



**HAL**  
open science

## 2. L'élevage dans le changement climatique

David Renaudeau, Jean-Philippe Steyer, Isabelle Litrico, Laurent Labbé,  
Mathilde Dupont-Nivet, Anne Collin, Sandra Novak, Denis Laloë, Etienne  
Prévost, Mark Hewison

► **To cite this version:**

David Renaudeau, Jean-Philippe Steyer, Isabelle Litrico, Laurent Labbé, Mathilde Dupont-Nivet, et al.. 2. L'élevage dans le changement climatique. 2015. hal-01608078

**HAL Id: hal-01608078**

**<https://hal.science/hal-01608078>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

# L'INRA, L'AGRICULTURE ET LE CLIMAT



PRESSE **Dossier**

## OBSERVER ET MODÉLISER 4/8

---

- ① ICOS : UN OUTIL PHARE DE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ..... 4
- ② SUIVI AU LONG COURS... D'EAU ..... 6
- ③ TÉMOIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LA PHÉNOLOGIE ..... 7
- ④ UN SIMULATEUR POUR LES CULTURES ..... 8

## EXPLORER TOUTES LES PISTES 9/20

---

- ① AU CŒUR DES CHAMPS ET DES FORÊTS ..... 9
- ② L'ÉLEVAGE DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ..... 15
- ③ GÉRER LA RESSOURCE EN EAU ..... 18
- ④ L'ALIMENTATION DURABLE : DÉFI DU 21<sup>e</sup> SIÈCLE ..... 20

## GARDER LES SOLS VIVANTS 21/25

---

- ① UNE PRIORITÉ : ENRICHIR LES SOLS EN CARBONE ..... 21
- ② MIEUX VALORISER LA RESSOURCE « SOL » ..... 22

CONTACTS SCIENTIFIQUES..... 26

# L'INRA, L'AGRICULTURE ET LE CLIMAT

Du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 aux négociations sur le climat de la COP21 à Paris, la prise de conscience mondiale des risques environnementaux encourus par nos sociétés n'a cessé de croître. Désormais, une grande majorité de pays a proposé des engagements nationaux pour la période 2025-2030, mais des solutions restent à trouver et à mettre en œuvre dans de nombreux domaines. Le secteur des terres (agriculture, foresterie, changements d'usage des sols) est fortement concerné, aussi bien par sa vulnérabilité au changement climatique que par son poids dans les émissions mondiales de gaz à effet de serre (presque un quart des émissions totales).

Le changement climatique accentue dès maintenant les disparités entre les régions agricoles et forestières européennes, avec des effets parfois positifs sur la production en Europe du Nord et le plus souvent négatifs en Europe du Sud et en Europe centrale. Toutes les régions européennes sont touchées par une forte variabilité climatique, avec une récurrence accrue de canicules et de sécheresses estivales et d'épisodes de précipitations intenses. Dans un scénario de réchauffement global atteignant +4°C à la fin du siècle, certains territoires seraient particulièrement affectés : en zone littorale, du fait de la salinisation des sols et des nappes phréatiques et de l'inondation d'une partie des sols et de l'érosion accélérée des côtes ; en montagne, du fait d'un dépérissement accru des forêts ; dans les plaines inondables, où les dommages aux parcelles, aux bâtiments et aux infrastructures se multiplieront ; enfin, en région méditerranéenne où les risques d'aridification deviendront particulièrement importants.

Face à ces risques climatiques, les systèmes agricoles et forestiers devront devenir plus résilients, c'est-à-dire capables de bonnes performances en dépit des perturbations climatiques. Cela nécessite de repenser les systèmes de production et d'adapter la génétique et la protection de la santé des plantes et des animaux. La gestion de l'eau, des sols et de la biodiversité associée aux espaces ruraux constitue un autre enjeu majeur, puisqu'il faudra conserver ces ressources naturelles et préserver les services qu'elles rendent.

Face au dérèglement climatique, l'agriculture peut être une source de solutions. En adoptant dans chaque région les meilleures pratiques disponibles, une baisse des émissions de méthane et de protoxyde d'azote est possible sans affecter la production agricole. Le stockage de carbone dans la matière organique des sols et la valorisation des déchets et de la biomasse pour produire de l'énergie en substitution aux énergies fossiles présentent également un potentiel important de lutte contre l'effet de serre.

Les recherches de l'Inra présentées dans ce dossier s'inscrivent dans cette perspective globale et démontrent le potentiel de solutions qui peut résulter d'une gestion adaptative des ressources naturelles, de l'agriculture et de l'alimentation.



# OBSERVER & MODÉLISER

## 1 ICOS : UN OUTIL PHARE DE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

À PARTIR DE 2016, L'EUROPE DISPOSERA D'UN FORMIDABLE OUTIL D'OBSERVATION DES ÉMISSIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE : LE RÉSEAU INSTRUMENTÉ ICOS.

Limiter la hausse de la température moyenne terrestre à 2°C en 2100. Voilà à quoi se sont engagés en 2009 les pays participant à la Conférence des Parties de Copenhague. Un sacré défi quand on sait que les émissions de gaz à effet de serre (GES), qui constituent la principale cause du réchauffement climatique, ne cessent d'augmenter : +2,2% chaque année depuis l'an 2000, soit plus qu'au cours des trois décennies précédentes ! Or, pour contenir la hausse en-deçà de 2°C, il va falloir réduire les émissions de 40 à 70%. Bref, la Terre est malade. Mais si l'on connaît les symptômes, leurs origines restent encore à préciser. Aussi, comme on ne peut soigner que ce que l'on connaît, nous avons besoin d'un outil de diagnostic capable d'étudier avec précision les sources d'émissions de GES et de mesurer les flux associés. En clair, qu'est-ce qui part vers l'atmosphère, contribuant à l'augmentation de l'effet de serre (et donc des températures), et qu'est-ce qui reste sagement stocké sur ou sous la surface ? Attention, n'allez pas croire que les scientifiques viennent de se réveiller ! Depuis les années 1990, de nombreux pays européens se sont dotés d'infrastructures de recherche dédiées aux mesures des GES. Mais le problème, c'est que la méthodologie et les techniques de mesure utilisées n'en étaient qu'à leurs débuts. Le manque d'harmonisation dans les protocoles de mesures déployées sur l'océan, l'atmosphère et les continents rendait l'exploitation des données très difficile. Désormais, ce ne sera plus le cas. L'infrastructure européenne de recherche ICOS (*Integrated Carbon Observation System*), dont la partie française a été inaugurée le 18 septembre 2015, va permettre d'observer et de suivre avec précision les flux de GES durant les 20 prochaines années.

### Trois réseaux pour scruter les GES

ICOS se compose de trois réseaux d'observation qui mesurent, avec une précision inégalée, les flux de GES dans l'atmosphère, les océans et à la surface des continents. Les gaz analysés sont le dioxyde de carbone (écosystèmes, combustibles fossiles et cimenteries), le méthane (gaz naturel, agriculture et élevage) et le protoxyde d'azote (agriculture, combustibles fossiles et feux). Les instruments de mesure, et les protocoles d'analyse sont communs à l'ensemble des pays participants, ce qui garantit non seulement une parfaite harmonisation, mais également la mise à disposition quasi immédiate des données pour la communauté scientifique : quand on parle la même langue, on se comprend tout de suite mieux ! Pour l'Inra, très impliqué dans le projet, il apparaît primordial de déterminer avec précision la part et la répartition des émissions directement liées à l'agriculture, le secteur étant responsable de la majorité des flux de méthane et de protoxyde d'azote. Le réseau « Écosystèmes » d'ICOS, dédié au suivi des échanges des GES entre la surface des continents et l'atmosphère, va notamment scruter les quatre grands types d'usage des terres : cultures, prairies, forêts et zones humides. Et ceci, non seulement pour mesurer l'implication de chaque usage dans les émissions, mais aussi pour mieux comprendre leurs interactions, préciser l'impact des activités humaines et appréhender la manière dont les écosystèmes réagissent à l'évolution de l'environnement.



## Détecter les émissions au niveau local

Et cela avec une précision encore jamais atteinte. En effet, les différentes composantes de l'infrastructure d'observation du réseau ICOS (capteurs au sol, avions, navires, tours à flux...) vont permettre d'établir des cartes d'émissions avec une résolution de 50x50 kilomètres. Maintenant, si l'on détecte des différences d'émissions entre une forêt de Finlande, d'Allemagne ou du Portugal, on saura qu'il ne s'agit pas d'une erreur de mesure, mais de réelles disparités que l'on pourra attribuer, par exemple, au climat, aux pratiques de culture, etc. Et ce n'est que le début ! D'ici dix ans, la résolution des cartes pourrait atteindre quelques kilomètres ! Le moindre changement anormal dans le flux des GES au niveau local sera alors immédiatement identifié, ce qui permettra de prendre rapidement les mesures pour y remédier. En outre, les données collectées par le réseau ICOS permettront de mieux sensibiliser les secteurs agricole ou forestier aux impacts de leurs activités, mais aussi de les aider à mettre en œuvre des pratiques destinées à réduire les émissions de GES ou améliorer leur séquestration par le sol et les forêts. Et bien sûr, la précision des cartes d'émissions permettra de juger en temps réel des effets des stratégies de réduction des GES, à une échelle très fine.



### ICOS : 17 pays unis pour la lutte contre les GES

C'est en 2008, à l'initiative de la France que la communauté scientifique européenne a posé les bases d'une infrastructure commune dédiée à l'observation du cycle des GES. Inauguré à l'automne 2015, le réseau ICOS est d'ores et déjà déployé dans huit pays : Allemagne, Belgique, Finlande, France, Italie, Norvège, Suède et Suisse. Neuf autres pays, impliqués également dans sa création s'y ajouteront dans les trois prochaines années : Danemark, Espagne, Grèce, Irlande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Royaume-Uni et République tchèque. Le budget de construction s'élève à 200 millions d'euros et les frais de fonctionnement annuels à 13 millions dans un premier temps, puis 23 millions à partir de 2017. À cette date, 500 chercheurs, ingénieurs et techniciens collaboreront à ICOS.



### Et si l'on récompensait les bons élèves ?

À l'heure actuelle, le milieu agricole ou forestier ne participe pas au système européen d'échange de quotas d'émissions de GES. Et pour cause, les émissions agricoles et forestières émanent de nombreuses sources différentes : bétail, végétation, engrais, incendies, ce qui ne facilite pas leur contrôle. Pour un agriculteur ou un forestier, il est compliqué de montrer que son activité est vertueuse et qu'il met en œuvre des moyens de réduction des émissions de GES. À l'avenir, les services proposés à partir des données observées par l'infrastructure ICOS pourraient permettre aux acteurs locaux (régions, syndicats d'exploitants...) de mesurer précisément leur impact sur le climat et faciliter l'accès au marché du carbone.



Station ICOS à Pierroton.  
© Communication Inra Bordeaux-Aquitaine

## L'Inra quantifie les émissions de protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote,  $N_2O$ , est le troisième GES au niveau mondial en termes de contribution au réchauffement climatique. Il intervient aussi dans la destruction de l'ozone stratosphérique. Tout comme celle du  $CO_2$ , sa concentration atmosphérique augmente de façon

exponentielle depuis l'industrialisation. Le gaz  $N_2O$  provient en grande majorité d'un mécanisme microbien (la dénitrification) qui se déroule, sous certaines conditions, dans les sols naturels et cultivés. Pour mieux comprendre comment, à quelle fréquence et en quelles quantités se produisent les émissions de  $N_2O$  par les sols agricoles, une équipe de chercheurs français et allemands a étudié le phénomène en conditions réelles de pratiques agricoles. Durant six semaines, au printemps 2015, ils ont mesuré les émissions de  $N_2O$  en continu sur une zone de 3 km<sup>2</sup> près d'Illiers-Combray, en Eure-et-Loir. Des mesures très locales, sur des zones mesurant quelques dm<sup>2</sup>, ont également été réalisées. Cette expérimentation a pu être menée grâce au développement de nouveaux instruments de mesure capables de détecter d'infimes concentrations en  $N_2O$ . Car, en effet, les émissions de ce gaz sont très difficiles à quantifier, en raison de leur caractère fugace dans le temps et dans l'espace. D'ici quelques années, ces travaux permettront de limiter les émissions de  $N_2O$  par les sols tout en respectant la production agricole.



Dispositif expérimental à Illiers-Combray : chambres automatiques permettant de mesurer localement les flux de  $N_2O$  à la surface du sol.

© Inra - Olivier Bertel

## 2 SUIVI AU LONG COURS... D'EAU

LES OBSERVATOIRES DE RECHERCHE EN ENVIRONNEMENT (ORE) RECUEILLENT DES DONNÉES PHYSIQUES, CHIMIQUES OU BIOLOGIQUES SUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE, PERMETTANT DE MIEUX CONNAÎTRE LE FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES ET D'ÉLABORER DES MODÈLES POUR PRÉDIRE LEUR ÉVOLUTION. LES SUIVIS DES RESSOURCES EN EAU, LACS, COURS D'EAU, BASSINS VERSANTS, CONSTITUENT L'UNE DE LEURS MISSIONS.

### L'été sera chaud !

L'analyse des événements atypiques passés renseigne sur l'avenir. Et ce n'est pas rassurant. Tout porte à croire que les années considérées jusqu'alors comme très sèches ou très chaudes à l'échelle de la décennie, vont se banaliser à l'avenir. En clair, ce qui est aujourd'hui exceptionnel pourrait devenir la norme. Mais il reste une inconnue : quelles conséquences vont entraîner la succession de trois ou quatre années sèches sur une période de dix ans, notamment en agriculture ou sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques ? Les modèles mesurent de mieux en mieux l'impact de ces bouleversements, mais pas encore la façon dont les écosystèmes vont s'adapter sur le long terme.



Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques (CARRTEL), Inra Thonon.  
 © Inra - Christophe Maître

## Bilan de conséquences sur les agrosystèmes

Les ORE OMERE (Observatoire méditerranéen de l'environnement et de l'eau) et AgrHys (Temps de réponse dans les AgroHydroSystèmes) étudient le fonctionnement des agrosystèmes confrontés à l'évolution des activités agricoles et au changement climatique, ainsi que leur impact sur la ressource en eau. Grâce aux observations réalisées depuis une vingtaine d'années dans l'Hérault et en Tunisie (presqu'île du Cap-Bon, en collaboration avec l'IRD et les partenaires locaux) pour OMERE, et en Bretagne pour AgrHys, les chercheurs de l'Inra sont parvenus à identifier les conséquences des événements climatiques atypiques, que ce soit une période, une année, ou un événement particulier (crue, sécheresse...). L'analyse rétrospective - qui consiste à regarder les événements du passé - nous aide à mieux comprendre les effets du changement climatique. Ces observations sont d'une grande richesse, notamment pour accroître le caractère prédictif des modèles. Les observations sur le long terme permettent aussi de mesurer l'impact croisé du climat et des activités humaines, notamment de l'agriculture, sur l'érosion et sur la qualité des eaux superficielles et souterraines. Des données qui seront, là encore, intégrées aux modèles qui, grâce à la diversité des environnements observés, sont adaptables à l'ensemble des régions du territoire national. Les chercheurs réfléchissent à la façon de combiner des scénarios d'adaptation des activités, notamment dans l'agriculture et la forêt, avec des scénarios de changement climatique. Ce sont en effet ces interactions qui vont déterminer les impacts de ce dernier.

### Quand le passé renseigne sur le futur

Au contraire d'OMERE ou d'AgrHys, qui scrutent le temps présent, l'Observatoire des lacs alpins (OLA) réalise aussi des études paléo-écologiques des archives sédimentaires du fond des lacs, et notamment de l'ADN qu'elles renferment. Ici, on traque l'effet d'événements qui se sont produits il y a au moins un siècle, voire auparavant, avec deux objectifs. D'abord, évaluer l'impact du changement climatique et d'autres forçages (nutriments notamment) sur le milieu. Ensuite, déterminer de quelle manière les écosystèmes lacustres vont réagir et s'adapter aux bouleversements attendus dans les années à venir. Un indicateur sédimentaire a permis de reconstruire l'évolution des teneurs en CO<sub>2</sub> dans l'eau, afin de mieux estimer le rôle des lacs dans le cycle du carbone. Les premiers résultats montrent qu'au cours des 150 dernières années et sous l'influence des activités humaines, les lacs alpins (initialement neutres du point de vue du carbone vis-à-vis de l'atmosphère) sont devenus des sources de CO<sub>2</sub>, même en été quand la fixation photosynthétique du carbone est importante.



# 3 TÉMOIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LA PHÉNOLOGIE

LE CLIMAT S'AFFOLE ET ENTRAÎNE DES BOULEVERSEMENTS DANS LE CYCLE DE VIE DES ESPÈCES VÉGÉTALES. QUELLES SONT CELLES QUI PEUVENT S'ADAPTER, COMMENT Y PARVIENNENT-ELLES, PEUT-ON LES AIDER ? LA PHÉNOLOGIE APORTE DES RÉPONSES.

## Dis-moi comment tu dors...

La phénologie, c'est l'étude du rythme de vie des végétaux et des animaux. Si le terme ne vous est pas familier, vous connaissez en revanche ce cycle immuable qui se répète au fil des saisons. Pour les plantes, il y a d'abord la dormance, cette période où, pour se protéger du froid, la plante stoppe presque complètement son activité physiologique. Puis, au terme de cette période, un signal est donné, qui la rend sensible à la chaleur : la dormance est levée. La plante emmagasine alors la chaleur nécessaire à l'ouverture des bourgeons (débourrement et/ou floraison) puis à la production. Viennent ensuite la croissance de rameaux, le développement des fruits, leur maturation, et enfin le jaunissement et la chute des feuilles (sénescence). Les chercheurs de l'Inra se sont toujours intéressés au comportement des plantes au fil des saisons. Mais ils y portent désormais une attention extrêmement soutenue. Et pour cause, la phénologie est l'un des premiers indicateurs du changement climatique. Or on constate, depuis une trentaine d'années, des modifications dans le rythme saisonnier de certains végétaux. Et ce n'est pas sans conséquences. Une levée de dormance précoce, causée par un hiver trop doux, expose les bourgeons à un risque de gel accru. Un réveil tardif, et la plante risque un déficit en eau durant l'été. Comprendre aujourd'hui comment les végétaux réagissent au changement climatique est fondamental pour assurer leur survie dans les années à venir.

### La génétique au secours des arbres fruitiers

Le changement climatique est aujourd'hui si rapide que les arbres fruitiers n'ont même plus le temps de s'adapter aux nouvelles conditions météorologiques, ce qui menace leur survie future. En exploitant les observations gérées par l'unité Agroclim de l'Inra Paca, les généticiens de l'Inra d'Avignon, Bordeaux et Montpellier, s'efforcent donc d'identifier les gènes impliqués dans les différents stades de la phénologie. Avec un but précis : sélectionner les arbres les mieux adaptés au climat futur de leur région de production. Mais le graal des généticiens, c'est la création de l'arbre résilient, une variété dont la phénologie peut s'adapter à n'importe quelle perturbation climatique. Pour cela, il va falloir patienter encore quelques années.



Cerisiers en fleurs.  
© Inra - Christophe Maitre

### Quand il reviendra, le temps des cerises

Observer la phénologie des arbres fruitiers, de la vigne et des espèces forestières dans plusieurs régions françaises, voilà un des objectifs de Perpheclim (*Perennial fruit crops and forest phenology evolution facing to climatic change*), un projet unique par son ampleur et par les moyens mis en œuvre. Créé par l'Inra en 2012, dans le cadre du métaprogramme ACCAF (Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt), ce projet a permis de mettre en place un réseau de vergers observatoires répartis sur six sites en France métropolitaine : Angers, Avignon, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Saint-Marcel-lès-Valence et Montpellier. Dans chacun d'entre d'eux, 15 pêchers, cerisiers, pommiers et abricotiers de cinq variétés différentes ont été plantés. Durant les 15 à 20 prochaines années, ces 300 précieux spécimens, sélectionnés pour leurs importantes variabilités phénologiques vont être étroitement surveillés (et bichonnés) par les équipes de l'Inra. À quel moment se produit la levée de la dormance ? Comment l'arbre réagit-il à un hiver rigoureux ou au contraire très doux ? Comment se comportent les bourgeons face aux gelées tardives ? Quel est l'impact d'un manque d'eau sur la floraison ? Ces observations viendront affiner les modèles mathématiques utilisés pour mesurer et prédire les impacts du changement climatique sur les espèces pérennes. Et bien entendu, ils contribueront à identifier les variétés les mieux à même de résister, dans une région donnée, aux chahuts causés par le changement climatique.



## 4

# UN SIMULATEUR POUR LES CULTURES

DEPUIS 1996, L'INRA DÉVELOPPE UN OUTIL CAPABLE DE SIMULER LE DÉVELOPPEMENT D'UNE CULTURE POUR PRÉDIRE LE RENDEMENT ET LA QUALITÉ DES RÉCOLTES, MAIS AUSSI POUR ANALYSER LES INTERACTIONS ENTRE LE SOL, LES PLANTES ET L'ATMOSPHÈRE.

Des modèles capables de simuler le développement d'une plante, il en existe beaucoup. Mais rares sont ceux qui peuvent être utilisés pour les principales cultures des régions tempérées. Développé par l'Inra, le Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standards (STICS) est de ceux-là. C'est même l'un des modèles les plus utilisés au monde, puisqu'il peut modéliser, à l'heure actuelle, le développement de 24 espèces végétales, pérennes ou non. STICS est conçu pour être adapté à différents sols, climats ou techniques culturales. Il peut simuler jour après jour le fonctionnement des cultures associées, comme on le voit notamment en agriculture biologique, ou encore des successions de culture sur le long terme. Il quantifie quotidiennement l'impact des fertilisants ou du travail de l'homme sur le sol et les plantes. Mais ce n'est pas tout, STICS décrit les bilans d'eau, d'azote et de carbone du système de culture, ce qui en fait un outil précieux, non seulement pour évaluer l'impact des cultures sur les émissions de GES, mais également pour tester des scénarios d'adaptation aux évolutions du climat.

## Climator et la mesure des impacts du changement climatique

Dans quelles régions cultivera-t-on le maïs dans 30 ans ? Quand pourrons-nous produire de grands vins à Versailles ou à Rennes ? Quelles cultures verront leurs rendements augmenter ? Où les besoins en eau vont-ils s'intensifier ? En résumé, quels vont être les impacts du changement climatique sur l'agriculture française ? Le projet Climator, mené par l'Inra, avec le concours de sept instituts et organismes de recherche, apporte des éléments de réponse. De 2007 à 2010, les équipes se sont attachées à tester des scénarios de climats futurs sur treize sites français présentant des climats contrastés, afin de distinguer les effets positifs, négatifs ou non significatifs du changement climatique. En raison de son aptitude à simuler le développement de nombreuses espèces différentes, le modèle de culture STICS a été largement utilisé, notamment pour prédire la date de semis optimale, les besoins d'irrigation ou les apports de fertilisants pour différentes variétés et espèces. Afin d'évaluer l'incertitude des prévisions de rendement des cultures confrontées au changement climatique, STICS a été utilisé conjointement avec d'autres modèles plus spécialisés. À noter que STICS est également fortement impliqué dans un projet international, AgMIP, qui a été initié par les chercheurs américains. Son objectif : comparer les performances des principaux modèles de simulation des cultures dans le but de les améliorer afin de mieux prévoir les impacts du changement climatique à l'échelle mondiale.



Culture de maïs (environs de Riom dans le Puy-de-Dôme).  
© Inra - Louis Vidal

## La Veille AgroClimatique comme outil de prévision

La sécheresse et la canicule de 2003 ont considérablement impacté les rendements de la plupart des cultures agricoles. Si de tels épisodes sont impossibles à prévoir, on sait désormais qu'ils vont se multiplier, voire se banaliser dans les prochaines années. Mais, grâce à la Veille AgroClimatique (VAC), mise en œuvre à la suite de cet épisode atypique, les chercheurs de l'Inra sont désormais capables d'évaluer en cours d'année l'impact du climat sur la production des cultures. Pour cela, ils utilisent le modèle STICS afin de simuler le cycle de croissance d'une variété cultivée de façon rigoureusement identique, sur dix sites représentatifs des climats régionaux français métropolitains. Seule donnée variable, le climat, intégré au modèle à partir des observations météorologiques relevées depuis 1970. Ainsi, STICS permet de mettre en évidence l'impact du climat dans la croissance de la plante, toutes choses étant égales par ailleurs. La VAC permet même de qualifier les rendements et leur incertitude plusieurs mois avant la récolte, en simulant le climat à venir, à partir des statistiques météorologiques. Avec les années, le modèle gagne en précision et la probabilité que l'année se termine de la même façon qu'une année déjà observée devient de plus en plus grande, ce qui permet de suivre l'évolution de l'impact du climat sur la production agricole.



Forêt de Bailly (Yvelines)  
© Inra - William Beaucardet

# EXPLORER TOUTES LES PISTES

## 1 AU CŒUR DES CHAMPS ET DES FORÊTS

AGRICULTURE, ÉLEVAGE ET SYLVICULTURE ONT UN POINT COMMUN : AU COURS DU 21<sup>e</sup> SIÈCLE, CES ACTIVITÉS CONNAÎTRONT DE PROFONDS RÉARRANGEMENTS DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE. EN MÉTROPOLE, ON S'ATTEND À UNE AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES BIEN SÛR, MAIS AUSSI À DES PRÉCIPITATIONS RÉDUITES DANS LE SUD, ET PLUS IRRÉGULIÈRES SUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE. L'EAU DEVRAIT DEVENIR LE FACTEUR LIMITANT POUR DE NOMBREUSES CULTURES. AINSI, BIEN SOUVENT LES AGRICULTEURS DEVRONT OPTER POUR DES CULTURES À CYCLE PLUS COURT AFIN D'ÉVITER LES PÉRIODES LES PLUS SÈCHES, ET AVANCER LA DATE DES SEMIS. LA SYLVICULTURE DEVRAIT CONNAÎTRE DES BAISSSES DE PRODUCTIVITÉ ET LES EXPLOITANTS DEVRONT CHOISIR AVEC ATTENTION LES NOUVELLES ESSENCES À PRIVILÉGIER. ENFIN, L'ÉLEVAGE DEVRA S'ADAPTER AUX FORTES CHALEURS ET SURVEILLER LA DISPONIBILITÉ DE MATIÈRES PREMIÈRES POUR L'ALIMENTATION ANIMALE. DANS TOUS CES DOMAINES, LA RECHERCHE SERA PLUS QUE JAMAIS NÉCESSAIRE POUR RÉUSSIR UNE TRANSITION EN DOUCEUR DES FILIÈRES.

### DES PAYSAGES QUI BOUGENT

FAUT-IL TIRER LA SONNETTE D'ALARME ? NOS CAMPAGNES SERONT-ELLES MÉCONNAISSABLES À L'HORIZON 2050 OU 2100 ? NON, BIEN SÛR. LE PROJET CLIMATOR, QUI S'ÉTAIT DONNÉ POUR TÂCHE DE PRÉVOIR L'IMPACT SUR LES CULTURES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, A MONTRÉ QUE LA PLUPART DES ZONES AGRICOLES ACTUELLES Y SERONT CONSERVÉES. NÉANMOINS, AU COURS DU SIÈCLE, ON DEVRAIT ASSISTER À LA MIGRATION DE CERTAINES CULTURES VERS LE NORD EN FONCTION DU CUMUL DE TEMPÉRATURE, DE LA DISPONIBILITÉ EN EAU ET DES RENDEMENTS ESCOMPTÉS. COMME TOUJOURS, LORSQU'UNE MODIFICATION PROFONDE A LIEU, IL Y A DES GAGNANTS ET DES PERDANTS, DES OPPORTUNITÉS À SAISIR ET DES PRATIQUES À ABANDONNER. VOICI QUELQUES PISTES.

### Des gagnants, des perdants

Côté pile : dans le Nord-Est de la France, les gelées devraient fortement diminuer en hiver, ce qui pourrait donner de nouvelles opportunités au colza. Du côté de la Picardie et du Nord-Pas-de-Calais, les rendements du maïs devraient augmenter de pair avec les températures. À l'Ouest, le blé et les prairies devraient maintenir une bonne productivité. Côté face : la baisse sévère des précipitations dans le Sud-Ouest pourrait restreindre la culture du maïs surtout si les ressources en eau pour l'irrigation sont affectées. Les forêts de la région devraient connaître une baisse de leur productivité. Aux Antilles, la hausse des températures et des précipitations devrait affecter négativement la canne à sucre. Ces effets sont à mettre au conditionnel : d'une part, il reste de nombreuses incertitudes, notamment sur les variations dans les précipitations. D'autre part, la sélection végétale, qui vise à obtenir des variétés cultivées présentant de bons rendements malgré des conditions plus sévères, ne cesse de progresser.



## Changement climatique : l'économie sur tous les plans

Le changement climatique apportera de profondes modifications économiques dans les campagnes. En bout de chaîne, l'agriculteur devra faire face à de nombreux dilemmes : dois-je investir dans l'irrigation, changer de production ou contracter une assurance ? Des décisions économiques auront lieu aussi à l'échelle des territoires. Pouvoirs publics, coopératives et entreprises auront sur la table des questions telles que l'évolution de l'usage des sols ou la gestion de l'eau, et devront plus d'une fois faire des arbitrages entre différentes options d'équipements ou de localisation. Les filières auront aussi à faire face à de profonds changements économiques. Un exemple ? Le réchauffement climatique va modifier la qualité des vins dans certains terroirs. Quelle sera la réaction des consommateurs ? Quelles seront les nouvelles conditions de concurrence entre vignobles ? Les économistes de l'Inra défrichent ces différents terrains. Ils analysent aussi le rôle de l'innovation (variétés résistantes à la sécheresse, irrigation et agriculture de précision, pratiques agroécologiques...) et élaborent des modèles économiques permettant d'éclairer des décisions politiques comme celles que l'on attend de la COP 21.

## Quel potentiel agricole pour la grande plaine du Sud-Ouest de la Sibérie ?

Les plaines du Sud-Ouest sibérien, où le thermomètre affiche facilement -35°C en hiver, deviendront-elles de nouvelles terres agricoles ? C'est l'hypothèse explorée par une équipe de scientifiques dans le cadre du projet A-WEST-CC. Le changement climatique devrait entraîner une augmentation des précipitations neigeuses dans cette région de la Russie. La couche de neige pourrait alors jouer le rôle d'une couverture isolante empêchant le sol de geler. Celui-ci pourrait alors conserver une activité microbienne minimale. Dès le retour du printemps, la reprise d'une importante activité microbienne serait beaucoup plus rapide, améliorant la décomposition de la matière organique et la libération de nutriments tels que l'azote. L'accroissement des quantités de neige pourrait aussi constituer un apport supplémentaire d'eau favorable à la croissance des plantes dans les zones les plus sèches. Ainsi, si ce gain de fertilité est suffisant et si les infrastructures suivent, on pourrait assister bientôt à l'éveil agricole de cette vaste région.



Vue aérienne de la canopée d'une forêt proche de Chalon-sur-Saône en Bourgogne.  
© Inra - Christian Slagmulder

## Quel avenir pour la sylviculture ?

Le changement climatique a de quoi inquiéter les exploitants de la forêt. Dans le Sud-Ouest, par exemple, les forêts devraient connaître une baisse de productivité. Les sécheresses à répétition comme celles de 2003 et 2005, susceptibles de devenir plus fréquentes au cours du siècle, ont durement frappé les forêts. De plus, de nouveaux ravageurs s'étendent déjà à grande vitesse. La forêt saura-t-elle s'adapter à ces changements rapides ? Les chercheurs de l'Inra sont sur le coup et tentent de prédire les évolutions futures et d'apporter des solutions.

## Mieux gérer la forêt

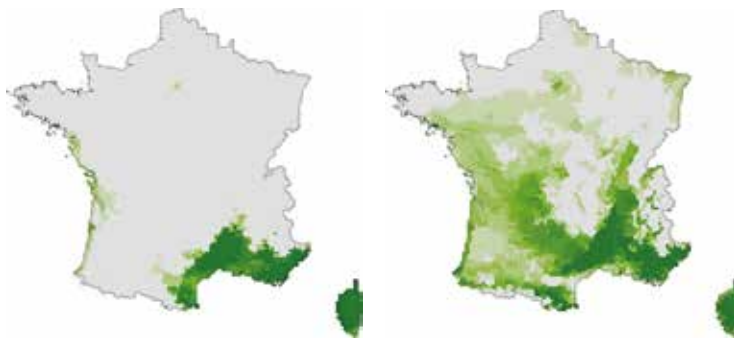
Quelles sont les meilleures combinaisons d'essences pour mieux résister à la nouvelle donne climatique ? C'est l'une des questions que se posent les spécialistes de la forêt. En effet, avec la remontée du climat méditerranéen vers le Nord, bien des essences seront à la peine, tandis que d'autres seront favorisées. Replanter avec des espèces plus résistantes à la sécheresse, tester des mélanges d'essences : voilà quelques-unes des pistes de recherche explorées. Mais il existe aussi d'autres leviers d'action que les chercheurs évaluent. Par exemple, les coupes sélectives ou les éclaircies permettent non seulement de diminuer la compétition des arbres pour des ressources en eau plus réduites mais aussi de réduire l'impact de certains ravageurs. Quitte à perdre une partie de la productivité.

## Étés 2003 et 2005 : l'heure du bilan

Des chercheurs de l'Inra de Nancy se sont intéressés à la santé des arbres suite aux sécheresses 2003 et 2005. Ils ont observé des vagues de dépérissement les années suivant ces étés extrêmes. Le constat est inquiétant : même si les arbres survivent à ces événements climatiques, ils sont fragilisés et plus vulnérables face à un autre épisode de sécheresse ou à des attaques d'insectes. Le temps de récupération d'un arbre est plus long que ce que l'on pensait : si les hêtres ou le douglas récupèrent dès l'année suivante, les chênes ou les sapins ont souvent besoin de quatre à six ans pour réparer leur houppier (ensemble des branches situées au sommet d'un arbre) et retrouver leur niveau de croissance pré-sécheresse. Certains chênes n'ont d'ailleurs récupéré que partiellement depuis les sécheresses historiques de 1976, de 1989 ou plus récemment de 2003. Tout aussi préoccupant : dans plusieurs études, les arbres qui présentaient la meilleure croissance se sont avérés les plus fragiles. Se pose ainsi la question de la résilience de la forêt française aux sécheresses, pour laquelle la sylviculture a traditionnellement sélectionné les arbres les plus productifs au sein des peuplements.

## Chassé-croisé du hêtre et du chêne vert

La répartition de chaque espèce d'arbre a une limite Nord et une limite Sud. Mais, avec le changement climatique, ces limites devraient varier pour beaucoup d'espèces. En 2004, des chercheurs ont montré, grâce à des modèles, que le climat favorable au chêne vert, emblème des forêts provençales, pourrait remonter jusqu'au Nord de la Loire. En revanche, le hêtre, espèce peu résistante aux étés torrides, pourrait perdre tout le Sud et la façade Atlantique. Ces tendances ont depuis été confirmées par des observations de terrain. Le chêne vert progresse actuellement dans des forêts éloignées de son aire traditionnelle : il grignote en moyenne 50 mètres par an sur sa marge Nord, notamment le long du littoral Atlantique. Avec un réchauffement de 2°C en 2100, la niche climatique du chêne vert remonterait vers le Nord à la vitesse de 3 km par an ; autrement dit, le chêne vert ne sera pas en mesure de suivre naturellement l'évolution géographique de sa niche climatique. Du côté des Pyrénées, on observe une remontée en altitude du hêtre : une étude menée par des chercheurs grâce aux cernes des arbres a montré que l'optimum de croissance des hêtres est remonté de 100 mètres en altitude lors des 40 dernières années. Preuve que l'espèce « recherche » déjà des climats plus tempérés.



Modélisation du climat favorable au chêne vert : à gauche, la situation actuelle ; à droite, celle prédite en 2100. Ces cartes du bioclimat ont été obtenues dans le cadre du projet QDIV par l'unité Écologie et écophysiologie forestières de l'Inra de Nancy. © Inra - Vincent Badeau



### Santé des forêts

#### DES RAVAGEURS EXCESSIFS

Le changement climatique se traduit aussi par des déséquilibres profonds au sein des écosystèmes. Ainsi, les ravageurs des forêts et des cultures pourraient poser des problèmes aigus nouveaux, qu'il faudra apprendre à gérer. Nématodes, champignons, insectes ou virus, les chercheurs tentent de les suivre à la trace et de modéliser leur probable expansion. Voici quelques-unes des menaces émergentes à ne pas perdre de vue.

#### SANG D'ENCRE POUR LES FORÊTS

Les encres, maladies causées par des microorganismes apparentés aux algues, attaquent des arbres tels que les chênes, les aulnes ou les châtaigniers. Les chercheurs de l'Inra s'efforcent de comprendre comment le changement climatique peut favoriser leur avancée et leur sévérité. L'une des maladies les plus préoccupantes est l'encre de l'aulne. Les arbres infectés présentent des feuilles trop petites et jaunissantes, et des coulures semblables à du goudron sur le tronc. La maladie peut tuer les arbres, en particulier les plus jeunes. Les chercheurs ont montré que le réchauffement climatique a un effet contradictoire. Les hivers doux favorisent le développement du parasite. En revanche, les étés très chauds le freinent. L'encre des chênes est aussi un sujet de grave inquiétude. Si en France la maladie ne tue pas les chênes, elle rend le bois inutilisable. La réduction des gels hivernaux devrait favoriser l'extension de sa présence vers le Nord.

#### D'INQUIÉTANTES BANDES ROUGES

Depuis une vingtaine d'années, certaines essences de pins, notamment le pin laricio, sont attaquées par une famille de champignons du genre *Dothistroma*. Appelée maladie des bandes rouges à cause des motifs qui se dessinent sur les aiguilles des arbres attaqués, elle entraîne une réduction drastique de leur croissance. Cette maladie, qui s'étend en France, remet en question les peuplements de pins laricio qu'il faudra peut-être remplacer par des espèces plus résistantes. Néanmoins, les chercheurs de l'Inra tentent de déterminer les conditions (humidité, densité des forêts) qui freinent la propagation de *Dothistroma*.



La maladie de l'encre du chêne.  
© Inra



## RÉSISTER À LA SÉCHERESSE

LES SCÉNARIOS LAISSENT PEU DE PLACE AU DOUTE : NOTRE SIÈCLE VERRA LE RÉGIME DES PLUIES DEVENIR PLUS ALÉATOIRE ET LES ÉPISODES DE CANICULE PLUS FRÉQUENTS. LES ÉPISODES DE 2003 ET 2005 POURRAIENT N'ÊTRE QUE DES AVANT-GOÛTS DE CE QUI NOUS ATTEND. L'AGRICULTURE DOIT DONC APPRENDRE À VIVRE AVEC CE RISQUE. ELLE DOIT AUSSI SAUVEGARDER LES RESSOURCES EN EAU, EN PARTICULIER EN UTILISANT DE NOUVELLES VARIÉTÉS DE PLANTES. C'EST L'UN DES GRANDS DÉFIS DE L'INRA.

### La variabilité génétique : une ressource à explorer

Printemps 2035 : un agriculteur de l'Ardèche prépare ses terres pour y semer du maïs. Pariant sur un été très sec, il choisit dans un catalogue de semences une variété à cycle court et qui, en limitant sa transpiration, est capable de conserver son eau pour la fin de saison. Il espère ainsi un rendement acceptable malgré la sécheresse. Son voisin, plus optimiste, parie que la fin de saison ne sera pas si torride. Il choisit, lui, une variété plus consommatrice en eau mais permettant un rendement plus élevé... si la pluie est au rendez-vous. Lequel aura eu raison ? Rendez-vous à l'automne 2035.

Au sein de chaque espèce végétale, il existe une grande variabilité génétique qui permet aux plantes de s'adapter à des conditions climatiques contrastées. Les scientifiques de l'Inra mettent à profit cette variabilité, et cherchent les gènes associés aux réponses des plantes en période de sécheresse. Le but est d'obtenir une gamme de variétés performantes et adaptées à diverses situations climatiques. La durée des cycles est l'un des grands critères sur lesquels les agriculteurs jouent déjà. Mais d'autres caractères sont tout aussi intéressants. Par exemple, de longues racines permettent à la plante d'aller chercher de l'eau en profondeur mais, en contrepartie, elles représentent de l'énergie en moins pour produire des grains et n'ont guère d'intérêt si le sol est superficiel. Une croissance rapide des feuilles et des organes reproducteurs permet d'augmenter le rendement, mais aboutit à un fort taux d'avortement des graines et à un manque à gagner pour l'agriculteur si l'eau vient à manquer. Ainsi, à chaque situation, il existe un profil idéal. L'idée à terme est de proposer aux agriculteurs des catalogues de variétés qui leur permettront de faire des choix, en fonction des prévisions climatiques et de leur attitude par rapport au risque.

### Vers un maïs de printemps ?

Des chercheurs s'intéressent aux gènes qui pourraient offrir au maïs une résistance accrue au froid. À l'heure du réchauffement climatique, se préparent-ils pour la prochaine glaciation ? Non, certes. L'une des stratégies envisagées pour faire face à la diminution des ressources en eau, est d'avancer la date des semis afin que le maïs puisse être récolté avant que les conditions hydriques ne deviennent trop dures. C'est pourquoi un maïs adapté au froid pourrait être un atout. Ces travaux, comme ceux sur la sécheresse, sont réalisés dans le cadre du vaste projet Amaizing piloté par l'Inra (visant à développer des outils pour la création de variétés de maïs améliorées), mais aussi du projet européen DRIPS (*Drought-tolerant yielding plants*). Ce dernier a pour objectif de répondre aux problèmes soulevés par la raréfaction des ressources en eau grâce au développement de variétés de plantes plus résistantes à la sécheresse et/ou qui valorisent mieux l'eau d'irrigation ou des pluies.



Sonde thermique (thermocouple) mesurant la température des organes d'une plante témoin de la plateforme PhenoArch.  
© Inra - Christian Slagmulder

### PhenoArch : le big brother des plantes

À l'Inra de Montpellier, au laboratoire d'Écophysiologie des plantes sous stress environnementaux se trouvent trois plateformes hors du commun. Cet ensemble constitue la Montpellier Plant Phenotyping Platform, où constamment germent et poussent des milliers de plants. Là, tout est contrôlé : la lumière, la température, la teneur en CO<sub>2</sub>, l'apport en eau. Et tout est mesuré : la transpiration, la croissance des feuilles, le poids de la plante et la lumière qu'elle absorbe. Tels des démiurges, les chercheurs peuvent abattre sur plusieurs centaines de lignées d'une espèce végétale, une sécheresse extrême ou des températures sahariennes. Leur but : découvrir parmi des centaines de lignées aux génotypes bien déterminés, les plantes les plus adaptées à différents scénarios climatiques et les gènes associés à ces réponses.

## Le tournesol sous un nouveau jour

Le tournesol devra faire face à une demande croissante au cours des trente prochaines années du fait de la qualité de son huile oléique (faible teneur en oméga 6) et de la richesse en protéines des tourteaux décortiqués. Depuis 2012, neuf laboratoires de recherche, six entreprises impliquées dans l'industrie semencière, et l'Institut Technique Terres Inovia se sont associés au sein du projet SUNRISE. L'objectif pour 2020 est d'améliorer la production, dans des conditions de culture adaptées au changement climatique et respectueuses de l'environnement en fournissant aux agriculteurs de nouvelles variétés tolérantes à la sécheresse, et à l'ensemble de la filière des outils et des méthodes permettant de mieux maîtriser la culture du tournesol.



Phénotypage d'une population de tournesols pour la découverte des gènes impliqués dans la tolérance à la sécheresse par une équipe de SUNRISE.  
© Inra Toulouse Midi-Pyrénées



### Santé des cultures

#### DES RAVAGEURS QUI POURRAIENT RÉGRESSER

Le changement climatique devrait modifier l'aire de répartition des ravageurs et des maladies qui s'attaquent aux cultures. Mais ceci ne sera pas toujours négatif pour les agriculteurs. Les modèles de simulation épidémiologique prédisent que des maladies telles que la septoriose, la rouille brune du blé ou le botrytis de la vigne pourraient voir leur incidence réduite. Ces trois maladies sont causées par des champignons, organismes très dépendants de l'eau présente sur les feuilles. Les changements dans le régime des précipitations pourraient donc les faire régresser. À noter toutefois que les résultats de ces modèles ne tiennent pas compte des microclimats, et insuffisamment des changements de pratiques agricoles qui pourraient survenir dans les décennies à venir.

## Qu'en sera-t-il des vignobles en 2100 ?

Un hameau endormi encerclé par un doux relief planté de vignes : ce paysage si typiquement français existera-t-il toujours à la fin du siècle ? Sans doute, s'il y a encore des amateurs de vin. Néanmoins, cette culture verra des changements importants. Par exemple, les cépages traditionnels du Sud tels que le grenache pourront remonter vers le Centre. De nouvelles AOC pourraient voir le jour dans le Nord de la France, devenu propice à la vigne. En revanche, le Sud pourrait connaître des problèmes liés à la sécheresse et à la température. Par exemple, l'augmentation des températures nocturnes peut limiter l'accumulation de composés phénoliques et aromatiques dans la grappe, et mettre ainsi en péril la qualité des vins.

## Enquête dans les caves et les vignobles

Dates de vendanges avancées, vins plus alcoolisés, moins acides, présentant de nouveaux profils aromatiques : les vignobles français ressentent déjà l'effet du réchauffement climatique. Le projet Laccave, lancé par l'Inra pour quatre ans en 2012 dans le cadre du métaprogramme ACCAF, réunit 23 laboratoires qui analysent les conséquences positives ou négatives des nouvelles conditions climatiques. Comment les viticulteurs peuvent-ils y faire face ? Quels scénarios pour les régions viticoles françaises en 2050 ? Voilà quelques-unes des questions que biologistes, pédologues, climatologues, économistes, agronomes et bien sûr, œnologues, se posent de concert. L'idée est d'apporter des connaissances qui permettront aux exploitants de s'adapter, mais aussi de tordre le cou aux oiseaux de mauvais augure qui nous annoncent la fin prochaine des vignobles français.



Vignoble de la Côte d'Or.  
© Inra - Christian Slagmulder



## L'embolie des arbres

Publiée dans la revue *Nature* en 2012, la nouvelle n'avait rien de réjouissant : une équipe de chercheurs pilotée par l'Inra démontrait que les arbres de la planète, d'où qu'ils soient, fonctionnent à la limite du point de rupture de leur système hydraulique. L'explication physiologique est simple : le long des troncs des arbres, la sève circule à travers des vaisseaux situés sous l'écorce. Mais lorsqu'une bulle d'air vient rompre la colonne d'eau dans l'un de ces vaisseaux, celui-ci est irrémédiablement perdu. Cette embolie, que les chercheurs appellent cavitation, survient lorsque l'arbre subit un stress hydrique. Elle conduit à la mort de l'arbre lorsqu'elle s'étend à trop de vaisseaux. Mais voilà : chaque espèce a une résistance à la cavitation adaptée à son milieu naturel. Du coup, tant les forêts tropicales que les forêts méditerranéennes devraient également souffrir des sécheresses à répétition que nous promettent les modèles climatiques.



Le Cavitron : un prototype d'instrument de mesure capable de caractériser la tolérance à la sécheresse des arbres *via* la mesure de la conductance hydraulique d'un rameau sous pression négative.  
© Inra - R. Ségura

Forêt de pin maritime  
des Landes de Gascogne.  
© Inra



## Qu'en sera-t-il des Landes en 2100 ?

Le changement climatique met-il en péril la forêt des Landes ? Une chose est sûre : le pin maritime devrait connaître des difficultés. Les exploitations forestières pourraient faire face à des baisses de production ou à des mortalités lors de stress hydriques extrêmes. C'est pourquoi les chercheurs de l'Inra s'intéressent à des croisements qui pourraient permettre d'améliorer la résistance à la sécheresse. Actuellement, ils tentent de caractériser des hybrides entre le pin maritime et le pin d'Alep ou le pin de Calabre (pin *Bruttia*), originaires de la Méditerranée, constitueraient un bon compromis pour les exploitants forestiers.

## 2 L'ÉLEVAGE DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

VACHES, COCHONS, POULETS ET AUTRES ANIMAUX DE FERME SONT, BIEN MALGRÉ EUX, EN PARTIE RESPONSABLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE. ON LEUR DOIT 37% DES ÉMISSIONS DE MÉTHANE, 65% POUR LE DIOXYDE D'AZOTE ET 9% POUR LE DIOXYDE DE CARBONE. AU TOTAL, LA PART DE L'ÉLEVAGE DANS LES ÉMISSIONS DE GES TOURNE AUTOUR DE 15% AU NIVEAU MONDIAL. MÊME SI CETTE CONTRIBUTION REPRÉSENTE GLOBALEMENT EN EUROPE MOINS QUE LES TRANSPORTS, L'INDUSTRIE OU LE SECTEUR DE LA PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE ET LE RÉSIDENTIEL, DES EFFORTS RESTENT À FAIRE POUR ATTÉNUER L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DE NOTRE CONSOMMATION DE VIANDE ET PRODUITS LAITIERS.

L'ÉLEVAGE SERA AUSSI VICTIME DU CHANGEMENT CLIMATIQUE. LES MATIÈRES PREMIÈRES CLASSIQUEMENT UTILISÉES POUR ALIMENTER LES ANIMAUX CONNAÎTRONT DES COURS À LA HAUSSE. L'ACCROISSEMENT DE LEUR UTILISATION POUR L'ALIMENTATION HUMAINE LES RENDRA MOINS DISPONIBLES POUR L'ALIMENTATION DES ANIMAUX D'ÉLEVAGE... LES ÉVÈNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES AURONT ÉGALEMENT DES CONSÉQUENCES IMPORTANTES SUR LE BIEN-ÊTRE ET LES PERFORMANCES DES ANIMAUX D'ÉLEVAGE. ENFIN, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE POURRAIT PROVOQUER L'EXTENSION DE MALADIES, NOTAMMENT PAR LA DISSÉMINATION DE VECTEURS TELS QUE LES MOUSTIQUES. VOILÀ POURQUOI L'INRA SE MOBILISE, ET, AU TRAVERS DE PROGRAMMES TELS QUE ANIMAL-CHANGE, TENDE DE RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ DE L'ÉLEVAGE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, TOUT EN DIMINUANT SON EMPREINTE CARBONE.

MAIS L'ÉLEVAGE EST AUSSI PORTEUR DE SOLUTIONS. DES PROGRÈS TANGIBLES ONT ÉTÉ EFFECTUÉS (LE SECTEUR BOVIN FRANÇAIS A NOTAMMENT RÉDUIT SES ÉMISSIONS DE 20% DEPUIS 1990) ET UN POTENTIEL D'ATTÉNUATION DU MÊME ORDRE DE GRANDEUR EST L'OBJECTIF POUR LES 15 PROCHAINES ANNÉES. GESTION DES EFFLUENTS, MÉTHANISATION, RÉDUCTION DE LA FERTILISATION, PÂTURAGE ET STOCKAGE DU CARBONE PAR LES PRAIRIES... LES LEVIERS SONT NOMBREUX ET FONT L'OBJET DE TOUTES LES ATTENTIONS À L'INRA.



Élevage de porcs en plein air, cabane de post-sevrage avec litière de paille.  
© Inra

### Vers un élevage plus vert

Voici deux pistes pour réduire la part de l'élevage dans les émissions de GES. Première piste : modifier les rations des bovins afin de réduire leur production de méthane. Une alimentation enrichie en lin (qui permet de substituer une partie des glucides par des lipides) ou en légumineuses s'annonce comme une solution viable. Si le lin permet de réduire le méthane entérique, les légumineuses présentent un double avantage : diminuer les émissions de protoxyde d'azote et réduire les coûts de production (moins d'engrais à acheter). Deuxième piste : réduire la teneur en protéines de l'alimentation des vaches et des cochons afin de limiter les rejets d'azote dans les déjections. Ces rejets polluants correspondent à la fraction de protéines dont l'animal n'a nul besoin et qu'il n'assimile donc pas. Atmosphère et rivières en seraient reconnaissantes.

### Méthanisation : valoriser les déchets

Que faire des résidus agricoles tels que les lisiers produits dans les élevages ? De l'énergie, bien sûr ! Ceci, grâce à la méthanisation. Toute matière organique peut être traitée dans des cuves où, en absence d'oxygène, elle est digérée par des bactéries. Ce processus produit un gaz, le méthane, qui peut lui-même produire de l'électricité et de la chaleur par cogénération mais aussi être réinjecté dans le réseau de gaz naturel ou servir de biocarburant aux véhicules de type GNV (Gaz naturel véhicule). Par rapport à l'Allemagne, la méthanisation est peu développée en France. Néanmoins, cette technique progresse à grands pas. Logique : elle permet à la fois de se débarrasser des déchets et de réduire l'utilisation de combustibles fossiles. D'après une expertise collective, réalisée pour l'Ademe, la méthanisation pourrait permettre une réduction annuelle des émissions de GES de 10 millions de tonnes équivalent carbone. La recherche scientifique accompagne cette évolution. Les chercheurs de l'Inra tentent notamment de bien caractériser les différents substrats et les populations de bactéries de façon à augmenter l'efficacité de la méthanisation.



## Rafrâchir les élevages de cochons

Les cochons sont très sensibles à la chaleur, ce qui peut se traduire, pour l'éleveur, par des pertes économiques. Par exemple, la chaleur diminue l'appétit des animaux, et donc ralentit leur croissance. Les chercheurs de l'Inra testent de nouvelles stratégies alimentaires permettant de réduire cet effet. À température égale, dans une même population, certains cochons subissent moins les effets de la chaleur que d'autres. Dans le cadre du projet PigHeat, les chercheurs tentent de déterminer les effets de certaines régions du génome sur la résistance à la chaleur pour pouvoir, à terme, sélectionner les animaux les plus résistants.

D'autres projets, comme PigChange ont pour objectif d'évaluer l'effet du climat futur sur les élevages porcins. Ceci, grâce à des modèles qui décrivent la réponse des animaux à différents environnements. Ainsi, les chercheurs peuvent prédire l'effet d'une augmentation de la température moyenne et de l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur sur les performances du cheptel français. Ils peuvent également évaluer l'efficacité de certaines solutions comme le refroidissement des bâtiments ou des changements dans l'alimentation des animaux.

Dispositif expérimental de micro-peuplements installés en bacs en conditions semi-contrôlées à l'Inra de Lusignan pour tester les effets de la diversité spécifique et génétique de couverts prairiaux sur la production de biomasse et sa stabilité au cours du temps sous contrainte hydrique.

© Inra-URP3F - Dominique Dénoue



### Les prairies sous pression

Avec plus de 14 millions d'hectares, les prairies occupent près de 20 % de la surface du territoire français. Elles sont néanmoins en constante régression au profit de cultures annuelles.

Ces surfaces herbacées constituent une source importante d'alimentation pour les bovins et ovins. Elles rendent aussi de nombreux services environnementaux : elles sont un moyen de lutte contre le ruissellement, elles contribuent à épurer les eaux de drainage et leur sol renferme un stock de carbone organique comparable à celui des forêts.

C'est pourquoi les chercheurs de l'Inra ont voulu comprendre quel sera l'impact du changement climatique sur cette végétation. C'était le but du projet Validate, qui, entre 2007 et 2012 s'est intéressé au destin des prairies.

#### UNE PRODUCTIVITÉ RÉDUITE DES PRAIRIES

L'une des expériences conduite dans le cadre de Validate a consisté à placer des microparcelles de prairie de moyenne montagne dans les conditions climatiques prévues pour 2070. Résultat : la productivité de la prairie a chuté de 20 à 30 %. Néanmoins, les chercheurs ont aussi dégagé des pistes d'adaptation. Par exemple, ils ont montré que les variétés de plantes de prairie d'origine méditerranéenne sont plus résilientes à la sécheresse que celles d'origine tempérée. De plus, l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique pourra limiter l'impact du changement climatique sur les prairies.

#### LA DIVERSITÉ : ATOUT MAÎTRE DES PRAIRIES

Une équipe de l'Inra de Lusignan a montré les effets bénéfiques et complémentaires d'une diversité d'espèces et d'une diversité génétique (au sein des mêmes espèces) sur la production de biomasse des prairies placées sous contrainte hydrique. La diversité d'espèces améliore la production de biomasse en contrainte hydrique et la diversité génétique rend la production plus régulière tout au long de l'année, quelles que soient les conditions hydriques. En conclusion : diversité rime avec productivité et stabilité. Le régime des vaches et des moutons n'en sera que plus varié et goûteux !

## L'aquaponie : gagnant-gagnant sur toute la ligne

Associer poissons et salades, c'est possible ! Ceci, grâce à une très ancienne technique remise au goût du jour : l'aquaponie. Le principe est simple : les rejets des poissons deviennent des nutriments pour une production hors sol de plantes d'intérêt économique (tomates, salades, plantes aromatiques...). Ceci permet de valoriser les effluents aquacoles, mais aussi d'apporter aux poissons d'élevage une eau de bonne qualité, après un processus de filtration mécanique et biologique. Mais attention : la mise en place de cette production n'est pas si simple. Pour qu'une culture aquaponique soit un succès, le système doit être bien conçu, dimensionné et planifié. C'est là qu'entrent en jeu les chercheurs. Le projet APIVA teste plusieurs modèles d'aquaponie sur des poissons d'eau froide (truite) et d'eau chaude (tilapia). L'idée est d'analyser le couplage des compartiments aquacoles et hydroponiques et de préparer le transfert vers les aquaculteurs et les horticulteurs.

## La truite arc-en-ciel s'adapte

Les truites, c'est bien naturel, préfèrent l'eau froide aux courts-bouillons. Mais avec le changement climatique, les trutticulteurs devront apprendre à gérer une augmentation moyenne de la température de l'eau, ainsi que des vagues de chaleur plus fréquentes. Dans le cadre du métaprogramme ACCAF, le projet Thermotac s'intéresse à l'adaptation à long terme de populations de truite arc-en-ciel à la hausse des températures. Il tente d'évaluer l'existence d'une variabilité génétique au sein des populations de truites leur permettant de s'adapter à un climat plus chaud, ou de supporter des canicules. Les chercheurs veulent aussi découvrir les mécanismes qui permettent cette acclimatation afin de sélectionner les génotypes les plus résistants et offrir des pistes pour une meilleure gestion des élevages dans les nouvelles conditions climatiques qui s'annoncent.

## Chauffer l'œuf pour rafraîchir le poulet

La chaleur est l'un des pires ennemis des éleveurs de poulets. Lorsqu'elles sont en surchauffe, les volailles cessent de s'alimenter et leur bien-être est altéré. À l'heure du changement climatique, c'est un problème. Heureusement, les chercheurs ont découvert une solution originale qui pourrait venir en aide aux producteurs : en soumettant les œufs à des hausses cycliques de température durant l'incubation, on obtient des poulets qui résistent mieux à la chaleur dans les élevages. Cette acclimation embryonnaire a pour conséquence de modifier la physiologie des poulets et de diminuer leur température interne. Bonne nouvelle, la qualité de leur viande n'en est pas altérée. Dans le cadre du projet Thermochick, les scientifiques de l'Inra ont déterminé quelles sont les voies métaboliques et endocrines modifiées par ce traitement prénatal afin de mieux en tirer profit.

## Produire du lait bioclimatique !

Un des nouveaux défis des systèmes laitiers : produire du lait dans un contexte de contraintes et d'aléas climatiques, en économisant les ressources en eau et en énergie fossile, et tout en contribuant à une agriculture durable. Dans ce contexte, l'Inra a mis en place, en juin 2013, un projet baptisé OasYs sur 90 hectares de prairies et de cultures en Poitou-Charentes, avec un troupeau laitier de 72 vaches. Il est fondé sur une diversification des ressources fourragères (y compris des arbres), le développement du pâturage et des légumineuses, le recyclage de l'eau et des éléments nutritifs ainsi que sur une stratégie d'élevage adaptée (période de reproduction, durée de lactation, génotypes). En bref : un système agroécologique global à l'échelle de l'exploitation.



Parcelle en agroforesterie d'élevage.  
© Inra - Sandra Novak

## Apprendre des races bovines méditerranéennes

Les modèles montrent qu'au cours du siècle, le climat méditerranéen va remonter vers le nord de la France pour atteindre le Massif central. Or, c'est là que paissent un tiers des vaches allaitantes de France. Cet immense cheptel pourra-t-il s'adapter ? C'est dans ce contexte qu'est né le projet Galimed dans le cadre du métaprogramme ACCAF, qui s'intéresse aux races bovines locales méditerranéennes. Celles-ci se sont adaptées génétiquement au cours des siècles à leur environnement chaud et sec. Les chercheurs de l'Inra tentent de caractériser la biodiversité bovine et d'identifier les facteurs génétiques d'adaptation d'une vingtaine de races de neuf pays du pourtour méditerranéen. Ils veulent aussi faire le lien entre cette diversité génétique et les systèmes locaux de production, systèmes qui pourraient aider les éleveurs français à s'adapter à la nouvelle donne climatique.

On peut également mentionner l'existence du réseau international RECOLAD de collaboration sur l'adaptation des animaux d'élevage au changement climatique. Son objectif : renforcer la capacité de recherche de l'Inra sur cette thématique et répondre à une demande forte des partenaires des « Sud » en termes d'appui au développement des filières animales.



Reproduction du saumon atlantique, jeune saumon.  
© Inra - Jacques Dumas

## La faune sauvage face au changement climatique

### DÉBUT DE VIE TROP TARDIF POUR LES FAONS

Le changement climatique constitue un frein à la croissance des populations de chevreuils en forêt. C'est la conclusion d'observations menées durant près de trente ans dans les forêts de Trois-Fontaines en Champagne, et de Chizé dans les Deux-Sèvres. En effet, à mesure que le changement climatique progresse, la végétation s'éveille de plus en plus tôt dans l'année. Or, les chevrettes n'ont pas modifié le moment de leur mise bas. Ce décalage entre la naissance des faons et le pic printanier de ressources végétales entraîne une mortalité accrue des jeunes. Si l'avancée du printemps se poursuit, dans quelques décennies, le chevreuil pourrait décliner dans les écosystèmes forestiers. L'espèce devrait ainsi modifier sa distribution spatiale pour occuper des paysages offrant des ressources pouvant couvrir les besoins énergétiques des femelles durant la période d'élevage des jeunes.

### SAUMON ATLANTIQUE : LE COÛT DE LA CROISSANCE

La France est située en marge Sud de l'aire de distribution du saumon Atlantique. D'où une inquiétude : avec le changement climatique, l'espèce pourra-t-elle se maintenir chez nous dans les décennies à venir ? Un espoir : le saumon est une espèce très plastique qui peut ajuster ses traits biologiques en réponse aux fluctuations de son environnement. La croissance est l'un des traits caractéristiques grâce auxquels le saumon peut trouver des compromis. Les saumons qui grossissent rapidement pourraient avoir moins de chances de survie, chances qui pourraient s'amenuiser avec la réduction des débits estivaux des rivières. Les saumons qui grossissent plus lentement accèdent à la reproduction plus tardivement, mais avec une fécondité accrue. Dans le cadre du métaprogramme ACCAF, le projet Salmodim s'est donné pour objectif d'évaluer cette sélection négative selon la croissance des individus et ses conséquences. Mais il veut aussi tester une idée originale : et si, pour favoriser l'adaptation de l'espèce, on opérait une exploitation sélective des saumons en fonction de leur taille ?



## 3 GÉRER LA RESSOURCE EN EAU

C'EST LA MOLÉCULE LA PLUS PRÉCIEUSE DU MONDE : L'EAU. PAS FACILE DE LA PARTAGER ÉQUITABLEMENT ENTRE SES DIFFÉRENTS USAGES. LES ZONES URBAINES, L'INDUSTRIE ET LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN SONT DE GRANDS CONSOMMATEURS. MAIS IL NE FAUT PAS OUBLIER LES RIVIÈRES : MÊME EN ÉTÉ, CELLES-CI DOIVENT GARDER UN DÉBIT MINIMAL POUR MAINTENIR EN VIE LES ÉCOSYSTÈMES QU'ELLES ABRITENT. ET L'AGRICULTURE ? À L'HEURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, CELLE-CI DEVRA APPRENDRE À UTILISER AU MIEUX LA PART D'EAU QUI LUI SERA ALLOUÉE. PLUS QUESTION D'IRRIGUER SANS MESURE, VU QUE CHAQUE GOUTTE COMPTE. À L'HEURE OÙ LE CHANGEMENT CLIMATIQUE MENACE DE RENDRE PLUS PRÉCAIRE L'ACCÈS À CETTE RESSOURCE, LES CHERCHEURS DE L'INRA DÉVELOPPENT DES MODÈLES POUR TENTER D'AIDER LES AGRICULTEURS À RÉDUIRE LEURS PRÉLÈVEMENTS EN EAU SANS ASSÉCHER LEURS MARGES DE BÉNÉFICES ET AIDER LES GESTIONNAIRES DE L'EAU À PARTAGER LE PLUS RAISONNABLEMENT POSSIBLE CE PRÉCIEUX LIQUIDE ENTRE SES NOMBREUX UTILISATEURS.

### Au chevet d'un bassin déficitaire en eau

L'aval de l'Aveyron, dans le Tarn-et-Garonne, est un bassin en déficit chronique : la demande en eau y est supérieure à l'offre, ce qui entraîne déjà des tensions entre différents usagers. Or, en raison de l'application de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques, les agriculteurs devront se satisfaire d'un certain quota d'eau. Quota qu'ils trouvent aujourd'hui largement insuffisant.

Des chercheurs de l'Inra de Toulouse ont décidé de prendre ce bassin comme modèle d'études et d'y tester, pour la première fois, le modèle MAELIA qu'ils développent. Celui-ci permet de simuler les interactions entre activités agricoles, hydrologie et gestion de l'eau. Dans un premier temps, ils ont demandé aux agriculteurs de proposer des changements dans les systèmes de culture actuels qui leur sembleraient réalistes pour réduire leurs prélèvements en eau. Grâce au modèle, ils ont montré que ces premières propositions restent insuffisantes pour annuler le déficit hydrique du bassin. Conclusion : ce ne sont pas de petits réarrangements qui changeront la donne. Dans bien des territoires, l'agriculture devra connaître une profonde mutation pour s'adapter d'une part, aux nouvelles réglementations et d'autre part, aux nouvelles conditions climatiques.

L'unité expérimentale Inra de Gothenon développe des programmes d'expérimentation-recherche sur les systèmes de production durable en arboriculture fruitière (abricotiers, pêchers, pommiers, poiriers).  
© Inra - Christophe Maitre



### L'art d'irriguer son champ

Bien irriguer son champ n'est pas si simple, surtout à l'heure du changement climatique. On pourrait croire, par exemple, que le meilleur moyen de faire des économies d'eau est de développer tous azimuts l'irrigation goutte-à-goutte. Pas si simple : cette technique, excellente pour les cultures pérennes et le maraîchage, est peu adaptée pour un champ de blé ou de maïs. L'aspersion est plus adaptée pour ces cultures mais moins efficace : une partie de l'eau reste sur les feuilles et les tiges et s'évapore *illico*.

Dans tous les cas, avant d'arroser, il faut bien connaître les besoins des plantes et leur dynamique hydrique. Pour le savoir, les chercheurs Inra d'Avignon utilisent le modèle STICS qui leur permet de simuler, à l'échelle d'une parcelle, l'eau transpirée par les plantes, celle qui s'échappe par drainage pour alimenter les aquifères et celle qui reste dans le sol ; ceci, en fonction des types de cultures, des pratiques agricoles, de la nature du sol et bien sûr, des données climatiques. Couplé aux simulations du climat futur, ce modèle permet aussi de prédire les besoins en eau de l'agriculture pour les décennies à venir.



## Qualité de l'eau : le rôle des zones humides

Ce n'est pas que la quantité, c'est aussi la qualité de l'eau qui sera affectée par le changement climatique. Une des clés de cette qualité se trouve dans les zones humides. Ces terrains gorgés d'eau, situés le long des cours d'eau, ont une importance écologique majeure. Les zones humides localisées en tête de bassin versant sont, pour l'azote, de véritables petites stations d'épuration naturelles. Elles sont en revanche des sources de carbone et de phosphore. Avec le changement climatique, les surfaces de ces zones humides diminueront. D'après les modèles, l'augmentation de la température pourrait accélérer la dénitrification et donc l'épuration de l'azote. À plus long terme, les canicules à répétition et la baisse de la pluviométrie pourraient déséquilibrer ces écosystèmes et les rendre moins efficaces. Le projet Climaster, s'est intéressé, parmi de nombreux autres impacts étudiés, au rôle des zones humides dans le cycle de plusieurs éléments chimiques et a montré l'étendue des incertitudes vis-à-vis des fonctions des zones humides. Reste aux chercheurs à combler ce déficit de recherche.



© Inra - Christian Slagmulder

© Fotolia



## Irrigation de la vigne : un tabou à lever

Dans le Nouveau Monde, en Californie ou en Argentine par exemple, l'irrigation de la vigne est une pratique courante. En Europe, c'est tout le contraire : moins de 10 % des vignobles sont irrigués. Néanmoins, un changement s'opère : avec le changement climatique, de nombreux producteurs se rendent à l'évidence que, pour rester compétitifs, ils ne peuvent plus compter uniquement sur le ciel. Ainsi, sur le pourtour méditerranéen, l'irrigation se développe. Ceci n'est pas sans poser problème. Il faut en effet bien maîtriser l'irrigation pour maintenir la qualité et la quantité de la vendange.

Se pose aussi le problème de la ressource en eau. Les chercheurs de l'Inra conduisent actuellement des expériences pour évaluer une nouvelle ressource

hydrique : l'eau traitée par les stations d'épuration. Celle-ci contient de l'azote et du phosphore qui pourraient servir à nourrir la vigne. Ce travail de recherche mené à Narbonne est susceptible d'intéresser des zones du littoral méditerranéen où l'accès à l'eau sera de plus en plus difficile.



4

# L'ALIMENTATION DURABLE : DÉFI DU 21<sup>e</sup> SIÈCLE

POURRA-T-ON NOURRIR LES 8, 9 OU 11 MILLIARDS D'ÊTRES HUMAINS QUI PEUPLERONT LA TERRE EN 2050 ? LE DÉFI EST DE TAILLE, CERTES, MAIS ON AURAIT TORT DE LE VOIR UNIQUEMENT COMME UN PROBLÈME QUANTITATIF. L'ALIMENTATION DURABLE, SELON LA FAO, DOIT ÊTRE SÛRE, NUTRITIONNELLEMENT ADÉQUATE ET BONNE POUR LA SANTÉ. ELLE DOIT AUSSI ÊTRE ACCEPTABLE CULTURELLEMENT, LOYALE ET RÉALISTE DU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE. ENFIN, ELLE DOIT PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ, LES ÉCOSYSTÈMES ET OPTIMISER L'USAGE DES RESSOURCES NATURELLES.

PREMIER PAS : RÉDUIRE SON EMPREINTE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT. IMPACT QUI EST AUJOURD'HUI BIEN TROP ÉLEVÉ : EN EUROPE, EN INCLUANT L'AGRICULTURE, NOTRE ALIMENTATION REPRÉSENTE 30 % DES ÉMISSIONS DE GES, 55 % DE L'ACIDIFICATION DES SOLS ET 30 % DES DÉCHETS. C'EST POUR MIEUX CERNER L'ÉNORME ENJEU QUE REPRÉSENTE L'ALIMENTATION DURABLE QUE L'INRA ET LE CIRAD ONT PUBLIÉ EN 2011, UN EXERCICE DE RÉFLEXION APPELÉ DUALINE. UNE CENTAINE DE CHERCHEURS ONT DRESSÉ UN ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES SUR LES IMPACTS DE NOTRE CONSOMMATION SUR L'ENVIRONNEMENT, LA SANTÉ, L'ÉCONOMIE ET LA SOCIÉTÉ À L'ÉCHELLE DU GLOBE.



© Inra - William Beaucardet

## La chasse au gaspi est ouverte

L'objectif d'une alimentation durable passe par une réduction drastique du gaspillage. En effet, 30 % de ce que produit la Terre pour nous sont perdus. En Europe, entre 280 et 300 kg de nourriture par an et par personne partent à la poubelle. Or, la production de ces aliments gaspillés a mobilisé des terres, utilisé de l'eau, des engrais et autres intrants, du travail et des combustibles fossiles. Avec la consommation, une grande source de gaspillage se trouve à la production même. Pensez à tous ces fruits et légumes qui présentent un défaut ou dont la taille ne passe pas les calibrages. Le consommateur peut lui aussi faire la chasse au gaspi : des gestes aussi simples que classer les produits par ordre de conservation dans le réfrigérateur, faire et respecter une liste de courses, contribueraient à réduire de 20 à 30 % le gaspillage des ménages.

## Rééquilibrer notre alimentation pour réduire son impact

Le régime alimentaire des pays développés pose problème : trop riche en produits d'origine animale, son empreinte environnementale est très élevée. Les chercheurs de l'Inra ont montré que chaque Français consomme en moyenne, pour son alimentation, 4 kilos de carbone tous les jours, mais avec une variabilité interindividuelle très grande. Or, si l'on veut nourrir la planète de façon durable, les pays du Nord devront montrer l'exemple et réduire cet impact.

Les chercheurs se sont demandé, en étudiant la consommation des Français, quels pourraient être les menus bons à la fois pour la santé et pour l'environnement. Ils ont montré que des variations assez modestes des régimes moyens pourraient réduire de 20 % l'empreinte de notre nourriture. Pour cela, il suffirait de réduire la part de la viande, des œufs et du poisson : ces produits, qui représentent 17 % des calories que nous consommons, devraient passer à 14 %. La part de fruits et légumes de 7 à 9 % et celle des féculents (pâtes, pain), de 26 à 30 %. En somme, un rééquilibrage en faveur d'une alimentation plus végétale et une réduction de l'apport énergétique auraient un impact tout à fait significatif, en particulier pour les gros consommateurs de produits animaux.



## Afrique du Nord - Moyen-Orient : une importante dépendance alimentaire que le changement climatique pourrait accentuer à l'horizon 2050 ?

En 50 ans, la population de la région Afrique du Nord - Moyen-Orient a été multipliée par 3,5 ; le régime alimentaire y a évolué par augmentation de la part des huiles végétales et des produits sucriers au détriment des céréales. La dépendance aux importations y est passée de 10 à 40 %. Si les effets du changement climatique ne sont pas contenus, cette dépendance alimentaire va s'accroître dans la région. Un exemple : si rien n'est fait, le Maghreb serait particulièrement exposé, perdant 50 % de ses terres cultivables. Pour le compte de l'association Pluriagri, l'Inra a mené en 2015 une étude réunissant des agronomes, des économistes et des politologues, visant à simuler les effets sur la dépendance aux importations agricoles de la région, de divers scénarios à l'horizon 2050. Seule une combinaison de trois leviers pourrait limiter la dépendance alimentaire de la région à l'horizon 2050 : accroissement des rendements par progrès technique, limitation de la demande par régulation des régimes alimentaires, limitation des pertes et gaspillages. Mais les simulations démontrent que la façon la plus efficace de lutter serait de limiter le changement climatique, supposant un fort engagement politique.





Profil de sol  
© Inra - Folvert Van Oort

# GARDER LES SOLS VIVANTS

## 1 UNE PRIORITÉ : ENRICHIR LES SOLS EN CARBONE

COMMENT RÉDUIRE LES CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES DU GAZ CARBONIQUE, RESPONSABLE POUR UNE LARGE PART DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ? POUR LIMITER LES ÉMISSIONS DE GES ET ASSURER LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE, IL CONVIENT D'ACCOMPAGNER LA TRANSITION VERS DES SYSTÈMES AUTONOMES SUR LE PLAN ÉNERGÉTIQUE ET DES INTRANTS (PESTICIDES, ENGRAIS) EN S'APPUYANT SUR DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES. L'UNE DES SOLUTIONS CONSISTE À ACCROÎTRE LES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOSPHERE CONTINENTALE ET DES SOLS AGRICOLES ET FORESTIERS, PAR TOUS LES MOYENS NATURELS POSSIBLES. LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS POURRAIENT Y CONTRIBUER LARGEMENT. IL EST ENCORE POSSIBLE D'AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DE CES Puits de CARBONE. MAIS POUR CELA, DES AMÉNAGEMENTS S'AVÈRENT NÉCESSAIRES.

### Quand la sécheresse pénalise le stockage du carbone

Le changement climatique va entraîner un déficit hydrique dans certaines régions. Et les conséquences risquent d'être plus dramatiques encore qu'on ne le pensait. Une équipe de l'Inra de Nancy a en effet démontré que la sécheresse limite fortement le stockage du carbone par les forêts, en raison de la diminution de l'assimilation photosynthétique. Ces travaux ont été confirmés par l'analyse de la sécheresse de 2003. Or, on sait que ce type d'aléa climatique va devenir plus fréquent dans les années à venir. D'où l'importance des travaux menés dans le cadre des projets Carbofor et FAST pour analyser les flux de carbone et identifier les espèces les mieux adaptées au déficit hydrique.

### Carbofor et FAST scrutent les écosystèmes forestiers

Le projet Carbofor, mené par l'Inra jusqu'en 2004, a contribué à l'élaboration de modèles destinés à quantifier les impacts du changement climatique sur les grands écosystèmes forestiers (feuillus tempérés, pinède, forêt méditerranéenne...) à différentes échelles, depuis le niveau de l'écosystème forestier jusqu'à celui de l'ensemble du territoire. L'étude s'est notamment attachée à mesurer l'influence du climat sur le bilan et le stockage du carbone. Les résultats ont permis de calculer les potentiels de séquestration du CO<sub>2</sub> par les écosystèmes forestiers, et de modéliser leur comportement, non seulement face à différents scénarios de changement climatique, mais aussi en réaction aux moyens mis en œuvre pour y faire face. Le projet FAST (Analyse et Spatialisation de scénario intégré de changement global sur la Forêt française), mené de 2009 à 2013, a contribué à affiner ces connaissances, notamment avec une résolution spatiale accrue (8x8 kilomètres). Toutes ces informations serviront à aménager les écosystèmes forestiers pour faciliter leur adaptation au changement climatique.





## La recherche se plie en 4... pour 1000

Erosion, dessiccation, évapotranspiration... la dégradation des sols menace plus de 40 % des terres émergées et les dérèglements climatiques accélèrent ce processus de dégradation, mettant en péril la sécurité alimentaire. Une augmentation relative de 0,4 % par an des stocks de matière organique des sols suffirait à compenser une large part des émissions de GES de la planète. Appliquée à l'horizon de surface des sols (0-40 centimètres), elle suffirait à compenser l'augmentation actuelle du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Lancé en mars 2015 par le ministre de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, le programme international de recherche « 4 pour 1 000 » a pour objectif de réconcilier sécurité alimentaire et changement climatique. Cette initiative constitue la première contribution de l'agriculture au plan d'action Lima-Paris de la COP21. Elle repose non seulement sur la mobilisation internationale des chercheurs mais aussi sur une mobilisation des acteurs publics et privés et des états visant à éviter les pratiques telles que la déforestation, le retournement de prairies, le drainage de tourbières et de zones humides qui font perdre du carbone aux sols et à encourager le recours à des pratiques bénéfiques pour la restauration des sols et le stockage de carbone dans les sols et la biomasse.

© Fotolia



## 2 MIEUX VALORISER LA RESSOURCE « SOL »

COMMENT CONCILIER LES INTÉRÊTS DES EXPLOITANTS AGRICOLES AVEC LES IMPÉRATIFS ÉCOLOGIQUES QUE NOUS IMPOSE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ? DEPUIS DE NOMBREUSES ANNÉES, CETTE QUESTION PRÉOCCUPE LES CHERCHEURS DE L'INRA. AUJOURD'HUI, GRÂCE AUX NOMBREUSES EXPÉRIMENTATIONS MENÉES SUR LE LONG TERME À TRAVERS TOUT LE TERRITOIRE, GRÂCE À L'ÉTUDE APPROFONDIE DES SYSTÈMES DE CULTURE ET GRÂCE À LA CONNAISSANCE ACCRUE DES MÉCANISMES D'ÉMISSIONS DE GES, DES SOLUTIONS COMMencent À SE DESSINER. MAIS SI L'ON CONNAÎT MIEUX LES MOYENS DE S'ADAPTER AUX ALÉAS CLIMATIQUES ET DE RÉDUIRE LES ÉMISSIONS, LA MISE EN ŒUVRE DES PRATIQUES PEINE À SE GÉNÉRALISER. CERTAINES PARCE QU'ELLES IMPOSENT PARFOIS UN CHANGEMENT IMPORTANT DES TECHNIQUES D'EXPLOITATION, VOIRE UN SURPLUS DE TRAVAIL, D'AUTRES PARCE QU'ELLES ENTRAÎNENT UN MANQUE À GAGNER POUR L'EXPLOITANT, TOUT AU MOINS À COURT TERME. POURTANT, LES SYSTÈMES AGRICOLES BASÉS SUR LES PRINCIPES DE L'AGROÉCOLOGIE PEUVENT CONTRIBUER À LUTTER EFFICACEMENT CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE. ET CE N'EST PAS LEUR SEUL AVANTAGE.

L'AGROÉCOLOGIE VISE À COMPRENDRE ET UTILISER LES PROCESSUS NATURELS, POUR OBTENIR DES SYSTÈMES DE PRODUCTION MULTIPERFORMANTS. TROIS EXEMPLES SONT PRÉSENTÉS ICI.

Bande fleurie de bleuets dans un champ d'orge.  
© Inra - Paola Salazar



## Agriculture de conservation : un socle vertueux reposant sur trois piliers

L'agriculture de conservation s'inscrit dans ce mouvement. Elle repose sur un tripode de pratiques qui, lorsqu'elles sont convenablement associées, entraînent des économies d'énergies fossiles, limitent la pollution des eaux et atténuent les émissions de GES.

- **Premier pilier :** le non travail du sol qui permet de préserver la vie biologique, par exemple le développement des mycorhizes, des champignons qui améliorent la capture d'éléments minéraux comme le phosphore. Autre effet bénéfique, l'accumulation de matière organique agit comme un piège pour le carbone, qui reste stocké dans le sol. Même si le non labour n'est pas suffisant en climat humide pour causer une accumulation de carbone sur l'ensemble du profil du sol, il entraîne une réduction substantielle des dépenses de carburants fossiles. Il comporte aussi des risques, qui doivent être maîtrisés, en termes de contrôle des adventices et d'emploi excessif d'herbicides.
- **Second pilier :** les rotations de culture longues, intégrant des légumineuses. Ces dernières captent l'azote de l'air et contribuent à la fertilité du sol. Conséquence, les besoins d'apports en azote minéral sous forme d'intrants sont réduits pour les cultures principales suivantes (blé, maïs...), ce qui limite les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).
- **Troisième pilier :** la couverture permanente du sol. Plutôt que de labourer et laisser la terre en repos entre deux cultures, on sème une interculture, par exemple de la féverole, qui ne sera pas récoltée, mais broyée et laissée en surface. Ce « mulch » constitue un apport organique qui augmente la fertilité du sol. Pour l'agriculteur, cette technique permet de limiter l'utilisation d'engrais chimiques et donc de réduire ses coûts d'exploitation. Pour la société, c'est moins de GES et une baisse de la pollution des eaux dans les bassins versants. Bref, tout le monde y gagne.

Pour autant, l'agriculture de conservation est encore peu développée en France. Ces pratiques vertueuses diffèrent largement des techniques de l'agriculture conventionnelle. Un apprentissage est donc nécessaire, qui peut dissuader les agriculteurs. En outre, des risques comme une moindre disponibilité en eau pour la culture principale suivant la culture intermédiaire doivent être pris en considération. Mais les choses évoluent. Dans toutes les régions, des agriculteurs, séduits par ces nouveaux enjeux, se regroupent afin de partager leurs connaissances et leurs expériences, pour améliorer les méthodes et accroître leur efficacité.



### 10 actions pour réduire les émissions de GES de l'agriculture

L'agriculture est à l'origine de 20 % des émissions de GES au niveau national. C'est trop ! Dans le but de réduire ces impacts, 22 experts de l'Inra ont étudié durant trois ans les causes de ces émissions, et les moyens à mettre en œuvre pour les réduire. Ils ont identifié quatre leviers : la réduction des émissions de protoxyde d'azote et de méthane, le stockage du carbone dans les sols et la biomasse, l'économie d'énergie et enfin la production de biogaz par méthanisation des effluents d'élevage. Les scientifiques ont ainsi déterminé 10 actions et 26 sous-actions, qui, si elles sont cumulées, peuvent conduire à l'horizon 2030, à une atténuation annuelle de 32 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, équivalent sans perte de production. Bien sûr, toutes ne sont pas aussi simples à mettre en œuvre. Si 1/3 des actions entraîne un bénéfice financier pour l'agriculteur (par exemple en réduisant la quantité d'engrais sans nuire au rendement), un deuxième tiers nécessite des investissements parfois importants, en partie compensés par des revenus supplémentaires (vente de bois, d'électricité...). Le dernier tiers se révèle plus coûteux à mettre en œuvre, car nécessitant des achats ou du temps de travail sans contrepartie. Tout au moins financière. Car ces actions, par exemple la mise en œuvre de cultures intermédiaires, la plantation de haies ou la création de bandes enherbées ont aussi des effets positifs sur la biodiversité, la lutte contre l'érosion et la qualité des eaux, en plus d'un effet positif sur le climat.



## Association entre culture et élevage

Les fermes mixtes couplant cultures et élevages ont fortement régressé. Jusqu'aux années cinquante, les exploitations comprenaient à la fois de l'élevage et des cultures. L'élevage fournissait le fumier pour les champs, lesquels en retour, apportaient la paille et le grain nécessaires au bétail. Désormais, certaines régions sont spécialisées en culture ou en élevage, ou, au sein d'une même région, les exploitations se consacrent à l'une ou l'autre des activités. Pour tenter de rétablir cette synergie, profitable à tous, l'Inra a piloté un projet européen nommé Cantoggether (*Crops and ANimals together*) destiné à concevoir de nouveaux systèmes agricoles qui associent productions animales et végétales afin de concilier productivité et maîtrise des flux d'énergie, de carbone et de nutriments. Cette synergie peut s'exercer à l'échelle de la ferme, mais aussi par le développement d'échanges entre exploitations spécialisées en culture et élevage. Un dispositif de recherche, en partenariat dans la vallée de l'Aveyron, a ainsi montré que les exploitations de grandes cultures de la zone de Montauban pourraient remplacer une partie du maïs grain, qui nécessite beaucoup d'eau durant l'été, par du maïs ensilage. Récolté plus tôt et donc moins consommateur d'eau, il servirait à alimenter le bétail de la zone de Rodez. Autre option, remplacer une partie des cultures traditionnelles (maïs, tournesol, blé) par de la luzerne. Cette méthode, qui induit une surcharge de travail, entraîne aussi une perte de revenus pour l'exploitant. Mais ce manque à gagner peut être compensé par l'amélioration de la fertilisation du sol par la légumineuse, synonyme de réduction des besoins d'apports d'engrais azotés pour les cultures suivantes. L'intérêt est à la fois économique et environnemental, puisque ces fertilisants sont à l'origine de la plus grande partie des émissions d'un des plus puissants GES, le protoxyde d'azote.

### Intercultures : quand le champ devient prairie

Et si l'on mettait des vaches dans les champs cultivés ? L'idée peut sembler saugrenue, mais elle fait son chemin. Par exemple, une interculture de féverole ou de colza associés éventuellement à d'autres plantes et semés entre deux cultures principales peut être pâturée, plutôt que d'être roulée pour produire du mulch. Cette pratique permet à l'agriculteur d'introduire un troupeau sans pour autant accroître sa surface d'exploitation. Et améliorer ainsi la plus-value à l'hectare de certaines parcelles de son exploitation.



Pâturage de brebis sur un herbage cultivé de l'Aveyron.  
© Inra - Michel Meuret

### La haie : un puissant allié de l'agriculture

Afin d'accroître la taille des parcelles, les exploitants agricoles ont arraché les haies sans se douter des bénéfices qu'elles pouvaient apporter. Grave erreur ! Parce que ces rangées d'arbres et d'arbustes n'ont pas qu'un caractère esthétique : les haies modifient aussi le microclimat de la parcelle dans un sens favorable. Mais surtout, elles abritent les ennemis naturels des bioagresseurs. Par exemple les syrphes, dont les larves raffolent des pucerons. Alors bien sûr, les haies empiètent sur la parcelle, et leur entretien entraîne un surplus de travail pour l'exploitant. Mais le manque à gagner peut être compensé par la vente des branchages sous forme de bois énergie (1 km de haie produit 0,5 tonne équivalent pétrole). Sans oublier les économies réalisées grâce à la diminution des traitements insecticides appliqués sur les champs.



## La PAC, promoteur de l'agroforesterie

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015, une partie des aides de la PAC est conditionnée à la préservation de l'environnement. C'est le « paiement vert ». Pour en bénéficier, l'exploitant doit notamment préserver un minimum de 5 % de surfaces d'intérêt écologique. Cela se traduit par exemple par le maintien des arbres plantés en bordure ou sur les terres arables. À cette disposition, la France a choisi d'ajouter les haies. Non seulement il est interdit de les couper mais il s'agit en outre de respecter un calendrier pour la taille afin de ne pas entraver les périodes de reproduction des oiseaux nicheurs. En contrepartie, c'est la surface totale occupée par ces végétaux et les terres arables associées qui est prise en compte pour le calcul des aides.

## Agroforesterie : la synergie entre les cultures et les arbres

L'agroforesterie désigne l'association d'arbres et de productions agricoles au sein d'une même parcelle. La pratique n'est pas innovante. Des documents anciens attestent que, jusqu'au début du 20<sup>e</sup> siècle, les arbres occupaient une place non négligeable dans les terres agricoles, non seulement en bordure, mais aussi dans les champs. Après la Seconde Guerre mondiale, le développement de la mécanisation, l'apparition des produits phytosanitaires et l'augmentation de la surface des champs ont entraîné l'arrachage des arbres, devenus incompatibles avec les nouvelles pratiques de cultures. Aujourd'hui, on redécouvre les avantages de cette synergie. Et ils sont nombreux. Premier atout, les sous-produits ligneux (feuilles, brindilles, fruits, racines...) produisent un humus qui enrichit les sols et accroît leur fertilité. Autre avantage, l'ombre des arbres réduit les besoins en eau des cultures, ce qui retarde le stress hydrique des cultures. Un avantage qui pourrait être décisif avec le changement du climat. Et les racines des arbres capturent en profondeur l'azote qui a échappé aux cultures, évitant ainsi la pollution des eaux souterraines. Mais ce n'est pas tout, l'arbre contribue à l'esthétique du paysage, améliore la biodiversité en accueillant notamment des ennemis des ravageurs. Il protège les sols de l'érosion, et, bien entendu, constitue un puissant piège à carbone (1 à 2 tonnes par hectare et par an pour 50 à 100 arbres à l'hectare). Bref, que des avantages... tout au moins pour la société. Parce que pour l'exploitant agricole, ce n'est pas aussi simple. Soyons clairs, une parcelle traversée par des rangées d'arbres est moins facile à travailler qu'un immense champ vide de tout obstacle. Et les arbres nécessitent un entretien régulier. En plus, malgré leurs atouts, les arbres ne suppriment pas automatiquement les besoins d'apports en produits phytosanitaires. Bref, pour de nombreux agriculteurs, la surcharge de travail et les contraintes engendrées par ce mode de culture se révèlent dissuasives. Les arbres constituent pourtant une source de revenus très importante... mais à long terme. Or, à moins de les planter dès le lancement de son activité professionnelle, ce n'est pas l'exploitant, mais ses successeurs ou enfants qui en profiteront. D'où l'intérêt de sensibiliser les jeunes agriculteurs à cette pratique. Parce que le bois, ça rapporte. Beaucoup. En Isère, où l'agroforesterie avec les noyers est traditionnelle, une plantation adulte de 100 noyers par hectare, représente un capital supérieur à 100 000 euros de bois... par hectare ! De quoi se constituer un joli capital retraite.



Moisson de blé dur dans une parcelle agroforestière expérimentale adulte près de Vézénobres dans le Gard. La complémentarité des arbres (ici des peupliers) et des cultures permet aux parcelles agroforestières d'être plus productives qu'un assolement de parcelles de cultures pures.

© Inra - Christian Dupraz



## Le métaprogramme ACCAF

Quelles vont être les conséquences du changement climatique à court, moyen et long termes, pour la société en général, et l'activité agricole en particulier, et comment s'y préparer ? C'est pour répondre à ces questions qu'a été lancé ACCAF - pour Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt - l'un des huit métaprogrammes de l'Inra. Doté d'un budget annuel de 5 millions d'euros (en incluant les salaires des agents Inra impliqués), il mobilise, depuis 2011, les compétences de 12 départements scientifiques autour de l'adaptation au changement climatique. Depuis son lancement, 31 projets nationaux et internationaux ont déjà été financés. Ils abordent tous les domaines : élevage, agriculture, sylviculture, biodiversité, santé animale ou végétale, ressources en eau... et mobilisent de nombreuses disciplines avec des objectifs communs : évaluer et anticiper les risques, développer des stratégies et techniques d'adaptation, améliorer les espèces animales et végétales par la sélection génétique et favoriser leur adaptation en stimulant leurs capacités intrinsèques pour les rendre compatibles avec les changements à venir, et bien sûr, évaluer l'efficacité et les coûts financiers des différentes mesures. La gouvernance d'ACCAF est assurée conjointement par des chercheurs et ingénieurs de l'Inra et un comité scientifique international. Un comité des porteurs d'enjeux favorise les échanges avec de nombreux acteurs (agences environnementales, instituts techniques, coopératives agricoles...) afin de mieux intégrer leurs attentes et communiquer sur la stratégie et les actions du métaprogramme.



## CONTACTS SCIENTIFIQUES

### Jean-François Soussana

directeur scientifique environnement de l'Inra  
jean-francois.soussana@paris.inra.fr

**Thierry Caquet**, directeur du métaprogramme ACCAF de l'Inra (Adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt), chef de département Écologie des forêts, prairies et milieux aquatiques de l'Inra / efp@nancy.inra.fr

## OBSERVER ET MODÉLISER

### 1. ICOS : UN OUTIL PHARE DE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

**Denis Loustau** (unité Interaction sol plante atmosphère, Inra Bordeaux-Aquitaine) / denis.loustau@bordeaux.inra.fr  
T. 05 57 12 28 51

### 2. SUIVI AU LONG COURS... D'EAU

**Chantal Gascuel** (unité Sol agro et hydrosystème spatialisation, Inra Rennes)  
chantal.gascuel@rennes.inra.fr / T. 02 23 48 52 27

### 3. TÉMOIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LA PHÉNOLOGIE

**Iñaki Garcia de Cortazar Aauri** (unité Agroclim, Inra PACA) / igarcia@avignon.inra.fr / T. 04 32 72 23 68

**Jean-Marc Audergon** (unité Génétique et amélioration des fruits et légumes, Inra PACA)  
jean-marc.audergon@avignon.inra.fr / T. 04 32 72 26 68

### 4. UN SIMULATEUR POUR LES CULTURES

**Nicolas Beaudoin** (unité Agroressources et impacts environnementaux, Inra Nord - Picardie - Champagne)  
nicolas.beaudoin@laon.inra.fr / T. 03 23 24 07 66

**Philippe Debaeke** (unité Agroécologie, innovations, territoires, Inra Toulouse) / philippe.debaeke@toulouse.inra.fr / T. 05 61 28 50 16

**Frédéric Huard** (unité Agroclim, Inra PACA)  
huard@avignon.inra.fr / T. 04 32 72 23 75

## EXPLORER TOUTES LES PISTES

### 1. AU CŒUR DES CHAMPS ET FORÊTS

**Philippe Debaeke** (unité Agroécologie, innovations, territoires, Inra Toulouse)  
philippe.debaeke@toulouse.inra.fr / T. 05 61 28 50 16

**Jean-Marc Touzard** (unité Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation, Inra Montpellier)  
touzard@supagro.inra.fr / T. 04 99 61 24 65

**Delphine Derrien** (unité Biogéochimie des écosystèmes forestiers, Inra Nancy) / derrien@nancy.inra.fr  
T. 03 83 39 41 46

**Nathalie Bréda** (unité Écologie et écophysiologie forestières, Inra Nancy) / nbreda@nancy.inra.fr  
T. 03 83 39 40 48

**Sylvain Delzon** (unité Biodiversité, gènes et communautés, Inra Bordeaux-Aquitaine)  
sylvain.delzon@u-bordeaux1.fr / T. 05 40 00 38 91

**Vincent Badeau** (unité Écologie et écophysiologie forestières, Inra Nancy) / vincent.badeau@nancy.inra.fr  
T. 03 83 39 41 29

**Benoît Marçais** (unité Interactions arbres/micro-organismes, Inra Nancy) / benoit.marcais@nancy.inra.fr  
T. 03 83 39 40 53

**François Tardieu** (laboratoire d'Écophysiologie des plantes sous stress environnementaux, Inra Montpellier)  
francois.tardieu@supagro.inra.fr / T. 04 99 61 26 32

**Nicolas Langlade** (unité laboratoire des Interactions plantes microorganismes, Inra Toulouse)  
nicolas.langlade@toulouse.inra.fr / T. 05 61 28 57 78

**Laurent Huber** (unité Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes, Inra Versailles-Grignon) / laurent.huber@grignon.inra.fr  
T. 01 30 81 55 06

## 2. L'ÉLEVAGE DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

**David Renaudeau** (unité Physiologie, environnement et génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage, Inra Rennes) / david.renaudeau@rennes.inra.fr  
T. 02 23 48 70 54

**Jean-Philippe Steyer** (unité laboratoire de Biotechnologie de l'environnement, Inra Montpellier)  
steyer@supagro.inra.fr / T. 04 68 42 51 78

**Isabelle Litrico** (unité de Recherche pluridisciplinaire prairies et plantes fourragères, Inra Poitou-Charentes)  
isabelle.litrico@lusignan.inra.fr / T. 05 49 55 61 48

**Laurent Labbé** (unité Pisciculture expérimentale Inra des Monts d'Arrée, Inra Rennes)  
laurent.labbe@rennes.inra.fr / T. 02 98 68 89 36

**Mathilde Dupont-Nivet** (unité Génétique animale et biologie intégrative, Inra Jouy-en-Josas)  
mathilde.dupont-nivet@jouy.inra.fr / T. 01 34 65 23 49

**Anne Collin** (unité Recherches avicoles, Inra Val-de-Loire) / anne.collin@tours.inra.fr / T. 02 47 42 79 29

**Sandra Novak** (unité Fourrages environnement ruminants Lusignan, Inra Poitou-Charentes)  
sandra.novak@lusignan.inra.fr / T. 05 49 55 60 67

**Denis Laloë** (unité Génétique animale et biologie intégrative, Inra Jouy-en-Josas) / denis.laloë@jouy.inra.fr  
T. 01 34 65 22 00

**Etienne Prevost** (unité Écologie comportementale et biologie des populations de poissons, Inra Bordeaux-Aquitaine) / etienne.prevost@st-pee.inra.fr  
T. 05 59 51 59 83

**Mark Hewison** (unité Comportement et écologie de la faune sauvage, Inra Toulouse)  
mark.hewison@toulouse.inra.fr / T. 05 61 28 51 23

## 3. GÉRER LA RESSOURCE EN EAU

**Chantal Gascuel** (unité Sol agro et hydrosystème spatialisation, Inra Rennes)  
chantal.gascuel@rennes.inra.fr / T. 02 23 48 52 27

**Delphine Leenhardt** (unité Agroécologie, innovations, territoires, Inra Toulouse)  
delphine.burger-leenhardt@toulouse.inra.fr  
T. 05 61 28 50 43

**André Chanzy** (unité Environnement méditerranéen et modélisation des agro-hydrosystèmes, Inra PACA)  
andre.chanzy@avignon.inra.fr / T. 04 32 72 22 11

**Hernan Ojeda** (unité Expérimentale de Pech Rouge, Inra Montpellier) / ojeda@supagro.inra.fr / T. 04 68 49 44 08

## 4. L'ALIMENTATION DURABLE : DÉFI DU 21<sup>e</sup> SIÈCLE

**Catherine Esnouf** (directrice scientifique adjointe Alimentation de l'Inra) / catherine.esnouf@paris.inra.fr  
T. 01 42 75 91 51

**Bertrand Schmitt** (directeur de la Délégation à l'expertise scientifique collective, à la Prospective et aux études de l'Inra) / bertrand.schmitt@paris.inra.fr  
T. 01 42 75 94 33

## GARDER LES SOLS VIVANTS

**Stéphane de Cara** (Unité Économie Publique, Inra Versailles-Grignon) / stephane.decara@grignon.inra.fr  
T. 01 30 81 53 48

**Christian Dupraz** (unité Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens, Inra Montpellier) / dupraz@supagro.inra.fr  
T. 04 99 61 23 39

**Michel Duru** (unité Agroécologie, innovations, territoires, Inra Toulouse) / michel.duru@toulouse.inra.fr  
T. 05 61 28 50 32

**Sylvain Pellerin** (unité Interaction sol plante atmosphère, Inra Bordeaux-Aquitaine)  
sylvain.pellerin@bordeaux.inra.fr / T. 05 57 12 25 12

Merciements à **André Granier**, à la retraite, ancien directeur de l'unité mixte Écologie et écophysiologie forestières de l'Inra de Nancy.

## À L'AGENDA

### L'INRA ET LA #COP21

30 NOVEMBRE AU 11 DÉCEMBRE 2015 À PARIS

(informations sous réserve de modification)

#### SUR LE SITE DU BOURGET COP21

**01/12 > LANCEMENT DE L'INITIATIVE « 4 POUR 1000 SOILS FOR FOOD SECURITY AND CLIMATE »**

Pavillon bleu, ouvert uniquement aux journalistes accrédités

> Évènement organisé par le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, avec la participation de l'Inra

**02/12 > LA RECHERCHE SE MOBILISE POUR LE CLIMAT**

Espace Génération climat du Bourget, ouvert à tous de 10h à 19h

Une journée de conférence-débat et d'échange avec un public international est organisée au cœur du village de la société civile du Bourget, pour débattre des grands enjeux posés par le changement climatique et de la mobilisation collective nécessaire pour y répondre. Au programme des tables-rondes : Comprendre, anticiper, alerter : le rôle des systèmes d'observation - Biodiversité : les voies de la résilience - Quelles solutions pour un meilleur partage de l'eau ? - La sécurité alimentaire mondiale : quels enjeux agricoles ? - Qualité de l'air : quelle prévention du risque sanitaire ? - Quel mix énergétique pour demain ? - Un prix du carbone pour moins de carbone ? - Mobilisation internationale : les outils d'appui à la recherche pour le développement.

> Journée organisée conjointement par le ministère chargé de la recherche et les principaux acteurs de la recherche française impliqués dans la lutte contre le changement dont l'Inra.

**10/12 > SIDE EVENT 4 POUR 1000**

Pavillon bleu, ouvert uniquement aux journalistes accrédités

> Conférence organisée par l'Inra, l'IRD et le Cirad sur la place de l'agriculture dans les contributions des différents pays et mise en avant du programme 4 pour 1000.

**#4pour1000**

#### AU GRAND PALAIS

**04 au 10/12 > SOLUTIONS COP21 « L'EXPERIENCE CLIMAT »**

Exposition ouverte à tous, de 12h à 18h en semaine et de 10h à 20h le week-end

On parle beaucoup du climat, de la COP21 mais que sait-on exactement ? En quoi le dérèglement climatique change-t-il notre quotidien ? Contribuer à lutter contre le dérèglement climatique n'est pas seulement une responsabilité, c'est aussi l'opportunité d'améliorer notre vie de tous les jours. Avec de nouveaux usages, de nouvelles inventions, de nouveaux métiers...

Solutions COP21 est là pour montrer au plus grand nombre ce que cet engagement va nous apporter.

Parce que les solutions pour le climat existent, que le sujet est passionnant, qu'il nous concerne tous, Solutions COP21 propose un autre regard et une expérience inédite. Une exposition ouverte à tous et gratuite, pour rencontrer les acteurs - dont l'Inra - qui proposent des solutions concrètes autour du changement climatique.

[www.solutionscop21.org/fr/](http://www.solutionscop21.org/fr/)  
[@SolutionsCOP21](https://twitter.com/SolutionsCOP21)

## À LIRE AUSSI

### LE CHANGEMENT CLIMATIQUE. CE QUI VA CHANGER DANS MON QUOTIDIEN

De quelle façon le changement climatique va-t-il impacter, au quotidien, notre environnement, notre santé et nos modes de vie ?

Hélène Géli, avec la collaboration de Jean-François Soussana  
Éditions Quæ, octobre 2015



### 60 SUCCÈS DE RECHERCHE POUR FAIRE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

À l'occasion de la COP21, les 28 organismes membres de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi) publient un ouvrage qui rend compte de la remarquable mobilisation des scientifiques français pour mettre en commun leurs expertises pluridisciplinaires sur le climat et la lutte contre son dérèglement.

Plus d'infos sur le site d'Allenvi : <http://www.allenvi.fr/>







147 rue de l'Université  
75338 Paris - Cedex 07  
France



Tél. : +33(0)1 42 75 91 86  
[inra.fr](http://inra.fr)



Novembre 2015

