

Titre du projet	VIABILITE DES SYSTEMES DE CULTURES PROTEGEES DANS UN CONTEXTE D'AGRICULTURE DURABLE
	Eco-serre
<p>Né il y a juste cinquante ans, le système de culture abritée est maintenant un système de production de masse incontournable qui assure l'approvisionnement des populations en fruits et légumes frais et en végétaux d'ornement toute l'année, dans toutes les régions et sous tous les climats du monde. Il s'agit d'un système de production agricole intensif dont les interactions avec l'environnement naturel, social et économique sont très fortes et qui présente vis à vis du développement agricole durable tout à la fois des faiblesses voire des déficiences et des atouts indéniables. Ces aspects contradictoires questionnent sa viabilité dans un contexte d'agriculture durable et nous conduisent à établir un état des lieux environnemental, social et économique qui débouche sur la proposition qui constitue le cœur même de notre projet, à savoir qu'un <b>mode de production agricole peut être, sous certaines conditions économiques et institutionnelles qu'il conviendra d'examiner, à la fois intensif et respectueux de l'environnement et plus généralement satisfaire aux attendus sociaux, économiques et environnementaux du développement durable.</b></p>	
<p>Cette appréciation qui prend le contre-pied de l'opinion généralement admise qui identifie durabilité et caractère extensif d'un agro système sera examinée à l'aune des réalités économiques et sociales en considérant i) les conditions de l'efficacité des politiques environnementales et sanitaires et des organisations de filière, ii) la façon dont les consommateurs perçoivent les différents attributs de durabilité de la serre. On tiendra également compte des évolutions récentes du contexte que l'on peut caractériser par des événements naturels de plus en plus nombreux venant fragiliser les modèles techniques (exemple du complexe <i>Bemisia tabaci</i> – TYLCV), un renchérissement durable du prix de l'énergie, le tout sous la pression d'exigences politiques et sociales accrues en matière d'environnement, de conditions de travail et de normes sanitaires alimentaires.</p>	
<p>L'approche qui est mise en oeuvre privilégie une approche globale de la serre qu'on pourrait qualifier d'holistique et qui se rapporte à l'analyse de son essence même : un système qui permet de découpler de l'extérieur et de ses contraintes biotiques et abiotiques l'environnement de la culture et de contrôler, le plus précisément possible dans l'espace et dans le temps, ses facteurs de production physiques ou biologiques, qu'ils soient liés au sol ou aériens. Pour cela, <b>notre proposition vise à exploiter pour rendre compatible avec le développement durable, les notions de fermeture du système d'une part (notion de serre close) et de contrôlabilité du milieu</b> dans le temps (asservissement du système) et dans l'espace (horticulture de précision) d'autre part.</p>	
<p>On ne considère pas tout l'éventail des structures existantes mais on se concentre surtout sur ses deux extrémités : <b>la serre lourde et le tunnel</b>. Pour la serre lourde conduite en hors sol qui mène à son extrême ce mouvement de découplage par rapport à l'extérieur, nous nous orienterons vers une fermeture encore plus poussée du système des points de vues du milieu aérien (serre close) et édaphique (recyclage des solutions fertilisantes). Pour le tunnel dont l'inertie liée au compartiment sol est beaucoup plus grande et la contrôlabilité moindre, on insistera surtout sur la qualité des produits récoltés, la maîtrise des flux hydro-minéraux et d'inoculum dans le sol, en lien avec les rotations culturales et la mise en oeuvre de pratiques relevant de l'horticulture de précision. Une <b>intégration globale</b> sera ensuite pratiquée dans des stations de recherche et des stations expérimentales de l'INRA en lien très étroit avec les stations des instituts techniques de l'horticulture ornementale (ASTREDHOR) et légumière (CTIFL de Ballandran en région méditerranéenne et de Carquefou en région atlantique) pour <b>être confrontée avec la pratique des professionnels</b>.</p>	
<p>Les résultats attendus répondent à 5 séries de questions (dont les contours épousent les workpackages du projet) autour desquelles ce projet s'articule:</p>	
<p><b>1) Quelle est leur robustesse aux prises avec des évolutions récentes telles que :</b> la crise phytosanitaire, la crise énergétique qui s'installe et la montée des exigences environnementales qui oblige à reconsidérer la question des intrants et celle de leur recyclage.</p>	
<p><b>2) Quelle contribution des acteurs publics et privés de la filière à la promotion d'une agriculture de serre durable ?</b> : Après l'état des lieux précédent, nous analyserons les conditions économiques, sociales et institutionnelles qui sont nécessaires à la mise en oeuvre d'un modèle de serre durable pouvant résulter des progrès actuellement en gestation.</p>	
<p><b>3) Comment favoriser l'acceptabilité environnementale des pratiques de l'agriculture durable sous serre ?</b> Il s'agit de comprendre à travers une double démarche de caractérisation et de modélisation des mécanismes de transfert, le déterminisme des flux biotiques et abiotiques afin d'en préciser les lois et proposer des solutions dans l'optique du développement durable.</p>	
<p><b>4) Comment intégrer ces pratiques dans les process de production ?</b> en élaborant des techniques innovantes permettant tout à la fois de mieux gérer les apports énergétiques, lutter précocement et si possible sans utilisation de produits phytopharmaceutiques contre les bioagresseurs, et améliorer la qualité des productions.</p>	
<p><b>5) Comment valider et valoriser ces travaux ?</b> Ces modèles d'intégration seront testés dans les domaines des instituts ASTREDHOR et CTIFL en situations semi professionnelles en tomates et concombres d'une part, en fleurs coupées d'autre part.</p>	
<p>Le projet Eco-serre se déroule sur les 3 années du programme avec au départ de notre cheminement (WP1) une étude des conditions qui permettent de concilier les performances économiques, sociales, environnementales et territoriales de l'agrosystème serre et un état des lieux précis de cet agrosystème en Europe (équipes associées suisse et grecque) et au Maroc (équipe associée d'Agadir) au regard des attendus du développement durable, des points de vue environnemental, économique et social (année 1). Les résultats de cette étude initiale sont ensuite exploités dans le but de mieux comprendre et d'améliorer l'acceptabilité sociale et économique (WP2), à travers notamment l'étude de l'implication et des modalités d'action des pouvoirs publics et des consommateurs (années 1 &amp; 2), et environnementale (WP3), à travers une approche expérimentale et théorique portant sur le déterminisme et la maîtrise des flux biotiques et abiotiques au niveau de l'air et du sol (années 1 &amp; 2). Les résultats de ces travaux sont ensuite mobilisés pour réaliser des études intégratives (WP4) dans les domaines expérimentaux de l'INRA en conditions représentatives de la pratique et proposer pour la serre lourde et le tunnel de nouvelles règles de conduite (années 2 &amp; 3). Enfin, le système intégré global «serre lourde culture légumière et ornementale» est mis en oeuvre et comparé (WP5) avec les standards existants au niveau des centres de recherche des instituts techniques de l'horticulture ornementale (ASTREDHOR) et légumière (CTIFL) en région méditerranéenne et atlantique (année 3).</p>	

<b>Equipe n°</b>	<b>Correspondant principal</b>	<b>Titre ou grade / discipline</b>	<b>Etablissement/département/unité</b>
Coordinateur	Thierry Boulard boulard@sophia.inra.fr	Dr Ing	INRA- Unité de recherches intégrées en horticulture 400 route des Chappes, BP 167 06903 Sophia Antipolis
2	G. Chassériaux	Pr.	UMR Systèmes Agronomiques Appliqués à l'Horticulture (SAGAH) Angers
3	B. Jeannequin	IR1	INRA-SAD Alenya
4	F. Lecompte	CR2	INRA-Plantes et Systèmes de cultures Horticoles (PSH) Avignon
5	M. Bardin	CR1	INRA-Pathologie Végétale. Avignon
6	E Lombaert	IE2	INRA-Lutte Biologique Valbonne
7	L. Job	Pr.	Centre d'économie et d'éthique pour l'environnement et le développement (C3ED)
8	JM Codron	DR2	Marchés, Organisations, Institutions et Stratégies d'Acteurs (MOISA)

### 3- DESCRIPTION DU PROJET

#### A. Problématique et objectifs scientifiques poursuivis

Le système de culture abritée a vu le jour dans les années 1950-60 dans l'Europe du nord et il a conquis successivement les régions méditerranéennes et l'extrême orient (Japon – Corée) dans les années 70 -80, l'Afrique du nord le moyen orient et la Chine dans les années 80-90 et il s'étend actuellement avec le même succès dans les régions subtropicales et tropicales (Amérique du sud et centrale, Afrique de l'Est, Indonésie). C'est maintenant un système de production de masse incontournable qui assure l'approvisionnement des populations en fruits et légumes frais et en végétaux d'ornement toute l'année, dans toutes les régions et sous tous les climats du monde.

Malgré la grande variété des cultures mises en œuvre et des structures utilisées, il s'agit toujours d'un système de production agricole intensif dont les interactions avec l'environnement naturel, social et économique sont très fortes. Au regard des attendus du développement durable, le statut de l'agro système serre est contradictoire avec d'une part des faiblesses voire des déficiences sur les plans de l'utilisation massive de combustibles fossiles (il faut 0.6 l de fuel pour produire un 1kg de tomates de serre en France), des rejets de déchets (plastiques, substrats hors-sol) et de l'acceptation sociale (mise en cause par les consommateurs en France pour des raisons environnementales et de qualité de la production alors que paradoxalement les fruits et légumes sont associés à une image de valeurs santé et plaisir) et d'autre part des atouts indéniables par sa remarquable efficacité de l'eau (multipliée par 7 pour la tomate par rapport au plein air ; Stanhill&Enoch, 1999), les possibilités de développer la protection intégrée des cultures, la lutte contre les pollutions minérales (surtout en systèmes hors sol) et enfin le fort taux d'emploi de la main d'œuvre qu'il génère.

Ces aspects contradictoires questionnent sa viabilité dans un contexte d'agriculture durable et nous conduisent à établir un état des lieux environnemental, social et économique (Q1) qui débouche sur une proposition qui constitue le cœur même de notre projet, à savoir qu'un mode de production agricole peut être, sous certaines conditions économiques et institutionnelles qu'il conviendra d'examiner, à la fois intensif et respectueux de l'environnement et plus généralement satisfaisant aux attendus sociaux, économiques (D5) et environnementaux (D2, D4) du développement durable.

Cette appréciation qui prend le contre-pied de l'opinion généralement admise qui identifie durabilité et caractère extensif d'un agro système, est née dans l'esprit des agronomes pathologistes et environnementalistes spécialistes de la serre. Pour eux, le renforcement de la contrôlabilité du système à travers son intensification doit permettre de répondre à la fois aux attendus du développement durable et à une demande de plus en plus forte des populations en produits frais. Cette proposition doit cependant être examinée à l'aune des réalités économiques et sociales en considérant i) les conditions de l'efficacité des politiques environnementales et sanitaires et des organisations de filière visant les mêmes objectifs en ce qui concerne les cultures de serre, ii) la façon dont les consommateurs perçoivent les différents attributs de durabilité de la serre. On devra aussi tenir compte des évolutions récentes du contexte (spécifique aux cultures de serre) que l'on peut caractériser par i) des événements naturels de plus en plus nombreux venant fragiliser les modèles techniques (exemple du TYLCV), ii) un renchérissement durable du prix de l'énergie, iii) des exigences politiques et sociales accrues en matière d'environnement, de conditions de travail et de normes sanitaires alimentaires.

Ces évolutions récentes combinées à l'accélération de la mondialisation des échanges des produits horticoles ont fortement impacté le fonctionnement des serres comme l'indiquent les thématiques des derniers congrès consacrés aux serres :

Au congrès d'Avignon de 2003 sur la protection intégrée de la tomate sous serre a été mise en évidence l'importance de la protection intégrée et la menace que faisait planer l'apparition en France de *B tabaci* et le TYLCV sur cette pratique.

Au congrès ISHS de Kissimmee (Floride, USA) de 2004 a été mise en avant l'importance des moyens de protection alternatifs à la lutte chimique en lien avec la conduite de l'agro système serre et la mondialisation des échanges de produits horticoles.

Au congrès ISHS de Louvain (2004) a été posée pour la première fois la question de la durabilité de l'agro système serre (van der Veen, 2004) et des solutions proposées dans les conditions des Pays Bas à travers le concept global de serre « solaire » entièrement close (Bot et al., 2004) collectant l'énergie en été, la stockant afin d'être autonome du point de vue énergétique pour répondre aux objectifs du gouvernement hollandais de serres sans input d'énergie fossile à l'horizon 2020.

A partir de ces éléments, nous considérerons donc le développement durable comme un vecteur de pratiques de recherche (P3) visant à intégrer notre connaissance du système serre et des actions de développement à mettre en œuvre. Cette approche fait appel à toutes les disciplines mises en œuvre dans l'étude de ce système de production mais privilégie une approche globale de la serre qu'on pourrait qualifier d'holistique et qui se rapporte à l'analyse de son essence même : un système qui permet de découpler l'environnement de la culture de l'extérieur et de ses contraintes biotiques ou abiotiques et de contrôler, le plus précisément possible dans l'espace et dans le temps, ses facteurs de production physiques ou biologiques, qu'ils soient liés au sol ou aériens. Nos propositions d'intégration des connaissances sur le système serre (Q5) vise donc à exploiter pour rendre compatible avec le développement durable, les notions de fermeture du système d'une part (notion de serre close) et de contrôlabilité du milieu dans le temps (asservissement du système) et dans l'espace (horticulture de précision) d'autre part.

Notre étude ne considère pas tout l'éventail des structures existantes mais se concentre surtout sur ses deux extrémités : la serre lourde et le tunnel. Pour la serre lourde conduite en hors sol qui mène à son extrême ce mouvement de découplage par rapport à l'extérieur en exploitant la contrôlabilité du milieu physique et biotique, nous nous orienterons vers une fermeture encore plus poussée du système des points de vue du milieu aérien (serre close) et édaphique (recyclage des solutions fertilisantes). Pour le tunnel, l'inertie liée au compartiment sol est beaucoup plus grande et sa contrôlabilité moindre. Mais ce système, moins lourd à mettre en œuvre dispose d'atouts complémentaires à ceux de la serre lourde. On insistera surtout sur la qualité des produits récoltés, la maîtrise des flux hydro-minéraux et d'inoculum dans le sol, en lien avec les rotations culturales et la mise en œuvre de pratiques relevant de

l'horticulture de précision. Une intégration globale sera ensuite pratiquée dans des stations de recherche et des stations expérimentales de l'INRA en lien très étroit avec les stations des instituts techniques de l'horticulture ornementale (ASTREDHOR) et légumière (CTIFL de Ballandran en région méditerranéenne et de Carquefou en région atlantique) pour être confrontée avec la pratique des professionnels.

## **B. «Etat de l'art» du sujet et de la problématique abordés**

Bien que récent, l'agro système serre sous sa forme de production de masse a bénéficié de l'attention de nombreux chercheurs qui se sont attachés dès sa création à analyser son fonctionnement et à l'exploiter pour résoudre les problèmes liés à la transmission du rayonnement solaire, à l'effet de serre et au chauffage, cela plus particulièrement pendant toute la période de crise énergétique consécutive au premier choc pétrolier.

Suite au développement des serres dans les régions méditerranéennes, les problèmes de climatisation estivale (1980-1990) sont passés au premier plan, avec notamment les questions d'aération et de couplages entre transpiration des cultures, microclimat et bilan d'énergie (Stanghellini, 1987). La culture en tant que telle est entrée dans le champ de la modélisation du système, tant du point de vue énergétique et des bilans de masse, que des modèles d'élaboration du rendement (modèle TOMGRO de Jones *et al.*, 1991). Des modèles couplés de l'agro système serre prenant en compte la serre et la culture et destinés à optimiser le processus de production ont alors vu le jour, comme les modèles mécanistes dérivés de TOMGRO, ou parfois plus heuristiques utilisés dans le cadre de logiciels d'aide à la décision (Jeannequin *et al.*, 2003).

De leur côté, la modélisation et la maîtrise de l'irrigation et de la fertilisation ont été acquises très tôt et la mise en œuvre du recyclage des solutions des cultures hors sol supportant une faible conductivité n'a pas posé de problème majeur (cas du rosier) alors que des problèmes subsistent pour les cultures qui demandent des concentrations élevées (tomate, concombre, poivron). Des approches nouvelles basées sur la modélisation de l'absorption hydrique et minérale et le contrôle anticipatif mises au point dans le cadre du programme européen CLOSYS (Marcellis *et al.*, 2004) sont actuellement testées au CTIFL. Pour les cultures en sol, la situation est plus complexe. Les flux d'eau sont spécifiques à chaque sol et variables dans les trois dimensions (Gardenas *et al.*, 2005). Ces conditions rendent difficile l'optimisation des apports pour répondre aux besoins des plantes en limitant les risques de drainage lessivant. La rémanence dans le sol des substances nutritives et l'usage important d'engrais organiques, d'autre part, rendent obligatoire une planification de la fertilisation à l'échelle de la rotation (de Tourdonnet, 1998). Couplés à celle des flux d'eau, l'analyse des flux de nutriments doit permettre d'évaluer l'impact, en relation avec le climat, des caractéristiques du système sur l'hétérogénéité qualitative et quantitative de la production, ainsi que sur l'évolution de la fertilité des sols (Chen *et al.*, 2004).

C'est récemment, dans le cadre de l'AIP Ecopath de l'INRA sur le déterminisme climatique du pathosystème Tomate Aleurodes et Botrytis (1998-2001) que l'on s'est soucié des autres composants biotiques (bio agresseurs et bio défenseurs) et de leurs interactions avec l'agrosystème serre (Boulard *et al.*, 2004 ; Fargues *et al.*, 2003 ; Nicot et Baille, 1996). L'Action transversale INRA sur la Protection Intégrée des Cultures sous serre (Poncet et Boulard, 2003) a permis de prolonger ces travaux à travers l'élaboration soit d'approches globales de protection intégrée basées sur une pratique de la prophylaxie généralisée et de la détection précoce (rosier), soit des approches plus mécanistes mettant l'accent sur l'étude des interactions des méthodes alternatives à la lutte chimique (Bardin *et al.*, 2004), enfin dans le contexte de l'intrusion de *Bemisia tabaci*, deux stratégies de protection intégrée ont été avancées (Fargues *et al.*, 2004) : l'exclusion des bio agresseurs et la fermeture du système en serre lourde ; l'acclimatation et la compensation en bio défenseurs en système ouvert type tunnel (Gabarra *et al.*, 2003).

Le bilan des progrès accomplis durant ces quarante années montre que les avancées de la connaissance ont successivement concerné la thermique des serres (années 60, 70), leur climatisation et le contrôle de l'eau et des minéraux (années 80, 90) puis la protection intégrée et la production (années 90, 00), tout cela sans que la question centrale du fonctionnement global du système ne soit explicitement adressée. C'est précisément cette question, en lien avec l'approche socio-économique, que nous posons ici.

Pour éclairer les conditions économiques, sociales et institutionnelles de la mise en œuvre de telles solutions durables, nous examinerons tour à tour les mécanismes de régulation publics et privés favorisant leur adoption et la façon dont ces solutions sont perçues par les consommateurs. Les contrats signés entre les régulateurs et les producteurs et leurs impacts économiques et environnementaux seront analysés dans un contexte d'asymétrie informationnelle. L'analyse s'appuiera sur les travaux de Weitzman (1974), Stiglitz (1974) et Sandmo (2000) dans le domaine de l'économie de l'information, Salanié (1994) dans le domaine de la théorie des contrats, Malik (1992) et Bontems & Rotillon (1999 et 2002) en ce qui concerne l'efficacité du contrôle des politiques publiques. Seront également considérés les travaux appliqués au secteur agricole et notamment Farolfi & Tidball (2002) pour l'étude des instruments de régulation, Le Roch & Mollard (1996), Rainelli & Vermersch (2000) et Richard & Trommetter (2000) pour l'étude de l'efficacité des contrats. Les accords négociés entre les importateurs et l'administration en charge du contrôle sanitaire sur les marchés seront quant à eux, examinés sur la base des travaux de référence qui ont traité la question de l'efficacité des démarches volontaires dans le contexte environnemental (Segerson et Miceli, 1998 ; Wu and Babcock, 1996) et de ceux, encore peu nombreux, qui ont transposé le cadre d'analyse au contexte sanitaire (Segerson, 1999 ; Venturini, 2003). Seront ensuite examinés les conditions d'efficacité internes des conventions ayant résulté de ces accords avec les pouvoirs publics. Les conventions seront pour cela assimilées à un jeu d'équipe avec superviseur et analysées sur la base des travaux d'Aoki (1990) et d'Okuno (1984).

Pour l'analyse des perceptions du consommateur, on partira du constat i) que les choix sont orientés par des motivations souvent contradictoires, qui tiennent essentiellement au produit lui-même, mais également de façon croissante, au processus de production (Gurviez *et al.*, 2003 ; Sirieix, Codron, 2003), ii) que les études croisant la perception des dimensions sanitaire et environnementale des produits, et l'importance accordée à chacune d'elles sont encore peu nombreuses, iii) que les résultats qui

ressortent des travaux portant sur les préoccupations environnementales des consommateurs sont à la fois peu homogènes et peu explicatifs (Roberts et Bacon, 1997). Ces limites justifient le double choix méthodologique dans ce projet: i) le recours à une étude qualitative s'inspirant de la méthode des scénarios, ii) la prise en compte simultanée de l'intérêt qu'accordent les consommateurs à la dimension environnementale de la culture sous serre et à la dimension sanitaire des produits issus de ces cultures.

Nous disposons maintenant d'un corpus de connaissances qui embrasse à des degrés variés toutes les composantes physique, biologique et économique du système et devrait permettre de mener à bien notre étude. Compte tenu de la grande diversité du parc de serre français, on ne peut pas se confiner comme les hollandais dans l'étude du seul modèle « serre lourde » et ne considérer que l'énergie car on l'a vu, les problématiques de pollution minérale et de gestion des déchets et surtout d'alternatives à la protection chimique sont également cruciales.

Pour les cultures en sol (tunnels) nous traiterons des questions de la pollution organo-minérale, de la qualité des produits et de la protection phytosanitaire. Cette dernière étant également traitée par rapport aux ravageurs dans le projet ADD *Bemisia Risk*, avec lequel nous nous sommes coordonnés, nous privilégierons l'étude des maladies. Le caractère durable de la production agricole sous tunnel repose comme en serre lourde sur une meilleure maîtrise des flux, mais en système plus ouvert. Par conséquent nous étudierons les questions portant sur les performances (production, qualité) et les risques (maladies, pollution organo-minérale) de l'agrosystème à l'échelle de la rotation de cultures et en tenant compte de manière explicite de l'hétérogénéité spatiale.

Pour les serres lourdes qui offrent de nombreux degrés de liberté pour répondre aux défis du développement durable, nous nous orienterons comme nos collègues hollandais vers une fermeture la plus complète possible du système qui permet d'aborder conjointement les problèmes énergétiques, sanitaires, de qualité et de fumure carbonée. Notre motivation première n'est cependant pas d'ordre énergétique mais plutôt d'ordre phytosanitaire (conclusion des AIP Ecopath et PIC Serre précédentes confortée par l'analyse économique de l'expérience israélienne en matière de lutte généralisée contre *Bemisia tabaci* à l'aide de filets : Taylor et al., 2001), cependant les répercussions en termes de potentialités d'enrichissement en CO<sub>2</sub> (et d'augmentation de la production) et d'économie d'énergie ne sont pas négligées bien que ne figurant pas au cœur de notre approche. Comme les besoins nécessaires à l'étude d'un système solaire clos (infrastructures et équipements de climatisation) excèdent le financement et le calendrier d'ADD, nous nous réservons la possibilité de poursuivre une telle approche, en lien entre ce projet, en mobilisant des ressources (renouvellement du parc de serre en cours de montage à l'URIH INRA) et des partenaires supplémentaires.

### C. Résultats attendus

Les résultats attendus répondent à 5 séries de questions autour desquelles ce projet s'articule:

**1) Quelle est leur robustesse aux prises avec des évolutions récentes telles que :** a) la crise phytosanitaire (nouveaux bioagresseurs, changement réglementaire et crise de confiance du consommateur) qui fragilise la cohérence du paradigme technologique et b) la crise énergétique qui s'installe et oblige à reconsidérer les modèles de production ou les solutions jusqu'ici mises en oeuvre, c) la montée des exigences environnementales qui oblige à reconsidérer la question des intrants et celle de leur recyclage.

**2) Quelle contribution des acteurs publics et privés de la filière à la promotion d'une agriculture de serre durable ?** Quelle perception de cette durabilité par les consommateurs ? : Après l'état des lieux précédent, nous analyserons les conditions économiques, sociales et institutionnelles qui président ou sont nécessaires à la mise en oeuvre d'un modèle de serre durable pouvant résulter des propositions techniques du projet ou d'autres progrès actuellement en gestation. On s'intéressera aux deux dimensions fondamentales de la durabilité des cultures de serre: la dimension environnementale et la dimension sanitaire des produits issus de ces cultures qui se manifestent au niveau des filières. On considèrera cette durabilité comme un bien public et l'on s'intéressera à la contribution des acteurs publics et privés à la production de ce bien et en particulier à l'efficacité des mécanismes de régulation (incitations, accords négociés, réglementations) mis en oeuvre par ces acteurs. L'on étudiera enfin les perceptions des consommateurs, susceptibles de valider ou non les solutions mises en oeuvre.

**3) Comment favoriser l'acceptabilité environnementale des pratiques de l'agriculture durable sous serre ?** Il s'agit de comprendre à travers une double démarche de caractérisation et de modélisation des mécanismes de transfert, le déterminisme des flux biotiques et abiotiques afin d'en préciser les lois et proposer des solutions dans l'optique du développement durable. Pour une meilleure maîtrise des flux, on mettra en oeuvre une stratégie d'intensification du contrôle et de fermeture plus poussée vis-à-vis des particules biotiques (spores, insectes), des flux d'énergie et de masse (eau, minéraux, CO<sub>2</sub>). On mettra aussi l'accent sur la prophylaxie généralisée, la lutte physique et la détection précoce des bio-agressions. La protection biologique sera développée et sa durabilité sera spécifiquement estimée. Du point de vue de l'énergie, on recherchera un compromis « optimal » coûts/performances et on étudiera la mise en oeuvre de sources d'énergie alternatives à l'utilisation des combustibles fossiles. Pour l'eau et les éléments minéraux on considèrera la gestion localisée et les bilans à l'échelle de la rotation pour gérer la fertilisation et l'irrigation des cultures en sol afin de réduire les pertes et corriger les conséquences négatives de l'hétérogénéité.

**4) Comment intégrer ces pratiques dans les process de production ?** On tentera d'élaborer des techniques innovantes permettant tout à la fois de mieux gérer les apports énergétiques, lutter précocement et si possible sans utilisation de produits phytopharmaceutiques contre les bioagresseurs, et améliorer la qualité des productions. Les résultats de ces travaux seront mobilisés avec ceux répondant aux questions 2 et 3 pour réaliser des études intégratives en conditions représentatives de la pratique, afin de proposer de nouvelles règles de conduite des agrosystèmes abri tunnel et serre lourde en liens avec les instituts techniques dans une démarche de partenariat.

**5) Comment valider et valoriser ces travaux ?** Ces modèles d'intégration seront testés dans les domaines des instituts ASTREDHOR et CTIFL en situations semi professionnelles, dans deux climats différents (océanique & méditerranéen) représentatifs

des deux grands bassins de production serristes français, en tomates et concombres d'une part, en fleurs coupées d'autre part. Un double niveau sera considéré :

- la validation d'outils particuliers nécessitant une étude spécifique pour être opérationnels au niveau de l'intégration globale,
- la validation de stratégies de systèmes globaux développés au niveau des centres de recherche.

### D & E Description organisation et conduite du projet

Le projet *Eco-serre* s'articule en 5 Workpackages (fig. 1) qui se déroulent sur les 3 années du programme. Au départ de notre cheminement (mois 1 à 8) nous nous interrogeons (WP1) sur les conditions qui permettent de concilier les performances économiques, sociales, environnementales et territoriales de l'agrosystème étudié et nous nous livrons à un état des lieux précis au regard des attendus du développement durable des points de vue tant environnemental qu'économique et social. Les résultats de cette étude initiale sont ensuite exploités dans le but de mieux comprendre et d'améliorer l'acceptabilité sociale et économique (WP2) et environnementale (WP3) de l'agriculture durable sous serre (mois 8 à 16). L'intervention des différents acteurs publics ou privés de la filière est prise en compte et nous intéresserons plus particulièrement dans le WP2 à l'implication et aux modalités d'action des pouvoirs publics et des consommateurs. Dans le WP3, nous tentons d'expliquer à travers une approche expérimentale et théorique le déterminisme des flux biotiques et abiotiques au niveau de l'air et du sol afin de proposer ou améliorer des méthodes qui permettent leur maîtrise dans une optique de développement durable. Les résultats des travaux de ces deux WP et des études complémentaires en matière de gestion de l'énergie et des apports minéraux, de prophylaxie précoce et d'amélioration de la qualité sont mobilisés pour réaliser (mois 12 à 24 principalement) des études intégratives (WP4) dans les domaines expérimentaux de l'INRA en conditions représentatives de la pratique et proposer pour la serre lourde et le tunnel de nouvelles règles de conduite. Le système intégré global «serre lourde culture légumière et ornementale» est ensuite comparé (WP5) avec les standards existants au niveau des centres de recherche des instituts techniques de l'horticulture ornementale (ASTREDHOR) et légumière (CTIFL) en région méditerranéenne et atlantique (mois 16 à 36). Ces essais seront également suivis par les participants aux WP situés en amont (WP2 à 4) afin que soient évaluées en situation de production les éléments, méthodes et stratégies d'intégrations proposées. Enfin le Workpackage de coordination (WP0) assure la coordination du projet sur les plans scientifiques, organisationnels et financier tout en veillant au bon déroulement du programme et aux relations avec les équipes étrangères et *Bemisia Risk*.

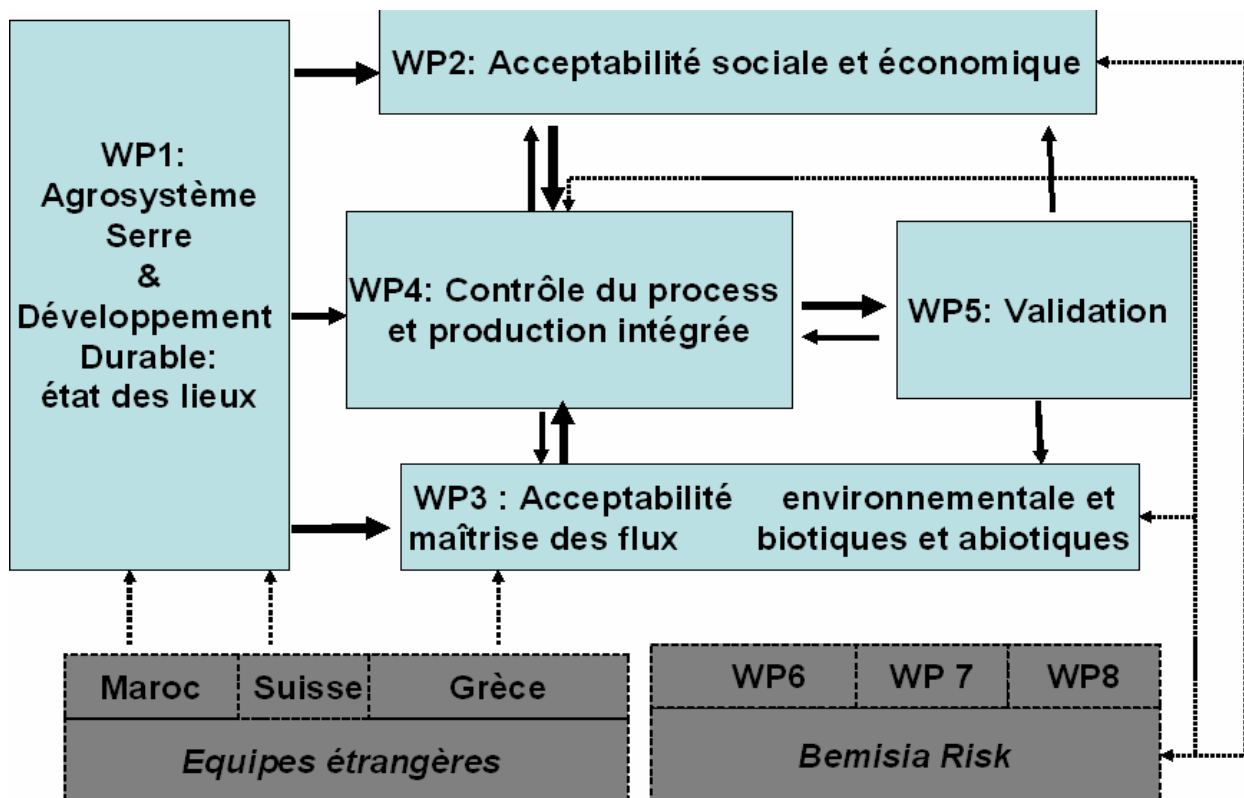


Fig .1 : Organisation générale du programme *Eco-serre* et liens avec les équipes étrangères et le projet *Bemisia Risk*

N° WP	Titre des sous workpackages	Responsables	Coordinateur	Mois ETPR	Mois début	Mois fin
WP0	Coordination	T. Boulard, URIH	T. Boulard	6	1	36
WP1.1	Notion d'Agriculture durable	L. Job, C3ED	L. Dalmas	40 + Inst Tech	1	8
WP1.2	Etat des lieux environnemental	T. Boulard, URIH			1	8
WP1.3	Approche économique	L. Dalmas, C3ED			8	24
WP2.1	Mécanismes de régulation économique	L. Job, C3ED	JM Codron	72	6	36
WP2.2	Régulation de la qualité sanitaire des produits	JM Codron, MOISA			1	33
WP2.3	Acceptabilité par les consommateurs/citoyens	L Sirieix, MOISA			1	33
WP3.1	Maîtrise des flux abiotiques	G Chassériaux, SAGAH	G	200	1	24
WP3.2	Maîtrise des flux biotiques	M. Bardin, Patho Veg.	Chassériaux		1	24
WP4.1	Contrôle du milieu physique et biotique	A. Lecomte, INRA-PSH, P Boissard, INRA-URIH	B. Jeannequin	386 + Inst Tech	6	16
WP4.2	Protection phytosanitaire intégrée	M. Chave, INRA-URIH			6	24
WP4.3	Systèmes de culture et qualité des fruits	H. Gautier, INRA-PSH			6	24
WP4.4	Intégration des contraintes sous abri froid	F. Lecompte, INRA-PSH			6	36
WP4.5	Production intégrée sous serre lourde	B. Jeannequin, INRA SAD, R. Brun, URIH			6	36
WP5	Validation sous serre lourde	E. Brajeul CTIFL	E. Brajeul	40 + Inst Tech	16	36

Tableau 1 : Les sous workpackages d'Eco-serre, leur calendrier et responsables

## WP 0 : Conduite du projet

Responsable : T. Boulard

Calendrier : date de début : mois 1

date de fin : mois 36

### Objectifs :

- Coordination du projet sur les plans scientifique, organisationnel et financier, communication avec les instances d'ADD.
- Evaluation et contrôle de l'avancement du programme (calendriers, moyens mis en œuvre, résultats obtenus).
- Favoriser les interactions prévues dans le programme, notamment l'approche globale du système, stimuler les échanges.
- Prise en charge des relations extérieures avec les équipes étrangères et le projet associé *Bemisia Risk*.

### Démarche :

Tous les 6 mois une réunion sera prévue avec les coordonnateurs des 5 WP afin de discuter et évaluer l'avancement du programme et établir pour chacun d'eux un plan de travail pour les 6 mois suivants: calendrier, protocoles, échanges de données. Une réunion générale impliquant les coordonnateurs des 5 WP et les responsables des sous WP ainsi que les autres personnes intéressées sera organisée chaque année pour évaluer l'avancement du programme et établir un plan de travail pour l'année suivante. Cette réunion sera une opportunité pour organiser les réunions prévues au niveau des WP qui se réuniront au début et à la fin de leur période d'activité et au moins tous les ans si nécessaire. Les WP 4 et 5 impliquant des approches expérimentales de systèmes de culture se réuniront si possible avant la mise en place des nouvelles cultures ou rotations (Septembre Octobre).

### Résultats attendus :

RA 01 : Point semestriel d'avancement du programme (mois 3, 9, 15, 21, 27, 33).

RA 02 : Rapport annuel d'avancement du programme (mois 12, 24, 36).

RA 03 : Rapport final (mois 36)

## W.P.1 : Agrosystème serre et développement durable : état des lieux

Coordonnateur : L. Dalmas

### Introduction :

Ayant constaté que les accroissements des productions agricoles et des productivités des différents facteurs de production s'étaient fréquemment traduits par une augmentation des prélèvements sur les ressources naturelles, des pollutions (de l'eau par

exemple) et par une augmentation des risques sanitaires, la problématique de l'agriculture durable, qui procède d'une approche systémique, vise à analyser sous quelles conditions il est possible de concilier les performances économiques, sociales, environnementales, territoriales et sanitaires. Dans cette perspective, les travaux d'analyse économique ont alors mis en évidence les insuffisances et les dysfonctionnements non seulement des prix marchands mais aussi des prix administrés, tels qu'ils ont, par exemple, été formés par les organismes de régulation dans le cadre de la PAC. Cela signifie qu'il est non seulement difficile de mesurer économiquement les détériorations et les performances environnementales mais aussi d'utiliser un signal économique pour prendre et/ou conduire les décisions des différents agents économiques dans une logique d'agriculture durable. Ce sont ces différents concepts et outils d'analyse que nous envisageons d'appliquer aux OTEX (Orientation Technico-Economique des Exploitations) maraichage, de l'horticulture et en particulier à l'agrosystème serre. Plus précisément, dans le contexte de la concurrence internationale, notamment entre des exploitations situées dans différents pays de l'Union européenne et, sur la base des prix en vigueur, nous étudierons sous quelles conditions il est possible d'obtenir des performances économiques (exprimées à travers les différents éléments de charge et des indicateurs de résultats), sans détériorer l'emploi, les ressources naturelles (notamment l'eau) et l'équilibre spatial. C'est pour cela que ce workpackage se propose de se livrer à un état de lieux précis de l'agrosystème serre en matière de développement durable dans l'agriculture. Il aura alors pour objectif, à travers le travail des équipes concernées regroupées au sein de trois sous-workpackages, de définir des indicateurs pertinents qui permettront de mesurer précisément les impacts sur l'environnement et de les évaluer, et de définir si, dans les conditions actuelles, en fonction des résultats trouvés, ce type de production permet également aux exploitations impliquées d'être viables économiquement.

#### **W.P.1.1 : La notion d'agriculture durable : approche économique (rédac. Louis Job)**

Responsable : Louis Job (C3ED-Université de Versailles-Saint Quentin-en-Yvelines)

Equipes impliquées : C3ED-Université de Versailles-Saint Quentin-en-Yvelines, INRA-URIH, CTIFL, ASTREDHOR.

Calendrier : (RA 111, 112) date de début : mois 1 date de fin : mois 8

#### **Objectifs :**

La problématique de l'agriculture durable, qui procède d'une approche systémique, vise à analyser sous quelles conditions il est possible de concilier les performances économiques, sociales, environnementales, territoriales et sanitaires.

Dans ce sous W.P, les objectifs sont :

- identifier et valoriser les différentes composantes de l'agrégat capital engagé dans les productions des OTEX (Orientation Technico-Economique des Exploitations) concernées ;
- définir les conditions de viabilité et de compétitivité des exploitations respectueuses des critères non seulement économiques mais aussi sociaux et environnementaux.

#### **Démarche :**

- 1) analyse des indicateurs économiques de résultats tels que MBS (marge brute standard) et RCAI (résultat courant avant impôts) et calculs de valorisation du capital naturel, social et territorial ;
- 2) analyse des conditions de compatibilité entre le progrès technique et l'agriculture durable ;
- 3) application de ce cadre normatif aux OTEX maraichage et horticulture et en particulier à l'agrosystème serre.

#### **Résultats attendus :**

RA 111 : disposer d'indicateurs de valorisation économique du capital environnemental, territorial et social ;

RA 112 : connaissance des caractéristiques du progrès technique qui permettrait d'obtenir une agriculture durable dans les OTEX maraichage et horticulture.

#### **Liens avec le WP2 :**

Dans ce W.P, les différents modes de valorisation des éléments du capital engagé dans les processus productifs de l'agriculture seront étudiés de façon détaillée et on proposera des mécanismes de régulation visant à atteindre l'objectif d'agriculture durable.

#### **WP 1.2. Agrosystème serre et développement durable : état des lieux environnemental (rédac. T. Boulard)**

Responsable Thierry Boulard (INRA-URIH)

Equipes impliquées : URIH Sophia Antipolis, SAD Alenya, CTIFL, ASTREDHOR, INRA-PSH Avignon, INH-SAGAH Angers

Calendrier : (RA 121, 122) Date de début : mois 1 Date de fin : mois 8  
(RA 123) Date de début : mois 8 Date de fin : mois 24

#### **Objectifs :**

L'objectif de ce workpackage est d'établir un état des lieux des consommations et rejets dans l'environnement de l'agro système serre en énergie, eau, CO<sub>2</sub>, minéraux, matières chimiques et plastiques et substrats artificiels. L'établissement de ces bilans doit permettre la définition d'indicateurs puis de proposer et tester une méthode de diagnostic.

#### **Démarche :**

- 1) Etablissement du bilan énergétique, des consommations en eau, en CO<sub>2</sub>, en minéraux, ainsi qu'en matières chimiques et plastiques et en substrat artificiel exprimés par unité de production (pièce ou kg produit). Les deux extrémités de l'éventail des systèmes de cultures abritées, le tunnel et la serre lourde, seront considérées en priorité. Pour cela, les données bibliographiques actuellement disponibles (Stanhill & Enoch, 1999) seront exploitées ainsi que la nouvelle base de données technico économiques EFI Serres ©

(Grisey *et al.*, 2004), développée par notre partenaire le CTIFL (en relation avec la FNPL et l'Onifhor). Cet outil disponible sur Internet permet aux producteurs de tomates et de concombres sous serre chauffée de comparer leurs performances et d'identifier les aspects pouvant être améliorés au sein de leur Organisation de Producteurs. Les performances concernent la consommation d'énergie, les rendements et la main d'œuvre. EFi serres<sup>®</sup> contribuera à l'établissement de l'état des lieux du parc de serres français au niveau des équipements et des pratiques de productions et permettra d'évaluer la compatibilité des systèmes par rapport aux critères de l'AD ainsi que les possibilités de prise en compte des évolutions techniques nécessaires (WP1.1).

2) Une enquête (CTIFL-INRA) sera réalisée sur l'état des lieux du parc de serres en Europe, en insistant sur les questions clef de gestion de l'énergie et des équipements de climatisation (hors évaluation des coûts qui seront réalisés dans le WP1.3) ainsi que sur la pratique de la protection intégrée (estimation des surfaces et des cultures concernées par la Protection Intégrée en France, partenariat CTIFL - INRA - SPV). Les équipes étrangères étroitement associées à ce programme (IAV Hassan II à Agadir, Université de Thessalie à Volos, Station fédérale de recherches agronomiques de Conthey en Suisse) participeront également à cet état des lieux et serviront de références externes.

3) Ces travaux contribueront à l'élaboration d'une méthode de diagnostic à travers la définition d'indicateurs environnementaux. En contrôlant leur robustesse sur le terrain, les instituts techniques (CTIFL & ASTREDHOR) poursuivront ensuite l'expertise des entreprises par l'accompagnement de la méthode de diagnostic au niveau des conseillers.

**Résultats attendus :**

RA 121 : Etat des lieux environnemental de l'agro système serre en France.

RA 122 : Etat des lieux du parc de serres Européen (& Maroc) des points de vue énergétique et de la protection intégrée.

RA 123 : Elaboration d'une méthode de diagnostic de l'agro système serre et suivi de sa mise en oeuvre.

**Lien avec le WP3 :**

Identification des goulots d'étranglement en matière d'acceptabilité environnementale de la serre et de défaut de maîtrise des flux biotiques et abiotiques.

**W.P.1.3 : Agrosystème serre et développement durable : approche économique (rédac. L. Dalmas)**

Responsable Laurent Dalmas (C3ED-Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines)

Equipes impliquées : C3ED-Université de Versailles-SQY, INRA-URIH, SAD Alenya, CTIFL, ASTREDHOR, INRA-PSH

Calendrier : (RA 131)

Date de début : mois 8

Date de fin : mois 24

**Objectifs :**

Un agrosystème serre sera dit durable si il répond à un ensemble de critères communs acceptés par des disciplines diverses dont une définition précise et rigoureuse devrait faciliter la mise en commun (ou le regroupement) des résultats de disciplines au langage scientifique différent. La question relative à l'identification des critères de la durabilité du système de cultures protégées tels qu'ils auront été définis par le WP12 prend d'autant plus son importance que ce système de production s'écarte des modèles de production standards (petites surfaces, importantes charges en main d'œuvre, artificialisation poussée, forte variété des systèmes de culture...) et impose la définition de référents qui lui sont propres. L'objectif de ce workpackage sera de répondre, du point de vue économique, socioéconomique et écologique, à cette problématique centrale : *quels sont les critères permettant d'identifier la durabilité de l'agrosystème serre ?* Il s'agira alors d'identifier les besoins actuels des agriculteurs, les biais liés à la mise en place des pratiques agricoles durables et, enfin, de déterminer les objectifs à atteindre.

**Démarche :**

1) évaluer le risque, avéré ou non, de perte de rendement associé à l'adoption de pratiques durables (d'autant plus grand que la surface de production est réduite) et les changements dans les habitudes de travail, critère d'autant plus pertinent que ce système de production se caractérise par une abondante charge en main d'œuvre (environ 30%). Dans ce contexte, une pratique sera dite durable si elle minimise la variable risque et rend acceptable les modifications des habitudes de travail ;

2) définir des variables de mesure permettant de concilier l'hypothèse d'une intensification de la production (s'opposant au mouvement général d'extensification des systèmes agricoles) aux enjeux de l'agriculture durable, parmi ces dernières le critère de contrôle par l'agriculteur à chaque étape du processus de production (degré et fiabilité du contrôle) paraît essentiel. L'intensification du système de production ne peut avoir lieu dans le respect d'une agriculture durable qu'en étant associé à un contrôle rigoureux ;

3) définir des critères communs à chaque discipline et permettant la prise en compte de critères précis (% de l'eau recyclé, litre de fuel/Kg de produits agricoles, Kg de déchets plastiques et de substrat /m<sup>2</sup>, rejet de gaz carbonique, sachant que les pratiques de l'agrosystème serre seront dites durables si elles permettent une meilleure efficacité économique liée à l'utilisation des intrants à travers notamment une meilleure maîtrise des flux biotiques, d'énergie et de masse.

**Résultats attendus :**

RA 131 : mettre en place des instruments d'évaluation des méthodes mise en œuvre dans l'agrosystème serre.

RA 132 : identifier clairement les critères de durabilité de l'agrosystème serre.

**Lien avec le WP2 :** une fois identifiée les critères de durabilité de l'agrosystème serre, il sera d'une part possible de connaître la rentabilité des exploitations types « agrosystème serre », mais également, de se fonder sur ces derniers pour fournir aux pouvoirs publics les variables de commandes sur lesquelles agir pour prendre le relais des mécanismes de marché dans le cas où ceux-ci s'avèreraient défailtants pour assurer sa viabilité dans le contexte de l'agriculture durable.

## W.P. 2: Acceptabilité Sociale et Economique

Coordonnateur: Jean-Marie Codron (MOISA Montpellier)

**Introduction :** La prise en compte des aspects socio-économiques de la durabilité des cultures sous serre est conduite en deux temps. Après l'état des lieux réalisé dans le WP1, nous cherchons à analyser les conditions économiques, sociales et institutionnelles qui président ou sont nécessaires à la mise en œuvre d'un modèle de serre durable, ce modèle pouvant résulter des propositions techniques du projet ou des progrès techniques actuellement en gestation. Un premier état des lieux fait apparaître deux dimensions fondamentales de la durabilité des cultures de serre: la dimension environnementale qui se manifeste au niveau des systèmes de production sous serre et la dimension sanitaire des produits issus de ces cultures qui se manifeste au niveau de la filière produit ou de son environnement immédiat. Ces dimensions structurent le partage des tâches au sein du WP2. Non totalement toutefois, dans la mesure où ces deux dimensions se rejoignent dans l'acte de consommation. De nombreux acteurs privés sont concernés par la durabilité effective ou perçue de ces cultures de serre: les producteurs bien sûr mais aussi les acteurs de l'environnement des systèmes de production et ceux de la filière qui valorise les produits issus de ces systèmes. S'agissant d'un bien public ou plutôt d'un bien public ou collectif à plusieurs dimensions, les pouvoirs publics sont bien sûr également concernés. Ils peuvent intervenir de plusieurs façons, que nous identifierons spécifiquement dans le projet, en incitant ou en réglementant la production du bien public. Les consommateurs, qui deviennent parfois consommateurs, ont des perceptions et des comportements susceptibles de valider ou non, en partie pour des critères de durabilité, les solutions techniques/organisationnelles mis en œuvre par les acteurs publics et privés.

### W.P.2.1 : Mécanismes de régulation économique et effets sur les producteurs agricoles et sur l'environnement

Responsable : Louis Job (C3ED-Université de Versailles-Saint Quentin-en-Yvelines)

Equipes impliquées : C3ED-Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines, CTIFL, ASTREDHOR

Calendrier : (RA 211, 212) Date de début : mois 6 Date de fin : mois 36

#### **Objectifs :**

Dans le prolongement du W.P.1, les objectifs de ce sous W.P sont :

- dans le cadre de l'OCM concerné et des prix de marché des produits qui y sont associés, étudier la viabilité et la durabilité environnementale de l'agrosystème serre dans les OTEX « maraîchage et horticulture » ;
- évaluer la faisabilité économique et les effets économiques, sociaux et environnementaux des politiques publiques environnementales sur les exploitants agricoles.

#### **Démarche :**

- 1) étudier la viabilité du secteur serre face aux prix fixés pour les produits concernés par les marchés (suite aux évaluations de coûts et bénéfices environnementaux issus du WP1), tant au niveau national (face à des productions équivalentes mais issues de méthodes traditionnelles) qu'au niveau international. Cette étude nécessitera de posséder une connaissance fine des prix pratiqués et de faire des projections dans le futur pour en connaître les évolutions à moyen et long terme ;
- 2) dresser un état des lieux des instruments (quantités et prix) de politique environnementale (normes, redevances, taxes, subventions) qui sont traditionnellement utilisés dans ces secteurs de l'activité agricole ;
- 3) évaluer leurs effets sur les pratiques des producteurs, leurs revenus, les indicateurs environnementaux et territoriaux ;
- 4) dans le contexte d'information imparfaite et asymétrique entre les exploitants (les agents) et les régulateurs (les principaux), étudier les caractéristiques et les effets d'instruments économiques qui visent à inciter les producteurs à améliorer leurs performances environnementales. On s'intéressera notamment aux différents types de contrats environnementaux mis en place en France et éventuellement dans d'autres pays de l'U.E ;
- 5) étudier la faisabilité de ces politiques environnementales en prenant en compte les coûts de contrôle et les menaces de sanctions lorsque les normes ne sont pas respectées.

#### **Résultats attendus :**

RA 211 : évaluer les perspectives de rentabilité de l'agrosystème serre dans sa forme durable face aux réalités du marché.

RA 212 : évaluer et comparer les effets sur les comportements économiques des exploitants de serres et sur les indicateurs environnementaux des différents types d'instruments économiques utilisés par les pouvoirs publics.

#### **Lien avec le WP3:**

Expliciter les mécanismes de marchés et les mécanismes publics qui sous-tendent la mise en œuvre de techniques dans l'agrosystème serre et qui permettront aux exploitations à la fois de juger de leur rentabilité et de respecter les fondements d'une production respectueuse de l'environnement.

### **WP 2.2: Régulation par les acteurs publics et privés de la qualité sanitaire des produits**

Responsable: Jean-Marie Codron (MOISA Montpellier)

Equipes impliquées : MOISA Montpellier et URIH Sophia

Calendrier : date de début : mois 1, date de fin: mois 33

#### **Objectif :**

La dimension sanitaire produit conditionne fortement la durabilité ou sa perception par les acteurs ou les consommateurs. Plusieurs événements récents, de type technique ou institutionnel ont renforcé considérablement le poids de cette dimension: i) les problèmes techniques apparus récemment (TYLCV notamment) qui conduisent à revoir les problèmes de protection intégrée ii) le changement législatif et réglementaire qui redéfinit le domaine des possibles en matière de qualité sanitaire (matières actives, harmonisation des LMR) et modifie radicalement les conditions de contrôle de cette qualité (obligation d'autocontrôle pour les acteurs de la filière, délégation partielle ou totale du contrôle public au privé, traçabilité et redistribution des responsabilités au sein de la filière). Plusieurs innovations organisationnelles ont émergé à la suite de ces changements institutionnels et notamment dans les filières d'importation avec la négociation entre importateurs et DGCCRF de conventions d'auto-contrôle. L'efficacité de ces dispositifs conditionne la durabilité des cultures de serre hexagonales. Les produits hexagonaux sont en effet concurrents des produits du Maroc ou d'Espagne et sont donc susceptibles d'être pénalisés par des contrôles trop laxistes aux frontières.

#### **Démarche:**

Analyse de l'efficacité du contrôle sanitaire dans les filières de produits issus de cultures sous serre

- 1) Evaluation et mesure, sur la base des nouvelles pratiques de protection intégrée induites par la récente prolifération de *Bemisia Tabaci* (voir le projet ADD "**Bemisia Risk**" avec lequel une collaboration est établie), des résidus de pesticides obtenus sur les produits de serre; cette évaluation technique de la qualité sanitaire des produits, est souhaitable pour bien cadrer les recherches de nature plus économique; elle conduit à rechercher la collaboration des administrations (PV et DGCCRF) chargées du suivi et du contrôle des pratiques de traitement et des résidus laissés sur les produits (URIH et MOISA)
- 2) Description du changement réglementaire et de ses conséquences sur les dispositifs de contrôle sanitaire en France et dans les principaux pays concurrents (Maroc, Espagne). (MOISA)
- 3) Analyse, à la lumière des théories des approches volontaires (Seggerson, Micelli) et des coûts de transaction (Formes Hybrides de la Nouvelle Economie Institutionnelle) (Williamson, Menard) des conditions de l'efficacité des dispositifs émergents (MOISA)
- 4) Analyse comparée de l'impact de deux environnements institutionnels différents sur les formes du contrôle sanitaire aux frontières : en l'occurrence, nous examinerons le cas Britannique qui diffère fondamentalement du cas Français au niveau de la règle de responsabilité (principe de due diligence versus principe du premier metteur en marché). (MOISA).

#### **Résultats attendus :**

RA 221 : Impact de *Bemisia tabaci* sur les pratiques de traitement et sur les résidus de pesticides laissés sur les produits.

RA 222 : Changement réglementaire et nouveaux dispositifs de contrôle sanitaire (produits hexagonaux et d'importation).

RA 223 : Comparaison des dispositifs de contrôle sanitaire aux frontières en France et dans le Royaume Uni.

Lien avec autres WP/projets ADD

Avec le WP1 et le projet **Bemisia Risk**, identifier les pratiques de traitement, avant ou après Bemisia.

Avec l'ensemble des projets, expliciter les contraintes/incitations induites par la mise en place des nouveaux dispositifs de contrôle sanitaire et pesant sur la définition de pratiques de production respectueuses de l'environnement.

### **WP 2.3: Acceptabilité par les consommateurs/citoyens : dimensions environnementale et sanitaire produit**

Responsable: Lucie Sirieix (MOISA Montpellier)

Equipes impliquées : MOISA Montpellier et CTIFL Paris

Calendrier : date de début : mois 1, date de fin: mois 33

#### **Objectif :**

Les consommateurs ont globalement une image positive des fruits et légumes, et le fait que le mode de production influence la qualité des fruits et légumes est une opinion largement partagée. Dans une étude menée par le CTIFL et l'Agro Montpellier en 2003, les participants ont exprimé leurs doutes quant aux modes de production, notamment à la culture sous serre, qui est opposée à une culture « naturelle », « au soleil, dans la terre ».

#### **Démarche :**

Il est donc important de mieux comprendre les freins à l'acceptation de ce mode de culture et les conditions de son acceptabilité. Pour cela, nous procéderons à une étude qualitative sur la base de focus groups de 8 à 10 personnes, conduits dans différentes régions, chaque focus group étant découpé en plusieurs phases : 1) en individuel, étudier les perceptions/représentations des F et L sous serre ; 2) Mise en commun de ces représentations en groupe ; 3) Apport d'information sur la dimension sanitaire et étude des

réactions en individuel (avec une méthode inspirée de la méthode des scénarios) ; 4) Mise en commun ; 5) Apport d'information sur la dimension environnementale et étude des réactions en individuel (avec une méthode inspirée de la méthode des scénarios) ; 6) Mise en commun ; 7) Discussion générale sur les conditions d'acceptabilité pour les personnes interrogées, et, selon ces personnes, pour les consommateurs en général.

**Résultats attendus :**

RA 231 : Durabilité des cultures sous serre et perceptions des consommateurs.

Lien avec autres WP

Le contenu des informations qui seront injectées dans les interviews de groupes est à préciser avec les experts du projet. Cette discussion est à prévoir assez tôt dans le déroulement du projet (exemple, mois 6) et en groupe (ensemble des membres du projet).

### W.P.3 : Acceptabilité environnementale et maîtrise des flux biotiques et abiotiques

Coordonnateur : (G.Chassériaux)

**Introduction :** Il s'agit dans ce Workpackage, de comprendre à travers la caractérisation et la modélisation des mécanismes de transfert, le déterminisme des flux biotiques et abiotiques afin d'en préciser les lois de comportement et de proposer des solutions et des outils permettant leur maîtrise dans une optique de développement durable.

#### WP3.1 : Maîtrise des flux abiotiques

Responsable : Gérard Chassériaux (SAGAH Angers)

Equipes impliquées : INRA-URIH, CTIFL, SAGAH Angers, FEMTO Belfort,

Calendrier : Date de début : mois 1

Date de fin : mois 24

**Objectifs :**

Analyser et modéliser les phénomènes de transport et d'échange d'énergie, de masse et de particules biotiques (spores). Identifier des méthodes et outils permettant de quantifier ces échanges à une échelle globale et locale et proposer des solutions technologiques 'acceptables' pour maîtriser à la fois le climat et les flux biotiques (serres closes, insect proof).

**Démarche :**

1- Maîtrise du climat estival - aéraulique des serres- climat distribué

- Amélioration guidée par logiciels de mécanique des fluides (CFD) de :
  - la climatisation estivale en présence de filets insect proof, convention en cours avec un industriel (Filclair), (URIH, FEMTO, CTIFL).
  - l'aération naturelle des serres de grande portée en horticulture ornementale (plantes en pots), (SAGAH, URIH).
- Flux couplés abiotiques et biotiques (approche méthodologique analogue globale ou basée sur les CFD)
  - modélisation du transfert de spores, mise au point de filets insect proof (voir WP3.2-1, WP3.2-2).
- Etude de parois de serres perméables à la vapeur d'eau mais faisant office de barrières aux autres transferts de masse et d'énergie (convention en discussion avec des industriels des plastiques, URIH).

2- Maîtrise de la consommation d'énergie

- Elaboration d'un logiciel d'estimation des consommations énergétiques en cultures sous serre.
  - Analyse, écriture, mise en œuvre du logiciel (CTIFL) (validation en WP5). Il s'agira dans une première étape de faire l'état de lieux des outils existants et disponibles dans ce domaine et de conserver les modules les plus adaptés à la prise en compte de certaines fonctions avancées de la gestion du climat (déshumidification,..) tout en maintenant un objectif de gestion de l'énergie. Le modèle devra rester relativement ouvert et évolutif.
  - Appui : - Fourniture des modules de transfert de vapeur d'eau et couplage avec les transferts énergétiques (URIH),
    - Fourniture de modules de thermique issus d'un modèle existant (SAGAH).
- Etude de systèmes de chauffage du type pompe à chaleur, alternatif aux ressources fossiles (ASTREDHOR).

3- Substrat : recherche de nouveaux matériaux alternatifs aux laines minérales et à la tourbe. Mise au point d'une démarche de caractérisation de matériaux concernant : l'innocuité et les propriétés physiques, chimiques biologiques (SAGAH).

**Résultats attendus :**

RA 311 : Structures de serres et filets insect proof alliant une bonne climatisation et exclusion vis-à-vis des ravageurs.

RA 312 : Hétérogénéités induites par certains équipements (tablettes, écran) sur l'aéraulique et le climat de la serre.

RA 313 : Logiciel de calcul des consommations énergétiques à caractère opérationnel.

RA 314 : Proposition et évaluation technique et économique de systèmes de production d'énergie 'durables'.

RA 315 : Substrats : synthèse de l'état de l'art, pistes et propositions pour de nouveaux matériaux.

### **WP3.2 - Maîtrise des flux biotiques**

Responsable Marc Bardin (Patho Avignon)

Équipes impliquées : Patho Avignon, URIH Sophia, Lutte bio Valbonne, CTIFL Balandran, FEMTO Belfort.

Calendrier : Date de début : mois 1

Date de fin : mois 24

#### **Objectifs**

Les objectifs de ce workpackage sont de quantifier les flux biotiques sous abris, de mettre au point des outils alternatifs de protection phytosanitaire contre les principaux bioagresseurs et d'en estimer la durabilité.

#### **Démarche :**

1- connaissance des flux biotiques : quantification et modélisation des populations et de leur dynamique

- répartition spatio-temporelle des attaques de bioagresseur sous abris (tomate/tunnel ; rosier/serre) (URIH Sophia, Patho Avignon, Lutte bio Valbonne, CTIFL).
- rôle de la protection biologique sur les mécanismes de dispersion de *Bemisia tabaci* (**Bemisia risk**, L. bio Valbonne).
- évaluation quantitative des flux de spores de *Botrytis cinerea* sous serre à l'aide de modèles de mécaniques des fluides, de climat et de flux aérauliques (URIH, FEMTO).
- estimation qualitative de la diversité des populations de *B. cinerea* à l'aide de marqueurs microsattellites sur rosier en serre et tomates et sur salades sous tunnel (URIH Sophia, Patho Avignon).

2- maîtrise des flux biotiques : développement de méthodes de protection alternative à la lutte chimique contre les bioagresseurs existants ou émergents sous abris :

- développement de filets insect-proof (TEXINOV, convention en cours), perméables à l'air et exclusifs du point de vue de la pénétration des insectes (URIH, FEMTO).
- mise au point d'une lutte biologique contre la cochenille *Pseudococcus viburni* et la punaise *Nezara viridula*. (L. bio Valbonne).
- étude de l'efficacité d'un agent de lutte biologique contre *B. cinerea* sur rosier en serre et sur tomate en tunnel froid (Patho Avignon, URIH, ), et de nouveaux auxiliaires contre *B. tabaci* (Lutte bio Valbonne, CTIFL ; **Bemisia risk**).

3- estimation de la durabilité de la lutte biologique: modèle *B. cinerea* (Patho Avignon)

- estimation dans les populations naturelles, du potentiel de contournement de *B. cinerea* à l'effet d'agents de lutte biologique,
- évaluation de la capacité d'évolution de *B. cinerea* sous l'effet de pressions de sélection,
- estimation de la fitness des souches contournant les agents de lutte biologique.

#### **Résultats attendus :**

RA 321 : Méthodes de protection non chimiques efficaces contre un panel de bioagresseurs.

RA 322 : Développement/paramétrage de modèle permettant de comparer l'inoculum de *B. cinerea* endogène vs exogène.

RA 322 : Impact de la protection biologique sur les flux de *B. tabaci* et sur la transmission de virus.

RA 324 : Structuration génétique des populations de *B. cinerea* selon l'hôte et l'isolement géographique.

RA 325 : Outils de caractérisation de la sensibilité de *B. cinerea* à des agents de lutte biologique, mise en évidence du niveau de sensibilité de base des populations et détermination du nombre de générations nécessaires pour observer une perte d'efficacité.

**Lien avec WP4 et WP5** : test d'agents de protection biologique dans un contexte de production intégrée sous tunnel (Patho Avignon) et sous serre (URIH rose et SAD tomate). Validation en serre (CTIFL, tomate, concombre et poivron ; ASTREDHOR, rose).

## **W.P. 4. Contrôle du process et production intégrée**

Coordonnateur : B. Jeannequin

#### **Introduction :**

Ce workpackage qui est constitué de 5 sous programmes, a pour objectif de proposer des stratégies de production sous serre originales et conformes aux contraintes relevant du concept de durabilité. Les études qui y sont envisagées portent d'une part sur l'élaboration de techniques innovantes visant à mieux gérer les apports énergétiques, à lutter précocement et si possible sans utilisation de produits phytopharmaceutiques contre les bioagresseurs, et à améliorer la qualité des productions. Les résultats de ces travaux seront mobilisés avec ceux des workpackage 2 et 3 pour réaliser des études intégratives, en conditions représentatives de la pratique, qui permettront de proposer de nouvelles règles de conduite des agrosystèmes tunnel et serre lourde. L'articulation des travaux avec les organismes techniques (WP5) permettra de tester et d'adapter ces innovations dans une démarche de partenariat.

### **WP 4.1. Contrôle du milieu physique (PHY) et biotique (BIO)**

Responsables Alain Lecomte (PSH Avignon) et Paul Boissard (URIH)

Équipes impliquées INRA (PSH Avignon, URIH Sophia, SAD Alenya, SAGAH), CTIFL, ASTREDHOR

Calendrier : Début : WP PHY et BIO = mois 1 Fin: WP PHY = mois 16, WP BIO = mois 24

#### **Objectifs**

L'objectif du **WP 4.1. PHY** est de proposer un système de contrôle multivariable des conditions climatiques internes (température et humidité) et de la teneur en CO<sub>2</sub> sous serre lourde qui réponde aux exigences de conduites culturales tout en satisfaisant au mieux aux critères environnementaux et économiques. Le résultat final sera un compromis coûts/performances :

- 1) Ecriture des spécifications; définition des conditions de fonctionnement, description des « interdictions », mise en place de règles hiérarchisées, prise en compte de l'état de l'art.
- 2) Construction de modèles dynamiques à partir de données expérimentales issues de différents sites.
- 3) Mise au point de lois de commande de type prédictif.

L'objectif du **WP 4.1. BIO** est de contribuer à l'amélioration de la qualité sanitaire du matériel végétal introduit en serre (prophylaxie) et de développer des méthodes automatisables de détection précoce des bioagresseurs. La démarche est détaillée ci-dessous :

- 1) Qualité sanitaire du matériel végétal : diagnostic préalable vis-à-vis des principaux agents pathogènes du rosier (virus, agro bactéries) ; application d'une méthode d'assainissement par thérapie *in vitro* et culture de méristème (variétés, porte-greffes).
- 2) Détection précoce sur rosiers de serre des maladies et ravageurs : échantillonnage en fonction des bioagresseurs, détection des premiers symptômes de maladies (modèle oïdium) et foyers de ravageurs sur rosier/serre ; mise en œuvre de capteurs imageurs (coll. Soc. ADHOC VISION) ; reconnaissance automatisée par vision en collaboration avec INRIA Sophia et ASTREDHOR.

#### Résultats attendus

RA 411 : Cahier des charges et spécifications du contrôleur multivariable : mois 6 ; Etablissement de modèles de pilotage : mois 12 ; Réalisation de lois de commandes et tests en simulation : mois 16

RA 412: Inventaire de l'état sanitaire initial du matériel végétal : mois 6 à 12, Validation de la capacité de détection précoce en comparaison avec les méthodes d'observation classique: mois 24 ; Analyse des progrès transférables : mois 24

**Liens : 4.1 PHY et WP5** (Validation sur le site CTIFL Carquefou); **4.1 BIO et WP 4.5** (Intégration)

#### WP 4.2. Protection phytosanitaire intégrée

Responsable Marie Chave (URIH Sophia)

Equipes impliquées : URIH Sophia, CTIFL Carquefou, CTIFL Balandran, SAD Alénia

Calendrier : Date de début : mois 6

Date de fin : mois 24

#### Objectif

Définir des stratégies d'intervention précoce et ciblée face à un ensemble de bioagresseurs.

#### Démarche :

1. Suivi dynamique de l'état sanitaire de la culture afin d'identifier les facteurs de risque d'apparition et de développement des foyers de maladies et de ravageurs dans la serre (flux d'entrée, interactions avec les paramètres abiotiques) : échantillonnage global
2. Hypothèses sur la chaîne des événements à l'origine de « dysfonctionnements » phytosanitaires du système 'serre' et en particulier sur les premières phases de développement des bioagresseurs (modélisation spatio-temporelle)
3. Evaluation du risque phytosanitaire à partir des hypothèses et des informations les plus pertinentes (données météorologiques, observations de terrain...)
4. Formalisation des processus de décision à différentes échelles de temps (stratégie long ou court terme, tactique) à partir de l'évaluation du risque phytosanitaire, d'un ensemble d'éléments structurels internes (équipement, qualification et organisation du personnel...) mais aussi de contraintes externes (réglementation, contexte économique...)

#### Résultats attendus :

RA 421 : Modèle conceptuel de l'agrosystème Serre permettant d'identifier les facteurs de risque de « dysfonctionnements » phytosanitaires et les processus à mettre en œuvre pour les réduire : Exemple(s) de mise en œuvre de l'ensemble de la démarche.

RA 422 : Identification de données manquantes (connaissances scientifiques et informations opérationnelles) pour proposer de tels processus de décision dans certains contextes.

**Liens avec W 2.1** : Acceptabilité par les producteurs ; **WP 3** : Utilisation des résultats et proposition de nouvelles questions de recherche ; **WP 4.5** : Intégration des stratégies de protection dans le process global ; **WP 5** : Validation de stratégies globales.

#### WP 4.3. Influence du système de culture et de l'environnement sur la qualité des fruits

Responsable : H.Gautier

Equipes impliquées : PSH Avignon, SAD Alénia, CTIFL Balandran

Calendrier : Date de début : mois 1

Date de fin : mois 36

#### Objectifs

Il s'agit d'améliorer la qualité des fruits de tomate en comparant des systèmes de culture, en limitant les rejets azotés, et la consommation d'eau sans altérer la production.

- 1) La diminution de transmission du rayonnement sous abris influence directement la croissance et le fonctionnement de la plante mais aussi le microclimat et la qualité des fruits. Les lois de réponses de l'architecture de la plante, du microclimat du fruit et de la

composition des fruits à des modifications du niveau de rayonnement et/ou d'UV seront analysées sur différents génotypes de tomate cultivés en tunnel à Alenya sous divers types de couverture plastiques.

2) Un modèle conceptuel du fonctionnement de la plante entière de tomate sera développé concernant l'acquisition des ressources (eau et carbone) et les flux dans la plante et couplé à un modèle d'élaboration de la qualité du fruit (calibre, teneur en matière sèche et en sucres). L'originalité de l'approche proposée réside d'une part dans la description des potentiels hydriques dans les différents organes de la plante, et d'autre part dans l'intégration de la phase de division cellulaire pour le contrôle de la croissance du fruit. Une expérience sous serre (CTIFL Balandran) comparant des conditions variables de salinité permettra de décrire le développement et la croissance de la plante et des fruits via l'explicitation des flux d'eau et de carbone dans les différents organes.

#### Résultats attendus:

RA 431: Création de modèle architectural de tomate (paramétré sur 1 ou 2 génotypes) avec des paramètres dépendant du rayonnement (mois 12) ; couplage du modèle architectural avec un modèle radiatif, comparaison de la photosynthèse plante simulée et mesurée (mois 24) ; lois de réponse de la composition du fruit en fonction du rayonnement (mois 36).

RA 432 : Modèle de fonctionnement plante entière sur les flux d'eau et de carbone dans la plante, et de croissance et d'élaboration de la qualité du fruit (36 mois).

RA 433 : Coordination par rapport au PRA : i) mesures microclimatiques et architecturales et création de modèles architecturaux tomate afin d'acquies des variables explicatives des variations de qualité des fruits, ii) couplage des modèles plante et fruit.

**Liens avec WP4.5 :** Couplage et paramétrage des modèles plante et fruit ; **WP4.4 :** application du modèle couplé plante-fruit dans une large gamme de conditions impliquant du stress.

#### WP 4.4. Intégration de contraintes de production intégrée sous tunnel froid

Responsable : François Lecompte (PSH Avignon)

Equipes impliquées : PSH (équipes API, AGR et EQF), Patho Avignon, CTIFL

Calendrier : Date de début : mois 1

Date de fin : mois 36

#### Objectifs

Ce travail a pour objectif d'établir des connaissances et des méthodes d'action concernant les liens entre les pratiques culturales dans les tunnels, les états du milieu qui en résultent, et les performances des systèmes de production du point de vue de l'environnement, de l'état sanitaire et de la qualité des plantes.

#### Travaux entrepris :

1- Effet des rotations culturales sous abri froid sur l'hétérogénéité du milieu et les populations de *B cinerea* :

- influence de la géométrie des cultures en rotation (tomate-laitue) et des modes de fertirrigation sur la répartition des ressources hydriques et minérales dans le sol et au sein des cultures ; méthodes de gestion de l'hétérogénéité spatiale (PSH/API)
- conséquence des modes d'irrigation et de la diversité des états nutritionnels des plantes sur leur réceptivité à *B cinerea*. Intégration de la lutte biologique sous tunnel (Patho Avignon)

2- Gestion des flux d'eau dans une culture de tomate en sol, conséquences sur la croissance et la qualité des fruits.

- gestion des apports d'eau pour limiter les flux sous la zone enracinée en satisfaisant la demande des plantes, recherche d'un modèle simplifié de transfert de l'eau dans le système sol irrigué en goutte à goutte-tomate (PSH/API+AGR)
- mise au point d'un indicateur morphologique traduisant les variations de potentiel hydrique des plantes (PSH/ AGR)
- extension d'un modèle de flux d'eau et de carbone dans la plante entière pour optimiser la croissance et le développement de la plante ainsi que la qualité des fruits, dans des conditions variables d'apport d'eau (PSH/AGR+EQF)

3- Pilotage de la nutrition azotée de la tomate.

- mise au point de la méthode PILAZO pour une culture de tomate en sol : acquisition de courbes de référence, diagnostic nutritionnel et mise au point de règles de décisions (CTIFL)
- intégration de contraintes liées aux flux couplés d'eau et de minéraux dans le sol aux règles de pilotage de la nutrition azotée (PSH /CTIFL)

#### Résultats attendus :

RA 441 : Quantification et gestion des risques de lessivage et de production hétérogène (en quantité et en qualité) dans les rotations sous tunnel. Méthodes et indicateurs de gestion des intrants

RA 442 : Stratégies de protection contre *B. cinerea* en tunnels froids

RA 443 : Modèle de croissance et de qualité en culture de tomate, permettant de réguler les apports d'eau de manière dynamique, afin d'optimiser la qualité et minimiser les pertes dans l'environnement

**Liens avec WP1 :** diagnostic environnemental ; **WP3.2 :** lutte biologique ; **WP4.3 :** modélisation de la plante entière.

#### WP 4.5. Production intégrée sous serre lourde

Responsable : Richard Brun (URIH Sophia Antipolis) – Benoît Jeannequin (SAD Alénia)

Equipes impliquées : URIH Sophia, SAD Alénia, CTIFL Balandran, ASTREDHOR.

Calendrier : Date de début : mois 1

Date de fin : mois 36

## Objectif

Ce WP vise, par une approche systémique, à élaborer des stratégies de conduite pour une gestion globale des cultures sous serre lourde en privilégiant la durabilité de cet agrosystème considéré dans son ensemble (économique, environnemental et social). Nos études permettront de proposer des règles d'action (choix d'équipement, conduite de l'agrosystème) qui intégreront sur le plan technique les aspects relatifs à l'environnement (consommation d'énergie fossile, limitation des déchets et des rejets) et à la qualité des productions (présentation commerciale, absence de résidus de pesticides, qualité nutritionnelle ou tenue en vase) tout en prenant en compte les composantes économiques et organisationnelles des exploitations agricoles.

## Démarche

- 1) définir des règles d'action de conduite de l'agrosystème mobilisant les connaissances actuellement disponibles, intégrant les sorties des autres WP et prenant en compte les contraintes d'ordre économique et organisationnel des exploitations.
- 2) réaliser des expérimentations systèmes en station expérimentale visant à tester et à améliorer les règles d'action définies a priori sur la base des différents critères de durabilité.

## Résultats attendus

RA 451 : Production de références (règles d'action, stratégies de conduite, choix d'équipement) utilisables par les organismes d'expérimentation et de développement.

RA 452 : Contribution à l'identification de nouveaux questionnements scientifiques.

RA 453 : Construction et valorisation d'une expertise pour les organismes de développement et les pouvoirs publics.

**Liens avec WP 1 et 2 :** définition et choix des critères de durabilité ; **WP 3 et WP 41, 42 et 43 :** élaboration de règles et identification de questions de recherche ; **WP 5 :** construction de nouvelles stratégies de conduite de l'agrosystème.

## W.P. 5. Validation légumes et fleurs coupées sous serre lourde

**Responsable :** E. Brajeul – CTIFL

### Equipes impliquées et principaux participants

**Pour la validation en légumes :** les centres CTIFL de Carquefou et Balandran. **Pour la validation en fleurs coupées :** 2 structures "modèles" du réseau ASTREDHOR. **Appui des unités INRA PSH, URIH, SAD et INH SAGAH**

### Calendrier

Début : mois 16 ; fin : mois 36

### Objectifs

L'objectif de ce WP est d'évaluer dans des situations semi professionnelles, en particulier en terme de durabilité, les outils et les stratégies mis au point dans les WP 3 et 4. Cette évaluation sera conduite dans deux climats différents (climat océanique, climat méditerranéen), représentatifs des deux grands bassins de production serristes français, en tomates et concombres d'une part, en fleurs coupées d'autre part. Ce WP prend en compte un double niveau d'intégration en terme d'amélioration des systèmes existants chez les professionnels serristes :

- la validation d'outils particuliers développés dans les WP 3.1 et 4.1 et nécessitant une étude spécifique pour être opérationnels au niveau de l'intégration globale,
- la validation de systèmes globaux tels que développés au niveau des centres de recherche dans les WP 3 et 4.

### **Contenu (tâches)**

Ce WP couvre les différents aspects relatifs à l'évaluation en situations semi professionnelles des outils et des stratégies relativement génériques mis au point dans les WP 3 et 4, à travers un double niveau d'intégration :

#### Validation d'outils particuliers :

- Evaluation d'un logiciel de modélisation des consommations énergétiques liées au chauffage et à la déshumidification, ainsi que des innovations en matière de conception des équipements insect proof et d'aération des serres (mis au point en WP 3.1).
- Evaluation d'un contrôleur multivariable destiné à la gestion climatique en serre « lourde » sous contrainte de minimisation du coût énergétique (mis au point en WP 4.1).

#### Validation de systèmes globaux :

- Evaluation de différents systèmes novateurs en terme de limitation des intrants, pour la gestion de l'eau, des éléments minéraux et des déchets en serre « lourde » :
  - Amélioration du procédé de biofiltration pour la gestion sanitaire des effluents en culture sur substrat et prise en compte des connaissances acquises sur les populations racinaires à travers le concept d'écologie microbienne dirigée (lien avec WP 4.2).
  - Optimisation de la conduite de l'irrigation et de la fertilisation pour à la fois limiter les volumes de drainage et améliorer la qualité (organoleptique) des fruits en culture sur substrat (lien avec le WP 4.3).

- Développement de systèmes innovants pour améliorer la gestion des déchets : évaluation de plastiques, clips, ficelles biodégradables dans le cadre du compostage (lien avec le WP 4.5).

- Evaluation de l'efficacité de la protection intégrée.

- Validation de stratégies dans différents systèmes de conduite sous serre « lourde », intégrant notamment l'utilisation de filets anti-insectes et généralisant la lutte biologique y compris contre les maladies. Test de systèmes plus « clos » que les systèmes actuellement en vigueur (lien avec le WP 3.2 et WP 4.2).

#### Résultats attendus

A partir de critères énergétiques, agronomiques et qualitatifs à l'échelle de la serre sur les produits tomate, concombre et fleurs coupées, les différentes composantes de la serre durable (outils et stratégies) seront validées en situations semi professionnelles. On s'intéressera plus particulièrement à :

RA 51 : Un logiciel permettant d'évaluer les besoins énergétiques de différents types de serre dans différentes configurations de chauffage et de déshumidification (CTIFL, ASTREDHOR),

RA 52 : Un contrôleur multivariable destiné à la gestion climatique en serre « lourde », permettant l'optimisation du couple suivi de consignes / coût énergétique (CTIFL),

RA 53 : Un procédé de biofiltration amélioré pour la gestion sanitaire des effluents en culture sur substrat (CTIFL),

RA 54 : Une conduite de l'irrigation et de la fertilisation optimisée permettant de limiter les volumes de drainage et d'améliorer la qualité des fruits en culture sur substrat (CTIFL),

RA 55 : Une sélection de plastiques, de clips et de ficelles biodégradables utilisables dans le cadre du compostage (CTIFL),

RA 56 : Des stratégies de protection/production intégrée efficaces dans différents systèmes « serre lourde » (CTIFL, ASTREDHOR).

Une poursuite de la validation et un développement des systèmes contribuant le plus à la durabilité des entreprises sera à prévoir à la suite du présent projet, en particulier pour les stations de l'ASTREDHOR souhaitant intégrer à la suite de ce WP 5 les matériels novateurs en terme de substitution des sources d'énergies fossiles (utilisation de pompes et d'échangeurs de chaleur), de contrôle du process et d'acquisition de données climatiques/énergétiques.

**Retour vers les WP 2-3-4 :** Cette évaluation en situations semi professionnelles des outils et des stratégies mis au point en amont sera suivie, en particulier en terme de durabilité, par les équipes des WP amonts et il sera effectué un bilan critique des propositions faites.

#### Liens avec les projets et équipes associées

##### Liens avec Bemisia Risk

Conformément aux suggestions des évaluateurs de l'appel à contribution, les projets *Eco-serre* et *Bemisia Risk* ont été coordonnés au niveau des responsables des 2 projets et des équipes impliquées dans les 2 propositions (INRA-SAD Alenya, INRA-Lutte Biologique de Valbonne). Dans ces équipes, la participation à l'un ou l'autre des projets a été établie très clairement et il a été convenu que les informations issues des WP2, 3, 4 d' *Eco-serre* seront accessibles à *Bemisia Risk* et qu'inversement les informations issues des sous WP 3, 5 de *Bemisia Risk* seront accessibles à *Eco-serre*. Cette coordination ne se bornera pas seulement à un échange d'informations mais il est également prévu que les responsables de la coordination générale et des workpackages en relation soient présents aux réunions annuelles de l'autre projet. Cette coordination a d'autant plus de chance de fonctionner que les responsables des 2 projets et les équipes associées ont l'habitude de travailler ensemble (AIP Ecopath et PIC).

##### Liens avec les équipes étrangères

Les équipes étrangères associées au projet interviennent toutes dans le **WP1** pour spécifier l'acceptation de la durabilité de l'agrosystème serre ainsi que l'état des lieux environnemental, économique et social qui prévalent dans leurs pays réciproques. Leur présence et leur participation aux réunions de ce WP est donc prévue. Par ailleurs il est également prévu une concertation (non financée par ADD) avec nos collègues grecs (2 chercheurs à mi temps) sur les thèmes du WP 3, avec nos collègues suisses également sur les thèmes du WP3 et avec nos collègues marocains sur les thèmes du WP4.

#### Difficultés et risques susceptibles de peser sur la bonne réalisation du projet et moyens d'y parer

Quatre types de difficultés et de risques sont susceptibles de peser sur la bonne réalisation du projet :

**1) L'impossibilité, des points de vue du calendrier et financier, d'intégrer pleinement la dimension énergétique** du problème à travers la proposition de systèmes « solaires » dits clos, susceptibles de constituer une alternative à l'utilisation d'hydrocarbures fossiles et de permettre une fermeture plus complète du système. Cette absence est dommageable mais la dimension énergétique est moins importante qu'en Europe du nord et les autres aspects qui sont travaillés ici pourront être mobilisés facilement si les prolongements envisagés dans ce sens avant la fin de *Serre Durable* (projets INRA URIH et ASTREDHOR dans le cadre du renouvellement des installations expérimentales) voient le jour.

**2) Les difficultés de l'intégration système**, comme l'a déjà montré notre expérience antérieure dans des programmes de protection intégrée et la crainte que le WP4 soit uniquement perçu par le WP5 comme une boîte à outils de méthode et solutions diverses adaptables aux process standard actuels et que la stratégie globale d'intégration passe au second plan. Pour limiter ces tendances centrifuges, une vigilance de tous les instants au niveau de tous les workpackages est nécessaire, tout comme le rappel du caractère résolument holistique de notre positionnement par rapport à l'étude de l'agrosystème.

**3) Les liens avec le projet associé *Bemisia Risk*** : La répartition des tâches entre les deux projets est assez claire pour que l'on puisse écarter tout recoupement et la longue et fructueuse habitude de coopération et de coordination entre les différentes équipes participant aux deux projets (AIP Ecopath, Action Transversale Serre) permet de bien augurer du déroulement de la coordination envisagée.

**4) Manque de moyens humains sur la partie 'Protection intégrée Insecte'**. Le budget global ayant été limité volontairement à 500 k€, noter, qu'en ce qui concerne le WP32, la somme demandée ne couvre pas l'ensemble des dépenses nécessaires à ce programme car il persiste un manque évident en matière de moyen humain (ingénieur) sur la partie 'Protection intégrée Insecte'.

#### Bibliographie :

- Aoki, M. 1990. "Toward an Economic Model of the Japanese Firm." *Journal of Economic Literature*, XXVIII (1), pp. 1-14.
- Bardin M., Fargues J., Couston L. Troulet C., Philippe G., Nicot P.C. 2004. Compatibility of three biological methods to control grey mould, powdery mildew and whitefly on tomato. *IOBC WPRS bulletin* 27:5-10.
- Bontems, Ph & G.Rotillon ; Conformité aux prescriptions environnementales et son contrôle, *Revue d'Economie Politique*, n°109, 1999.
- Bontems, Ph.& G.Rotillon ; La mise en œuvre des dispositifs de régulation en matière d'environnement, in *Régulation environnementale. Jeux, coalitions, contrats*, *Economica*, 2002.
- Bot G, van de Braak N, Challa H., Hemming S., Rieswijk Th., Straten G van, Verloot I. The solar greenhouse, state of the art in energy saving and sustainable energy supply. *Greensys Int. Congress, Louvain 2004, Acta Hort.* In press
- Boulard T, Fatnassi H, Roy JC, Lagier J, Fargues J, Smits N, Rougier M, Jeannequin B, 2004. Effect of Greenhouse Ventilation on Humidity of inside air and in leaf boundary-layer. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 125, Issues 3-4, Pages 225-239
- Chen Q., Zhang X., Zhang H., Christie P., Li X., Horlacher D. & Liebig H.-P. (2004) Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69, 51-58.
- De Tourdonnet S.(1998) *Maîtrise de la qualité et de la pollution nitrique en production de laitues sous abri plastique: diagnostic et modélisation des effets des systèmes de culture*. Thèse de docteur ingénieur. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 204pp
- Fargues J., Vidal C., Smits N., Rougier M., Boulard T., Mermier M., Nicot P., Reich P., Jeannequin B., Ridray G., Lagier J. 2003. Climatic factors on entomopathogenic hyphomycetes infection of *Trialeurodes vaporariorum* in Mediterranean glasshouse tomato. *Biological Control*. 28, 320-33.
- Fargues, J., Bonato, O. & Albajes, R. 2004. Gestion du risque *Bemisia* en culture de tomate sous abri : les stratégies. *PHM-Revue horticole*, 461, 28-31.
- Farolfi, S & M.Tidball ; Instruments économiques de politique environnementale et choix technique du pollueur, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n°64, 2002.
- Gabarra, R., Arno, J. & Albajes, R. 2003. Integrated pest management in greenhouse tomatoes in Spain. In *Proc. Intern. Symp. on Greenhouse Tomato: Integrated Crop Protection and Organic Production*, Avignon, France, CTIFL, Paris, 198-202
- Gardenas A.I., Hopmans J.W., Hanson B.R. & Simunek J. (2005) Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*. In Press
- Grisey A., Brajeul E., Trottin H., Grasselly D., 2004. Un nouvel outil technico-économique, *EFI Serres®. Infos-Ctifl*. 205:14-17.
- Gurviez P., D. Kréziak, J.-J. Nilles, L. Sireix, 2003, Ethical concerns of actors in food sector addressed through virtues-based matrixes, *EURSAFE Conf.*, Toulouse
- Jeannequin B, Martin Clouaire R, Navarrete M, Rellier JP, 2003 Modeling management strategies for greenhouse tomato production. *CIOSTA Conf.* 22-24/9, Torino
- Jones JW, Dayan E, Allan LH, van Keulen H, Challa H, 1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Transactions of the ASAE*, 34(2), pp. 663-672.
- Le Roch, C & A.Mollard ; Les instruments économiques de réduction de la pollution diffuse en agriculture, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n°39-40, 1996.
- Malik, A.S ; Enforcement Costs and the Choice of Policy Instruments for Controlling Pollution, *Economic Inquiry*, 30, 1992.
- Marcellis LFM, Brajeul E, Ellings A, Garate A, Heuvelink E, de Wusser PHB. Modelling nutrient uptake of sweet pepper. *Greensys Int. Congress, Louvain 2004*.
- Nicot P., Baille A. 1996. Integrated control of *Botrytis cinerea* on greenhouse tomatoes. In: *Aerial plant surface microbiology* (Morris et al. eds.), p.169-189.
- Okuno, M. 1984. "Corporate Loyalty and Bonus Payments: An Analysis of Work Incentives in Japan." In : *The Economic Analysis of the Japanese Firm*. North Holland: Elsevier Publishers.
- Poncet C, Boulard T. Les travaux réalisés au cours de l'action transversale PIC Serre : Synthèse de la restitution de mars 2004. *INRA-URIH Sophia Antipolis*, 29 pp.
- Rainelli, P & D.Vermersch ; Gestion foncière des excédents azotés et marché implicite de droits à polluer : application aux élevages intensifs, *Economie et Prévision*, n°143-144, 2000.
- Richard, A & M.Trommter ; Choix des mécanismes incitatifs dans les contrats agri-environnementaux, *Economie et Prévision*, n°145, 2000.
- Roberts J., A. et Bacon. D. R., (1997), Exploring the subtle Relationships between Environmental Concern and Ecologically Conscious Consumer Behavior. *J. of Bus. Res.* 40, 79-89
- Salanié, B ; *Théorie des contrats*, *Economica*, 1994.
- Sandmo, A ; *The Public Economics of the Environment*, Oxford University Press, 2000.
- Segerson, K. 1999. "Mandatory Versus Voluntary Approaches to Food Safety." *Agribusiness*, 15(1), pp. 53-70.
- Segerson, K. and Miceli, T. 1998. "Voluntary Environmental Agreements: Goods or Bads News for Environmental Protection?" *J. of Env. Economics and Management*, 36, pp. 109-30.
- Sireix L., J.-M. Codron. 2003. Environmental and ethical consumers' concerns for food products, *Association for Consumer Research Conference*, October 9-12, Toronto (in Barbara E. Kahn and Mary Frances Luce (eds.), *Advances in Consumer Research*, vol. XXXI, 2004)
- Stanghellini C. 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. PhD dissertation, Wageningen Agr. University, The Netherlands. 150 pp.
- Stanhill G, Enoch HZ, 1999. Greenhouse Ecosystem, in *Ecosystems of the World 20*, Elsevier, pp260-281
- Stiglitz, J ; Incentives and Risk Sharing in Sharecropping, *The Review of Economic Studies*, n°126, 1974.

- Taylor RAJ, Shalevent, S, Sharim I, Berlinger MJ, Lebiush-Mordechem S., 2001: Economic evaluation of insect proof screen for preventing TYLC in Israel, *Crop Protection* 20, 561-569.
- Van der Veen, 2004. Sustainable horticulture, Challenges and perspectives. Greensys Int. Congress, Louvain 2004, Acta Hort. In press
- Venturini, L. 2003. "Public Regulation and Voluntary Approaches to Food Safety Credence Good," G. Schiefer, Rickert U., Quality Assurance, Risk Management and Environmental Control in Agriculture and Food Supply Networks. Bonn: Universität Bonn-ILB, Germany, pp. 265-69.
- Weitzman, M.L ; Prices vs Quantities, *The Review of Economic Studies*, n°128, 1974.
- Wu, J. et Babcock, B. 1999. "The Relative Efficiency of Voluntary vs Mandatory Environmental Regulations." *Journal of Environmental Economics and Management*, 38, pp. 158-75.

## 4- Collaborations<sup>1</sup>

### • Partenaire n°1

Organisme : **Ctifl, Centre Interprofessionnel des Fruits et des Légumes, 22 rue Bergère, 75 009 PARIS**

Correspondant principal (nom, prénom et adresse)

Eric BRAJEUL, Ctifl, Centre de Carquefou, ZI Belle-Etoile Antarès, 44470, Carquefou, France

Modalités d'implication dans ce projet

Le Ctifl a une expérience sur tous les aspects techniques des cultures fruitières et légumières. Les recherches appliquées qui sont menées sur ses Centres expérimentaux portent notamment sur les différents aspects de la conduite des cultures, en particulier les cultures légumières sous abri. Les Centres de Balandran et de Carquefou, impliqués dans le projet, sont localisés pour le premier dans le Sud-Est et pour le second dans l'Ouest de la France, régions représentatives des deux grands bassins de production serristes français en tomate et concombre.

De nombreux essais concernant la maîtrise de l'impact de la production sur l'environnement et l'optimisation de la qualité des produits ont été conduits depuis les années 1980 dans des compartiments de tunnels froids et de serre verre modernes de 250 à 300 m<sup>2</sup> sur Carquefou et Balandran, et depuis 1990 en serres expérimentales de 60 m<sup>2</sup> étanches aux insectes, avec infestations ou inoculations artificielles. Les premiers outils permettent de réaliser des essais globaux concernant notamment le système « serre lourde », avec la prise en compte des bilans de masse et d'énergie dans le développement et la validation de modèles, y compris à l'échelle de l'exploitation par l'équipement d'une chaufferie de type « open buffer » sur Carquefou. Les seconds outils permettent la comparaison de stratégies et la réalisation d'essais en protection intégrée.

Les équipes d'ingénieurs et de techniciens du Ctifl impliqués dans ce projet sont spécialisées dans l'évaluation de stratégies et de systèmes de culture sous abris, à partir de critères énergétiques, agronomiques et qualitatifs sur les produits tomate et concombre.

Apport du partenaire dans la réalisation du projet

Le Ctifl contribue notamment aux travaux suivants en cultures légumières sous « serre lourde » et sous tunnels froids :

- WP 1.2 : réalisation de l'état des lieux environnemental de l'agro système serre en France, notamment à travers l'exploitation de la nouvelle base de données technico économiques EFI Serres ©.
- WP 3.1 : élaboration d'un logiciel d'estimation des consommations énergétiques.
- WP 3.2 : amélioration de la connaissance et de la maîtrise des flux biotiques.
- WP 4.1 : développement d'un système de contrôle multivariable des conditions climatiques internes de la serre.
- WP 4.2 : développement d'outils de protection phytosanitaire intégrée (biofiltration).
- WP 4.3 : évaluation de l'influence du système de culture et de l'environnement sur la qualité des fruits.
- WP 4.4 : mise au point d'une méthode de pilotage de la nutrition azotée de la tomate en sol.
- WP 4.5 : évaluation de matériaux biodégradables (substrats) dans le cadre de la production intégrée.

Le Ctifl est responsable du WP 5 (validation) qui prend en compte un double niveau d'intégration en terme d'amélioration des systèmes existants chez les professionnels serristes :

- la validation d'outils particuliers développés dans les WP 3.1 et 4.1 et nécessitant une étude spécifique pour être opérationnels au niveau de l'intégration globale,
- la validation de systèmes globaux tels que développés au niveau des centres de recherche dans les WP 3 et 4.

---

<sup>1</sup> partenaires non mentionnés dans la partie 2 et non inscrits dans les tableaux budgétaires de la partie 5 (acteurs n'appartenant pas à des établissements publics de recherche et d'enseignement supérieur français ou européens)

- **Partenaire n°2**

**Association nationale des structures d'expérimentation et de démonstration en horticulture (ASTREDHOR)**

44, rue d'Alésia  
75682 PARIS Cedex 14

**- Correspondant principal (nom, prénom et adresse)**

Fabien ROBERT

**- Modalités d'implication dans ce projet**

L'ASTREDHOR, par son expertise des productions ornementales, s'impliquera dans l'évaluation de l'inscription des systèmes serre et abri dans le développement durable (élaboration d'une méthode, contribution à l'audit d'entreprises...) la première année du projet (WP1).

L'institut possède un réseau de stations d'expérimentations au sein desquelles seront menés des essais qui viseront d'une part à étudier la validité, au regard des critères du développement durable, de nouveaux systèmes de production d'énergie (WP3), d'autre part à évaluer plus globalement la pérennité de différents systèmes de culture, serre et abri froid, et d'identifier les meilleurs outils et process qui contribuent à inscrire les productions horticoles dans le développement durable (WP4).

Enfin, à partir des résultats et livrables obtenus sur les WP 1, 2, 3 et 4, des outils, process et systèmes de contrôle des process seront intégrés à 2 structures du réseau des stations pour valider les différents résultats obtenus et les valoriser auprès des producteurs (WP5).

**- Apport du partenaire dans la réalisation du projet**

L'ASTREDHOR, reconnue institut technique pour les productions ornementales, membre de l'ACTA, s'appuie sur un réseau de 14 stations d'expérimentation et de conseil et apportera son expertise pour les différentes phases du projet et notamment dans le WP 1.

Dans l'acceptabilité environnementale, l'ASTREDHOR permettra la comparaison de différents systèmes de cultures et d'identifier un certain nombre de process, d'outils, de systèmes de contrôle qui contribuent le mieux au développement durable et donc à la pérennité des entreprises. La contrainte pour les structures d'expérimentation sera d'avoir un équipement suffisant pour effectuer les différentes mesures dans ces systèmes (sondes caloriques, climatiques....) et pour effectuer des investissements dans de nouveaux systèmes de chauffage.

Enfin, l'implication de nos structures dans la validation des outils, process, systèmes de contrôle et la valorisation auprès des professionnels, permettra la valorisation des résultats.

- **Partenaire n°3**

**Unité FEMTO-ST (UMR6174)**

IGE, Parc Technologique, 2 Av. Jean Moulin, 9000 Belfort.

**- Correspondant principal (nom, prénom et adresse)**

Jean Claude Roy

**- Modalités d'implication dans ce projet**

FEMTO-ST, par la présence au sein cette unité de l'équipe ISFEER (Instrumentation Systèmes Fluidiques Energétiques Echelle Réduite) du Centre de Recherche sur les Ecoulements, les Surfaces et les Transferts (CREST) a pour vocation l'étude et l'instrumentation de micro systèmes thermiques ou fluidiques en vue de leur optimisation ou de la compréhension des phénomènes physiques afférents. Elle réalise des micro capteurs spécifiques ainsi que leur implantation sur des systèmes très variés. Cette équipe est associée avec l'INRA depuis 10 ans environ dans les domaines de la caractérisation et la modélisation des flux aérauliques en serre et au contact de la plante (micro capteurs de température et humidité) ainsi que dans l'étude des transferts à travers les protections du type insect proof. Cette collaboration se poursuit dans le cadre d'une convention INRA-URIH/ FEMTO-ST sur le thème de la caractérisation et la mise au point de filets insect proof plus perméables à l'air, sur la caractérisation et la modélisation des transferts aérauliques dans les serres et couverts végétaux, ainsi que des particules (spores) transportées.

**- Apport du partenaire dans la réalisation du projet**

L'équipe ISFEER (Instrumentation Systèmes Fluidiques Energétiques Echelle Réduite) du Centre de Recherche sur les Ecoulements, les Surfaces et les Transferts (CREST) intervient principalement dans le WP3 pour ce qui concerne la modélisation des transferts aérauliques entre l'intérieur et l'extérieur de la serre, sur la mise au point avec Texinov SA, de filets optimisés ainsi que sur l'étude (caractéristion & modélisation) des transferts de particules associés aux transferts aérauliques (spores).

#### Références

- Roy, J.C, Boulard, T., Kittas, C. & Wang, S. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 1: the perfectly stirred tank approach. *Biosystems Engineering*, 83, 1-20.
- Boulard, T., Kittas, C., Roy, J.C. & Wang, S. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 2: the determination of the distributed climate. *Biosystems Engineering*, 83, 129-147.
- Boulard, T., Mermier, M., Fargues, J., Smits, N., Rougier, M. & Roy, J.C. 2002. Tomato leaf boundary layer climate: implications for microbiological whitefly control in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110, 159-176.
- Lamrani, M.A., Boulard, T., Roy, J.C. & Jaffrin, A. 2001; Airflows and temperature patterns induced in a confined greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 75-88.

#### • Partenaire n°4

**Université de Thessalie, Rue Argonafton et Filellinon, 38221 Volos, Crèce.**

Professeur Constantinos KITTAS, Université de Thessalie, École de Sciences Agronomiques, Faculté d'Agronomie de Production Végétale et de l' Environnement Rural, Laboratoire de Construction Agricoles et de Contrôle de l' Environnement, Rue Phytokou, Nea Ionia Magnisias, 38334 Volos, Grèce.

L' équipe du Laboratoire de Construction Agricoles et de Contrôle de l' Environnement (LACEC) de l' Université de Thessalie participera à la réalisation des workpackages WP1 (Analyse des critères de durabilité & état des lieux de l'Agrosystème Serre) et WP3 (Acceptabilité environnementale et maîtrise des flux biotiques et abiotiques) sous la responsabilité scientifique du Dr Thierry Boulard.

En ce qui concerne le workpackage WP1 notre équipe va contribuer a l'établissement de l'état des lieux des consommations et rejets dans l'environnement de l'agro système serre Grec en énergie, eau, CO<sub>2</sub>, minéraux, matières chimiques et plastiques et substrats artificiels. Nous sommes également très intéressés par la participation à la définition d'indicateurs permettant ensuite proposer et tester sur le terrain une méthode de diagnostic du système.

En ce qui concerne le workpackage WP3 l'équipe du LACEC va contribuer à travers ses propres programmes à l'étude de la climatisation des serres équipées d'écrans insect - proof et des serres couvertes de films photo sélectifs du type UV-absorbing. Dans le cadre de ce même workpackage l'équipe du LACEC se propose d'aborder en collaboration avec l'équipe de T Boulard la question de climatisation solaire des serres (récupération, stockage, ré-utilisation d'énergie thermique).

#### Références

- Roy, J.C, Boulard, T., Kittas, C. & Wang, S. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 1: the perfectly stirred tank approach. *Biosystems Engineering*, 83, 1-20.
- Boulard, T., Kittas, C., Roy, J.C. & Wang, S. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 2: the determination of the distributed climate. *Biosystems Engineering*, 83, 129-147.
- Quantification du taux d'aération d'une serre a ouvrant continu en toiture  
T Boulard, G Papadakis, C Kittas, M Mermier , 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. *Agric. For. Meteorol* vol 88, pp. 111-119.

#### • Partenaire n°5 :

**Agroscope RAC Changins**

**Station fédérale de recherches agronomiques de Changins**

**Centre d'arboriculture et d'horticulture des Fougères**

**1964 Conthey, Suisse**

Correspondants principaux :

Céline Gilli,

Christoph Carlen,

Agroscope RAC Changins, Centre d'arboriculture et d'horticulture des Fougères,

1964 Conthey, Suisse

## Participation

Le Centre des Fougères participera au Work Package 1 (Analyse des critères de durabilité et état des lieux de l'Agrosystème serre) en présentant la vision suisse de la durabilité des systèmes de culture protégées. Il apportera l'expérience suisse en ce qui concerne l'analyse des critères de durabilité.

Participation au WP 3 : Acceptabilité et maîtrises des flux biotiques et abiotiques : Le Centre des Fougères travaille depuis de nombreuses années sur les cultures hors sol et sur l'adaptation des solutions nutritives au recyclage. Une étude sur les rejets en culture hors sol de tomate non recyclée et sur les possibilités de réutilisation vient d'être terminée (non publiée). Des travaux sur l'influence des facteurs cultureux et notamment de la solution nutritive sur la qualité des tomates sont en cours. En collaboration avec les différentes équipes de recherche du projet, le Centre des Fougères pourra réaliser des expérimentations en serre lourde relative à la gestion de l'eau et des éléments minéraux, aussi bien sur cultures maraîchères (tomates, poivrons...) qu'en cultures ornementales (roses, gerbera).

## Références :

D. Pivot, J.M. Gillioz, Carlen C., 2003. Adaptation de la solution nutritive pour le fraisier cultivé sur substrat recyclé. *Revue suisse Vitic. Hortic.* Vol. **35** (6): 381-385.

D. Pivot, J.M. Gillioz, 2005. Poivron: adaptation de la solution nutritive en système recyclé. *Revue suisse Vitic. Hortic.* Vol. **36** (6): 368-372.

- **Partenaire n°6.**

### IAV Hassan II, Unité de protection Intégrée

Campus d'Agadir, Département de protection des plantes, Unité de Production/Protection Intégrée  
Complexe Horticole BP 18/S Agadir, Maroc.

Professeur Abdelaq Hanafi de la chaire de production intégrée de l'Institut Agricole et Vétérinaire Hassan II.

Le professeur Abdelaq Hanafi de la chaire de production intégrée de l'Institut Agricole et Vétérinaire Hassan enseigne la production et la protection intégrée des cultures. Il s'est notamment spécialisé dans la protection intégrée des cultures sous serre de la région de l'Oued Sous (plus important bassin de production des produits de serre au sud ouest d'Agadir) contre *B tabaci* et son cortège de phytovirus.

## Références :

A **Hanafi**, A Papsalomontos, 1999. Integrated production and protection in protected cultivation in the Mediterranean region. *Biotech. Adv.*

A **Hanafi**, B Murphy, I Alaoui, R Bouharroud, 2002. Physical methods for the control of Bemisia tabaci and its impact on TYLCV infection in greenhouse. *IOBC/WPRS Bull*, 2002.

A **Hanafi**, 2003 Integrated production and protection today and in the future in greenhouse crops in the ...  
- Proceedings VI International Symposium on Protected .