

## DOCUMENTS DE L'OCDE SUR L'ALIMENTATION, L'AGRICULTURE ET LA PÊCHERIE

Ce document est publié sous la responsabilité du Secrétariat général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

La publication de ce document a reçu l'approbation de Ken Ash, Directeur, Direction des Échanges et de l'agriculture à l'OCDE.

Des commentaires sur la série sont les bienvenus et peuvent être envoyés à [tad.contact@oecd.org](mailto:tad.contact@oecd.org).

© OCDE (2016)

---

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org).

---

## Résumé

### FOYER DE RISQUES AGRICOLES LIÉS À L'EAU: LE CAS DU SUD-OUEST DES ÉTATS-UNIS

Heather Cooley, Michael Cohen, Rapichan Phurisamban  
et Guillaume Gruère

Ce rapport analyse des projections de l'agriculture dans le Sud-Ouest des États-Unis, l'une des zones agricoles les plus arides et productives au monde, sujette à une aggravation future des risques liés à l'eau, due aux changements climatiques et une croissance économique et démographique continue. Il étudie les projections des risques liés à l'eau d'ici le milieu du siècle en l'absence de nouvelles politiques publiques et examine les conséquences attendues pour le secteur agricole, à partir des données existantes et des publications disponibles. Il est probable que la région reste une grande zone de production agricole d'ici à la moitié du siècle, mais elle ressentira les effets de disponibilités d'eau plus variables et incertaines et d'une demande en augmentation. La superficie totale irriguée devrait diminuer, au détriment principalement des cultures fourragères et de plein champ de plus faible valeur et plus gourmandes en eau. L'élevage et la production laitière sont aussi particulièrement vulnérables au manque d'eau et au changement climatique. Des conséquences sont aussi à attendre pour les échanges et l'emploi, même si les projections à ce sujet demeurent incertaines. Plusieurs démarches peuvent contribuer à réduire les risques de pénurie d'eau, dont l'utilisation plus efficace de l'eau en agriculture et dans les villes, une meilleure gestion des ressources en eau souterraines, l'investissement dans les banques d'eau et dans le recyclage des eaux usées, ainsi que les transferts d'eau bien définis.

**Mots-clés :** Agriculture et risques liés à l'eau, Compétition sur les ressources en eau, Changement climatique, Sécheresse, Californie, Bassin versant du fleuve Colorado, Sud-Ouest des États-Unis

**JEL:** Q15, Q25, Q28, Q54

#### *Remerciements*

Ce rapport a été écrit par Heather Cooley, Michael Cohen, Rapichan Phurisamban, du Pacific Institute, Oakland, Californie, et par Guillaume Gruère, de l'OCDE, Paris. Les auteurs sont reconnaissant envers les délégations de l'OCDE, notamment le Département Américain de l'Agriculture (USDA), pour les références et information fournies. Les auteurs voudraient aussi remercier Kathleen Dominique, Franck Jésus, Rachel Bae, Carmel Cahill et Robert Akam pour leurs suggestions d'améliorations portant sur des versions successives de ce rapport. Ils remercient enfin Michèle Patterson pour avoir assisté à la mise en forme de cette publication.

## Table des matières

Résumé .....	4
Introduction .....	6
1. Évolution de l'agriculture dans le Sud-Ouest américain : recul de la superficie des cultures irriguées et de l'utilisation d'eau mais hausse des revenus agricoles et des exportations .....	9
2. Incertitude à venir des disponibilités en eau face au changement climatique et à l'accroissement de la demande .....	13
3. Implications pour l'agriculture : contraintes résultant de la disponibilité moindre de l'eau et de la réduction de l'irrigation pour de nombreuses activités .....	16
4. Plusieurs options peuvent aider à atténuer les impacts négatifs prévus.....	22
Références .....	26

### Tableaux

Tableau 1.	L'agriculture du Sud-Ouest américain est fortement tributaire de l'irrigation .....	9
Tableau 2.	Les cultures irriguées sont principalement des cultures fourragères et de plein champ, même si la production est plus diversifiée en Californie (2013) .....	10

### Figures

Graphique 1	La demande totale d'eau d'irrigation dépasse les quantités disponibles dans le Colorado et l'Utah.....	7
Graphique 2.	Les prélèvements d'eau douce imputables à l'agriculture ont diminué ces 20 dernières années.....	11
Graphique 3.	La Californie affiche la plus forte hausse des revenus de l'activité agricole.....	13
Graphique 4.	Disponibilités et utilisation passées des eaux du bassin du Colorado et projections pour l'avenir.....	15
Graphique 5.	Nombre moyen d'emplois par acre de terre irriguée, par grands types de cultures .....	21

### Encadrés

Encadré 1.	Mesures adoptées pour remédier à la surexploitation des eaux souterraines en Californie .....	17
Encadré 2.	Quelles politiques envisager pour remédier à l'utilisation intensive des eaux souterraines dans l'agriculture ? .....	23

## Résumé

**Bien qu'il s'agisse de la zone la plus aride du pays, le Sud-Ouest des États-Unis – défini ici comme l'ensemble constitué par l'Arizona, la Californie, le Colorado, le Nevada, le Nouveau Mexique et l'Utah – est l'une des zones agricoles les plus productives du monde.** Dans cette région, près de 75 % de la superficie totale cultivée et une part encore plus importante de la productivité agricole totale sont tributaires d'une irrigation d'appoint. Le secteur absorbe 70 % du total des prélèvements d'eau douce laquelle est acheminée par un vaste réseau bien intégré d'infrastructures de distribution.

**Le changement climatique et l'augmentation de la demande d'eau fragilisent les ressources en eau dont dispose la région et remettent en question la viabilité de son agriculture.** Le Sud-Ouest américain est déjà sujet à des sécheresses pluriannuelles dont les effets, notamment sur le secteur agricole, sont multiples. La sécheresse et ses conséquences y ont été exacerbées par la raréfaction de l'eau, la demande d'eau pour les activités humaines étant aujourd'hui supérieure aux volumes d'eau superficielle et souterraine prélevables de façon pérenne. Le changement climatique amplifiera la variabilité et l'instabilité des disponibilités et de la demande d'eau. Dans le même temps, la région devrait voir sa population continuer d'augmenter, ce qui accroîtra les pressions sur les ressources en terres et en eau.

**Selon le rapport, même s'il est probable que la région reste une grande zone de production agricole pendant les 50 prochaines années, elle ressentira les effets de disponibilités d'eau plus variables et incertaines et d'une demande en augmentation.** C'est de qui ressort de l'analyse des tendances de l'agriculture dans le Sud-Ouest des États-Unis, de l'étude des projections des risques liés à l'eau d'ici le milieu du siècle en l'absence de nouvelles politiques publiques et de l'examen des conséquences attendues pour le secteur agricole. Cette analyse a été réalisée à partir des données existantes et des publications disponibles.

**La production se concentrera probablement sur une superficie plus petite en raison de la limitation des disponibilités d'eau et de l'étalement urbain.** La superficie totale irriguée devrait diminuer, au détriment principalement des cultures fourragères et de plein champ de plus faible valeur et plus gourmandes en eau. La réorientation vers des produits de plus grande valeur, notamment des cultures spécialisées, pourrait permettre de réduire les effets économiques et les incidences sur l'emploi de la contraction de la superficie irriguée et de maintenir les terres agricoles en exploitation. Certaines productions arboricoles sont cependant particulièrement sensibles aux changements climatiques, notamment à la hausse des températures et à ses effets sur le refroidissement hivernal.

**Il pourrait être nécessaire d'introduire d'autres activités agricoles, sachant que certaines activités seront plus touchées que d'autres.** L'élevage et la production laitière, dont le poids économique est important dans l'agriculture du Sud-Ouest américain, sont particulièrement vulnérables au manque d'eau et au changement climatique. Les prix des aliments du bétail risquent d'augmenter, ce qui entraînera des coûts plus élevés pour les producteurs. De plus, le changement climatique devrait modifier la géographie et la productivité des pâturages et des parcours, la distribution des parasites du bétail et des agents pathogènes, de même que l'environnement thermique des animaux.

**Des conséquences sont aussi à attendre pour les échanges et l'emploi, même si les projections à ce sujet demeurent incertaines.** Compte tenu de l'importance de la Californie sur les marchés

américain et mondial, il est probable que l'évolution de sa production aura des retombées au-delà de ses frontières. Il est en revanche difficile de dire si l'emploi sera affecté. Comme on l'a vu en Californie, où la sécheresse perdure, les reconversions peuvent limiter voire prévenir les destructions d'emplois associées à la réduction de la superficie cultivée. Il importe de noter, toutefois, que ces changements ne se produiront pas uniformément et que certaines zones seront plus résilientes que d'autres.

**Les changements projetés entraîneront moins de perturbations si des mesures appropriées sont prises pour atténuer les pertes économiques, protéger les écosystèmes et investir dans des stratégies productives.** Plusieurs démarches peuvent contribuer à réduire les risques de pénurie d'eau agricole dans ces régions. L'utilisation plus efficace de l'eau dans les villes permet d'épargner les ressources disponibles pour le secteur agricole, et l'utilisation plus efficace de l'eau en agriculture peut contribuer à optimiser la productivité des ressources en eau disponibles en quantité limitée. Le remplacement des cultures qui exigent beaucoup d'eau par des cultures moins gourmandes, notamment des cultures fourragères par des céréales à paille ou des cultures maraîchères, peut permettre de maintenir les terres agricoles en production tout en réduisant la demande totale d'eau. L'eau souterraine peut jouer un rôle important pour améliorer la résilience de l'agriculture aux changements climatiques à venir ; une meilleure gestion des ressources souterraines et le développement des banques d'eau peuvent contribuer à rendre l'agriculture moins vulnérable à la variabilité accrue des disponibilités d'eau superficielle. Le recyclage et l'utilisation des eaux usées pourraient être par ailleurs développés, notamment à proximité des zones urbaines. Les transferts d'eau peuvent enfin avoir leur utilité, mais ils doivent s'inscrire dans un système clairement défini, viser des objectifs explicites, de même que reconnaître et atténuer comme il se doit les impacts négatifs possibles.

## Introduction

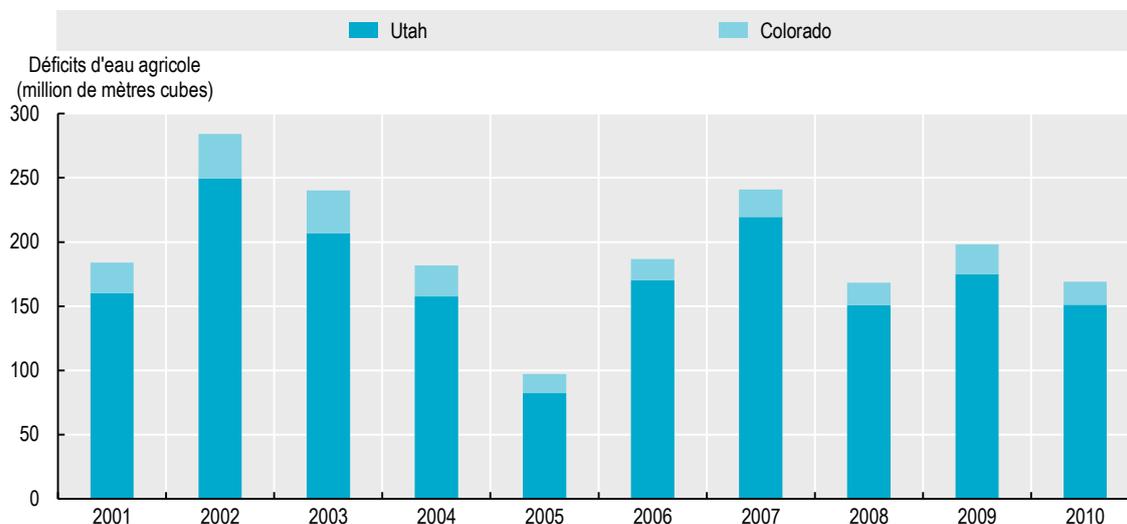
Le Sud-Ouest des États-Unis – défini ici comme l'ensemble formé par l'Arizona, la Californie, le Colorado, le Nevada, le Nouveau Mexique et l'Utah – est une région en pleine expansion qui se trouve actuellement confrontée à de graves problèmes d'eau. Elle fait partie des régions économiques les plus productives des États-Unis et sa population affiche le taux de croissance le plus élevé du pays. C'est aussi la région la plus aride où sévissent des sécheresses de longue durée. Cet état de sécheresse, conjugué à un système d'allocation d'eau basé sur le principe des droits acquis (appropriation antérieure) — selon lequel le premier arrivé est le premier servi<sup>1</sup> — génère des tensions entre des secteurs de l'économie stables ou en déclin qui détiennent la majorité des droits d'eau, et des secteurs en plein essor dont les droits sont plus limités. L'étude du Sud-Ouest américain permet d'illustrer les problèmes que posent la raréfaction des ressources en eau et certaines méthodes qui ont fait leur preuve pour combler l'écart entre l'offre et la demande d'eau.

La production agricole du Sud-Ouest des États-Unis, qui génère un revenu annuel de 72 milliards USD, soit 17 % des ventes agricoles du pays (BEA, 2015), est fortement tributaire de l'irrigation. La plupart des grandes zones de production ont besoin d'une irrigation d'appoint pour assurer la viabilité de la production végétale et animale. Quelque 5,3 millions d'hectares (ha) sont irrigués dans cette région ; même si ce chiffre ne représente que 29 % de l'ensemble du territoire agricole, il correspond à plus de 78 % de la superficie totale des terres cultivées (USDA-NASS, 2014a). La quantité d'eau utilisée reste assez mal connue faute de mesures et de notifications homogènes, mais selon les estimations, l'agriculture a utilisé 62 km<sup>3</sup> d'eau en 2010, ce qui représente 70 % du total des prélèvements d'eau douce du Sud-Ouest américain (Maupin et al., 2014).

Ce volume est malgré tout insuffisant pour répondre à la demande totale d'eau d'irrigation de la région, comme l'indiquent différents chiffres concernant les pénuries d'eau dont souffre l'agriculture dans le Colorado et l'Utah (graphique 1). En Arizona, en Californie et dans le Nevada, les prélèvements d'eau dans le fleuve Colorado, qui dépassent systématiquement les volumes disponibles en année normale, cumulés aux effets de 16 années de sécheresse dans le bassin, ont fait perdre plus de 40 mètres de hauteur d'eau au lac Mead et réduit de près de 50 % les réserves, ce qui porte à plus de 50 % la probabilité de pénurie d'eau en Arizona, dans le Nevada et au Mexique en 2018.

Plusieurs phénomènes témoignent de la surexploitation des ressources hydriques<sup>2</sup> dans tout le Sud-Ouest des États-Unis. Par exemple, le fleuve Colorado – source d'eau indispensable pour la région – n'atteint plus régulièrement la mer de Cortez depuis plus de 50 ans. En Californie, les données récentes montrent que les bassins du Sacramento et du San Joaquin ont perdu collectivement près de 31 km<sup>3</sup> d'eau souterraine entre octobre 2003 et mars 2010, ce qui correspond à peu près à 4,8 km<sup>3</sup> par an (Famiglietti, 2011), car les irrigants ont utilisé leurs pompes pour compléter les prélèvements d'eau de surface devenus insuffisants. Cette utilisation intensive a non seulement fait baisser les nappes phréatiques mais aussi généré de multiples externalités environnementales négatives (Phillips et al., 2015).

- 
1. Plus précisément, l'appropriation antérieure peut être définie comme la « doctrine juridique selon laquelle la première personne à prélever une quantité donnée d'eau à un endroit donné, pour en faire bon usage (usage agricole, industriel ou domestique), a le droit de continuer à utiliser cette quantité pour un usage identique ou similaire » (OCDE, 2015c).
  2. Dans ce contexte, on considère qu'il y a surexploitation lorsque la demande d'eau dépasse la quantité disponible pour assurer, par exemple, des débits écologiques réguliers.

**Graphique 1. La demande totale d'eau d'irrigation dépasse les quantités disponibles dans le Colorado et l'Utah**

Note : Les données pour 2011-2013 sont provisoires.

Source: USBR (2015).

La croissance continue de la population fragilise encore les ressources en eau limitées dont dispose la région. Le Sud-Ouest américain affiche le taux de croissance démographique le plus élevé des États-Unis. Entre 2000 et 2010, sa population a augmenté de 14 %, ce qui représente de 6.8 millions de personnes de plus ; à titre de comparaison, la population des États-Unis a progressé de 10 % pendant cette même période (US Census, 2012). En 2030, la région devrait compter 23 millions de personnes de plus, sa population atteignant 73 millions, soit 48 % de plus qu'en 2000 (US Census, 2005). Les grandes villes du Sud-Ouest ont cependant fait preuve d'une remarquable capacité de découplage entre demande d'eau et croissance démographique : beaucoup de villes et régions consomment aujourd'hui moins d'eau qu'il y a 20 ou 30 ans, alors que leur population a globalement augmenté de plusieurs millions (Cohen, 2011).

La raréfaction de la ressource et la hausse de la demande d'eau remettent en question les droits des usagers historiques dans la région. Les irrigants ont été les premiers dans l'histoire à détourner l'eau pour en faire bon usage, acquérant ainsi le droit d'utiliser cette eau dans un système dit « d'appropriation antérieure ». Dans ce système, la première personne qui détourne une certaine quantité d'eau et en fait « bon usage » a droit à cette quantité d'eau avant qu'un autre utilisateur puisse se servir, quitte à ce que les détenteurs de droits plus récents ne reçoivent pas du tout d'eau (Hundley, 1975 et 1986). Au bon usage a été associée l'idée de développement économique ; l'eau laissée dans le fleuve était considérée comme « perdue » et disponible pour toute entité qui en ferait bon usage (Bates et al., 1993). La préséance de l'antériorité par rapport aux autres critères possibles a incité les utilisateurs potentiels à revendiquer le plus d'eau possible le plus vite possible, ce qui fait que les usagers de longue date, notamment les agriculteurs irrigants, ont aujourd'hui des droits plus importants et plus anciens que ceux dont la demande a augmenté plus récemment. Les irrigants, qui disposent ainsi des droits d'eau les plus importants et anciens du bassin, sont de plus en plus sollicités par les acteurs urbains pour vendre ou céder une partie de leurs droits.

Des pressions croissantes s'exercent par ailleurs en faveur de la conservation, voire de l'augmentation, de la quantité d'eau s'écoulant dans les cours d'eau afin de protéger les écosystèmes dulçaquicoles et les espèces menacées ou en danger. Tous les États du Sud-Ouest américain, à l'exception du Nouveau Mexique, ont reconnu un droit de maintien des débits, c'est-à-dire le droit de réserver certains volumes d'eau pour garantir les débits saisonniers ou d'étiage des cours d'eau (Boyd, 2003). Plusieurs États ont par ailleurs reconnu un droit de maintien des débits pour les activités

récréatives, notamment le kayak en eau vive. Sachant que le changement climatique modifie le volume et le calendrier des ruissellements printaniers, le risque d'extinction ou de disparition locale augmente pour de nombreuses espèces aquatiques et ripicoles. L'achat et l'allocation d'eau pour maintenir la ressource dans les cours d'eau peuvent permettre d'atténuer les risques écologiques, mais pèsent à leur tour sur les autres utilisations de l'eau.

Le changement climatique rendra encore plus difficile l'équilibrage entre l'offre et la demande d'eau. Une hausse des températures est prévue dans la région (Cayan et al., 2013), ce qui fera augmenter la demande d'eau pour les usages agricoles et urbains d'extérieur, réduira la couverture neigeuse et bouleversera le calendrier des écoulements. D'importantes incertitudes entourent les modifications du régime des précipitations : les modèles climatiques indiquent une baisse des précipitations dans la partie la plus méridionale de la région et peu de changements, voire une légère hausse, dans celle située plus au nord (Cayan et al., 2013). Les projections indiquent par ailleurs une multiplication et une intensification des inondations et des sécheresses (Gershunov et al., 2013). Le Colorado alimente en eau, du moins partiellement, tous les États du Sud-Ouest américain. Les études indiquent qu'en moyenne le débit annuel du Colorado pourrait diminuer de 9 % (USBR, 2012a) à 19 % voire plus (Ficklin et al., 2013) d'ici le milieu du siècle, ce qui donne à penser qu'il sera encore plus difficile de répondre aux demandes dans un système déjà sursollicité.

### *Une analyse des foyers de risques liés à l'eau pour évaluer les conséquences de la surexploitation de l'eau*

Le Sud-Ouest américain peut être considéré comme l'une des régions du monde exposées à un risque de déficit d'eau tel qu'il pourrait menacer la production agricole<sup>3</sup>. Les foyers de risques liés à l'eau – ou points chauds – sont définis ici comme les zones (régions) qui pourraient devenir les principaux foyers de risques agricoles liés à l'eau, parce qu'elles sont, ou seront, des régions productrices importantes et qu'elles devraient, selon les prévisions, manquer d'eau. Dans la pratique, il y a risque de déficit d'eau<sup>4</sup> lorsqu'il est probable que des pénuries surviendront, avec de possibles incidences observables. Les régions comme le Sud-Ouest américain allient une forte probabilité de pénuries d'eau et un risque de fort impact sur un secteur agricole d'importance mondiale.

Le présent rapport passe en revue les éléments concrets attestant des risques agricoles régionaux liés à l'eau et apporte de nouvelles précisions sur les risques pour l'agriculture si aucune nouvelle mesure n'est prise par les pouvoirs publics. Il présente pour commencer les évolutions de l'agriculture dans le Sud-Ouest américain, examine les décalages entre l'offre et la demande d'eau pour les usages agricoles dans la région d'ici le milieu du siècle, et étudie les conséquences qui pourraient s'ensuivre pour l'agriculture, les échanges et la sécurité alimentaire si aucune mesure n'est prise. Le rapport propose pour terminer une réflexion sur quelques-unes des principales mesures d'adaptation envisageables.

Les informations présentées dans ce rapport sont tirées (1) des données disponibles sur les utilisations de la terre et de l'eau et sur les revenus agricoles et (2) d'un examen des travaux de recherche sur la question. Toutefois, une grande partie de la documentation s'intéresse essentiellement aux effets sur la superficie cultivée et les revenus agricoles, et les informations concernant l'impact sur l'emploi, les échanges et la sécurité alimentaire restent limitées. De plus, on ne dispose pas de suffisamment d'informations sur la probabilité des pénuries pour proposer une véritable évaluation des risques ; au lieu de cela, les principales tendances sont évaluées afin de proposer des éléments permettant de caractériser les risques. Il est par ailleurs important de garder à l'esprit que l'évaluation

- 
3. Une analyse de l'OCDE, qui sera publiée en 2017, a identifié le Sud-Ouest des États-Unis comme foyer de risque agricole lié à l'eau
  4. Dans le contexte des pénuries d'eau, le risque lié à l'eau peut être défini comme le risque de disponibilités d'eau insuffisantes pour répondre à la demande (OCDE, 2013).

porte sur l'offre d'eau, et non sur sa qualité, l'aspect quantitatif étant actuellement la principale source de risque pour l'agriculture du Sud-Ouest américain.

### 1. Évolution de l'agriculture dans le Sud-Ouest américain : recul de la superficie des cultures irriguées et de l'utilisation d'eau mais hausse des revenus agricoles et des exportations

Cette section passe en revue les principales évolutions observées récemment dans le secteur agricole du Sud-Ouest américain, l'agriculture demandant moins d'eau et se tournant vers des productions de plus grande valeur dans des conditions de stress hydrique de plus en plus marqué. Une grande partie de la région connaît depuis le début des années 2000 une sécheresse persistante (Woodhouse et al., 2010 ; NOAA, 2004). Dans le même temps, la superficie irriguée a diminué alors que la quantité globale d'eau utilisée et les revenus agricoles ont augmenté.

#### *L'irrigation joue un rôle central dans les cultures*

La plupart des grandes zones de production du Sud-Ouest américain nécessitent une irrigation d'appoint pour assurer la pérennité des cultures. En 2013, les exploitations de la région ont irrigué 4.8 millions d'hectares de cultures, soit 78 % de la superficie totale cultivée (USDA-NASS, 2014a). Parmi les États du Sud-Ouest américain, la Californie exploitait en 2013 la plus large superficie (2.9 millions d'hectares) et affichait la plus forte proportion (94 %) de cultures irriguées (tableau 1). Le Colorado possédait également de vastes étendues de cultures irriguées, bien que la proportion de cultures pluviales y ait été plus importante que dans les États voisins. La superficie cultivée était beaucoup plus réduite dans les autres États du Sud-Ouest américain mais, à l'exception du Nouveau Mexique, les cultures y étaient fortement tributaires de l'irrigation.

**Tableau 1. L'agriculture du Sud-Ouest américain est fortement tributaire de l'irrigation**

État	Cultures irriguées (ha)	Cultures irriguées en pourcentage	Pâturages irrigués (ha)	Pâturages irrigués en pourcentage	Superficie totale irriguée (ha)
Arizona	330 706	88 %	14 030	1.0 %	344 736
Californie	2 880 595	94 %	174 445	7.5 %	3 055 040
Colorado	814 713	50 %	119 927	4.1 %	934 640
Nevada	203 514	83 %	75 700	5.4 %	279 214
Nouveau Mexique	245 026	54 %	36 081	1.2 %	281 108
Utah	357 029	85 %	98 286	7.9 %	455 315
<b>Total</b>	<b>4 831 584</b>	<b>78 %</b>	<b>518 469</b>	<b>4.2 %</b>	<b>5 350 053</b>

Source : USDA-NASS (2014a).

Les pâturages et les herbages du Sud-Ouest américain occupaient quant à eux 12 millions d'hectares en 2013, dont 4.2 %, soit 520 000 hectares, sous irrigation.<sup>5</sup> La Californie possédait la plus vaste étendue de pâturages irrigués, suivie du Colorado et de l'Utah. Les pâturages étaient davantage tributaires de l'irrigation dans l'Utah et en Californie, alors que ceux de l'Arizona et du Nouveau Mexique étaient les moins dépendants.

La gamme des produits cultivés dans le Sud-Ouest américain varie selon le climat, le type de sol, les conditions géographiques et la fiabilité des ressources en eau (tableau 2). Les cultures fourragères et de plein champ occupaient près des deux tiers de la superficie irriguée récoltée en 2013 (USDA-NASS, 2014a). Dans tous les États du Sud-Ouest américain, sauf en Californie, les cultures fourragères et de

5. Les pâturages et les herbages comprennent les pâturages permanents et les parcours ainsi que les autres pâturages et herbages qui ont pu parfois être mis en culture sans amélioration supplémentaire.

plein champ représentaient le gros de la production. Quelque 1.1 million d'hectares, soit 22 % de la superficie irriguée récoltée, étaient consacrés aux fruits et fruits à coque, 10 % aux légumes et 2.9 % à d'autres cultures. L'Arizona et le Nouveau Mexique produisent principalement des cultures fourragères et de plein champ mais leur production agricole est plus variée que celle des États situés plus au nord en raison des périodes de végétation plus longues et du climat plus doux dont ils bénéficient. La Californie est l'État dont la production végétale est la plus diversifiée et extensive ; elle le premier producteur de légumes, de fruits et fruits à coque et de produits de pépinières des États-Unis (USDA-NASS, 2014b).

**Tableau 2. Les cultures irriguées sont principalement des cultures fourragères et de plein champ, même si la production est plus diversifiée en Californie (2013)**

	Cultures fourragères et de plein champ		Légumes, melons et pommes de terre		Fruits et fruits à coque		Autres cultures	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Arizona	288 713	83 %	41 671	12 %	10 036	2.9 %	8 653	2.5 %
Californie	1 379 813	47 %	411 985	14 %	1 056 248	36 %	100 994	3.4 %
Colorado	755 781	92 %	37 074	4.5 %	925	0.1 %	23 922	2.9 %
Nevada	191 345	96 %	3 493	1.8 %	487	0.2 %	3 270	1.6 %
Nouveau Mexique	217 282	88 %	9 513	3.8 %	18 445	7.4 %	2 786	1.1 %
Utah	348 273	98 %	1 556	0 %	2 713	0.8 %	2 389	0.7 %
<b>Total</b>	<b>3 181 207</b>	<b>65 %</b>	<b>505 293</b>	<b>10 %</b>	<b>1 088 855</b>	<b>22 %</b>	<b>142 014</b>	<b>2.9 %</b>

Source : USDA-NASS (2014a).

Entre 2003 et 2013, période de sécheresses récurrentes, la superficie totale irriguée a reculé de 6 % dans le Sud-Ouest des États-Unis ; l'évolution n'a pas été la même dans les différents États. La superficie cultivée sous irrigation a légèrement progressé dans l'Utah, dans le Nevada et en Arizona ; ces hausses se sont toutefois accompagnées de réductions plus importantes en Californie, dans le Colorado, et au Nouveau Mexique. Pendant cette même période, la superficie de pâturages irrigués a chuté de 11 %, et celle de pâturages pluviaux a cru de 25 % (USDA-NASS, 2004 ; USDA-NASS, 2014a). Les pâturages irrigués ont gagné du terrain en Arizona et dans le Nevada mais en ont perdu dans tous les autres États de Sud-Ouest américain. Si la sécheresse n'est sans doute pas étrangère à cette situation, certains changements pourraient aussi correspondre à des évolutions agricoles à long terme.

### ***La consommation d'eau de l'agriculture diminue, mais le secteur reste le plus gros consommateur***

L'agriculture est le principal consommateur d'eau du Sud-Ouest, où elle représente environ 70 % de la totalité des prélèvements d'eau douce, soit 63 km<sup>3</sup> en 2010 (Maupin et al., 2014)<sup>6</sup>. La majeure partie de ces prélèvements est imputable à la Californie (36 % du total de la région en 2010), suivie du Colorado (15 %), de l'Arizona (7 %), de l'Utah (5 %), du Nouveau-Mexique (4 %) et du Nevada (2 %).

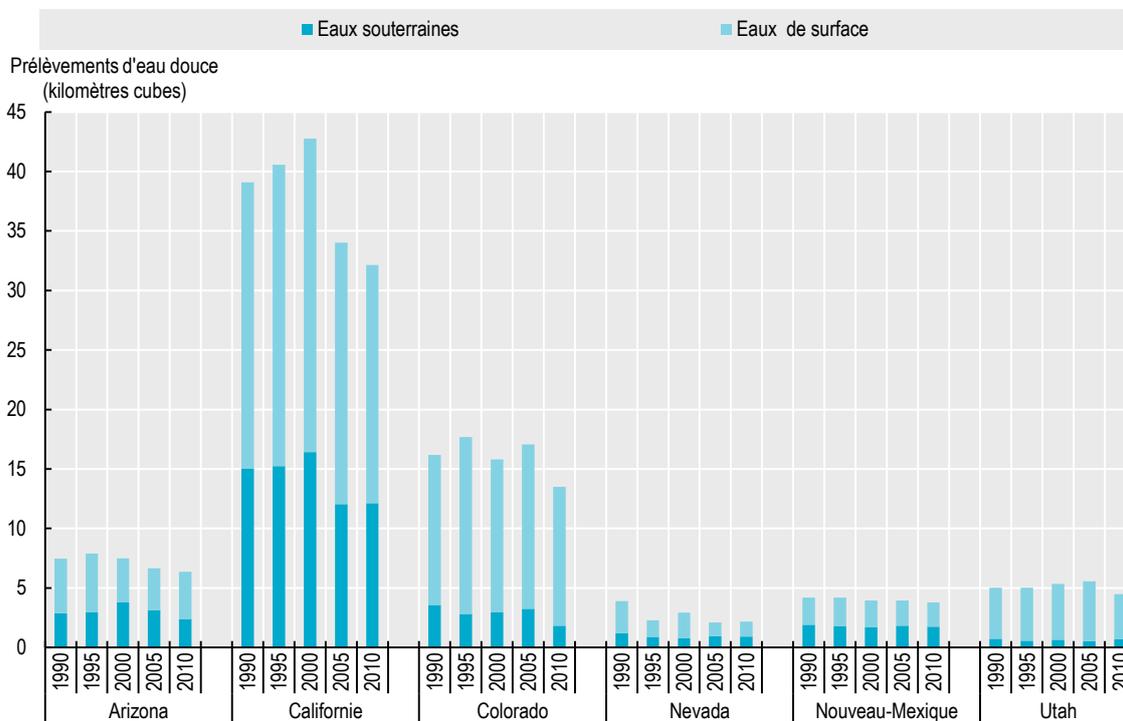
Une grande partie de l'irrigation est assurée avec les eaux de surface, puis avec les eaux souterraines, suivies de très loin par les eaux recyclées. En 2010, les eaux de surface et les eaux souterraines ont représenté 68 % et 32 %, respectivement, des prélèvements opérés pour irriguer dans le Sud-Ouest (Maupin et al., 2014). La répartition entre eaux de surface et eaux souterraines varie en l'occurrence selon les États et les années. Le Colorado et l'Utah, par exemple, recourent nettement plus aux eaux de surface (plus de 80 % de l'eau d'irrigation). La Californie et le Nevada, pour leur part, sont plus tributaires des eaux souterraines, qui représentaient 40% de l'eau d'irrigation en 2010. Les eaux souterraines sont en général davantage sollicitées les années sèches, les ressources en eaux de surface

6. Les prélèvements de l'agriculture sont destinés à l'irrigation (99 %) et à l'élevage (1 %). Une très petite partie de l'eau d'irrigation est utilisée par les golfs.

étant alors plus limitées. Dans ces cas, elles représentent 60 % du total en Californie, par exemple (CDWR, 2014a). Les eaux usées urbaines recyclées ne sont guère utilisées pour irriguer dans la région. Cependant, les données sur leur utilisation sont incomplètes ou indisponibles.

Entre 1990 et 2010, les prélèvements d'eau douce imputables à l'agriculture ont baissé de 18 % dans la région, soit beaucoup plus nettement que la superficie irriguée (graphique 2). La diminution des prélèvements tant d'eaux de surface que d'eaux souterraines a été observée dans tous les États, la plus sensible ayant eu lieu en Californie, suivie du Colorado et du Nevada. Plusieurs facteurs concourent à expliquer la contraction des prélèvements d'eau douce de l'agriculture au cours de cette période, notamment l'adoption de cultures moins gourmandes en eau et l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, liée au passage de l'irrigation de surface à l'aspersion et à la micro-irrigation (Donnelly et Cooley 2015).

**Graphique 2. Les prélèvements d'eau douce imputables à l'agriculture ont diminué ces 20 dernières années**



Note : l'eau recyclée n'est pas comptabilisée, car les données ne sont pas disponibles sur toutes les années ou tous les États.

Source : Solley et al. (1993) ; Solley et al. (1998) ; Hutson et al. (2005) ; Kenny et al. (2009) ; Maupin et al. (2014).

### ***Les revenus et les exportations agricoles augmentent, parallèlement à des revenus d'activité en forte hausse en Californie***

Dans le Sud-Ouest, les revenus du secteur agricole sont assurés en majeure partie par l'activité, notamment en Californie, et doivent très peu aux aides publiques. En 2014, ils se sont montés à 77 milliards USD en tout (BEA, 2015)<sup>7</sup>. Sur ce total, les revenus de l'activité proprement dite ont été estimés à 72 milliards USD (17 % du total des États-Unis) et les aides publiques et autres formes de revenus à 4.7 milliards (seulement 6.5 % de la totalité des revenus)<sup>8</sup>. Surtout, les revenus de l'activité agricole se sont montés à 53 milliards USD en Californie en 2014, soit 68 % des revenus agricoles totaux de la région. La Californie est ainsi l'État du pays qui engrange les recettes agricoles les plus importantes et elle représente près des trois quarts des revenus de l'activité de tout le Sud-Ouest<sup>9</sup>.

En outre, les produits de l'élevage ont représenté 41 % des revenus de l'activité en 2014 (graphique 3) (BEA, 2015) et les produits des cultures, 59 %. Dans la catégorie des végétaux cultivés, les revenus d'activité les plus élevés sont dus aux fruits (y compris à coque), suivis des légumes, des cultures de plein champ et fourragères, puis des autres cultures. Dans la plupart des États du Sud-Ouest, notamment au Colorado, dans le Nevada, au Nouveau-Mexique et dans l'Utah, les produits d'élevage ont représenté plus de 70 % des revenus d'activité de l'agriculture. En Californie et en Arizona, ces derniers sont plus divers. Ils proviennent en majorité (56 %) des produits d'élevage en Arizona, mais cet État est aussi un grand producteur de légumes. À la différence des autres États du Sud-Ouest, la Californie tire quant à elle l'essentiel de ses revenus des fruits (y compris à coque) (41 %), après lesquels viennent les produits d'élevage (29 %), les légumes (17 %), les cultures de plein champ et fourragères (8 %), et les autres cultures (7 %).

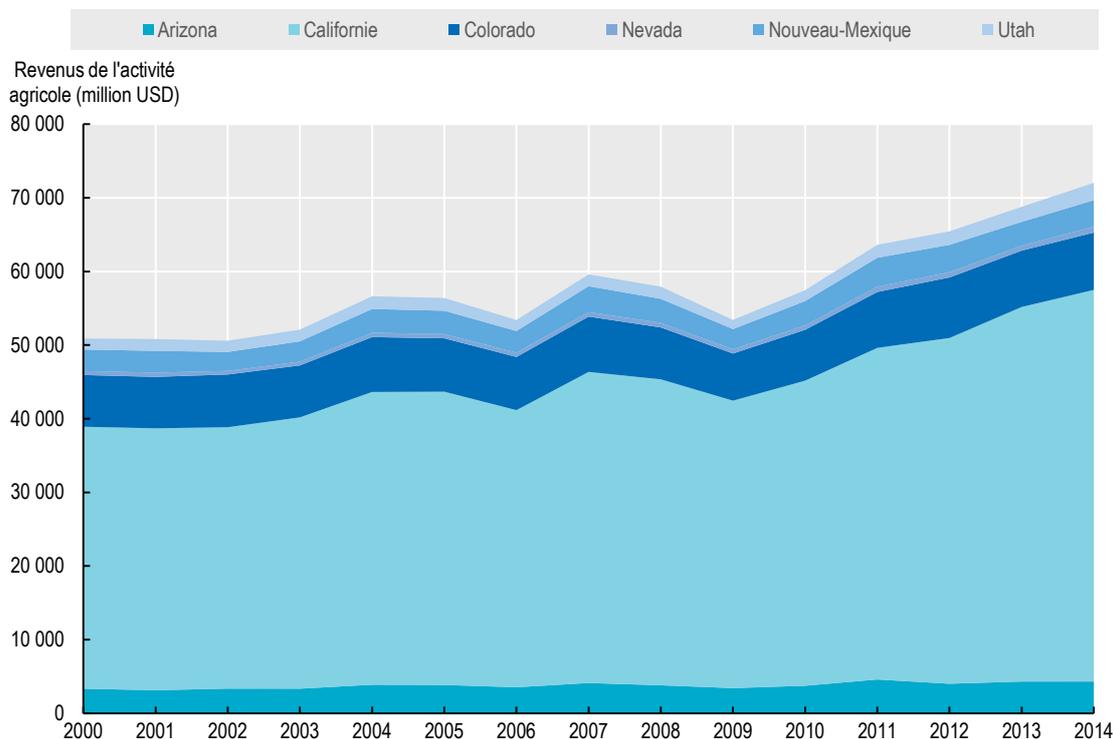
Malgré la diminution des superficies irriguées et des prélèvements d'eau, les revenus agricoles continuent d'augmenter. Les revenus de l'activité ont ainsi progressé de près de 28 % entre 2005 et 2014 dans la région (graphique 3). La Californie a représenté environ 85 % de cette amélioration, moyennant un accroissement notable des revenus assurés par les cultures (8.7 milliards USD) et plus modestes de ceux qui sont imputables aux produits d'élevage (4.7 milliards USD). Les recettes tirées des cultures en Arizona et au Nouveau-Mexique ont diminué de quelque 0.2 milliard USD, mais celles que procurent les produits d'élevage ont enregistré une hausse plus sensible.

Parallèlement, les exportations de produits agricoles du Sud-Ouest se sont montées au total à 28 milliards USD en 2014, soit le double de 2005 (USDA-ERS, 2015). Une grande partie de cette progression peut être attribuée à la hausse des exportations de viande et de produits laitiers. Ainsi, en valeur, les exportations de viande bovine ont pratiquement été multipliées par cinq ces dix dernières années et les exportations de produits laitiers ont triplé. Depuis 2005 également, les exportations de produits végétaux ont augmenté de 86 % approximativement. L'accroissement des exportations agricoles est en grande partie imputable à la Californie, qui, en 2014, représentait en valeur 84 % des exportations agricoles totales du Sud-Ouest et 16 % de celles du pays. Cet État est le principal exportateur de produits laitiers, légumes transformés, fruits frais, fruits transformés et fruits à coques des États-Unis.

7. Valeurs en dollars de 2015, sauf indication contraire.

8. Les revenus de l'activité sont les revenus bruts tirés de la vente de produits des cultures et de l'élevage pendant une année civile donnée. La valeur des prêts non remboursés à la Commodity Credit Corporation (CCC) et garantis par les récoltes représentent une très petite partie de ces revenus.

9. En 2014, les revenus de l'activité ont été estimés à 7.8 milliards USD au Colorado, ce qui le plaçait en deuxième position dans la région. Venaient ensuite l'Arizona (4.3 milliards USD), le Nouveau-Mexique (3.6 milliards USD), l'Utah (2.4 milliards USD) et le Nevada (0.8 milliard USD).

**Graphique 3. La Californie affiche la plus forte hausse des revenus de l'activité agricole**

Note : tous les chiffres sont corrigés de l'inflation et sont donnés en dollar de 2015.

Source : BEA (2015).

## 2. Incertitude à venir des disponibilités en eau face au changement climatique et à l'accroissement de la demande

Le risque de pénurie d'eau dans la région devrait augmenter à cause de la forte variabilité des disponibilités en eau due au changement climatique dans un contexte d'accroissement de la demande. Comme indiqué plus haut, on prévoit que d'ici 2030, la population de la région comptera 23 millions d'habitants supplémentaires et atteindra 73 millions de personnes, soit une augmentation de 48 % par rapport au niveau de l'an 2000 (US Census, 2005).

### *Les disponibilités en eau du Sud-Ouest sont vulnérables aux effets du changement climatique*

Le Sud-Ouest des États-Unis se caractérise par des conditions climatiques très diverses. Les déserts de basse altitude des Mojaves et de Sonora en Californie du Sud, au Nevada et en Arizona sont les régions les plus chaudes et les plus sèches des États-Unis, tandis que les montagnes de haute altitude se couvrent pendant les mois d'hiver de neiges très épaisses. Le taux de précipitation annuel varie de moins de 5 pouces dans certaines parties de l'Arizona, de la Californie et du Nevada à plus de 90 pouces dans certains endroits du Nord de la Californie, et connaît en outre de fortes variations entre les saisons, ainsi que d'une année ou d'une décennie à l'autre (Steenburgh et al., 2013). Le Sud-Ouest connaît d'autre part des périodes de sécheresse intense et prolongée.

Étant donné l'interdépendance entre cycle de l'eau et cycle climatique, le changement climatique a et aura des implications majeures pour les ressources en eau des États-Unis, en particulier dans le Sud-Ouest (Cook et al., 2015). En bref, le changement climatique intensifiera le cycle de l'eau, modifiant la disponibilité de la ressource, le calendrier, la qualité de l'eau et la demande. Toutes les grandes études nationales et internationales sur le changement climatique classent les systèmes d'eau

douce parmi les systèmes les plus vulnérables (Compagnucci et al., 2001 ; SEG, 2007 ; Kundzewicz et al., 2007 ; Bates et al., 2008 ; Jiménez Cisneros et al., 2014). L'impact du changement climatique pourrait être particulièrement sensible dans les parties du Sud-Ouest où le taux de précipitation annuel est peu élevé et où quelques événements météorologiques suffisent souvent à modifier notablement les disponibilités d'eau. Nous examinons ci-dessous les projections concernant spécifiquement deux régions clés : le bassin du Colorado et le centre de la Californie.

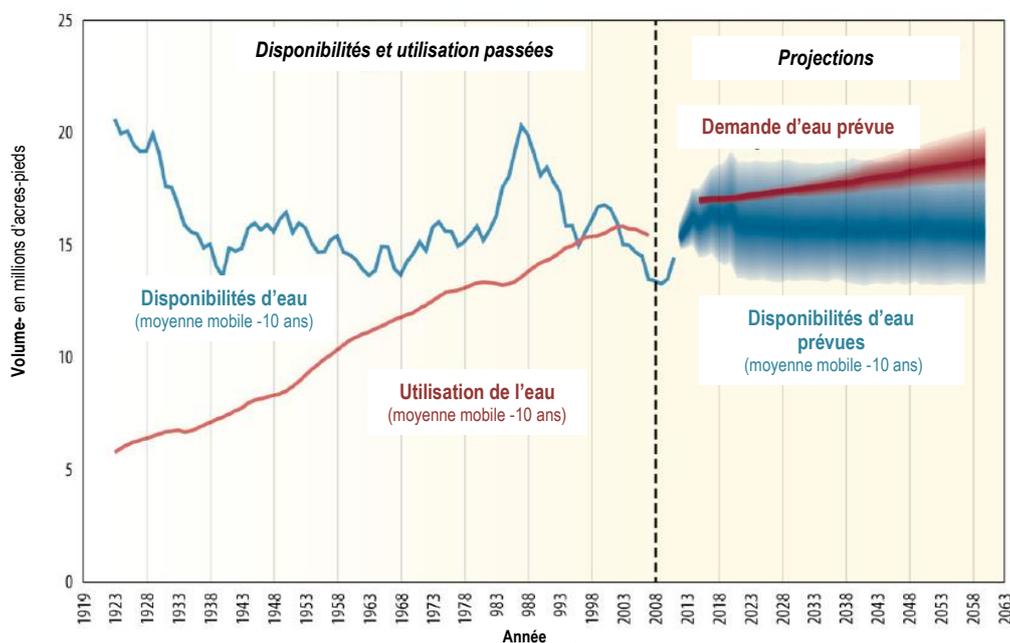
### ***Dans le bassin du Colorado, la demande est plus forte que l'offre et l'écart s'accroît***

Le Colorado constitue une source d'approvisionnement importante pour le Sud-Ouest ; cependant, la demande excède déjà les disponibilités (graphique 4). Le Colorado a permis le développement du Sud-Ouest des États-Unis et de certaines régions du Nord-Ouest du Mexique, en fournissant de l'eau à environ 40 millions d'habitants des deux pays et en irriguant en totalité ou en partie plus de 2 millions d'hectares à l'intérieur et à l'extérieur du bassin. Un tissu très dense et néanmoins dynamique de règlements, de conventions entre États, d'accords, de contrats et de décisions judiciaires, ainsi qu'un traité international, collectivement appelés *law of the river*, régit l'allocation et l'utilisation des eaux du Colorado à l'intérieur des États-Unis et entre les États-Unis et le Mexique. D'énormes barrages sur le cours principal du fleuve et sur nombre de ses affluents peuvent stocker jusqu'à quatre fois son débit annuel moyen, mais ont détruit des écosystèmes et conduit au bord de l'extinction plusieurs espèces de poissons indigènes (Rosenberg et al., 1991 ; Minckley et Deacon, 1991)<sup>10</sup>. Ces outils institutionnels et structurels restreignent gravement la variabilité naturelle du débit du fleuve en fonction des saisons, de la charge solide et des processus géomorphologiques, et réduisent fortement le volume d'eau s'écoulant effectivement jusqu'à la frontière. Depuis plusieurs décennies, le fleuve a rarement un volume suffisant pour atteindre la mer.

Les projections indiquent que les disponibilités d'eau dans le bassin du Colorado vont devenir à la fois plus variables et plus incertaines sous l'effet du changement climatique (Christensen et Lettenmaier, 2006 ; USBR, 2012a ; Vano et al., 2014). L'Étude sur le bassin du Colorado (USBR, 2012a), achevée en 2012, a examiné quatre scénarios d'évolution des disponibilités d'eau, afin de saisir toute la gamme des possibilités futures et de prendre en compte l'incertitude associée aux projections dans un système extrêmement variable. Les données historiques portant sur une centaine d'années indiquent que l'écoulement annuel moyen à Lee's Ferry – lieu de mesure habituel du Colorado – est d'environ 18 km<sup>3</sup>, dont plus de 80% sont produits à partir de 15% environ du bassin du Colorado à des altitudes supérieures à 2 400 mètres<sup>11</sup>. Dans le scénario de changement climatique, l'étude anticipe une tendance générale à l'assèchement du bassin, à l'exception notable d'une augmentation des précipitations aux altitudes les plus élevées, dans les régions productives du cours supérieur. Sous l'effet du changement climatique, l'écoulement total devrait diminuer de 9.1%, avec une variabilité hydrologique mensuelle et annuelle encore plus forte, ce qui réduirait la prévisibilité et la fiabilité pour les gestionnaires de l'eau. Dans les autres scénarios, qui se réfèrent aux données historiques d'une centaine d'années et à des séries dendrométriques beaucoup plus longues, l'écoulement diminuerait également mais dans des proportions moindres.

- 
10. Voir, par exemple, les programmes de conservation et de restauration des espèces Lower Colorado River Multi-Species Conservation Program (<http://www.lcrmscp.gov/>) et Upper Colorado River Endangered Fish Recovery Program (<http://www.coloradoriverrecovery.org/>).
  11. L'Étude sur le bassin du Colorado indique qu'il est difficile de prédire les effets du changement climatique sur le cours supérieur du fleuve, alimenté par la fonte des neiges à haute altitude, en raison de l'imprécision et de l'échelle des modèles climatiques, qui entraînent un fort degré d'incertitude.

Graphique 4. Disponibilités et utilisation passées des eaux du bassin du Colorado et projections pour l'avenir



Note : l'utilisation et la demande d'eau incluent le volume octroyé au Mexique et les déperditions, par exemple celles dues à l'évaporation dans les réservoirs, à la végétation locale et aux inefficiences opérationnelles.

Source : Figure C-9 dans USBR(2012a).

### ***Diminution de l'écoulement dans le Sud et changements du calendrier d'écoulement dans l'ensemble de la Californie***

Les précipitations connaissent en Californie une forte variabilité intra- et inter-annuelle. Par conséquent, l'État est tributaire du stockage naturel et artificiel, et vulnérable aux événements inattendus. Des études ont en effet montré que, d'après le coefficient de variation (écart type de la moyenne) des précipitations de l'année hydrologique (octobre-septembre), le climat de la Californie était celui qui, aux États-Unis, présentait la plus grande variabilité (Dettinger et al., 2011). Un petit nombre de tempêtes hivernales constituent généralement le gros des précipitations annuelles, et une faible variation du nombre ou de l'intensité de ces tempêtes suffit à différencier une année humide d'une année sèche.

Le changement climatique devrait modifier le calendrier d'écoulement dans toute la Vallée centrale et réduire l'écoulement dans les zones méridionales de la région. Le US Bureau of Reclamation a réalisé une étude dans la Vallée centrale de la Californie (USBR, 2014a), la principale région de production agricole de l'État, pour évaluer les effets du changement climatique sur les disponibilités d'eau et sur le calendrier et le volume de l'écoulement, en s'appuyant sur 18 scénarios climatiques et socioéconomiques. Cette étude montre que l'écoulement annuel dans le Nord de la Vallée centrale ne devrait pas changer, ou seulement dans de faibles proportions, tandis qu'un certain assèchement devrait se produire dans les parties méridionales de la région. L'élévation des températures pendant les mois d'hiver devrait cependant entraîner une transformation des précipitations neigeuses en pluie, augmentant l'écoulement en hiver et le réduisant au printemps. Dans les conditions actuelles de fonctionnement des réservoirs, ce changement saisonnier réduira la capacité de stockage car : « Avec un écoulement plus précoce et une augmentation des précipitations pluvieuses, les réservoirs se rempliront plus tôt et l'écoulement excédentaire devra être libéré en aval pour assurer le maintien de capacités suffisantes aux fins de lutte contre les inondations » (USBR, 2014a, p. 4).

### 3. Implications pour l'agriculture : contraintes résultant de la disponibilité moindre de l'eau et de la réduction de l'irrigation pour de nombreuses activités

#### *Diminution de l'eau disponible pour les activités agricoles et contraction des superficies irriguées*

Une partie de l'eau utilisée dans l'agriculture sera probablement transférée à l'avenir à d'autres secteurs. Il existe un vaste corpus de publications, et qui va croissant, sur l'impact de la rareté de l'eau sur l'agriculture du Sud-Ouest (Booker et al., 2005 ; Harou et al., 2010 ; Coppock, 2011 ; Frisvold et Konyar, 2012 ; Frisvold et al., 2013). Ces études montrent que, même si l'agriculture reste le principal utilisateur d'eau, l'étalement urbain et l'augmentation de la demande résultant de la croissance démographique et de la restauration des écosystèmes dégradés conduiront à réduire les quantités disponibles pour les activités agricoles. En outre, les tendances observées récemment dans le Sud-Ouest et ailleurs indiquent que les utilisateurs non agricoles vont s'efforcer d'acheter – ou d'obtenir d'une autre façon – des droits sur les eaux agricoles, afin de répondre à leurs propres besoins futurs et de se prémunir contre la diminution et la limitation potentielles des ressources en eau sous l'effet du changement climatique ou d'autres facteurs. Bien que les transactions en ce domaine soient généralement volontaires, le résultat net sera un transfert de l'eau utilisée dans l'agriculture à d'autres secteurs.

Le bassin du Colorado devrait en particulier connaître à l'avenir une forte réduction de la superficie irriguée à cause de l'augmentation de la demande d'autres secteurs (USBR, 2012a). Dans l'Étude sur le bassin du Colorado, six scénarios de l'évolution de la demande d'eau du Colorado d'ici à 2060 ont été analysés. Ils s'efforcent de décrire de façon plausible différentes évolutions potentielles, sur la base d'estimations de la croissance démographique, de la demande d'eau par habitant et de projections du changement de la superficie des terres irriguées. L'étude montre que, tandis que les disponibilités d'eau deviendront de plus en plus incertaines, la consommation se hissera d'ici 2060 du niveau actuel – 18 km<sup>3</sup> environ – à 22.1 km<sup>3</sup> dans un scénario de « croissance lente » et à 25 km<sup>3</sup> dans un scénario de « croissance rapide »<sup>12</sup>. Une grande partie de l'augmentation prévue de la consommation d'eau servira à satisfaire les besoins urbains et industriels et, dans une moindre mesure, la demande du secteur de l'énergie, du secteur minier et des populations autochtones. La hausse des températures et des taux d'évapotranspiration devrait entraîner une augmentation des quantités d'eau utilisées sur les terres irriguées allant jusqu'à 3 %<sup>13</sup>. Néanmoins, la demande d'eau agricole dans le bassin et dans les régions voisines qui ont besoin de l'eau du Colorado devrait baisser d'ici 2060 de 0.86 km<sup>3</sup> à 3.3 km<sup>3</sup>, soit de 7 % à 25 % par rapport aux niveaux actuels, du fait de la réduction des superficies irriguées. Les scénarios étudiés couvrent toute une gamme de possibilités futures, y compris une diminution, d'ici 2060, de la superficie totale des terres irriguées au moins en partie avec l'eau du Colorado de 4 % à 16 % par rapport aux niveaux actuels, principalement sous l'effet de la contraction des superficies irriguées et de la reconversion des terres en Arizona. Les divers scénarios projettent cependant que l'agriculture irriguée restera une forme majeure d'utilisation des sols et une source importante de demande d'eau dans l'avenir proche.

On prévoit également une diminution des superficies irriguées et de la demande d'eau agricole en Californie d'ici le milieu du siècle (CDWR, 2013 et 2014b). Le California Water Plan, qui est établi tous les cinq ans au moyen d'un processus de collaboration impliquant de nombreuses parties prenantes et géré par le Département des ressources en eau (DWR) de l'État, est en l'occurrence le principal outil de planification hydrologique. Dans sa version la plus récente (California Water Plan Update 2013),

- 
12. Pour plus d'informations et de détails sur les différents scénarios de demande, veuillez consulter l'annexe 14 du Rapport technique C de l'USBR (2012b).
  13. Cependant, un nombre croissant de travaux n'excluent pas une diminution de la biomasse et du rendement des cultures de plein champ sous l'effet du stress thermique, en particulier après le milieu du siècle (voir, par exemple, Schlenker et Roberts, 2009). Cette évolution pourrait contrebalancer les besoins d'irrigation supplémentaire.

il étudie l'évolution de la demande d'eau des villes et de l'agriculture dans chacune des dix régions hydrologiques de l'état au regard de 9 scénarios de croissance et de développement et de 13 scénarios d'évolution du climat (CDWR, 2013). Dans tous ces scénarios et dans toutes les régions, la demande d'eau des villes devrait augmenter pour atteindre un niveau supérieur de 16 % à 74 % à la moyenne de référence utilisée (1998-2005). La croissance urbaine conduirait au retrait de 40 000 à 360 000 hectares de terres de la production agricole d'ici 2050, réduisant les superficies irriguées de 1 % à 9 % (CDWR, 2014b). Sous l'effet de l'urbanisation et de la mise en œuvre de mesures d'économies d'eau dans l'agriculture, la demande d'eau agricole *diminuerait* dans tous les scénarios pour atteindre un niveau inférieur de 10 % à 14 % à la moyenne de référence. Les différents scénarios utilisés, cependant, ne prennent pas en compte la mise en œuvre de la législation récente sur les eaux souterraines, qui pourrait réduire encore la superficie irriguée et/ou le volume dans certaines parties de l'État, mais améliorer la fiabilité des ressources souterraines à long terme (voir encadré 1).

#### Encadré 1. Mesures adoptées pour remédier à la surexploitation des eaux souterraines en Californie

L'épuisement des eaux souterraines utilisées à des fins d'irrigation agricole pose un problème majeur en Californie. Les eaux souterraines constituent en effet une source d'approvisionnement importante pour les agriculteurs californiens, puisqu'elles représentent près de 40 % des prélèvements d'eau destinés à l'irrigation en année moyenne (Maupin et al., 2014) et jusqu'à 60 % les années sèches. L'UCCHM (2014) estime que la déperdition d'eaux souterraines dans la Vallée centrale a atteint plus de 60 km<sup>3</sup> pendant le dernier demi-siècle. Des éléments importants indiquent que la surexploitation des eaux souterraines s'aggrave : des données récentes montrent que les bassins de Sacramento et de San Joaquin ont perdu globalement près de 31 km<sup>3</sup> d'eaux souterraines entre octobre 2003 et mars 2010, soit 4,8 km<sup>3</sup> environ par an (Famiglietti et al., 2011). La surexploitation est particulièrement grave dans le Sud de la Vallée centrale, où le niveau des eaux souterraines est descendu à plus de 33 mètres en dessous des seuils historiques les plus bas (CDWR, 2014). La surexploitation entraîne, parmi d'autres effets négatifs, des infiltrations d'eau salée et d'autres types d'impact sur la qualité de l'eau, un affaissement important des sols, une diminution des stocks d'eau et une augmentation des dépenses d'énergie.

Dans une grande partie de la Californie, l'utilisation des eaux souterraines n'est pas réglementée. Pour répondre à l'aggravation de la situation, l'État a adopté en 2014 une loi sur la gestion durable des eaux souterraines (Sustainable Groundwater Management Act, SGMA). Cette loi encadre la gestion de ces eaux par les autorités locales et permet à l'État d'intervenir si nécessaire pour protéger ces ressources. Elle prévoit en particulier la création d'agences locales d'ici le milieu de 2017, et exige que ces agences adoptent et mettent en œuvre des plans locaux de gestion des bassins avant 2022. Elle requiert en outre la réalisation de certains objectifs de durabilité d'ici 2040 dans les bassins à priorité haute et moyenne en situation de surexploitation critique et d'ici 2042 dans tous les autres bassins à priorité haute et moyenne. Il reste à voir dans quelle mesure ces objectifs de durabilité seront effectivement atteints. Néanmoins, la SGMA représente un pas important vers une utilisation plus rationnelle et plus durable des ressources en eaux souterraines de la Californie.

La plupart des nappes souterraines de l'État en situation de surexploitation critique se situent dans les zones agricoles et la mise en œuvre de la SGMA aura donc des effets majeurs sur l'agriculture californienne. Les nappes souterraines constituant une importante ressource complémentaire lorsque les disponibilités d'eau de surface diminuent, les effets de la nouvelle loi se feront sentir de façon particulièrement forte en période de sécheresse. Scanlon et al. (2012) ont constaté que, dans la Vallée centrale, les cas d'épuisement des eaux souterraines se produisent surtout dans la partie méridionale de la vallée et principalement pendant les périodes de sécheresse. Ils considèrent que la réalimentation artificielle des aquifères au moyen des surplus d'eau de surface est un « moyen prometteur de faire face aux sécheresses et d'améliorer la durabilité des ressources en eaux souterraines de la Vallée centrale ». Bien que la recharge artificielle des nappes souterraines puisse aider à atténuer la pénurie d'eau, il sera aussi nécessaire dans les zones concernées de réduire les prélèvements au moyen de diverses mesures, comme l'utilisation plus efficace de l'eau, le passage à des cultures moins gourmandes en eau et le retrait de certaines terres de la production agricole.

Le but à long terme de la mise en œuvre de la SGMA est d'améliorer la fiabilité des eaux souterraines pour l'agriculture et d'autres formes d'utilisation, notamment afin de parvenir à un équilibre nouveau – et durable – pour l'agriculture irriguée.

Source : Maupin et al. (2014) ; UCCHM (2014) ; Famiglietti et al. (2011) ; CDWR (2014a) ; Scanlon et al. (2012).

En Californie, les activités agricoles menées dans les parties méridionales de la Vallée centrale sont particulièrement vulnérables aux contraintes qui découleront à l'avenir des disponibilités d'eau. La nouvelle version du California Water Plan (CDWR, 2013) comprend une analyse détaillée du pourcentage d'années où les disponibilités d'eau seront suffisantes pour répondre à la demande (fiabilité). Dans tous les scénarios étudiés, les disponibilités pour l'agriculture devraient rester extrêmement fiables en ce qui concerne la partie nord de la Vallée centrale. Dans les régions du centre de la vallée, le secteur agricole devrait connaître d'importantes pénuries d'eau dans certains scénarios, en particulier ceux qui tablent sur un climat un peu plus chaud et sec. C'est dans les régions méridionales de la Vallée centrale que le secteur agricole subira les plus fortes pénuries d'eau, avec une fiabilité inférieure à 95 % dans tous les scénarios et à 50 % dans les scénarios qui prévoient le réchauffement et l'aridification les plus prononcés. Dans toutes les régions de la Vallée centrale, la fiabilité des disponibilités d'eau restera beaucoup plus élevée pour le secteur urbain que pour le secteur agricole.

Bien que cet aspect soit assez peu abordé dans la littérature spécialisée, le changement climatique risque aussi d'accroître la prévalence des espèces végétales et animales nuisibles et des maladies dans la région, ce qui pourrait entraîner une intensification de la lutte contre les ennemis des cultures et avoir des conséquences sur la qualité de l'eau. Les études prévoient qu'une plus forte concentration de CO<sub>2</sub> pourrait accroître la prévalence des parasites et des mauvaises herbes sur les terres agricoles en Californie (CCAN, 2011). Il en découlerait un renforcement de la probabilité de résistance aux pesticides et aux herbicides. Pour y parer, on pourra être tenté de recourir de façon plus agressive à divers moyens phytosanitaires (y compris l'emploi de substances chimiques plus puissantes), qui pourraient conduire à une dégradation de la qualité de l'eau<sup>14</sup> et réduire en définitive l'accès des agriculteurs et d'autres consommateurs ou des écosystèmes à des ressources en eau utilisables.

### ***La baisse des disponibilités d'eau aura un impact important sur les cultures et l'élevage***

L'analyse des effets de la raréfaction de l'eau sur l'agriculture de la région en l'absence de nouvelles interventions des pouvoirs publics montre que *les cultures fourragères et de plein champ irriguées* seront les plus touchées.

- Frisvold et Konyar (2012), en utilisant un modèle hydro-économique pour évaluer les effets sur l'agriculture d'une réduction de 25 % des disponibilités d'eau dans le Sud-Ouest des États-Unis, constatent que les cultures de plein champ subiront les effets les plus notables, alors que les changements auxquels seront soumises les cultures spécialisées resteront très réduits. Leur étude conclut que les surfaces irriguées diminueront de 1.5% et que ces réductions seront largement contrebalancées par l'augmentation des surfaces non irriguées. La superficie totale des terres cultivées augmenterait en Utah et au Colorado et diminuerait en Arizona et au Nouveau-Mexique. Les mises en jachère entraîneraient une baisse du revenu net de 65 millions USD dans la région. Ces pertes pourraient être ramenées à 15 millions USD à condition que les agriculteurs modifient la répartition spatiale des cultures, pratiquent l'irrigation déficitaire et adaptent l'utilisation d'autres intrants agricoles<sup>15</sup>.
- Howitt et al. (2009) ont réalisé une simulation des effets d'un climat plus chaud et plus sec sur l'agriculture californienne en 2050. Leur étude conclut que les terres irriguées et l'utilisation de

14. Par exemple, la sûreté et/ou la qualité des produits végétaux peuvent être altérées si les cultures sont irriguées avec des eaux souterraines contaminées par des produits chimiques phytosanitaires. De même, utilisées en irrigation, les eaux souterraines contaminées par des herbicides peuvent nuire à la croissance de certaines plantes.

15. L'irrigation déficitaire désigne la pratique consistant à maintenir la quantité d'eau utilisée à un niveau inférieur aux besoins totaux d'une culture particulière. Elle vise à optimiser la productivité par unité d'eau et non par unité de surface cultivée.

l'eau diminueront respectivement de 20 % et 21 % dans l'ensemble de l'État mais que les revenus se contracteront seulement de 11 % car leur baisse sera partiellement compensée par l'augmentation des prix des produits agricoles et le changement plus fréquent des cultures. Les cultures de plus faible valeur et gourmandes en eau comme les pâturages, les cultures de plein champ, les cultures céréalières et le riz seraient celles qui connaîtront le plus fort recul.

L'étude de Marshall et al. (2015) confirme ces résultats. Dans leur analyse des impacts régionaux du changement climatique et de l'évolution des disponibilités d'eau aux États-Unis, les auteurs concluent que la production des *cultures de plein champ* diminuera et que cela aura des conséquences sur le bien-être. Cette étude montre que, d'ici le milieu du siècle, le changement climatique se traduira par : (1) une baisse de rendement de toutes les cultures de plein champ, à l'exception du blé et du fourrage ; (2) une diminution des superficies agricoles irriguées, due pour une part à la réduction des disponibilités d'eau de surface dans une grande partie de l'Ouest aride ; et (3) un recul de la production de toutes les cultures agricoles. Les prix des produits agricoles devraient augmenter mais cette hausse sera insuffisante pour compenser la baisse du rendement des cultures et des revenus, réduisant ainsi le bien-être des producteurs.

Les *cultures spécialisées*<sup>16</sup> présentent des opportunités et des difficultés spécifiques, et des études plus nombreuses seront nécessaires pour comprendre leur vulnérabilité au changement climatique et à une plus grande variabilité des disponibilités d'eau. Frisvold et al. (2013) notent que, contrairement à ce que l'on observe pour les cultures de plein champ, la demande de cultures spécialisées est inélastique par rapport aux prix et, par conséquent, cette demande ne baisse guère lorsque les prix sont à la hausse ; en outre, de faibles modifications de la production peuvent entraîner une forte augmentation des prix, ce qui permet aux agriculteurs de supporter les aléas de la production. Cependant, les cultures spécialisées sont particulièrement vulnérables au changement climatique car il s'agit dans de nombreux cas de cultures pérennes qui peuvent se maintenir une vingtaine d'années et sont donc exposées à des effets climatiques à plus longue échéance. De plus, les champs de cultures pérennes ne peuvent être mis en jachère et sont plus sensibles à la sécheresse et à d'autres variations hydrologiques. Luedeling et al. (2009) ont étudié l'évolution prévue du refroidissement hivernal en Californie et concluent que, d'ici le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, les conditions climatiques « ne seront plus favorables à certaines des principales cultures arboricoles actuellement pratiquées en Californie ». Ils notent que les cultures d'amandiers et de grenadiers seront celles qui souffriront le moins des nouvelles conditions climatiques car leur besoin en froid est moindre. Lobell et Field (2011) indiquent qu'aucune culture ne bénéficiera du réchauffement d'ici 2050, mais que les cerises seront exposées au risque le plus grave ; ils notent en outre que le réchauffement hivernal est nuisible aux amandiers mais qu'il pourra être compensé par le réchauffement bénéfique du printemps et de l'été. Ces deux auteurs soulignent que leur étude se fonde sans doute sur une hypothèse optimiste, puisqu'elle présuppose que les besoins en eau des cultures seront pleinement satisfaits. Auffhammer (2014), cependant, soutient que les données existantes sont insuffisantes pour déterminer comment chaque culture réagira au changement climatique et que la plupart des études négligent de prendre en compte de façon adéquate le potentiel d'adaptation.

Les périodes prolongées de sécheresse ou les pénuries d'eau dues au changement climatique entraîneront probablement une réduction des activités d'élevage et de *production laitière* dans l'ensemble du Sud-Ouest. Ces deux secteurs sont particulièrement vulnérables aux pénuries que laissent entrevoir les projections, car il leur faudra d'autant plus d'eau pour alimenter et abreuver les animaux que les températures seront plus élevées.

16. Les cultures spécialisées comprennent : les fruits et légumes, les fruits à coque, les fruits secs, l'horticulture et les cultures en pépinières. Elles constituent une part importante du revenu des exploitations agricoles de certaines parties du Sud-Ouest, notamment en Californie et en Arizona, et la demande s'accroît.

- La production et les prix des aliments pour les animaux risquent d'être directement touchés. Les bovins à viande ont besoin de pâturages pluviaux pendant leur première année de croissance, tandis que les vaches laitières se nourrissent de plantes fourragères comme la luzerne. Dans le Sud-Ouest, un fort pourcentage des terres irriguées et de l'eau est affecté à des cultures fourragères (Cohen et al., 2013) et, par conséquent, une sécheresse persistante ou une pénurie durable d'eau pourra conduire à une diminution de ce type de productions, d'autant plus que d'autres irrigants et d'autres secteurs chercheront à acquérir ou à louer les droits d'eau des exploitants concernés. L'intensification de la concurrence autour de l'utilisation de l'eau se traduira probablement par une poursuite de l'évolution actuelle et du transfert de l'eau de l'agriculture irriguée vers les zones urbaines, qui réduira l'offre de plantes fourragères comme la luzerne et fera augmenter leur prix.
- Le changement climatique pourrait aussi rejaillir sur l'élevage et la production laitière en modifiant : (1) la géographie et la productivité des pâturages et des parcours ; (2) la distribution des parasites du bétail et des agents pathogènes ; et (3) l'environnement thermique des animaux – nuisant ainsi à la santé du bétail, à sa reproduction et à l'efficacité du processus de transformation des aliments en produits, en particulier en viande et en lait (Key et al., 2014). Frisvold et al. (2013) pensent que le réchauffement allongera probablement la saison de croissance et améliorera la productivité des pâturages aux altitudes élevées et dans les parties septentrionales de la région, ce qui devrait compenser l'impact de la hausse du coût des aliments. Cependant, dans les régions méridionales comme l'Arizona et le centre et le Sud-Est de la Californie, le réchauffement entraînera un raccourcissement de la saison de croissance et une baisse des rendements (Brown et al., 2015).
- Le réchauffement risque aussi de peser sur la productivité laitière. Associée à une plus forte humidité, l'élévation des températures aura des effets considérables sur les vaches laitières et réduira leur production à cause de la vulnérabilité de ces animaux au stress thermique. Key et al. (2014) estiment qu'en 2010, le stress thermique a coûté à l'industrie laitière des États-Unis environ 1.2 milliard USD, c'est-à-dire un peu plus de 2 % du total des revenus de ce secteur. Mauger et al. (2014) prévoient que le changement climatique entraînera une baisse de productivité de l'industrie laitière des États-Unis de 4.7 % vers le milieu du siècle (années 2050) et de 6.3 % vers la fin du siècle (années 2080), avec des effets importants mais variables dans le Sud-Ouest : le comté de Maricopa en Arizona, par exemple, devrait connaître une baisse de productivité de 18 % d'ici le milieu du siècle, alors que le chiffre correspondant se situerait autour de 4 % dans le comté de Tulare en Californie et de 2 % dans le comté de Weld au Colorado.

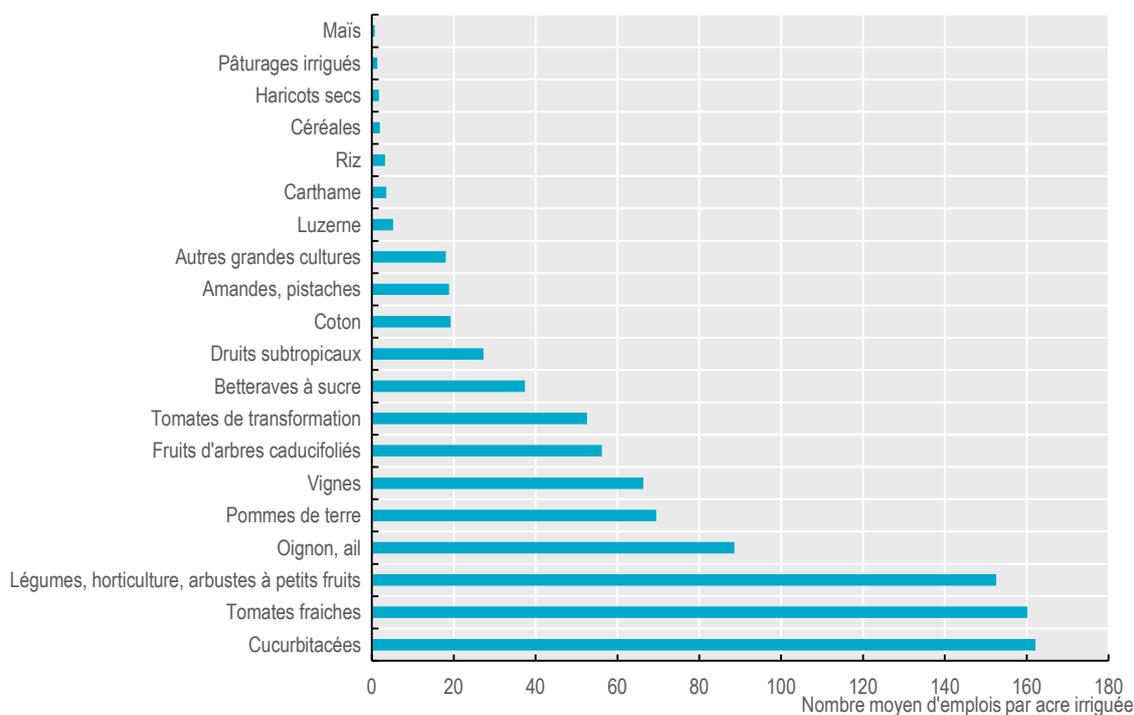
***Des conséquences sont aussi à attendre sur les échanges et l'emploi, même si les projections demeurent incertaines***

Les impacts sur l'agriculture auront à leur tour des effets sur le *commerce agricole international*, en particulier dans le cas de la Californie, mais de nouveaux travaux seront nécessaires pour évaluer pleinement ces effets. Outre le rôle de premier plan de la Californie en termes de productivité et de consommation agricoles, ses exportations agricoles dépassent annuellement 18 milliards USD depuis 2012 (CDFA, 2015). La pénurie et la réallocation des ressources en eau auront des incidences sur la production et les exportations de l'État, et les impacts locaux se feront donc sentir à l'échelle mondiale (MacDonald, 2010). Dans les projections examinées plus haut, les cultures de plein champ, l'élevage et la production laitière seront parmi les activités agricoles les plus fortement touchées par la raréfaction de l'eau. Ces activités constituent une part importante des exportations : en 2014, les exportations de produits laitiers, de viande bovine et produits apparentés, de riz, de coton et de fourrage ont atteint 4.2 milliards USD, soit 19.5 % de la valeur totale des exportations agricoles (CDFA, 2015). Toutefois, étant donné les nombreuses variables en jeu dans la productivité agricole, notamment l'efficacité des pratiques d'irrigation, la modification des cultures et l'amélioration de leur rendement, ainsi que la variabilité des marchés mondiaux et la demande en général, il est difficile de prévoir les éventuelles

retombées économiques d'une longue sécheresse et de la réallocation des ressources en eau au-delà du seul contexte régional.

Les changements dans le secteur agricole pourraient cependant atténuer les effets de la rarefaction de l'eau sur l'ensemble de l'emploi, même si les projections en la matière présentent un fort degré d'incertitude. Frisvold et Konyar (2012) estiment qu'une réduction de 25 % des disponibilités d'eau dans le Sud-Ouest des États-Unis se traduira par une baisse de 3 % seulement de l'emploi au niveau régional, l'Arizona étant l'État le plus fortement touché. Toutefois, les projections ex-ante demeurent difficiles. Howitt *et al.* (2014), par exemple, avaient prévu que les pertes d'emploi directes, indirectes ou induites par la sécheresse de 2014 en Californie s'élèveraient en tout à 17 100 emplois saisonniers et à temps partiel. Cependant, les données effectives de l'emploi montrent que les emplois agricoles ont atteint le chiffre record de 417 000 en 2014 (California Employment Development Department, 2015). Il est probable, en outre, que le chiffre de l'emploi dans le secteur aurait été encore plus élevé si les jachères avaient été moins nombreuses en 2014, mais ces pertes ont été compensées par un abandon des grandes cultures, qui nécessitent relativement moins de personnel à l'hectare (graphique 5), au profit de cultures arboricoles et de cultures de tomates, qui en demandent plus (Cooley *et al.*, 2015a).

**Graphique 5. Nombre moyen d'emplois par acre de terre irriguée, par grands types de cultures**



*Note* : les catégories de cultures utilisées sont celles du DWR. Les « cucurbitacées » comprennent le melon, la courge et le concombre. Les « autres grandes cultures » incluent le lin, le houblon, le sorgho-grain, le sorgho du Soudan, le ricin et divers, ainsi que le tournesol, les hybrides sorgho-Soudan, le millet et la canne à sucre. Les « fruits d'arbres caducifoliés » comprennent la pomme, l'abricot, la cerise, la pêche, la nectarine, la poire, la prune, la prune à pruneaux, la figue, les fruits à coque et divers. Les « fruits subtropicaux » incluent le pamplemousse, le citron, l'orange, la datte, l'avocat, l'olive, le kiwi, le jojoba, les fruits d'eucalyptus et divers.

*Source* : graphique tirée de Cooley *et al.* (2015a) et basé sur les données de superficie des cultures irriguées pour 2010 provenant de CDWR (2015) ; les estimations du nombre d'emplois sont tirées de Medellín-Azuara *et al.* (2015).

#### 4. Plusieurs options peuvent aider à atténuer les impacts négatifs prévus

Comme indiqué dans la section précédente, l'intensification de la concurrence autour de disponibilités d'eau plus variables et plus incertaines aura nécessairement des effets sur le secteur agricole du Sud-Ouest des États-Unis. Cependant, l'amélioration des politiques et des pratiques agricoles et de gestion de l'eau devrait permettre d'atténuer ces effets. Cette dernière section examine *plusieurs options* d'atténuation des impacts négatifs sur l'agriculture dans la région, notamment la réduction de la demande d'eau dans les zones agricoles et urbaines, l'amélioration de la gestion des eaux souterraines et la répartition de l'eau entre différents utilisateurs<sup>17</sup>.

##### *Réduire la demande agricole et urbaine est un moyen d'atténuer les effets de la pénurie d'eau*

Diverses stratégies peuvent être envisagées pour amener les agriculteurs à réduire leur consommation d'eau, et atténuer ainsi la vulnérabilité aux pénuries d'eau. Des améliorations au niveau de l'exploitation comme la micro-irrigation ou la planification de l'irrigation sur la base de la surveillance de l'humidité des sols et des données d'évapotranspiration en temps réel, par exemple, permettent de maintenir la production agricole avec un volume d'eau moindre (Buchleiter et al., 1996 ; Dokter, 1996 ; Kranz et al., 1992). Le changement de cultures est aussi un moyen de répondre aux pénuries prévues et peut être source d'avantages économiques pour la région. Les grandes cultures, par exemple, sont parfois plus gourmandes en eau et génèrent une valeur moindre par unité d'eau que d'autres types de cultures ; par conséquent, un changement de cultures bien planifié peut aboutir à une baisse de l'utilisation d'eau et à une hausse des revenus. En outre, les variétés cultivées qui tolèrent mieux la sécheresse, la chaleur ou le sel peuvent contribuer à réduire la vulnérabilité à la plus grande variabilité du climat.

Certaines méthodes de gestion des sols sont aussi aptes à réduire la vulnérabilité de l'agriculture à la sécheresse et aux pénuries d'eau. Les façons culturales antiérosives, par exemple, laissent subsister dans les sols les résidus de récolte de l'année précédente, réduisant ainsi l'évaporation de surface, stimulant la teneur des sols en matière organique et améliorant, par conséquent, leur niveau d'humidité<sup>18</sup>. Enfin, l'amélioration des systèmes de transport de l'eau au moyen, par exemple, de l'imperméabilisation des canaux et d'une meilleure maîtrise des débits peut permettre des économies d'eau.

La croissance démographique et la pression qui en résulte en faveur d'une réallocation des ressources d'eau de l'agriculture vers les zones urbanisées sont l'un des grands problèmes auxquels est confrontée l'agriculture du Sud-Ouest. Les progrès accomplis dans les agglomérations en matière d'économies d'eau et d'efficacité dans la gestion de la ressource ont quelque peu atténué cette pression. Dans les grandes villes comme San Francisco et Los Angeles, le volume total d'utilisation de l'eau diminue depuis la fin des années 70, malgré la croissance démographique et économique continues. À plus grande échelle, une étude fédérale récente conclut que les efforts d'économies d'eau et les progrès

17. Des politiques à caractère plus général pour faire face à la rareté de l'eau sont décrites dans deux documents de l'OCDE (OCDE, 2014 et 2016). Certains grands changements sociétaux, comme la modification des habitudes de consommation alimentaire au détriment de la viande bovine et des produits laitiers et au profit de produits agricoles moins gourmands en eau comme les légumes et les légumineux, pourront aussi contribuer à réduire les risques de pénurie d'eau. Ces changements ne sont pas évoqués ici car ils exigent des interventions complexes de la part des pouvoirs publics à de nombreux niveaux différents.

18. En 2015, l'État de Californie a lancé l'initiative « Healthy Soils », qui vise à accroître la teneur des sols agricoles en matière organique pour améliorer la rétention d'eau, la stabilité des sols, l'assimilation des éléments nutritifs et la capture des gaz à effet de serre. L'objectif est d'améliorer la gestion des sols grâce au développement de la recherche, de l'aide technique et de la formation, et en créant des incitations et des opportunités commerciales de nature à promouvoir la santé des sols.

de l'efficacité ont permis de réduire de plus de 2.1 km<sup>3</sup> la demande annuelle d'eau du bassin du Colorado, ce qui est considérable dans un bassin surexploité (USBR, 2015).

### ***Optimiser la gestion des eaux souterraines permettra d'atténuer la vulnérabilité à des disponibilités d'eau plus variables***

Les eaux souterraines constituent une source d'approvisionnement importante pour les agriculteurs de certaines parties du Sud-Ouest, en particulier en Arizona, en Californie, au Nevada et au Nouveau-Mexique, et elles devraient donc être mieux gérées pour assurer l'avenir des activités agricoles dans la région. Pendant les années de sécheresse, lorsque l'eau de surface se raréfie, les nappes souterraines sont de plus en plus fréquemment une source palliative importante pour les agriculteurs (OCDE, 2015a). Cependant, dans certaines zones, notamment certaines parties de la Californie et l'ensemble du bassin du Colorado, l'utilisation actuelle des eaux souterraines n'est pas durable et met en danger cette précieuse réserve pour l'avenir (Tillman et al., 2011 ; Castle et al., 2014 ; Famiglietti, 2014 ; UCCHM, 2014).

Pour parvenir à gérer l'utilisation intensive des eaux souterraines, comme celle que l'on observe dans la Vallée centrale de la Californie, de nombreuses conditions doivent être remplies, mais divers outils économiques, réglementaires et d'action collective peuvent y aider (OCDE, 2015a ; voir encadré 2). La loi de 2014 sur la gestion durable des eaux souterraines, qui incite les collectivités à prendre des mesures pour réduire l'utilisation de ces eaux, représente un premier pas en ce sens (voir encadré 1 ; Gruère, 2015).

#### **Encadré 2. Quelles politiques envisager pour remédier à l'utilisation intensive des eaux souterraines dans l'agriculture ?**

Une analyse détaillée des politiques des pays de l'OCDE concernant les eaux souterraines a permis de recenser les conditions et approches clés pour remédier aux conséquences de l'épuisement de ces eaux et aux externalités négatives associées.

- Six conditions générales propices à une gestion réussie sont identifiées : 1) développer et entretenir une connaissance suffisante des ressources hydrogéologiques et de leur utilisation ; 2) gérer de manière combinée (ensemble) les eaux de surface et les eaux souterraines lorsque cela est pertinent ; 3) privilégier les instruments qui ciblent directement l'utilisation de l'eau souterraine par rapport aux approches indirectes (par exemple, réglementations relatives à l'utilisation des terres) lorsque cela est possible ; 4) privilégier les approches axées sur la demande, qui visent à réduire l'utilisation de l'eau souterraine avant de faire appel à des ressources supplémentaires ; 5) renforcer la mise en application effective des dispositions réglementaires (par exemple, droits d'utilisation de l'eau) avant de recourir à d'autres approches ; et 6) éviter des mesures d'intervention non liées à l'eau susceptibles d'induire une distorsion des prix, telles que les subventions en faveur de cultures intensives en eau et en énergie, qui pourraient influencer sur l'utilisation des eaux souterraines.
- Pour répondre à l'utilisation intensive, les politiques devraient s'appuyer sur une combinaison de trois piliers, constitués d'instruments de gestion réglementaire, économique et collective. Les systèmes de droit d'utilisation de l'eau souterraine devraient demeurer au cœur de la stratégie de gestion des eaux souterraines. Des approches fondées sur l'action collective sont présentes dans bon nombre des exemples de mesures efficaces prises pour corriger les externalités. Les instruments économiques peuvent contribuer à apporter une solution efficiente aux problèmes de pénurie d'eau souterraine et d'épuisement des nappes.
- Les mesures qui accroissent la productivité de l'eau dans l'agriculture et favorisent de nouveaux mécanismes de recharge, comme le stockage et la récupération en aquifère, apportent des outils complémentaires en cas de stress hydrique élevé.

Cette panoplie de mesures en trois parties devrait être adaptée aux spécificités locales des systèmes hydrogéologiques utilisés en agriculture, ce qui peut nécessiter une division de la gestion en trois sous-unités fonctionnelles.

Source : OCDE (2015a).

Les aquifères offrent également d'importantes possibilités de stockage d'eau et pourraient aider la région du Sud-Ouest à faire face au changement climatique et, en particulier, à la fonte de la couverture neigeuse due au réchauffement. Avec une gestion adéquate, les aquifères pourraient capter une partie de cette eau, et réduire ainsi les risques d'inondations en hiver et de sécheresses en été. Le surplus d'eau de surface les années humides, les eaux usées épurées et le ruissellement des eaux pluviales pourraient aussi servir à recharger les réserves d'eaux souterraines.

### ***Les banques d'eau fournissent la flexibilité requise pour s'adapter à des disponibilités d'eau variables et incertaines***

Les banques d'eau sont un moyen d'accroître les capacités de stockage – dans les réservoirs de surface ou les aquifères – ce qui apporte une plus grande flexibilité et réduit la vulnérabilité aux futures pénuries. Il est possible, à cette fin, de combiner amélioration de l'efficacité et accroissement du stockage ou préservation en vue d'autres utilisations. Plusieurs modèles créatifs de banque d'eau ont été lancés dans le bassin du Colorado. Ces développements remontent à 1999, année où le gouvernement fédéral a adopté une nouvelle réglementation autorisant la création de banques d'eau inter-États à l'intérieur du bassin (USBR, 1999). Au début 2016, l'Arizona et la Californie avaient détourné et stocké plus de 1.14 km<sup>3</sup> d'eau du Colorado au profit du Sud du Nevada (USBR, 2016). En 2007, les sept États du bassin ont adopté une nouvelle série de règles de gestion du fleuve qui, parmi d'autres nouveaux éléments essentiels, ont permis aux détenteurs de droits d'Arizona, de Californie et du Nevada d'investir dans divers projets d'économies d'eau à l'intérieur de leur État et de stocker un certain pourcentage de l'eau économisée dans le lac Mead pour pouvoir l'utiliser ultérieurement (USBR, 2007). À ce jour, plus de 1.3 km<sup>3</sup> d'eau a ainsi été stocké dans le lac Mead, dans le cadre de ce nouveau programme ; environ 0.87 km<sup>3</sup> d'eau était toujours en stock à la fin 2015 (USBR, 2016). Plus récemment, quatre grandes agences municipales de l'eau du bassin ont décidé, en coopération avec le US Bureau of Reclamation, de consacrer 11 millions USD à des programmes de mise en jachère et d'amélioration de l'efficacité, et de vouer l'eau économisée au bassin hydrographique du Colorado dans son ensemble au lieu de l'utiliser pour leur propre compte (USBR, 2014b).

### ***Le recyclage des eaux usées permet de réduire la dépendance à l'égard de disponibilités d'eau réduites***

Le recyclage des eaux usées urbaines peut être une source d'approvisionnement sûre et fiable, et atténuer la dépendance à l'égard de ressources en eaux de surface et souterraines limitées, réduire la pollution des fleuves et des océans due aux rejets d'eaux usées et aussi apporter aux cultures des éléments nutritifs essentiels, ce qui permet de réduire les dépenses d'engrais. L'eau recyclée peut être apportée directement aux cultures, mélangée à une eau d'une autre provenance, ou bien utilisée pour recharger des réserves d'eau souterraine qui seront extraites ultérieurement par les exploitants agricoles. En 1990, dernière année pour laquelle on dispose des données régionales de l'United States Geological Survey, l'eau recyclée a représenté 3.4 % de l'eau d'irrigation en Arizona et 1 % ou moins dans d'autres États du Sud-Ouest. Elle ne constitue donc encore qu'une faible source d'eau d'irrigation dans le Sud-Ouest des États-Unis, mais son utilisation pourrait s'étendre dans les zones agricoles situées à proximité de centres urbains.

### ***Des transferts d'eau bien conçus peuvent réduire les pertes économiques dues aux pénuries d'eau***

Par transfert d'eau, on entend le transfert permanent ou temporaire de droits d'utilisation de l'eau en échange d'une indemnisation quelconque. Il s'agit sans doute de la méthode la plus connue et la plus largement utilisée de réallocation de l'eau entre des usages ou des utilisateurs différents. Les transferts d'eau temporaires entre agriculteurs sont généralement un moyen de répondre à la sécheresse ou à d'autres réductions à court terme des disponibilités d'eau et d'atténuer l'impact économique des pénuries d'eau dans le secteur agricole, par exemple en mettant des terres en jachère et en cédant les droits d'eau correspondants pour qu'ils puissent être utilisés dans des cultures qui rapportent davantage. Les transferts d'eau de longue durée ou permanents, par contre, permettent de modifier la structure de la

demande et de l'utilisation de l'eau et, dans presque tous les cas, ces transferts aboutissent à une réaffectation de l'eau au profit d'utilisations non agricoles.

Les transferts d'eau de longue durée hors de l'agriculture peuvent contribuer à promouvoir l'efficacité économique à l'échelle de la société dans son ensemble, mais leur impact sur le secteur agricole dépend de la méthode utilisée pour libérer des ressources en eau en vue de ces transferts, par exemple la mise de terres en jachères, la modification des cultures au profit de plantes moins gourmandes en eau ou l'amélioration de l'efficacité des pratiques agricoles. En outre, les avantages économiques au niveau d'un État ou d'une région peuvent dissimuler des écarts entre zones d'origine et zones d'importation, ou même à l'intérieur des zones d'origine elles-mêmes (Cooley *et al.*, 2015b).

Si certains types de transferts d'eau sont efficaces, par exemple l'échange d'eaux usées urbaines retraitées aux fins de la conservation des eaux souterraines (comme en Californie, voir OCDE, 2015b) ou la réaffectation de ressources en eau vers des utilisations plus rentables, d'autres peuvent avoir des effets socioéconomiques et environnementaux négatifs assez marqués. Les dispositifs du type « buy and dry », qui limitent la productivité agricole, peuvent être particulièrement problématiques à cet égard, car leurs effets se font sentir bien au-delà des aires d'origine et de destination du transfert d'eau, notamment en modifiant l'assiette fiscale, en provoquant la fermeture de fournisseurs de matériel agricole, en réduisant les opportunités d'emploi pour les travailleurs agricoles et en favorisant l'exode rural. Des accords contractuels occasionnels sur le marché de l'eau, définissant au préalable le volume des transferts à effectuer en cas de sécheresse intense, permettraient sans doute de réduire les impacts sur la production agricole et sur l'économie rurale au fil du temps.

En pratique, les transferts d'eau ont donné des résultats mitigés. Les mesures systématiques de transfert appliquées dans plusieurs régions, comme le bassin Murray-Darling en Australie et la vallée de Mexicali dans le Nord-Ouest du Mexique, ont abouti à la réallocation temporaire ou permanente de plus d'un tiers du volume annuel total utilisé dans ces régions. Dans le premier cas, cela a contribué à maintenir la valeur économique de l'agriculture dans un contexte de forte réduction des ressources en eau et grandement accru la flexibilité d'utilisation de ces ressources dans les situations de sécheresse (OCDE, 2014 et 2016). Dans d'autres cas, par exemple les zones d'irrigation du Colorado et de la Californie, les résultats n'ont pas été aussi probants.

L'expérience passée montre que plusieurs conditions doivent être réunies pour assurer la réussite d'un marché de l'eau. Elles comprennent : l'équivalence des droits d'eau (par opposition aux systèmes reposant sur des droits prioritaires), des coûts de transaction peu élevés, la limitation ou l'atténuation des impacts éventuels sur des tiers, et la fourniture d'une information crédible en temps opportun sur le prix et la disponibilité de l'eau. En Australie, par exemple, une subvention publique de 3 milliards USD, sous la forme d'achats d'eau par l'État fédéral dans un but de protection de l'environnement, a permis concrètement de lever un blocage important. Dans d'autres régions du monde comme le Sud-Ouest de la Californie, les conséquences pour l'environnement d'un transfert d'eau massif du secteur agricole vers les zones urbaines – qui pourrait mettre en danger une halte importante pour les oiseaux migrateurs sur la voie du Pacifique et créer un risque de santé publique à cause des émissions de poussières qu'entraînerait le rétrécissement d'un lac alimenté par les eaux de drainage de l'agriculture – n'ont pas encore été suffisamment étudiées et prises en compte (Cohen, 2014).

## Références

- Auffhammer, M. (2014), « Estimating Impacts of Climate Change on California's Most Important Crops », ARE Update vol. 18, n° 1, pp. 6-8, University of California Giannini Foundation of Agricultural Economics, Berkeley, Californie.
- Bates, B.C. et al. (2008), « Le changement climatique et l'eau », document technique VI du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève.
- Bates, S.F. et al. (1993), *Searching Out the Headwaters: Change and Rediscovery in Western Water Policy*, Island Press, Covelo, Californie.
- Booker, J.F. et al. (2005), « Economic Impact of Alternative Policy Responses to Prolonged and Severe Drought in the Rio Grande Basin », *Water Resources Research*, vol. 41, no. W02026.
- Boyd, J. A. (2003), *Hip Deep: A Survey of State Instream Flow Law from the Rocky Mountains to the Pacific Ocean*, *Natural Resources Journal*, n° 43, pp. 1151–1216.
- Brown, M.E. et al. (2015), « Climate Change, Global Food Security, and the U.S. Food System », U.S. Department of Agriculture Office of the Chief Economist, the University Corporation for Atmospheric Research, and the National Center for Atmospheric Research, Washington, D.C.  
[http://www.usda.gov/oce/climate\\_change/FoodSecurity2015Assessment/FullAssessment.pdf](http://www.usda.gov/oce/climate_change/FoodSecurity2015Assessment/FullAssessment.pdf)
- Buchleiter, G.W. et al. (1996), « Economic Analysis of On-Farm Irrigation Scheduling », *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling: Proceedings of the International Conference*, 3-6 novembre 1996, San Antonio, Texas.
- BEA (Bureau of Economic Analysis) (2015), « Regional Economic Accounts: SA45 Farm Income and Expenses », US Department of Commerce, Washington D.C.
- CCAN (California Climate & Agricultural Network) (2011), « Climate change impacts on agriculture », factsheet, <http://calclimateag.org/wp-content/uploads/2011/09/Impacts-fact-sheet.pdf>.
- Castle, S. L., et al. (2014), « Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado River Basin », *Geophysical Research Letters*, Vol. 41, N.16, pp. 5904-5911.
- CDFA (California Department of Food and Agriculture) (2015), « California Agricultural Exports, 2014-15 », California Climate Change Center, Sacramento, Californie,  
<https://www.cdfa.ca.gov/statistics/PDFs/AgExports2014-2015.pdf>.
- CDWR (California Department of Water Resources) (2015), *Annual Land and Water Use Estimates*, Sacramento, Californie, Consulté en Novembre 2015.  
<http://www.water.ca.gov/landwateruse/anaglwu.cfm>.
- CDWR (2014a), « Groundwater Basins with Potential Water Shortages and Gaps in Groundwater Monitoring », Sacramento, Californie,  
[http://www.water.ca.gov/waterconditions/docs/Drought\\_Response-Groundwater\\_Basins\\_avril30\\_Final\\_BC.pdf](http://www.water.ca.gov/waterconditions/docs/Drought_Response-Groundwater_Basins_avril30_Final_BC.pdf).
- CDWR (2014b), « Scenarios of Future California Water Demand Through 2050 Growth and Climate Change », Sacramento, Californie,  
[http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/cwpu2013/Final/vol4/data\\_analytical\\_tools/05Scenarios\\_Future\\_California\\_Water\\_Demand.pdf](http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/cwpu2013/Final/vol4/data_analytical_tools/05Scenarios_Future_California_Water_Demand.pdf).
- CDWR (2013), « California Water Plan: Update 2013 », Sacramento, Californie,  
[http://www.water.ca.gov/waterplan/docs/cwpu2013/Final/06\\_Vol1\\_Ch05\\_Managing\\_an\\_UncertainFuture.pdf](http://www.water.ca.gov/waterplan/docs/cwpu2013/Final/06_Vol1_Ch05_Managing_an_UncertainFuture.pdf)

- California Employment Development Department (2015), « Statewide Historical Annual Average Employment by Industry Data, 1990–2014 », Sacramento, Californie. Consulté le 29 juillet 2015, [http://www.labormarketinfo.edd.ca.gov/LMID/Employment\\_by\\_Industry\\_Data.html](http://www.labormarketinfo.edd.ca.gov/LMID/Employment_by_Industry_Data.html)
- Cayan, D., et al. (2013), « Future Climate: Projected Average », in G. Garfin, et al. (dir. Pub.), *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*, Southwest Climate Alliance, Island Press, Washington, D.C. <http://swccar.org/sites/all/themes/files/SW-NCA-color-FINALweb.pdf>
- Christensen, N., et D. P. Lettenmaier (2006), « A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin », *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, vol. 3, pp. 3727–3770.
- Cohen, M.J. (2011), « Municipal Deliveries of Colorado River Basin Water », Pacific Institute, Oakland, Californie. [http://pacinst.org/app/uploads/2013/02/crb\\_water\\_8\\_21\\_2011.pdf](http://pacinst.org/app/uploads/2013/02/crb_water_8_21_2011.pdf)
- Cohen, M.J. et al. (2013), « Water to Supply the Land: Irrigated Agriculture in the Colorado River Basin », Pacific Institute, Oakland, Californie. <http://pacinst.org/app/uploads/2013/05/pacinst-crb-ag.pdf>
- Cohen, M.J. (2014), « Hazard's Toll: The Costs of Inaction at the Salton Sea », Pacific Institute, Oakland, Californie. [http://pacinst.org/app/uploads/2014/09/PacInst\\_HazardsToll.pdf](http://pacinst.org/app/uploads/2014/09/PacInst_HazardsToll.pdf)
- Cooley, H. et al. (2015a), « Impact of California's Ongoing Drought: Agriculture », Pacific Institute, Oakland, Californie. <http://pacinst.org/app/uploads/2015/08/ImpactsOnCaliforniaDrought-Ag.pdf>
- Cooley, H. et al. (2015b), « Incentive-Based Instruments for Freshwater Management », rapport établi pour la Rockefeller Foundation et la Foundation Center, Pacific Institute, Oakland, Californie. [http://pacinst.org/app/uploads/2016/02/issuelab\\_23697.pdf](http://pacinst.org/app/uploads/2016/02/issuelab_23697.pdf)
- Compagnucci, R., L. et al. (2001), « Hydrology and Water Resources », in « Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability », Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Genève.
- Cook, B.I. et al. (2015), « Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains », *Science Advances*, Vol. 1, no. 1, e1400082. DOI: 10.1126/sciadv.1400082
- Coppock, D.L. (2011), « Ranching and multiyear droughts in Utah: production, risk perceptions, and changes in preparedness », *Rangeland Ecology & Management*, Vol. 64, No. 6, pp. 607-618.
- Dettinger, M.D et al. (2011), « Atmospheric rivers, floods and the water resources of California », *Water*, Vol.3, pp. 445-478.
- Dokter, D.T. (1996), « AgriMet – The Pacific Northwest Cooperative Agricultural Weather Station Network, Evapotranspiration and Irrigation Scheduling », Proceedings of the International Conference, 3-6 novembre 1996, San Antonio, Texas.
- Donnelly, K., et H. Cooley (2015), « Water Use Trends in the United States », Pacific Institute, Oakland, Californie. <http://pacinst.org/app/uploads/2015/04/Water-Use-Trends-Report.pdf>
- Famiglietti, J. (2014), « Epic California drought and groundwater: where do we go from here? », Water Currents, National Geographic Blog, Washington, D.C. <http://voices.nationalgeographic.com/2014/02/04/epic-california-drought-and-groundwater-where-do-we-go-from-here/>
- Famiglietti, J.S. et al. (2011), « Satellites Measure Recent Rates of Groundwater Depletion in California's Central Valley », *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L03403.
- Ficklin D.L., et al. (2013), « Climate Change Impacts on Streamflow and Subbasin-Scale Hydrology in the Upper Colorado River Basin », *PLoS ONE* 8(8): e71297. DOI:10.1371/journal.pone.0071297.
- Frisvold, G.B. et al. (2013), « Agriculture and Ranching », in Garfin, G., et al (dir. pub.), *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for National Climate Assessment*,

- pp. 218–239, Southwest Climate Alliance, Island Press, Washington, D.C.  
[http://www.swcarr.arizona.edu/sites/default/files/ACCSWUS\\_Ch11.pdf](http://www.swcarr.arizona.edu/sites/default/files/ACCSWUS_Ch11.pdf).
- Frisvold, G.B. et K. Konyar (2012), « Less Water: How Will Agriculture in Southern Mountain States Adapt? » *Water Resources Research*, vol. 48, n° 5, W05534,  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011WR011057/abstract;jsessionid=D5EF49FE155BB68D059C4A385AFF4FD2.f01t01>.
- Gershunov, A. et al. (2013), « Future Climate: Projected Extremes », in Garfin, G. et al (dir. pub.), *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*, pp. 126–147, A report by the Southwest Climate Alliance, Island Press, Washington, D.C. <http://swccar.org/sites/all/themes/files/SW-NCA-color-FINALweb.pdf>
- Gruère, G. (2015), « A Californian enigma: Record-high agricultural revenues during the most severe drought in history », OECD Insights Blog, OCDE, Paris, <http://oecdinsights.org/2015/12/09/a-californian-enigma-record-high-agricultural-revenues-during-the-most-severe-drought-in-history/>.
- Harou, J.J. et al. (2010), « Economic consequences of optimized water management for a prolonged, severe drought in California », *Water Resources Research*, Vol. 45, no. 5 W05522.
- Howitt, R. E., et al. (2009), « Estimating economic impacts of agricultural yield related changes », Final Report CEC-500-2009-042-F, California Climate Change Center, Sacramento.
- Howitt, R.E. et al. (2014), « Economic analysis of the 2014 drought for California agriculture », UC–Davis Center for Watershed Sciences, Davis, Californie,  
[https://watershed.ucdavis.edu/files/content/news/Economic\\_Impact\\_of\\_the\\_2014\\_California\\_Water\\_Drought.pdf](https://watershed.ucdavis.edu/files/content/news/Economic_Impact_of_the_2014_California_Water_Drought.pdf).
- Hundley, N. J (1975), *Water and the West: The Colorado River Compact and the Politics of Water in the American West*, University of California Press, Los Angeles.
- Hundley, N. Jr (1986), « The West Against Itself: The Colorado River -- an Institutional History », in G. Weatherford et F. Brown (dir. pub.), *New Courses for the Colorado River*, pp. 9-49, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Hutson, S. et al. (2005), « Estimated Use of Water in the United States in 2000 », US Geological Survey Circular 1268, USGS, Washington D.C. <http://pubs.usgs.gov/circ/2004/circ1268/>
- Jiménez Cisneros, B.E. et al. (2014), « Freshwater Resources », in Field, C.B et al. (dir. pub.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, USA, pp. 229-269.
- Kenny, J. et al. (2009), « Estimated Use of Water in the United States in 2005 », US Geological Survey Circular 1344, USGS, Washington D.C. <http://pubs.usgs.gov/circ/1344>
- Key, N. et al. (2014), « Climate Change, Heat Stress, and U.S. Dairy Production », ERR-175, United States Department of Agriculture Economic Research Service, Washington D.C.  
<http://www.ers.usda.gov/media/1679930/err175.pdf>
- Kranz, W.L. et al. (1992), « Water and energy conservation using irrigation scheduling with center-pivot irrigation systems », *Agricultural Water Management*, vol. 22, pp. 325-334.
- Kundzewicz, Z.W. et al. (2007), « Freshwater Resources and their Management », in Parry, M.L. et al. (dir. pub.), « *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* », Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lobell, D.B. et C.B. Field (2011), « California perennial crops in a changing climate », *Climatic Change*, vol. 109, Suppl. 1, pp. S317-S333.

- Luedeling E. et al. (2009), « Climatic Changes Lead to Declining Winter Chill for Fruit and Nut Trees in California during 1950–2009 », *PLoS ONE*, vol. 4, n° 7, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006166>.
- MacDonald, G. M. (2010), « Water, climate change, and sustainability in the Southwest », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, pp. 21256-21262.
- Marshall, E. et al. (2015), « Climate Change, Water Scarcity, and Adaptation in the U.S. Field Crop Sector », ERR-201, United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington D.C. <http://www.ers.usda.gov/media/1951525/err-201.pdf>
- Maupin, M. et al. (2014), « Estimated Use of Water in the United States in 2010 », US Geological Survey Circular 1405, USGS, Washington D.C. <http://pubs.usgs.gov/circ/1405/pdf/circ1405.pdf>
- Medellin-Azuara, J., et al. (2015), « Jobs per drop irrigation California crops », California WaterBlog, <http://californiawaterblog.com/2015/04/28/jobs-per-drop-irrigating-california-crops/>.
- Minckley, W.L., et J.E. Deacon (1991), *Battle Against Extinction: Native Fish Management in the American West*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2004), « State of the Climate: Drought for April 2004 », NOAA, Washington D.C. <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/drought/200404>.
- OCDE (2016), *Gestion des risques de sécheresse et d'inondation dans l'agriculture, Enseignements pour les politiques publiques*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264254459-fr>.
- OCDE (2015a), *Les périls du tarissement : Vers une utilisation durable des eaux souterraines en agriculture*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264248427-fr>.
- OCDE (2015b), *Water and cities: ensuring sustainable futures*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264230149-en>.
- OCDE (2015c), *Water resource allocation: Sharing risks and opportunities*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264229631-en>.
- OCDE (2014), *Changement climatique, eau et agriculture : Vers des systèmes résilients*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235076-fr>.
- OCDE (2013), *Water Security for Better Lives*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris. doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264202405-en>
- Phillips, S.P. et al. (2015), « Sustainable groundwater management in California », United States Geological Survey Fact Sheet 2015-3084 (ver. 2.2, février 2016), USGS, Washington D.C. <http://dx.doi.org/10.3133/fs20153084>.
- Rosenberg, K.V. et al. (1991), *Birds of the Lower Colorado River Valley*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- Scanlon, B.R. et al. (2012), « Groundwater Depletion and Sustainability of Irrigation in the US High Plains and Central Valley », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, n° 24, pp. 9320-9325.
- Schlenker, W. et M.J. Roberts (2009), « Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, n° 37, pp. 15594-15598.
- SEG (Scientific Expert Group on Climate Change) (2007), « Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable », Bierbaum, R. M. et al. (dir. pub.), rapport établi pour la Commission du développement durable des Nations Unies, Sigma Xi, Research Triangle Park, NC, et la Fondation pour les Nations Unies, Washington, D.C. [http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf\\_website/PDF/climate%20change\\_avoid\\_unmanageable\\_manage\\_unavoidable.pdf](http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf_website/PDF/climate%20change_avoid_unmanageable_manage_unavoidable.pdf)
- Solley, W.B. et al. (1998), « Estimated Use of Water in the United States in 1995 », US Geological Survey Circular 1200, USGS, Washington D.C. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1200>

- Solley, W.B et al. (1993), « Estimated Use of Water in the United States in 1990 », US Geological Survey Circular 1081, USGS, Washington D.C. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1081>
- Steenburgh, W. J. et al. (2013), « Present Weather and Climate: Average Conditions » in Garfin, G., et al (dir. pub.), *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for National Climate Assessment*, Southwest Climate Alliance, Island Press, Washington, D.C. <http://swccar.org/sites/all/themes/files/SW-NCA-color-FINALweb.pdf>
- Tillman, F.D et al. (2011), « Water Availability and Use Pilot: Methods Development for a Regional Assessment of Groundwater Availability, Southwest Alluvial Basins, Arizona », United States Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5071, USGS, Washington D.C. <http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5071/>
- UCCHM (University of California Center for Hydrologic Modeling) (2014), « Water Storage Changes in California's Sacramento and San Joaquin River Basins from GRACE: Preliminary Updated Results for 2003-2013 », UCCHM Water Advisory #1, University of California Irvine, CA.
- USBR (United States Bureau of Reclamation) (2016), « Colorado River Accounting and Water Use Report: Arizona, California and Nevada, Calendar Year 2015 », USBR, Boulder, Colorado, <http://www.usbr.gov/lc/region/g4000/4200Rpts/DecreeRpt/2015/2015.pdf>.
- USBR (2015), *Upper Colorado River Basin Consumptive Uses and Losses Report*, USBR, Washington D.C., <http://www.usbr.gov/uc/library/envdocs/reports/crs/crsul.html>.
- USBR (2014a), « Climate Impact Assessment: Sacramento and San Joaquin Basins », document rédigé pour le Bureau of Reclamation par CH2M Hill, USBR, Washington D.C., <http://www.usbr.gov/watersmart/wcra/docs/ssjbia/ssjbia.pdf>.
- USBR (2014b), « U.S. Department of the Interior and Western municipal water suppliers developing water conservation projects as part of a landmark collaborative agreement: Basin municipalities and federal government take action to protect the Colorado River », communiqué de presse, 8 octobre 2014, <http://www.usbr.gov/newsroom/newsrelease/detail.cfm?RecordID=48006>.
- USBR (2012a), « Colorado River Basin Water Supply and Demand Study », USBR, Washington D.C., [http://www.usbr.gov/lc/region/programs/crbstudy/finalreport/Study%20Report/CRBS\\_Study\\_Report\\_FINAL.pdf](http://www.usbr.gov/lc/region/programs/crbstudy/finalreport/Study%20Report/CRBS_Study_Report_FINAL.pdf).
- USBR (2012b), « Technical Report C – Water Demand Assessment », USBR, Washington D.C., [http://www.usbr.gov/lc/region/programs/crbstudy/finalreport/Technical%20Report%20C%20-%20Water%20Demand%20Assessment/TR-C-Water\\_Demand\\_Assessment\\_FINAL.pdf](http://www.usbr.gov/lc/region/programs/crbstudy/finalreport/Technical%20Report%20C%20-%20Water%20Demand%20Assessment/TR-C-Water_Demand_Assessment_FINAL.pdf)
- USBR (2007), « Colorado River Interim Guidelines for Lower Basin Shortages and the Coordinated Operations for Lake Powell and Lake Mead », USBR, Washington D.C., <http://www.usbr.gov/lc/region/programs/strategies.html>.
- USBR (1999), « Offstream Storage of Colorado River Water; Development and Release of Intentionally Created Unused Apportionment in the Lower Division States; Final Rule », Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 43 CFR Part 414, US Federal Register, Washington D.C., <http://www.usbr.gov/lc/region/g4000/contracts/FinalRule43cfr414.pdf>.
- United States Census Bureau (2012), « Intercensal Estimates of the Resident Population for the United States, Regions, States, and Puerto Rico: April 1, 2000 to July 1, 2010 », USCB, Washington D.C. <https://www.census.gov/popest/data/intercensal/state/state2010.html>
- United States Census Bureau (2005), « Interim State Population Projections », USCB, Washington D.C. <http://www.census.gov/population/projections/data/state/projectionsagesex.html>
- USDA-ERS (United States Department of Agriculture-Economic Research Analysis) (2015), « State Agricultural Exports, U.S. Agricultural Cash Receipts-based Estimates (Calendar Years) », USDA, Washington D.C., <http://www.ers.usda.gov/data-products/state-export-data.aspx>.

- USDA-NASS (United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service) (2014a), « 2013 Farm and Ranch Irrigation Survey », USDA, Washington, D.C., [http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/Online\\_Resources/Farm\\_and\\_Ranch\\_Irrigation\\_Survey/](http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/Online_Resources/Farm_and_Ranch_Irrigation_Survey/).
- USDA-NASS (2014b), « State Agriculture Overview: California », USDA, Washington D.C., [http://www.nass.usda.gov/Quick\\_Stats/Ag\\_Overview/stateOverview.php?state=california](http://www.nass.usda.gov/Quick_Stats/Ag_Overview/stateOverview.php?state=california).
- USDA-NASS (2004), « Table 3: Land Use on Farms with Irrigation: 2003 and 1998, 2003 Farm and Ranch Irrigation Survey », USDA, Washington D.C.
- Vano, J.A. et al. (2014), « Understanding Uncertainties in Future Colorado River Streamflow », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, pp. 59–78, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00228.1>.
- Woodhouse, C.A. et al. (2010), « A 1,200-year Perspective of 21<sup>st</sup> Century Drought in Southwestern North America », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° 50, pp. 21283-21288, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0911197107>.