

Dans le cadre de l'évolution du climat, la majorité des régions viticoles subissent des périodes de contraintes hydriques voire de stress hydrique et des vagues de chaleurs. L'augmentation des températures moyennes est avérée, avançant les stades phénologiques de la vigne. Dans les régions méditerranéennes du sud de la France, les orages plus fréquents en automne favorisant le ruissellement, et la plus faible pluviométrie en hiver réduisent le remplissage de la réserve utile des sols pré débourrement. Par ailleurs, la pluviométrie sur le cycle cultural diminue alors que l'évapotranspiration augmente. L'ensemble de ces évolutions climatiques (pluies x températures) modifie le fonctionnement de la vigne, la composition des baies et le profil aromatique des vins. À ce titre, il nous semble intéressant de partager quelques résultats de recherche et développement sur les conséquences possibles des facteurs abiotiques (augmentation du déficit hydrique et des pics de chaleur) sur la physiologie de la vigne et de ses fruits et de rappeler quelques solutions potentielles à mettre en œuvre à court et moyen terme, notamment lors de la plantation de jeunes vignes (figure 1).

1. La vigne et l'eau : quelques rappels

- Les besoins en eau de la vigne pour son cycle de développement sont de 450-550 mm (1 mm = 1 litre par m2 = 10 m3 par ha), ce qui équivaut à 250 à 350 litres d'eau au vignoble pour produire un litre de moût.
- La réserve utile du sol dépend principalement de la profondeur d'enracinement, de la texture du sol et du taux d'éléments grossiers.
- L'évaporation du sol dépend de l'humidité de la couche de surface, de sa structure et des couverts végétaux qui sont implantés. La part d'évaporation du sol versus la part de transpiration dans les pertes en eau par hectare (en mm) varie donc en fonction du mode de gestion du sol.
- 98 % des besoins en eau de la plante résultent de sa transpiration. Le choix du porte-greffe est crucial en matière d'accès à l'eau du sol et d'adaptation de la plante à la contrainte hydrique.
- L'efficience d'utilisation de l'eau est la capacité de la plante à fixer une quantité de carbone pour un niveau de perte en eau par transpiration donné. Une meilleure efficience d'utilisation de l'eau résultant d'une activité photosynthétique supérieure et/ou d'une régulation

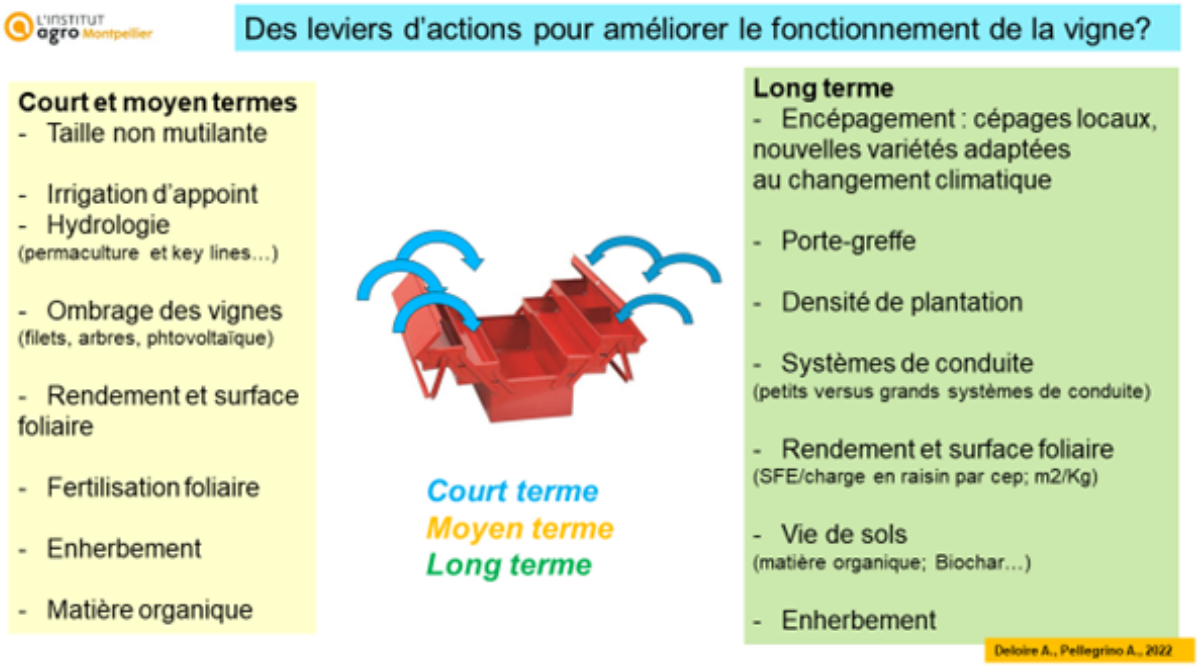


Figure 1 : Exemples de leviers d'actions pour améliorer le fonctionnement de la vigne et du raisin dans un contexte de dérèglement climatique

stomatique plus efficiente peut être considérée comme un trait d'adaptation à la sécheresse.

- Le remplissage de la réserve utile du sol est important pré-débourrement pour garantir l'homogénéité du débourrement et la fertilité (rendement) des ceps et post-vendange pour maintenir l'activité photosynthétique des feuilles et favoriser la mise en réserve des sucres.

2. Conséquences potentielles de la sécheresse (forte contrainte hydrique) et de l'élévation des températures (vagues de chaleur)

a) Croissance végétative, composantes du rendement et état hydrique de la vigne (figure 2)

- Réduction de la croissance végétative primaire pour des contraintes hydriques modérées et donc de la surface foliaire exposée.
- Réduction du développement des entre-cœur pour des contraintes hydriques légères, avec des conséquences positives ou négatives selon les conditions climatiques (augmentation de l'exposition des grappes au rayonnement, réduction de l'activité des puits ou des sources en C selon le stade).
- Dans le cas de contraintes hydriques fortes et précoces, hétérogénéité du débourrement et réduction de la fertilité des bourgeons latents sur les rameaux primaires en développement.
- Altération du développement des inflorescences et des fleurs en année N+1 (dont les primordia ont été formés dans les bourgeons latents l'année N) pouvant conduire à des défauts de fécondation (coulure et millerandage) en cas de stresses hydriques et/ou thermiques.
- Diminution du volume des baies (dès le stade de croissance herbacée du fruit et post véraison-maturation), à des niveaux de contrainte hydrique inférieurs à ceux requis pour réduire le nombre de grappes par cep ou le nombre de baies par grappe. La diminution du volume des baies réduit le rendement final mais peut favoriser la qualité (diminution de la compacité de la grappe, augmentation de la concentration en métabolites primaires et secondaires) à condition d'éviter des niveaux de contraintes hydriques forts induisant des blocages de maturation.
- Risques accrus de perte en eau des baies et donc de flétrissement. A noter que le flétrissement est généralement irréversible post pla-

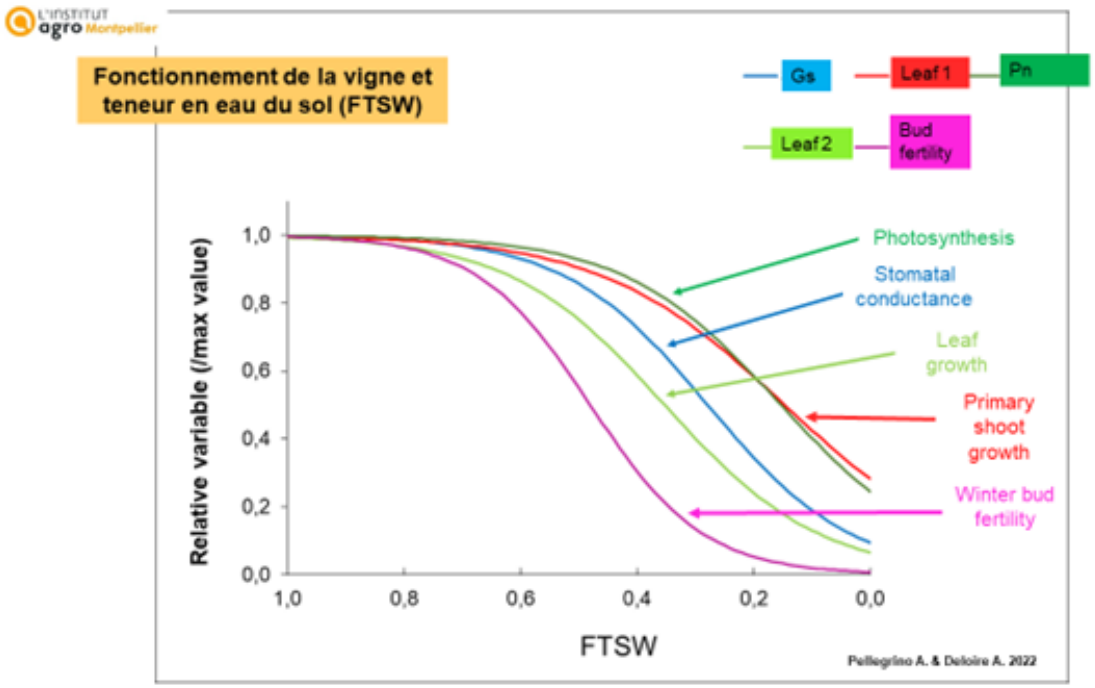


Figure 2: Les réponses du développement, de la physiologique et de la biochimie de la vigne à la contrainte et au stress hydrique ne sont pas les mêmes en fonction de la teneur en eau des sols (fraction transpirable de la teneur en eau du sol : FTSW). Certaines fonctions de développement comme les composantes du rendement (mise en place des primordia des inflorescences dans les bourgeons latents en année N pour assurer les rendements de l'année N+1) sont plus sensibles à la contrainte hydrique (FTSW) que d'autres fonctions comme la photosynthèse (Lebon E., Pellegrino A., et al., 2006, Guilpart et al., 2014).

teau du chargement en sucres des baies et en fin de maturation.

- Les températures ≥ 35°c vont fortement réduire voire inhiber la photosynthèse et donc perturber le fonctionnement et le développement végétatif et reproducteur de la vigne.

b) Composition des baies et qualité des vins

- Le chargement en sucres des baies (mg/baie) est un indicateur du fonctionnement de la vigne car directement couplé à la photosynthèse qui est sous régulation des facteurs abiotiques (figure 3).
- Inhibition de la biosynthèse des métabolites primaires (acides organiques, sucres) conduisant à des perturbations de la dynamique de maturation des baies. En cas de températures ≥ 35°C, on peut mentionner à titre d'exemples : i) une importante dégradation de l'acide malique ; une réduction de la concentration de certaines molécules « aromatiques » comme les pyrazines (IBMP) pré et post véraison ; une modification possible de l'humidité de l'air dans la zone des grappes qui peut favoriser une perte de volume et le flétrissement des baies.
- Augmentation du pH des vins par concentration du potassium et dégradation de l'acide malique.
- Inhibition de la biosynthèse des métabolites secondaires (phénols, précurseurs d'arômes) pré- et post-véraison pour des contraintes hydriques fortes. La teneur en anthocyanes dans les baies est toutefois favorisée pour des contraintes hydriques modérées.
- Altération du profil aromatique des vins au-delà de 20 % de baies flétries.
- Hétérogénéité de la croissance des baies qui peut affecter le style des vins.
- Avancement de la date de vendange qui est dûe principalement à une augmentation de la concentration en sucres des baies (raisonnement des dates de vendanges basé sur le degré alcoolique) et non à une augmentation de la teneur en sucres par baie (figure 3).

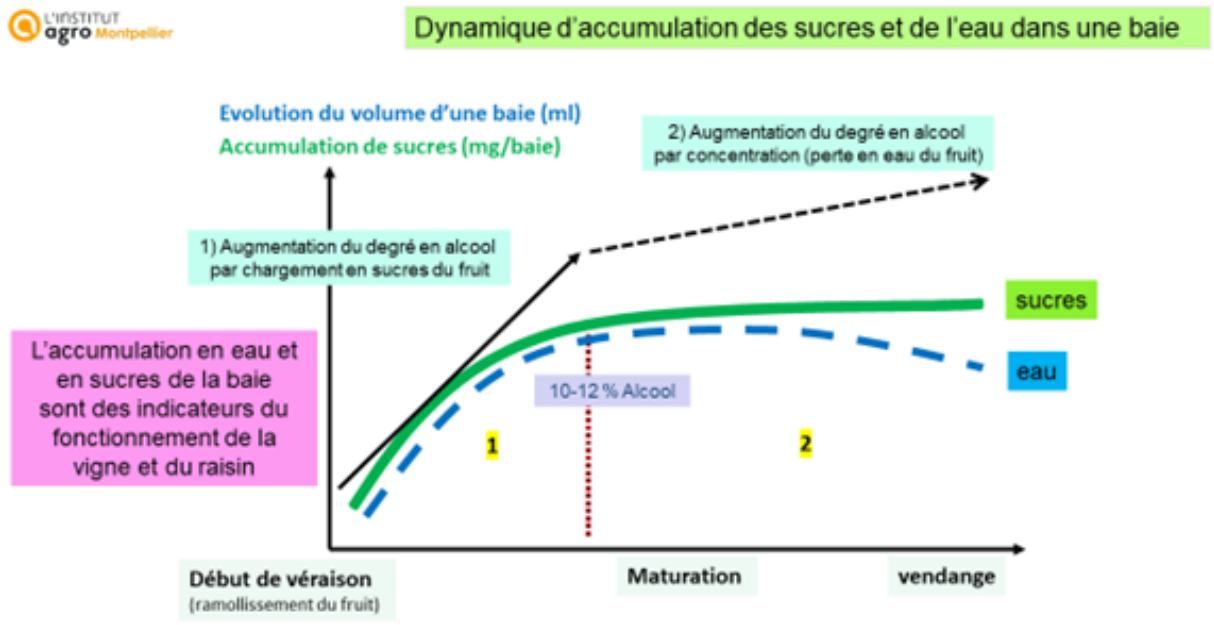


Figure 3: Courbe théorique de l'accumulation en sucres (mg/baie) et en eau (volume du fruit) de baies individuelles. Le chargement en sucres mesuré sur des baies individuelles atteint un plateau aux environs de 10-11% en alcool probable (1,2 molaire) d'après Shahood et al, 2020. A partir du plateau de chargement en sucres des baies, l'augmentation de la concentration en sucres (% alcool) est due à la perte en eau du fruit par évaporation (Deloire et al., 2021 ; Antalick et al., 2021).

3. Pilotage, possibilités et limites de l'irrigation

La gestion de l'état hydrique de la vigne via l'irrigation doit se raisonner en fonction d'objectifs de rendement (stabilisation des rendements fixés à la taille) et de profils arômatiques des vins (recherche de fraîcheur arômatique, limitation de la perte d'acidité, limitation de la concentration en sucres en réduisant la perte en eau des baies…).

L'irrigation de la vigne se pilote en mesurant l'un des trois compartiments ou les trois compartiments présentés en figure 4 : la réserve utile du sol et son niveau de remplissage, l'état hydrique de la vigne et la demande climatique.

Sur la base de ces mesures, une stratégie d'irrigation peut être mise en place de pré débourrement (pour compléter une réserve utile en eau du sol déficiente) à post vendange pour assurer la mise en réserve des sucres dans les parties pérennes de la plante.

A ce titre il n'est pas possible de proposer des recettes d'apport d'eau (quand et combien) ! En effet, suivant les besoins en eau de la vigne, le type de sol, le cépage, les objectifs de production et le volume d'eau disponible, la quantité d'eau à apporter par irrigation par hectare peut varier de 500 m^3 (50 mm) à 6000 m^3 (600 mm). A titre d'exemple et pour une densité de 5000 ceps par hectare, cela correspond respectivement à 100 litres et 1200 litres par ceps à distribuer respectivement de nouaison à pré-vendange (la limite du 15 août n'existant plus) pour la plupart des terroirs en France ou de pré-débourrement à post vendange (par exemple en zone désertique ou semi-désertique sur sol filtrant : région du Ningxia en Chine) .

L'irrigation permet (versus l'évolution du niveau de remplissage de la réserve utile du sol de pré débourrement à post vendange)

- d'assurer un débourrement homogène des bourgeons latents et des futurs rameaux primaires
- de préserver/favoriser les composantes du rendement (développement des inflorescences, différenciation des fleurs, fécondation, grossissement des baies)

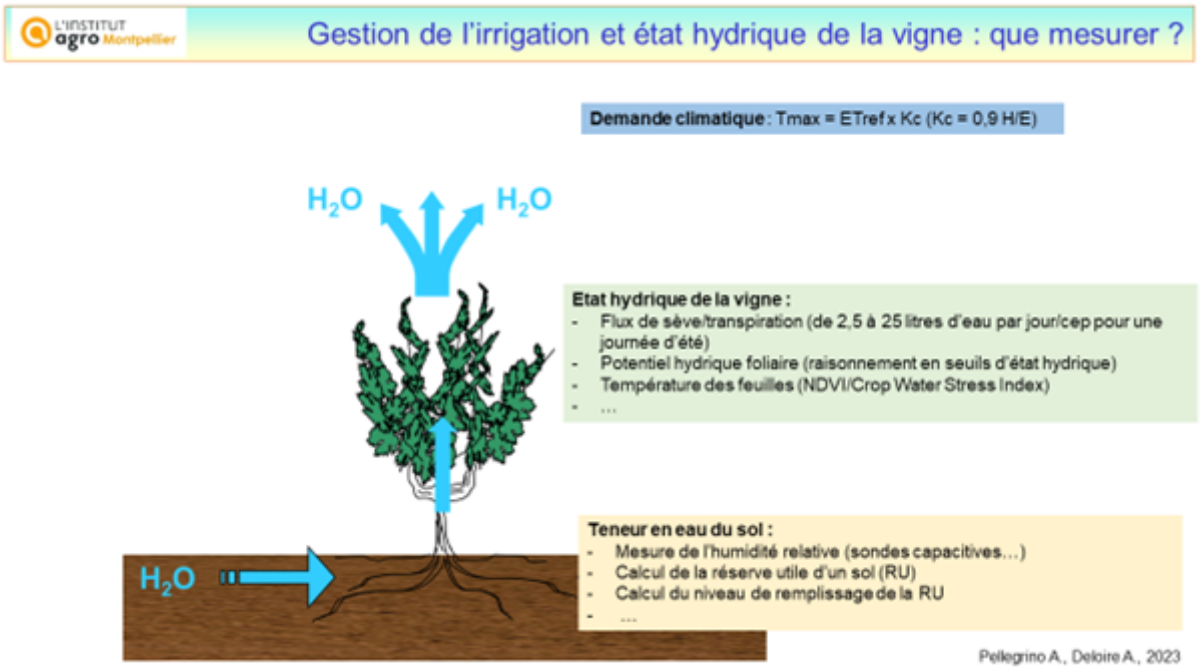


Figure 4: L'irrigation de la vigne se gère en mesurant/estimant la réserve utile du sol et/ou l'état hydrique de la vigne et/ou la demande climatique.

- d'optimiser les rendements raisonnés/fixés à la taille d'hiver (= nombre de bourgeons latents/cep)
- de maintenir la pérennité du vignoble
- de contrôler l'expression végétative d'un cep (microclimat de la végétation et des grappes)
- de réguler le volume des baies pré et post véraison (notamment pré plateau du chargement en sucres des baies)
- de modifier/améliorer la composition et les styles de vins (meilleure fraîcheur aromatique perçue (thiols, composés en C6…) ; meilleure acidité; % d'alcool moins élevé; …) par rapport à des situations de contraintes hydriques fortes et de stress hydrique
- d'assurer une mise en réserve correcte du carbone dans les racines, troncs et sarments via l'activité synthétique des feuilles.
- de limiter l'expression de certaines maladies annuelles et pérennes (Viroses (Red Blotch) et Maladies du bois)

L'irrigation ne permet pas :

- d'augmenter le potentiel de rendement fixé à la taille d'hiver
- d'assurer le «maintien» du volume des baies post plateau du chargement en sucres (le flétrissement des baies en fin de maturation est généralement irréversible). En effet les connections baie-plante sont interrompus post plateau du chargement en sucres des baies (mg/baie) et les baies continuent à évaporer de l'eau. Une éventuelle augmentation du volume des baies durant la maturation suite à une pluie tardive est due à l'asynchronie de leur développement et n'est donc pas systématique suivant le vécu hydrique de la vigne depuis la floraison.
- de compenser une demande climatique excessive et donc d'éviter l'embolisme (rupture de la colonne d'eau sol-plante-atmosphère et en conséquence le dessèchement des feuilles et des baies), ce qui pose la question des stresses thermiques x humidité de l'air (VPD)
- d'empêcher le développement de maladies annuelles et pérennes

Conclusion

Lorsque qu'il s'agit de comprendre l'impact de contraintes hydriques et thermiques (ou de stresses hydriques et thermiques) sur le fonctionnement de la vigne (développement végétatif ; développement reproducteur/rendement

; composition du fruit ; catégories et profils aromatiques des vins), Il convient de considérer les points suivants :

- La période de survenue de la contrainte hydrique et/ou thermique versus les stades phénologiques
- L'intensité de la contrainte hydrique (contrainte versus stress) et/ou thermique (vagues de chaleurs : nombre de jours ≥ 35°C.)
- La durée (en nombres d'heures ou de jours) de la contrainte hydrique et/ou thermique

En terme de recherche, la difficulté de compréhension de l'effet des facteurs abiotiques sur le fonctionnement vigne-raisin vient de la superposition des contraintes/stresses hydriques et thermiques.

Références

Antalick G., Šuklje K., Blackman J.W., Schmidtke L.M. Deloire A., (2021). Performing sequential harvests based on berry sugar accumulation (mg/berry) to obtain specific wine sensory profiles, OENO One, https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4527

Deloire A. et Pellegrino A., (2021). Rappels sur la vigne et le déficit hydrique. Quels leviers au vignoble à courts et moyens termes ? IVES Technical Reviews, https://ives-technicalreviews.eu/article/view/4842

Deloire A., Rogiers S., Šuklje K., Antalick G., Zeyu X., Pellegrino A., (2021). Grapevine berry shrivelling, water loss and cell death: an increasing challenge for growers in the context of climate change, IVES Technical Reviews, https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4615

Guilpart, N., A. Metay, and Gary C., (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. European Journal of Agronomy, 2014. 54: p. 9-20.

Lebon E., Pellegrino A., Louarn G., and Lecoeur J., (2006). Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (Vitis vinifera) growing in drying soil. Annals of Botany, 98, 175-185.

Levin A.D., Deloire A., Gambetta G.A., (2020). Does water deficit negatively impact wine grape yield over the long term? IVES Technical Reviews, https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2020.4029

Ojeda, H., A. Deloire, and Carbonneau A., (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. Vitis, 2001. 40(3): p. 141-145.

Shahood R., Torregrosa L., Savoi S., Romieu C. (2020). First quantitative assessment of growth, sugar accumulation and malate breakdown in a single ripening berry, Oeno One, 4, 1077-1092, DOI:10.20870/oeno-one.2020.54.4.3787

Šuklje K., Zhang X., Antalick G., Clark A.C., Deloire A., and Schmidtke L.M., (2016). Berry Shriveling Significantly Alters Shiraz (Vitis vinifera L.) Grape and Wine Chemical Composition, J. Agric. Food Chem., 64, 870−880, DOI:10.1021/acs.jafc.5b05158

Wang Z., Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Lopez F., (2003). Study of Sugar Phloem Unloading in Ripening Grape Berry under Water Stress conditions. J. Int. Sci. Vigne vin, 37, 4, 213 – 222.

Calcul des besoins en eau d'un vignoble à partir de l'évapotranspiration de référence et raisonnement associé

Alain Deloire et Anne Pellegrino, Université de Montpellier, L'Institut Agro, France

alain.deloire@supagro.fr ; anne.pellegrino@supagro.fr

Dans le contexte des dérèglements climatiques observés à l'échelle de la planète, la viticulture n'est pas épargnée (GIEC, 2021). Le changement climatique se traduit notamment par une modification de la distribution et de l'intensité des pluies sur l'année et l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle en climat méditerranéen (Laget et al., 2008). A ce titre la question de la consommation en eau d'un vignoble par rapport à des objectifs de rendement et de profils aromatiques des vins doit être posée afin d'optimiser les pratiques culturales (vie des sols et matière organique, système de conduite de la vigne, irrigation…). Le présent article illustre le calcul de la consommation en eau d'un vignoble basé sur l'évapotranspiration potentielle (ETp), corrigée par le coefficient cultural de la vigne (kc) et appliquant un coefficient de contrainte hydrique (ks). Pour ce faire, le raisonnement développé est basé sur des exemples hypothétiques décrits dans le texte.

Pour produire un litre de moût il faut entre 250-350 litres d'eau au vignoble sur la période du débourrement à la vendange.

Ce calcul est basé sur **l'évapotranspiration potentielle (ETp)**, résultant des données climatiques (**Rayonnement, déficit de saturation de l'air, vent**), et de coefficients intégrant les spécificités de transpiration de la vigne en terme de surface transpirante (**coefficient cultural, kc**) et de régulation stomatique (**coefficient de stress, ks**).

A ce titre, il faut disposer des données d'ETp cumulées par stade phénologique (débourrement-floraison ; Floraison/nouaison-véraison (ramollissement du fruit); véraison-vendange) pour pouvoir faire des calculs précis pour une région viticole (macroclimat) ou un vignoble/groupe de vignobles (mésoclimat) identifiés.

Partons sur deux chiffres hypothétiques pour notre calcul et prenons le cas d'un vignoble avec une densité de **5000 pieds par hectare** (deux mètres entre rangs et un mètre sur le rang) conduit en Espalier (Vertical Shoot Positioning-VSP ; hauteur de végétation d'un mètre) :

- Une production moyenne de **80 hectolitres/hectare de « moûts »** (cas d'une production IGP de vin rosé par exemple)
- Une moyenne de **300 litres d'eau** sur le cycle de la vigne (débourrement à vendange) pour que la vigne produise un litre de moût (ce chiffre est issu d'un calcul utilisant l'ETp multiplié par le coefficient cultural sans contrainte hydrique, c'est-à-dire sans **ks**).

8000 litres de « moûts » par hectare nécessitent donc :

→ **300 litres d'eau x 8000 = 2400000 litres d'eau/hectare/cycle**

1mm = 1 litre/m² = 10 m3/ha d'eau donc 2400000 litres/ha = 2400 m3/ha soit 240 mm

Les besoins en eau par pied sont donc :

→ 2400000/5000 = 480 litres d'eau/pied/cycle (débourrement-vendange)

Il faut aussi tenir compte dans un **bilan hydrique** et pour gérer l'irrigation des trois données suivantes (figure 1) :

- Du niveau de remplissage de la réserve utile du sol au débourrement (mm)

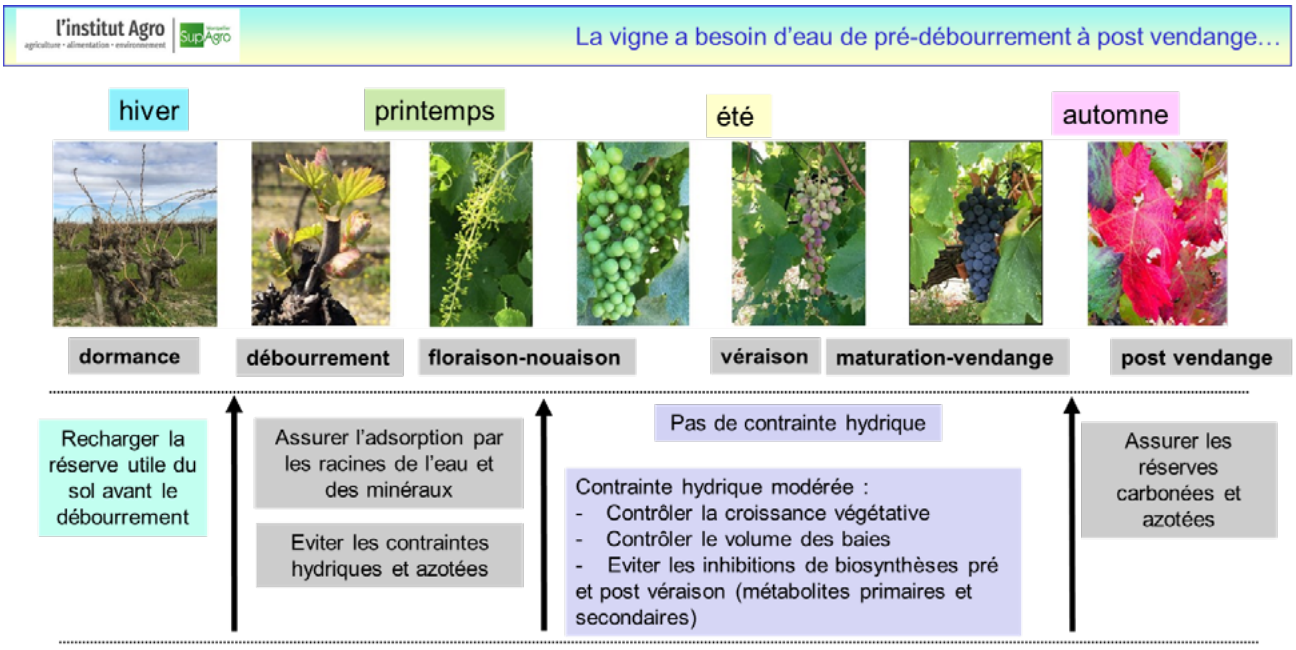


Figure 1 : La vigne a besoin d'eau sur l'ensemble de son cycle annuel y compris post débourrement et pré-vendange (Deloire et Pellegrino, 2021 https://ives-technicalreviews.eu/article/view/4842)

- Du cumul de pluie sur le cycle de la vigne et leur répartition/distribution par stades phénologiques (mm)
- De la surface transpirante (**kc**) et les périodes de déficit hydriques potentiellement ciblées (**ks**)

Lors du calcul des besoins en eau de la vigne à partir de l'ETp, il faut donc appliquer le coefficient cultural qui peut être approximé à partir de la hauteur de la haie foliaire (H) et de l'écartement entre rangs (E) :

→ kc = 0,9H/E

Bien sûr la hauteur de la haie foliaire varie en fonction des stades phénologiques, donc il faudra prendre un H moyen entre deux stades phénologiques (c'est une côte mal taillée mais c'est mieux que rien !).

Pour le calcul et pour démontrer le raisonnement, nous ciblons volontairement une période du cycle de développement de la vigne à partir de laquelle, en principe, la hauteur de la haie foliaire (H) est fixée. En approximant que l'ETp journalière soit de 5 mm/jour de véraison à vendange (période cruciale, ca. 45 jours ; Bloesch et al., 2009), et que la valeur de **kc** sur cette période soit de 0,45 (H=1m, E=2m selon l'exemple ci-dessus), la **transpiration maximale cumulée (Tm)** de la vigne peut alors être calculée comme suit :

→ Tm= 45 jours x 5 mm / jour x 0.45 = 101 mm,

En général et en irrigation de précision, il est appliqué un coefficient de stress (**ks**) de 0,5 car sauf vignobles à très haut rendement, on n'irrigue jamais à 100% de la transpiration maximale.

A ce titre, la **transpiration réelle cumulée (Tr)** de la vigne peut alors être calculée comme suit :

→ Tr= Tm x 0.5 = 51 mm,

Soit 510 m3/ha ou 510 000 litres/ha ou 510000/5000 ceps = 102 litres par cep de début véraison à vendange (le nombre de jours de véraison à vendange est flexible en fonction de l'interaction climat x cépage x styles de vin souhaités);

→ 102 litres à répartir sur une période d'environ 45 jours, à savoir un besoin potentiel de 2,25 litres par cep/jour.

En conclusion, le besoin de 250-350 litres d'eau au vignoble de débourrement à vendange pour produire un litre de moût correspond à une demande pour avoir une transpiration maximale. Cette demande maximale doit être corrigée/ajustée avec le ks car il est rare d'irriguer à 100% de la transpiration maximale, notamment de début véraison à vendange. Dans notre exemple et

sans l'application du ks, la consommation en eau aurait été de 4.5 litres par cep au lieu de 2,25 l avec **ks**. Le choix du coefficient de stress est flexible en terme d'intensité (% de réduction de la transpiration maximale) et de durée (stades phénologiques) (Torres et al, 2021, a, b).

Références

Bloesch B., Viret O., Fabre A.L., Et Spring J.L., (2009). Evolution climatique et phénologie de la vigne de 1958 à nos jours, Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 41 (3): 143-149.

Carbonneau A., Torregrosa L., Deloire A., Pellegrino A., Pantin F., Romieu C., Ojeda H.,Jaillard B., Métay A., Abbal P., (2020). Traité de la Vigne, Physiologie-Terroir-Culture, Dunod,Editeur, Paris, France, ISBN 978-2-10-079857-5, 689 p.

Costa J.M., Vaz M., Escalona J.M., Egipto R., Lopes C.M., Medrano H., Chaves M.M., (2020). Water as a critical issue for viticulture in southern Europe : sustainability vs competiveness, IVES Technical Reviews, https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.3182

Deloire A., and Pellegrino A., (2021). Review of vine water deficit. What levers

for the vineyard in the short and medium term? IVES Technical Review, https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4842

Deloire A., Rogiers S., Šuklje K., Antalick G., Zeyu X., Pellegrino A., (2020), Grapevine berry shrivelling, water loss and cell death: an increasing challenge for growers in the context of climate change, IVES Technical reviews, https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4615

Deloire A., Carbonneau A., Wang Z., Ojeda H., (2004). Vine and Water, a short review, J. Int. Sci. Vigne vin, 38, 1, 1 – 13.

Gambetta G.A., Herrera J.C., Dayer S., Feng Q., Hochberg U., and Simone D. Castellarin S.D., (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance, Journal of Experimental Botany, Vol. 71, No. 16 pp. 4658–4676, doi:10.1093/jxb/eraa245

Laget F., Tondut J.L, Deloire A., Kelly M.T., (2008). Climate trends in a specific mediterranean viticultural area between 1950 and 2006. J. Int. Sci. Vigne vin, 42, 3, 113-123.

Lu P., Yanusa I.A.M., Walker R.R., Muller W.J., (2003). Regulation of canopy conductance and transpiration and their modelling in irrigated grapevine, Functional Plant Biology, 30, 689-698.

Medrano H., Escalona J.M., Cifre J., Bota J., Flexas J., (2003). A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under filed conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality, Functional Plant Biology, 30, 607-619.

Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A., (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. Vitis, 40 (3), 141 – 145.

Pellegrino A., Lebon E., Simonneau T. And Wery J., (2005). Toward a simple indicator of water stress in grapevine (Vitis vinifera L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. Aust. J. Grape Wine Res., 11, 306-315.

Pellegrino A., Gozé E., Lebon E. And Wery J., (2006). A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. Europ. J. Agronomy, 25, 49-59.

Rapport du GIEC, Résumé pour les décideurs, (2021): https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Scholasch T., and Rienth M., (2019). Review of water deficit mediated changes in vine and berry physiology; Consequences for the optimization of irrigation strategies, OENO One, 3, 423-444, DOI: 10.20870/oeno-one.2019.53.3.2329

Sorek Y., Greenstein S., Netzer Y., Shtein I., Jansen S., and Uri Hochberg U., (2021). An increase in xylem embolism resistance of grapevine leaves during the growing season is coordinated with stomatal regulation, turgor loss point and intervessel pit membranes, New Phytologist, 229: 1955–1969

Torres N., Yu R., Martínez-Lüscher J., Kostaki E., and Kurtural S.K., (2021)a. Effects of Irrigation at Different Fractions of Crop Evapotranspiration on Water Productivity and Flavonoid Composition of Cabernet Sauvignon Grapevine, Frontiers in Plant Science, Volume 12 | Article 712622

Torres N., Yu R., Martínez-Lüscher J., Kostaki E., and Kurtural S.K., (2021)b. Application of Fractions of Crop Evapotranspiration Affects Carbon Partitioning of Grapevine Differentially in hot climate, Article in Frontiers in Plant Science · January 2021, DOI: 10.3389/fpls.2021.633600

Van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., and Gaudillère J.P., (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard, management purposes? J. Int. Sci. Vigne Vin, 2009, 43, N°3, 121-134

Van Leeuwen C. And Seguin G., (1994). Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et

la maturation du raisin (Vitis vinifera variété Cabernet franc, Saint-Émilion, 1990). J. Int. Sci. Vigne Vin, 28, 81-110

Wang Z., Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Lopez F., (2003). Study of Sugar Phloem Unloading in Ripening Grape Berry under Water Stress conditions. J. Int. Sci. Vigne vin, 37, 4, 213 – 222.

Williams L.E., Ayars J.E., (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy, Agricultural and Forest Meteorology, 132, 201-211.

Millésime 2022 dans le Sud-ouest : quels constats en viticulture ?

Thierry Dufourcq et Camille Guilbert, Institut Français de la Vigne et du Vin

thierry.dufourcq@vignevin.com

2022 est l'année la plus chaude de l'histoire de la météo en France, l'annonce a été faite par Météo France dès la fin du mois de novembre. Nos références sont bousculées car lorsque les valeurs météorologiques moyennes se déplacent, les valeurs extrêmes battent des records. Le cas 2022 est là pour nous rappeler que ce millésime climatiquement exceptionnel, comparable à celui de 2003…il y a 20 ans, va se normaliser à horizon 2050 laissant préfigurer d'autres exceptions bien plus redoutables.

Les aléas qui ont aussi accompagné ce millésime (gel et grêle) dans certaines zones du sud-ouest ne sont pas abordés dans ce document. Même s'il est ainsi difficile d'apprécier les contributions de chaque évènement sur la production, elle est annoncée en baisse de 20% par rapport à la moyenne quinquennale pour l'ensemble des vignobles du Sud-ouest (source Agreste Octobre 2022 - n°2022-124).

La vigne est confrontée aux effets du climat de manière très marquée mais demeure une plante plastique et robuste. La viticulture s'est développée dans de très nombreuses régions du monde avec des climats très différents. Il apparait plus que jamais nécessaire de se comparer entre vignobles pour gagner en expérience et résilience, pour affiner les stratégies d'adaptation sans oublier de s'engager vers l'atténuation des effets de nos sociétés sur le réchauffement global.

Pour comparer les données climatiques du Sud-ouest en 2022, nous avons ajouté des informations issues de stations situées près de Narbonne (Ouveillan) et de Nîmes (Rodilhan). Nous avons utilisé les ressources de données météorologiques disponibles en bases de données à l'IFV pour alimenter les modèles de prévisions des maladies (https://www.vignevin-epicure.com/). Ces données permettent de calculer des indicateurs agro-climatiques spécifiques pour la vigne qui servent à comparer les évolutions sur nos différentes régions viticoles.

Des cumuls de températures équivalents ou supérieurs à 2003

Les cumuls de températures ont été en moyenne sur le sud-ouest de 23% supérieurs à la période 2010-2019 mais de 21% inférieurs aux cumuls en zone méditerranéenne (figure 1). Les données relevées vont de 1676 degré.jours (°C.j)

Tableau 1 : Classification climatique d'après Tonietto et Carbonneau (2004)

Cumul des températures moyennes du 1/04 au 30/09 (°C.jours) supérieure à 10°C	Classification climatique	Références « historique »
940	très frais	Geisenheim
940-1200	frais	Loire
1200-1450	tempéré	Bordeaux
1450-1700	tempéré chaud	Montpellier
1700-2200	chaud	Jerez
2200	très chaud	Petrolina

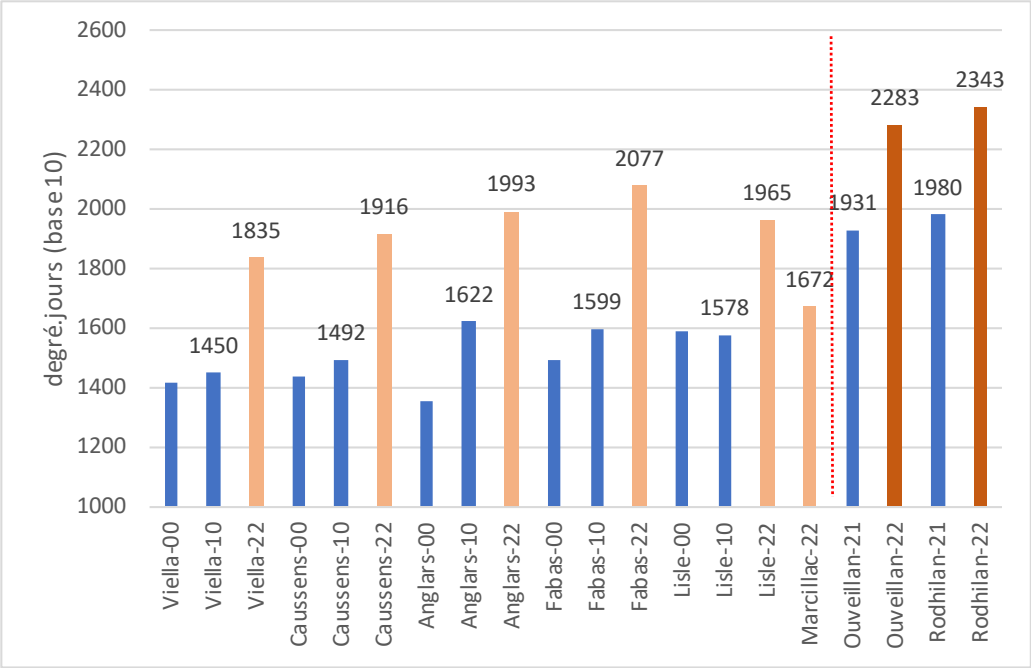


Figure 1 : somme des températures entre le 1/04 et le 30/09 sur les différents vignobles du sud-ouest et en Occitanie méditerranéenne ; Viella (Madiran), Caussens (Côtes de Gascogne), Anglars (Cahors), Fabas (Fronton), Lisle (Gaillac), Marcillac (Marcillac) et Ouveillan (Aude), Rodilhan (Gard) ; -00 = moyenne entre 2000 et 2009, -10 = moyenne entre 2010 et 2019, -21 = millésime 2021, -22=millésime 2022.

à Marcillac à 2077 °C.j à Fronton (Fabas) qui a été la zone viticole la plus chaude des vignobles du Sud-ouest. Dans la classification climatique publié par Tonietto et Carbonneau (2004), ces valeurs correspondent au climat « historique » du sud de l'Espagne. On peut aussi observer que sur l'arc méditerranéen, les cumuls ont dépassé les 2200°C.j (Tableau 1).

La somme des températures journalières (somme journalière des températures moyennes-10°C entre le 1er avril et le 30 septembre) est un indicateur thermique simple qui renseigne du comportement de la vigne en termes de croissance, de phénologie et de maturité. Il permet de bien discriminer les millésimes et les zones.

24 jours en moyenne avec une température maximale supérieure à 35°C

L'été 2022 a été marqué par la présence de 3 épisodes caniculaires allant de 1 à 2 semaines. Ils sont répartis sur les mois de juin, juillet et août. Météo France considère un épisode caniculaire lorsque plusieurs jours consécutifs ont une température moyenne supérieure à 25°C. Les températures estivales à Fronton (figure 2) ont été nettement plus chaudes que la moyenne des 10 dernières années sur toute la campagne viticole.

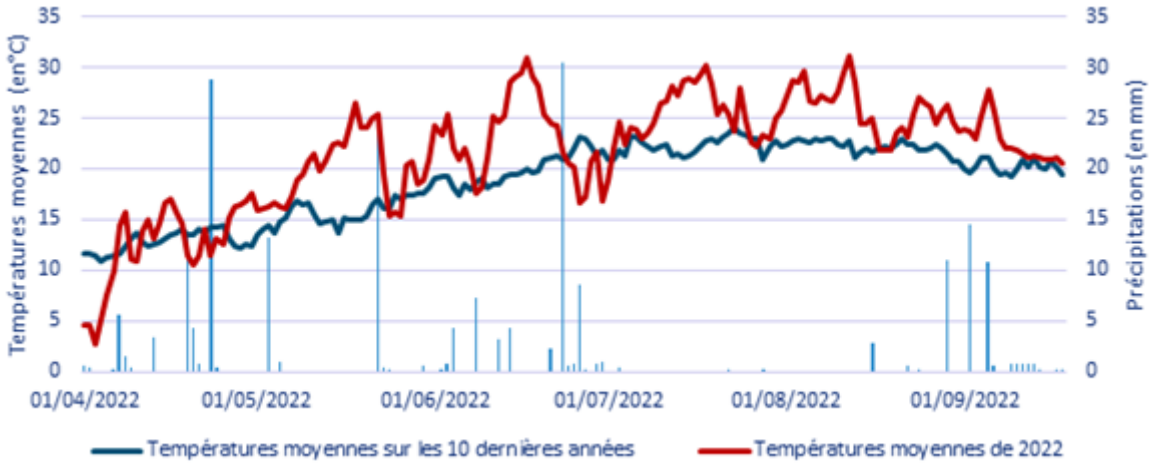


Figure 2 : Evolution de la température moyenne à Fronton (31) du 1er avril au 30 septembre 2022

Comme en 2003, qui est dans le Sud-ouest le millésime de référence en termes de canicule estivale, le nombre de jours avec température maximale supérieure à 35°C explose les valeurs habituelles en se situant de 19 jours à Madiran à 29 jours à Cahors (figure 3).

Les températures supérieures à 35°C affectent la photosynthèse et peuvent entrainer des dégâts de brulures sur les feuilles et les grappes. Elles entrainent aussi une augmentation de l'évaporation de l'eau du sol.

ment aux déficits hydriques de la vigne plus que le manque de pluie.

La relation entre le stress hydrique de la vigne et le facteur « pluie » n'est pas directe. La vigne est une plante de peu de besoin en eau qui peut se développer dans des conditions arides. Il est nécessaire d'envisager une forme plus aboutie de relation qui fait appel au bilan hydrique en prenant en compte les entrées, les sorties et les réserves. Pour rappel, en 2016 qui a été une des années récentes la plus sèche sur la Gascogne,

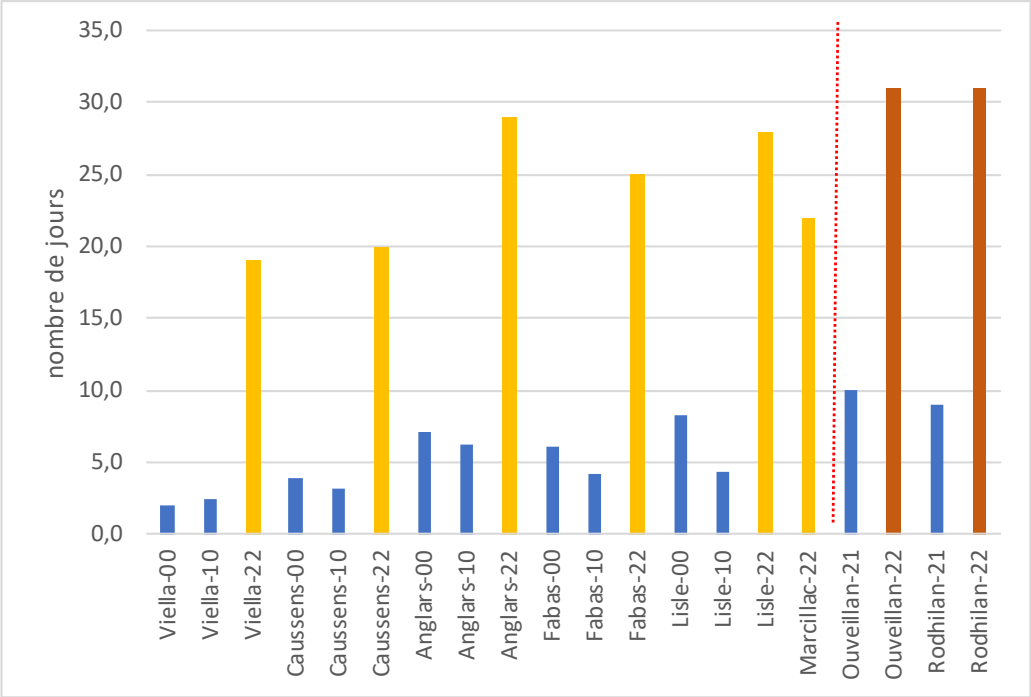


Figure 3 : Nombre de jours avec température journalière maximale supérieure à 35°C ; Viella (Madiran), Caussens (Côtes de Gascogne), Anglars (Cahors), Fabas (Fronton), Lisle (Gaillac), Marcillac (Marcillac) et Ouveillan (Aude), Rodilhan (Gard) ; -00 = moyenne entre 2000 et 2009, -10 = moyenne entre 2010 et 2019, -21 = millésime 2021, -22=millésime 2022.

Augmentation de l'ETP couplée à des précipitations estivales erratiques

L'augmentation de la température sur tous les mois de l'année en 2022 a entrainé une évapotranspiration record dans le Sud-ouest en atteignant ou dépassant les 1000mm annuels (figure 4). Le cumul des précipitations a été plus erratique en fonction des zones viticoles. En moyenne, nous avons observé environ 10% de précipitations en moins que ce soit sur la période végétative ou la période estivale, mais avec de fortes variabilités de +9% à -33% sur le cycle et de +3% à -36% en été (tableau 2). C'est sur la station de Lisle/Tarn (vignoble de Gaillac) qu'il a le moins plu en 2022. Le stress thermique et l'évapotranspiration ont contribué grande-

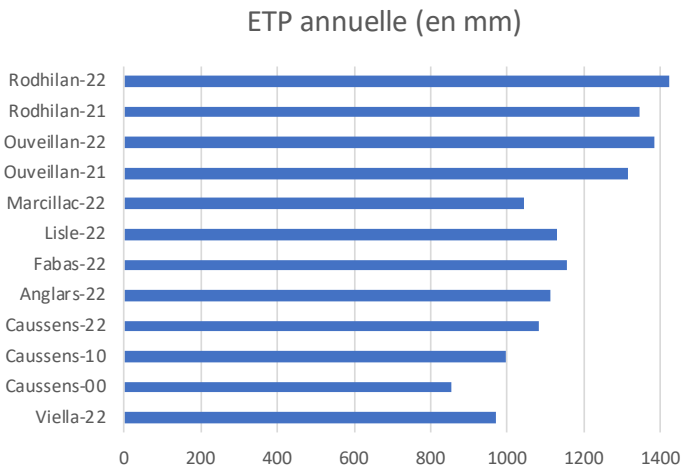


Figure 4 : Cumul de l'évapotranspiration annuelle (ETP) sur les vignobles du Sud-ouest et en Occitanie méditerranéenne

Tableau 2 : cumul des précipitations sur les différents vignobles du Sud-ouest et en Occitanie méditerranéenne ; Viella (Madiran), Caussens-Eauze (Côtes de Gascogne), Anglars (Cahors), Fabas (Fronton), Lisle (Gaillac), Marcillac (Marcillac) et Ouveillan (Aude), Rodilhan (Gard)

	Cumul des pluies (mm) sur le cycle (1/04 au 30/09)			Cumul des pluies estivales (mm) (1/06 au 31/08)		
Station	Moyenne 2000-2019	2022	% écart	Moyenne 2000-2019	2022	% écart
Viella	375	291	-22%	159	125	-21%
Caussens	318	278	-13%	144	184	28%
Eauze	348	233	-33%	144	123	-15%
Anglars	368	403	9%	165	170	3%
Fabas	301	290	-4%	140	125	-11%
Lisle	311	278	-11%	139	89	-36%
Ouveillan		184			28	
Rodilhan		366			81	

la production a atteint un record en termes de volumes produits (104 hl/ha de moyenne sur l'ensemble du vignoble), le stress hydrique tant redouté pour pénaliser le rendement n'a pas été si limitant cette année-là.

Le bilan hydrique simplifié comme indicateur global pour comparer les déficits

Ce bilan hydrique simplifié prend en compte la réserve en eau de sol (W0), le cumul des précipitations sur le cycle, la transpiration de la vigne, l'évaporation du sol et de l'enherbement s'il est présent. On peut classer les vignobles en relation avec des catégories de sécheresse, de très sec à humide pour une réserve initiale en eau du sol importante de 200mm (Tonietto et Carbonneau, 2004). La valeur obtenue fait référence à l'état de sécheresse en fin de saison.

Pour pouvoir comparer nos zones viticoles du sud-ouest certains paramètres sont fixés, comme la géométrie de la plantation, la hauteur de feuillage et la couverture du sol. Dans notre cas comparatif nous avons choisi une vigne plantée à 2.5m d'écartement avec une hauteur de feuillage de 1.2m et 30% d'enherbement correspondant à un enherbement d'un rang sur deux.

On peut mesurer l'impact de la réserve initiale en eau du sol sur le bilan hydrique (figure 5) : les sols à faible réserve (100mm) ont dans toutes les zones dépassés un indice de sécheresse (IS) de -100 classé comme très sec et potentiellement pénalisant pour la production. En revanche, avec une réserve initiale de 200mm les zones de Madiran, Cahors et Marcillac restent classées en IS « sec modéré », potentiellement favorables à la production des vins rouges de ces appellations.

Tableau 3 : catégories et indices de sécheresse

Catégorie de sécheresses	Indice de sécheresse (IS) pour W0 = 200mm	Références « historique »
Très sec	<-100	Jerez
Sec modéré	>-100≤50	Montpellier
Sub-humide	>50≤150	Bordeaux
Humide	>150	Macon

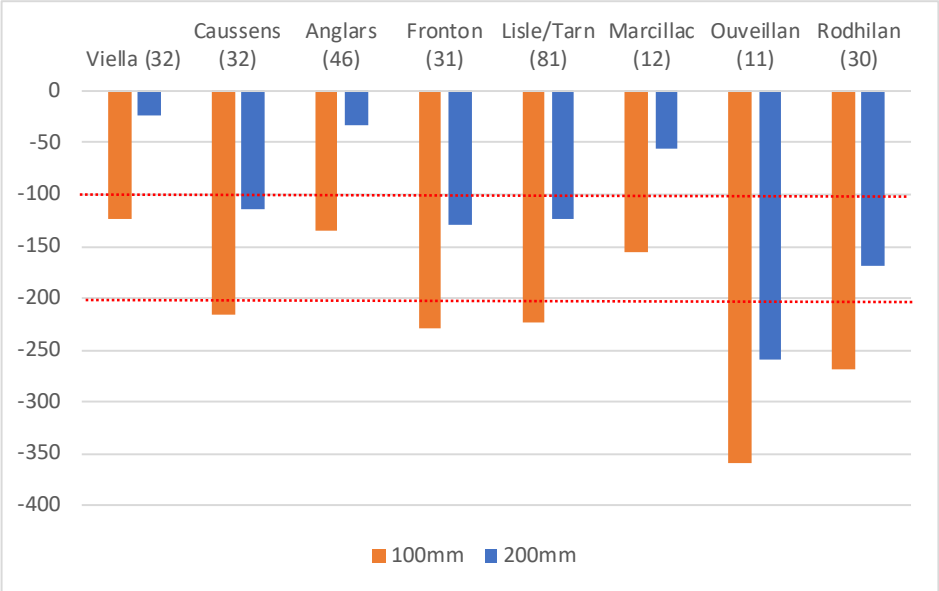


Figure 5 : Evolution des bilans hydriques pour des sols à réserve de 100 et 200mm sur les différents vignobles du Sud-ouest et en Occitanie méditerranéenne

Comment comparer le comportement hydrique des cépages du sud-ouest ?

Le δ13C est la variation relative du rapport 13C/12C entre une référence (le VPDB) et l'échantillon considéré. La mesure se fait généralement sur les sucres des raisins à la récolte car c'est là que se trouve la plus grande quantité de carbone. Elle permet de caractériser le comportement hydrique de la vigne pendant la période d'accumulation des sucres. C'est un indicateur généraliste qui renseigne a posteriori de l'état des vignes. Des valeurs de références sont proposées pour la vigne (Van Leeuwen et al., 2009) (tableau 3). On obtient des relations très robustes avec les potentiels hydriques mesurés sur les feuilles. Cet indicateur est utile pour comparer le comportement de cépages sur différentes parcelles. Il est bien corrélé à la fraction d'eau disponible pour la vigne en fin de cycle et donc aux réserves en eau du sol pendant la saison.

Tableau 3 : seuil de déficit hydrique de la vigne et relation avec l'indice δ13C

Déficit hydrique	$\delta^{13}C$
Absence	<-26
Léger	[-24,5 à -26[
Léger à modéré	[-23 à -24,5[
Modéré à fort	[-21,5 à -23[
Fort	-21,5<

Nous avons utilisé cet indicateur sur deux collections de cépages du Sud-ouest, non irriguées, cultivées sur des parcelles globalement homogènes à Fronton et en Aveyron. L'observation de cet indicateur pour comparer le comportement hydrique de cépages ou variétés sur un même sol est à considérer avec plus de prudence. Sur les 2 collections, non irriguées, on peut observer une variabilité qui ne correspond pas forcément aux expressions phénotypiques sur la parcelle, notamment les symptômes de défoliation. Ainsi, sur la parcelle de Fronton, le Guillemot, le Camaraou et surtout le Manseng vert présentaient les signes de stress les plus marqués alors que leurs indices δ13C sont restés intermédiaires. En Aveyron, c'est le Malpé qui était le plus affecté alors que son indice δ13C est le plus négatif de la série (le moins stressé !). Des co-facteurs comme la vigueur, la surface foliaire, la conductance stomatique doivent être partie prenante dans la différence d'assimilation des isotopes de carbone.

Pour acquérir des références sur nos cépages anciens ou les nouvelles variétés en évaluation, sources potentielles d'adaptation au changement climatique, il s'agit certainement d'agréger un ensemble de variables pour analyser de manière multifactorielle leur comportement vis-à-vis des contraintes thermiques et hydriques. L'observation de la vigne et son évaluation demeure encore un moyen essentiel à préserver.

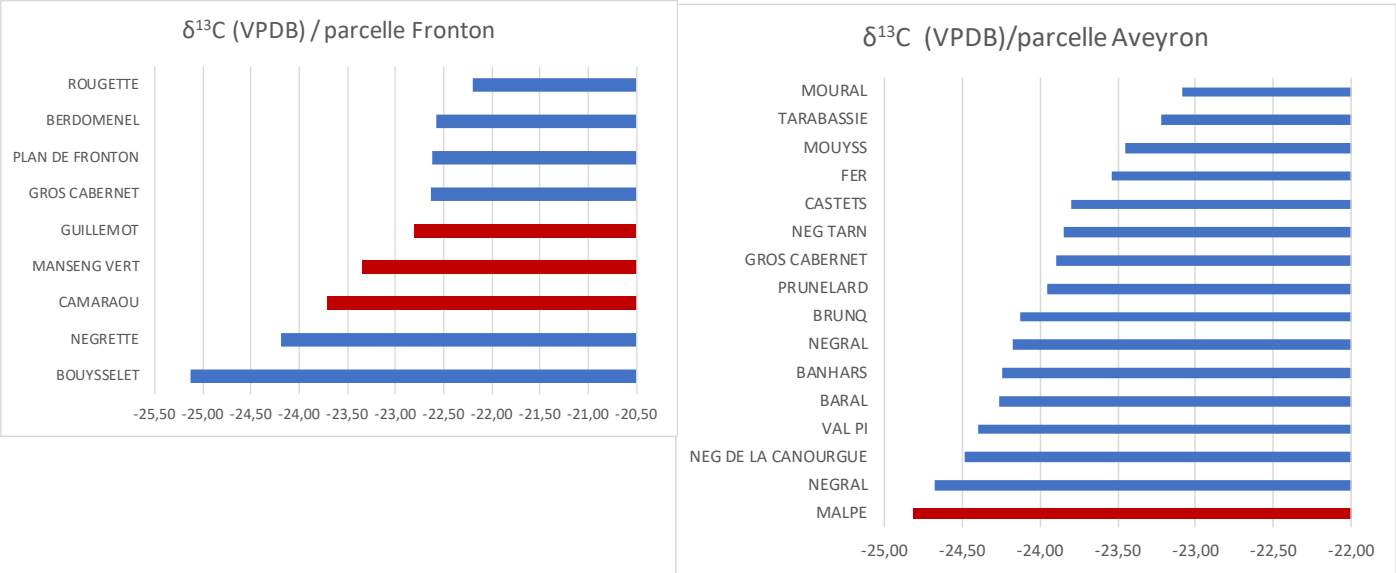


Figure 6 : variabilité du δ13C sur 2 collections de cépages du Sud-ouest en 2022

Références

Dufourcq, Thierry; Katgerman, Paul (2020) Quelles réelles évolutions du climat depuis 20 ans sur nos vignobles ? In : IFV Sud-ouest, coord.: Les vignobles du Sud-ouest face au changement climatique, une urgence technico-économique ? 5e Assises des vins du Sud-ouest. Toulouse: IFV Sud-ouest, p. 7–13.

Tonietto, Jorge; Carbonneau, Alain (2004) A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. In : Agricultural and forest meteorology, vol. 124, n° 1-2, p. 81–97.

van Leeuwen, Cornelius; Trégoat, Olivier; Choné, Xavier; Bois, Benjamin; Pernet, David; Gaudillère, Jean Pierre (2009) Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? In : Journal International des Siences de la Vigne et du Vin, vol. 43, n° 3, p. 121–134.

Techniques d'irrigation et innovations des systèmes

Marc Gelly, Ag-Irrig
Ag-Irrig, 13 Chemin des Mas, 30190 Aubussargues

marc.gelly@ag-irrig.fr

En agriculture, l'irrigation est utilisée dans certaines conditions climatiques comme un outil pour aider la plante à répondre à des contraintes pouvant avoir un impact négatif sur son fonctionnement, sa production et la qualité du produit final.

En viticulture, l'irrigation est nécessaire dans quelques zones de faibles précipitations suivant les objectifs et les années. Cet apport d'eau peut garantir une récolte de qualité certaines années et dans de rares cas assurer la survie du végétal.

Nous reprenons ici quelques aspects des techniques et du matériel qui permettent d'optimiser l'utilisation de l'eau en vigne.

Rappels sur l'irrigation

La disponibilité en eau pour le végétal affecte presque tous les aspects de la croissance et de la productivité des plantes. Une gestion précise de l'irrigation sous le contrôle du producteur basée sur le besoin de la vigne représente un outil puissant.

L'objectif fondamental de l'irrigation de précision en viticulture est d'influencer l'activité des plantes, de sorte que la santé et la production du vignoble soient optimisées dans les conditions environnementales du terroir.

L'irrigation est une technique millénaire et a toujours été utilisée en vigne comme sur d'autres cultures dans les zones sèches ou très sèches.

En France, l'irrigation en viticulture est relativement récente et très encadrée, avec des règles peu agronomiques mais qui tendent à évoluer face aux besoins réels de terrain.

Depuis la démocratisation du goutte à goutte au début des années 1960, il n'y a pas de révolution de l'irrigation en général ni en vigne en particulier. Au fil des années, il y a eu des évolutions techniques du matériel, l'acquisition de connaissances sur le besoin de la plante et l'amélioration de la gestion de l'apport d'eau, qui ont permis une optimisation de l'utilisation de la ressource en fonction d'un objectif de production.

Les principales nouveautés de ces dernières années se basent sur la communication et la connectivité des objets et sur le développement des outils de pilotage. Mais en irrigation en plein champs, même très bien équipé technologiquement, sans une maintenance de terrain réalisée de la main de l'homme, un système est dégradé voire inutilisable en quelques saisons.

En France, nous reprenons certaines techniques que nous appelons innovantes, mais qui sont déjà acceptées et utilisées dans d'autres régions du monde.

Goutte à Goutte

Lorsque l'on parle irrigation en viticulture, c'est principalement irrigation au goutte à goutte, cependant, il y existe d'autres méthodes d'irrigation en général (Clemmens and Dedrick 1994) et en particulier sur la vigne comme l'irrigation gravitaire (Deloire, 2008) et l'aspersion lourde (Rouchaud, E. et Rospars, T. 2009) que nous n'aborderons pas ici.

L'irrigation au goutte à goutte permet un apport précis, rapide, contrôlé et flexible en viticulture et dans la plupart des culture pérennes et cer-

taines grandes cultures (Brouwer et al. 1985, Brouwer and Heibloem 1986).

En termes de matériel, les lignes avec des goutteurs ont été développées fin des années 1950 avec la progression des matières plastiques.

Très rapidement ce type d'irrigation s'est étendu dans les régions sèches. L'évolution vers le matériel que nous connaissons actuellement s'est faite en 40 ans avec le développement des lignes de goutteurs intégrés (années 70) auto-régulant et anti-syphon (années 90).

Ces évolutions permettent qu'aujourd'hui, le goutte à goutte soit effectif, régulier et uniforme, à des pressions de moins de 1 bar, avec des débits et distances entre goutteurs à la demande. Grace à une facile modularité, les réseaux de goutte à goutte peuvent être installés sur des terrain plats ou en pentes prononcées.

Pour un fonctionnement uniforme et régulier, le dimensionnement correct du réseau extra et intra parcellaire est indispensable afin de calculer les diamètres et longueurs de tuyaux en fonction des différentes pertes de charges, et déterminer la dichotomie du parcellaire. Cette partie est encore malheureusement trop souvent négligée.

D'un point de vue agronomique il est judicieux d'adapter débits et distances entre goutteurs suivant les sols (Deloire 2008), à minima au niveau de la parcelle. Mais cela ne se fait guère actuellement en France où l'irrigation en viticulture à tendance à s'uniformiser sous la forme de goutte à goutte 1,6l/h tous les mètres.

Le goutte à goutte posé directement au sol à l'avantage d'émettre l'eau au même endroit et limiter l'évaporation directe, mais en découlent des inconvénients liés à la mécanisation sous les souches.

Le goutte à goutte suspendu ou conduit le long d'un fil porteur permet la mécanisation du sol (Photo 1). Ces systèmes hors-sol demandent une surveillance régulière du bon positionnement des agrafes ou attaches sur fil porteur et des suspentes.

Irrigation au goutte à goutte enterré

L'irrigation enterrée existe maintenant depuis de nombreuses années dans le monde et est autorisée en France depuis septembre 2017. Les lignes d'irrigation peuvent se positionner pratiquement sous le rang de vigne ou dans l'allée, en dessous de la profondeur maximale de travail du sol (Photo 2).

Les gaines de goutteurs peuvent être plus ou moins techniques, avec des système anti-syphon pour éviter l'intrusion de particules par aspiration et des éléments de cuivre limitant le développement fongique ou l'entrée de radicelle par exemple.

Ce type d'installation ne peut pas se faire dans tous les types de sols, l'installation est plus tech-

Photo 1 : Irrigation en pente, lignes de goutteur 2l/h auto-régulant tous les 1m, sur fil porteur

Photo 2 : Départ de peigne d'irrigation enterrée

nique et plus chère, mais présente différents avantages (Biswas and McCarthy, 2008). D'un point de vue utilisation de l'eau, l'irrigation enterrée est plus économe car il n'y a pas de perte directe par évaporation, la mécanisation de surface est possible, il n'y a pas d'alimentation directe d'herbes concurrentes et les dégâts liés aux ravageurs de surfaces et plombs de chasses pratiquement exclus.

Cependant, quelques inconvénients peuvent être mis en avant comme le risque (faible) d'attaque par des rongeurs souterrains ou des fourmis en quête d'humidité. Pour les fourmis, en sortie d'hiver très sec, un apport d'eau bref en période de remontée de température du sol semble limiter voire annuler les dégâts.

Pour les rongeurs, la difficulté est sur de faibles apports, savoir s'il y a des fuites et connaître les endroits de ces fuites. Cela passe par un suivi précis des tours d'eau.

L'irrigation enterrée nécessite un contrôle exhaustif des apports par l'intermédiaire de débitmètres enregistreurs sur un pas de temps court si possible. Il est nécessaire de savoir quand, combien et sur quelle plage de temps l'irrigation a eu lieu, et comparer cela aux irrigations théoriques ou précédentes. Toute variation importante marque un problème soit de fuite soit de colmatage. Ce type de suivi s'applique également aux gouttes à gouttes en surface.

La purge des systèmes enterrés se fait par un ou plusieurs contre-peigne, ou par une sortie en tuyau aveugle ressortant sur le dernier piquet et terminé par une vannette. L'avantage de cette variante d'installation est de pouvoir réaliser des purges ligne par ligne, des contrôles de pression et ainsi détecter d'éventuels problèmes sur une seule ligne.

En fin de vie du système d'autres inconvénients s'ajoutent, il faut déterrer les gaines, et leur recyclage n'est pas encore optimisé.

Micro-aspersion

La micro-aspersion en alignement sur la frondaison apparaît aujourd'hui en France en test, principalement en lutte anti-gel, mais elle est déjà développée en irrigation dans des pays plus souples au niveau de la réglementation (Italie, Espagne). Cette micro-aspersion peut également aider en cas de coup de chaleur à baisser la température, augmenter l'humidité relative. Elle est parfois utilisée pour des apports foliaires nutritifs ou de biocontrôles, et donc comme lutte antigel (Sparrow and Nicholas, 2004).

Le système consiste en un micro-asperseur placé sur un piquet de vigne et propulsant l'eau dans le sens du rang. A la différence d'une aspersion intégrale qui arrose un cercle, ce type d'aspersion semble économe en eau, 10m3/h/ha annoncé par certains fabricants suivant les distances de plantation, et peut fonctionner à des pressions de fonctionnement de 2 à 3 bars.

Ce pourrait être, pour certains vignobles ou partie de vignoble, une solution intéressante, éventuellement à coupler au goutte à goutte. Avec l'inconvénient bien entendu du coût d'installation et de maintenance.

Filtration

Il y a pratiquement toujours des particules en suspension dans l'eau d'irrigation. Ces particules peuvent être plus ou moins nombreuses, organique ou inorganique. En fonction de cela, il faudra prendre les mesures nécessaires pour éliminer ces impuretés afin de protéger adéquatement le système d'irrigation, en particulier les goutteurs (Nicholas and Sparrow, 2004).

La filtration doit donc s'adapter suivant le type d'impureté et du volume de passage. La qualité varie au cours de la saison suivant les sources d'eau (pompage en rivière, retenu d'eau, réseau sous pression…).

Les systèmes de filtres autonettoyants permettant un contre lavage en cas de delta entre la pression d'entrée et de sortie trop important sont généralement installés. Mais cela ne veut pas dire qu'il ne faut pas les entretenir, les nettoyer. Un contre lavage qui se met en route tous les quarts d'heure est synonyme d'un dysfonctionnement, et d'une irrigation inférieure à celle prévue. Les derniers systèmes incluent de l'air dans le contre-lavage, ce qui permet une économie de 30% dans cette phase.

La modularité des systèmes de filtrations devient plus simple, les surfaces de filtrations augmentent suivant les besoins. Dans certains cas, un système de by-pass peut également être mis en place, ce qui autorise la maintenance sans pour autant arrêter l'irrigation (Photo 3).

Dans tout système d'irrigation, la maintenance est ce qui fera la pérennité du réseau et l'uniformité des apports. Cependant, c'est aspect est très souvent négligé, principalement par manque de connaissance et d'information.

Photo 3 : Système de by-pass permettant la maintenance du filtre sans arrêt de l'irrigation. A noter la facilité d'accès à tous les éléments pour l'entretien.

Irrigation déficitaire contrôlée RDI Regulated Deficit Irrigation

Parmi les techniques d'irrigation de précision, l'irrigation déficitaire contrôlée (Dry, 2010, Goodwin and Jerie, 1989) est certainement celle qui est la plus répandue, en particulier dans les zones limitées en eau. Cette technique consiste en connaître les besoins en eau de la plante suivant les objectifs de production et les périodes où appliquer un stress modéré n'est pas contre-productif. Cela revient à arroser de manière optimale lors des stades phénologiques intéressant (développement cellulaire de la baie, grossissement de la baie) et réduire ou arrêter les apports d'eau lors d'autres périodes, et ainsi limiter l'apport total.

Pour appliquer correctement l'irrigation déficitaire contrôlée, il est nécessaire de suivre la physiologie de la vigne mais aussi le contenu en eau du sol et/ou l'état hydrique de la plante.

Dessèchement partiel de la zone racinaire PRD Partial Rootzone Drying

Parmi les techniques d'irrigation au goutte à goutte économe en eau, l'irrigation déficitaire partielle de la zone racinaire est une évolution de la précédente (Kriedemann and Goodwin, 2003). Cette technique développée en Australie sur des sols profonds dans des zones en manque d'eau consiste à irriguer un côté de la plante puis l'autre, pour un apport en eau abaissé jusqu'à 50% par rapport à une irrigation optimale, avec une différence de production existante, mais limitée. Ce système demande une double installation du système d'irrigation dans la parcelle.

Comme la technique précédente, il est nécessaire de suivre la physiologie de la plante et un indicateur d'état hydrique ou de disponibilité en eau au minimum.

Irrigation au goutte à goutte à débit variable VRDI Variable Rate Drip Irrigation

Parmi les techniques d'irrigation, le VRDI ou irrigation au goutte à goutte à débit variable est la plus récente à cause de l'utilisation de technologie d'imagerie aérienne. Elle consiste à cartographier les zones de croissances différentes d'une parcelle, principalement par NDVI, et à diviser en pratiquement autant de sous-parcelles des zones irriguées indépendantes (AL-Agele,et al. 2021 ; Bellvert et al. 2021, Martínez-Casasnovas et al. 2009). Cette approche demande une forte technicité et un investissement conséquent, en matériel et temps humain, même si tout est automatisé, la maintenance doit être optimale.

Afin de limiter le coût de l'installation, le nombre de sous parcelles d'irrigation sera limité, comme dans l'exemple Photo 4, où avec 2 électrovannes le viticulteur irriguera les zones vigoureuses indépendamment des moins vigoureuses.

Automatisation et pilotage

De nombreuses solutions existent pour ce qui est de l'automatisation du réseau, que ce soit pour de l'irrigation goutte à goutte ou autre. Techniquement il est possible de piloter de très petites surfaces à distance, sans les connaitre, grâce à des applications téléphoniques ou un site inter-

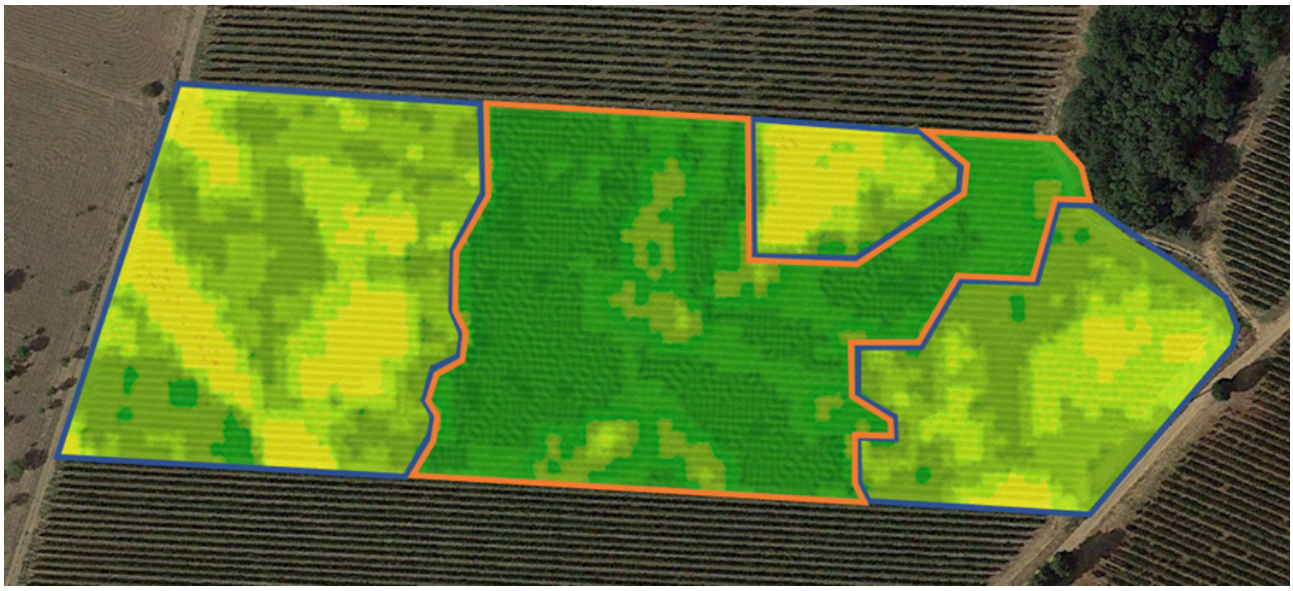


Photo 4 : Schéma suivant NDVI pour du pilotage d'irrigation au goutte à goutte à débit variable en 2 secteurs.

net en se basant sur d'autres outils indiquant l'état hydrique du sol ou de la plante.

Généralement présentés comme des améliorations pour le travail du professionnel, tous ces outils ont un coût d'installation, d'apprentissage, d'utilisation et de maintenance non négligeable et souvent, à part celui de l'achat initial, sous-estimé.

Nous ne rentrons pas ici dans ce type d'outils, quelques références apportent de nombreuses informations sur ces sujets (Finco et al. 2021 ; Mirás-Avalos and Araujo 2021).

La formation

L'enseignement de l'irrigation en vigne n'est pas général en France, voire totalement absent dans certains cursus. Il y a moins de 20 ans, l'irrigation de la vigne en France était mal vue dans la profession, voire décriée – alors qu'enseignée en Espagne ou Italie depuis les années 80. Certains techniciens et viticulteurs n'ont donc pas eu accès à certaines connaissances et essaient de combler cela.

Nous avons observé au cours de ces 5 dernières années, une forte augmentation de demandes de formations de la part de viticulteurs futurs irrigants. Et de plus en plus de demandes de viticulteurs déjà irrigants. L'approche de l'irrigation change très rapidement. Ces professionnels se rendent compte que ce n'est pas aussi simple qu'ouvrir des vannes aux premières feuilles jaunes. Comme nous l'avons écrit plus haut, le choix du matériel, la dichotomie de l'installation, la maintenance, le pilotage sont parmi les points clés d'un fonctionnement optimal de l'irrigation.

Cette nécessité de formation est apparue avec des aléas climatiques, principalement les sécheresses, mais aussi pour les primo-irrigant sur le besoin de maintenir le bon fonctionnement du réseau au fil des années et quelques difficultés techniques liées à l'entretien. La demande se porte également sur comment mieux gérer les apports d'eau, à quels moments les faire, avec quel volume, quels outils pour mesurer tout cela.

D'autres facteurs influent sur la demande de formation, comme le besoin de maintenir voire d'améliorer la qualité des produits de certaines caves, la nécessité d'une meilleure gestion de l'eau de quelques associations syndicales autorisées et la survie de domaines privés, le tout associé à la séparation du conseil et de la vente en agrofourniture.

Le fait est que depuis 2017-2018, il y a une demande accélérée de formation en irrigation de précision, à la fois pour techniciens qui proposent des services, mais aussi pour les viticulteurs, qui souhaitent comprendre leur matériel, mieux utiliser l'outil irrigation et optimiser les apports en fonction de leurs objectifs.

Cette prise de conscience est probablement la principale (r)évolution en irrigation viticole en France.

Synthèse

Le matériel d'irrigation actuel permet des apports différents, en temps, en lieux, en quantité, et ainsi propose une flexibilité et une rapidité d'action. Cependant, vouloir optimiser les apports par rapport à un terroir, une parcelle ou en intra parcellaire représente des compétences spécifiques, un coût matériel, de maintenance et de fonctionnement.

Il est nécessaire pour le viticulteur de trouver un équilibre entre économie et efficacité de l'utilisation de l'eau, tout en sachant que cet équilibre sera probablement sujet à variation.

Avant de réaliser une installation d'irrigation, il faut bien la penser, autant d'un point de vue agronomique que technique. De manière générale, il est nécessaire de la réaliser étape par étape afin d'apprendre, ne pas négliger les éléments de contrôles tout en sachant les utiliser, anticiper les besoins de maintenance et d'automatisation. La formation des techniciens et des irrigants devient indispensable pour ces différents points.

L'irrigation est actuellement considérée comme le principal levier à utiliser pour combattre le déficit hydrique associé au dérèglement climatique. Mais elle a des limites liées à la ressource ou pour la lutte lors d'épisodes climatiques extrêmes (dans l'intensité et/ou le temps). Ce ne doit donc pas être l'unique levier disponible pour les viticulteurs, il faut aussi jouer avec les variétés résistantes, densité de plantation, surface foliaire ou protection du sol, entre autres.

Références

Al-Agele, H.A., Jashami, H., Nackley, L. and Higgins, C. 2021. A Variable Rate Drip Irrigation Prototype for Precision Irrigation. Agronomy, 11, 2493.

Bellvert, J., Mata, M., Vallverdú, X., Paris, C. and J. Marsal. 2021. Optimizing precision irrigation of a vineyard to improve water use efficiency and profitability by using a decision-oriented vine water consumption model. Precision Agric. 22 :319–34.

Biswas, T.K. and McCarthy, M. 2008. Subsurface drip irrigation (SDI) in wine grapes for managing salt nutrients ans soil structure. The Australian & New Zealand Grape Grower & Winemaker. 537 :60-63.

Brouwer, C. and Heibloem, M. 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs, Trainning Manual 3. FAO.

Brouwer, C., Goffeau, A. and Heibloem, M. 1985 Irrigation water management : Introduction to Irrigation. Training Manual 1. FAO.

Clemmens, A.J. and Dedrick, A.R. 1994. Irrigation techniques and evaluations. Advanced series in agricultural sciences (Tanji, K.K. and Yaron, B., Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 64-103.

Deloire, A. 2018. Irrigation de la vigne : synthèse. Article consultable http://obs.viti.herault.fr/viti/fiche_doc.jsp?idaction=null&id_doc=892&idtheme=0107.

Dry, P. 2010. Irrigation. An introduction to Regulated Deficit Irrigation. AWRI. RTP 0034

Finco, A., Bentivoglio, D., Chiaraluce, G., Alberi, M., Chiarelli, E., Maino, A., Mantovani, F., Montuschi, M., Raptis, K.G.C., Semenza, F., Strati, V. , Vurro, F., Marchetti, E., Bettelli, M., Janni, M., Anceschi, E., Sportolaro, C. and Bucci, G. 2022. Combining Precision Viticulture Technologies and Economic Indices to Sustainable Water Use Management. Water, 14, 1493.

Goodwin, I. and Jerie, P. 1989. Deficit irrigation of Chardonnay grapevines during flowering. Acta Hortic. 240 :275-278.

Kriedemann, P.E. and Goodwin, I. 2003. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. An overview of principles and applications. Land and Water Australia: Canberra.

Martínez-Casasnovas, J. A., Vallés, D. and Ramos, M. C. 2009. Irrigation management zones for precision viticulture according to intra-field variability. In : EFITA conference ; Eds. : A. Bregt, S. Wolfert, J. E. Wien, & C. Lokhorst. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Acad. Publ.. pp. 523–529

Mirás-Avalos, J.M. and Araujo, E.S. 2021. Optimization of Vineyard Water Management: Challenges, Strategies, and Perspectives. Water, 13, 746.

Nicholas, P.R. and Sparrow, D.K. 2004. Water Treatments. In : Soil Irrigation and Nutrition, Ed. P. Nicholas.

Rouchaud, E. and Rospars, T. 2009. Chambre d'Agriculture du Var. L'irrigation des vignes. 32pp.

Sparrow, D.K. and Nicholas, P.R. 2004. Irrigation Systems. In : Soil Irrigation and Nutrition, Ed. P. Nicholas.

IFV SERVICES

Formez-vous avec IFV Services

Plus de 45 stages de formation sur mesure

- Ampélographie
- Matériel végétal
- Limitation des intrants
- Agronomie
- Maladies de la vigne
- Entretien des sols
- Biodiversité
- Œnologie
- Caves et gestion des effluents
- RSE
- Diagnostic carbone

Pour en savoir plus :
www.vignevin.com/ifv-services/formations/

Qualiopi processus certifié
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
La certification qualité a été délivrée au titre de la catégorie d'action suivante : - Actions de formation