

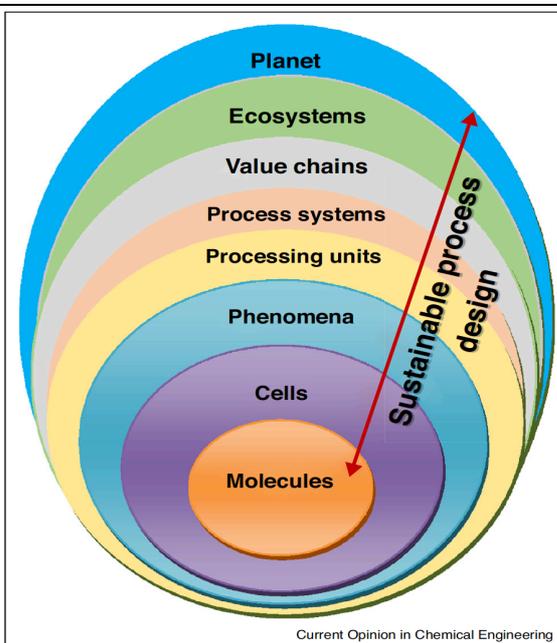
# MODÉLISATION PROSPECTIVE D'UNE FILIÈRE SUR UN TERRITOIRE : UNE APPROCHE PAR LA DYNAMIQUE DE SYSTÈMES



Mauricio Camargo, Sandra Bautista  
ERPI-UL



Journées Promotion Procédés Produits  
NANCY - ENSIC - jeudi 9 novembre 2017



Levels considered in recent trends for sustainable process design.

## Trends in Sustainable Process Design

- From Molecules to process flowsheets
  - Molecular simulation
  - Automated flowsheet generation
  - Rule Based flowsheet generation
  - Synthetic Biology
- From Process to global systems
  - Super structure Optimization
  - Eco-Industrial Parks
  - Fuzzy optimization
  - Game theory
  - Multiobjective Optimization
  - Value Chain design
  - Techno-ecological Synergy
  - Simultaneous optimization

2

Martinez-Hernandez (2017)

## **CONTEXTE SUR L'APPROCHE TERRITOIRE**

- ◉ Technology Assesment (De Piante Henriksen, 1997) Outil d'aide à la décision en phase amont d'un projet d'intégration des nouvelles technologies (innovation)
- ◉ Problème dynamique par nature
- ◉ Fortes interactions – économiques, technologiques, d'usage.
- ◉ transdisciplinarité

## **DYNAMIQUE DE SYSTÈMES<sup>1</sup> ET NOUVELLES TECHNOLOGIES**

- ◉ Vision holistique du projet
- ◉ Approche multi dimensionnel
- ◉ Relations cause-effet dynamiques
- ◉ Prise en compte de la technologie dans son contexte d'application
- ◉ Un support d'échange entre parties prenantes et expertises
- ◉ possibilité de réaliser des analyse de sensibilité

(1) Forrester J. W (1961) Industrial Dynamics



DOCTORAT EN GÉNIE DE PROCÉDÉS – COLOMBIE  
DOCTORAT EN GÉNIE DES SYSTÈMES INDUSTRIELS – FRANCE

## EVALUATION DE LA DURABILITÉ DE L'INDUSTRIE DU BIODIESEL: LE CAS COLOMBIEN

:Sandra Cecilia Bautista Rodríguez  
Génie Chimique, M. Environnement et Développement durable.



# 1

## Contexte du problème de recherche

*Problématique*



**Problématique mondiale**  
(ONU, 2000)

- L'émission de gaz à effet de serre
- La préservation de la Biodiversité
- La gestion de l'eau
- La sécurité énergétique
- La nécessité de sources alternatives de combustibles liquides
- La promotion du développement rural (Gnansounou, 2011)



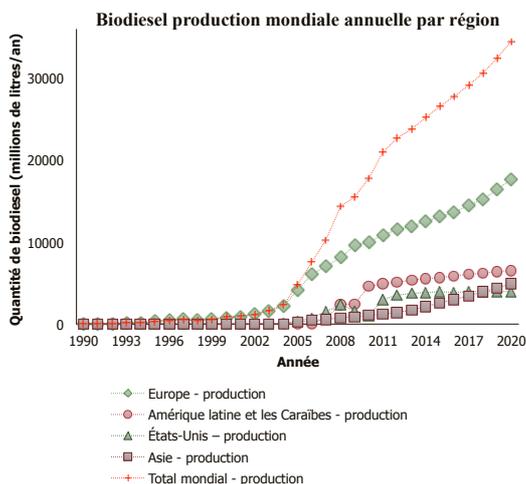
**Biocarburant - Biodiesel**

- Énergies renouvelables
- Le développement durable (Sukkasi et al, 2010)
- L'impact sur l'environnement, l'économie et la société (Hill et al, 2006)

6

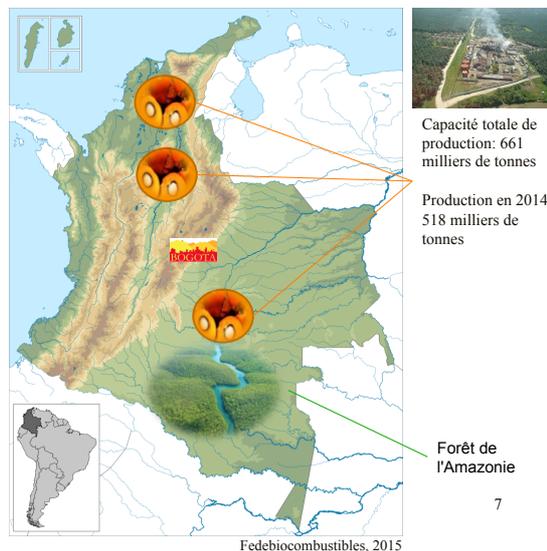
# 1

## Contexte du problème de recherche



StatExtracts [http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HIGH\\_AGLINK\\_2011#](http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HIGH_AGLINK_2011#)

### Problématique



# 1

## Contexte du problème de recherche

### Objectif Général

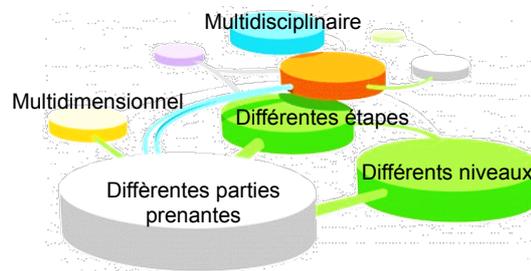
Evaluer la durabilité du biodiesel de palme en Colombie, avec l'incorporation des dimensions technologiques, environnementales, sociales, économiques et politiques.

### Objectifs spécifiques

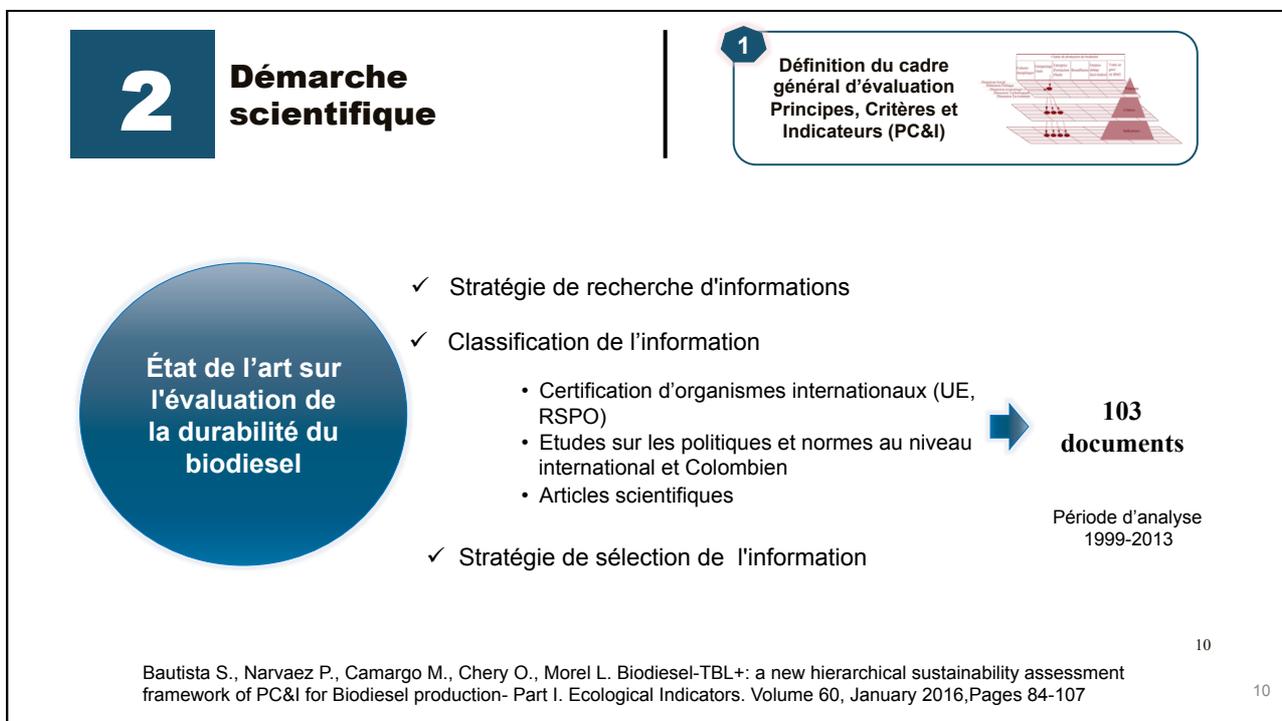
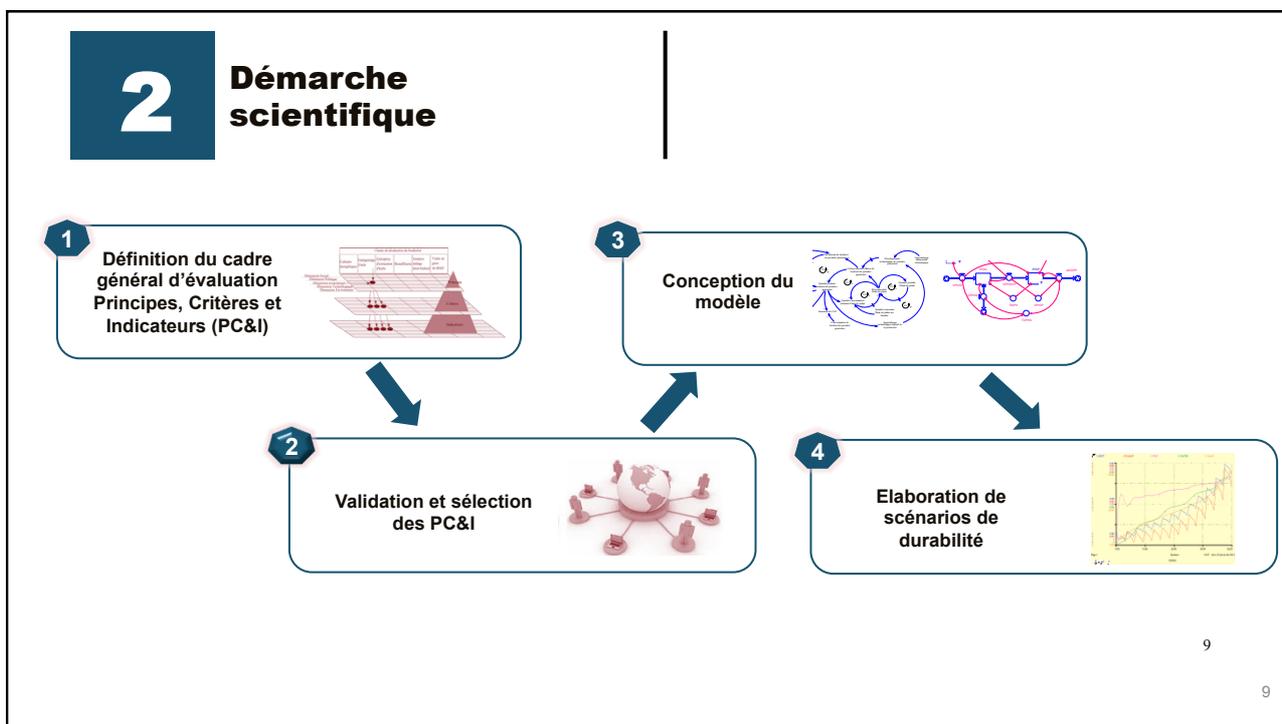
- Définir des **variables et des indicateurs** critiques pour l'évaluation de la durabilité du biodiesel de palme,
- Etablir des **interrelations, rétroactions et dépendances** entre des variables et entre des dimensions,
- **Proposer un modèle** basé sur la méthodologie de la dynamique de systèmes
- **Valider et évaluer** le modèle dans le contexte colombien.

### Objectifs

La production du biodiesel est un système complexe



8

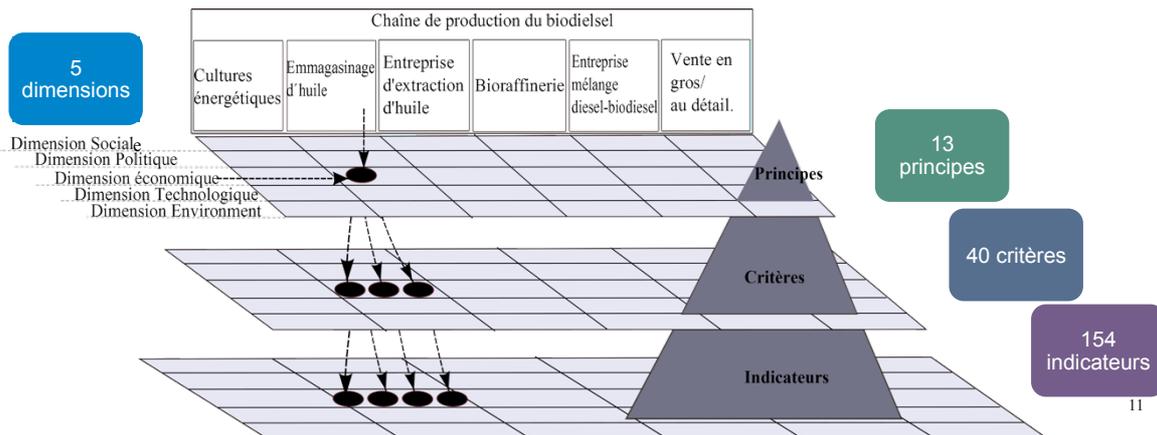


## 2 Démarche scientifique

1 Définition du cadre général d'évaluation Principes, Critères et Indicateurs (PC&I)

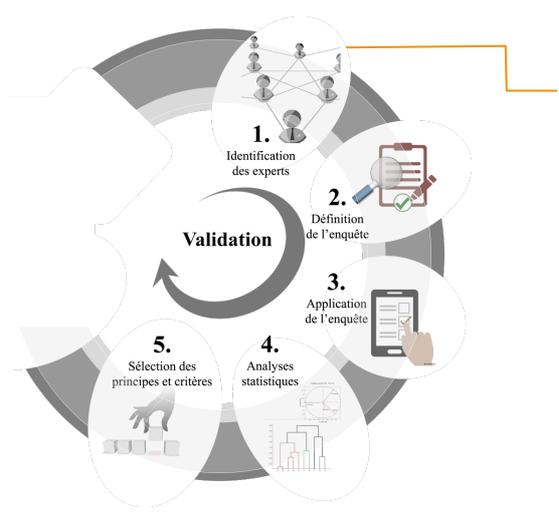


Proposition d'un cadre pour l'évaluation de la durabilité du biodiesel

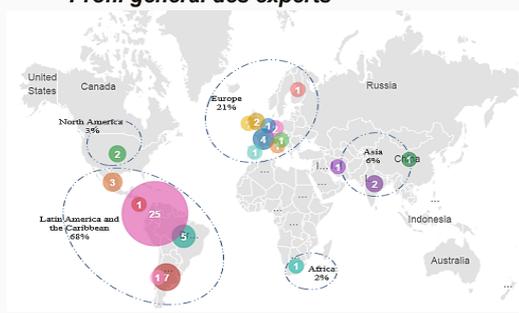


## 2 Démarche scientifique

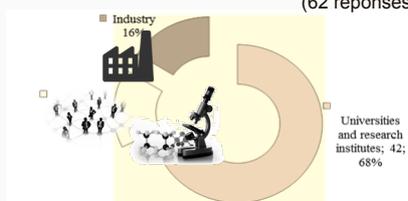
2 Validation et sélection des PC&I

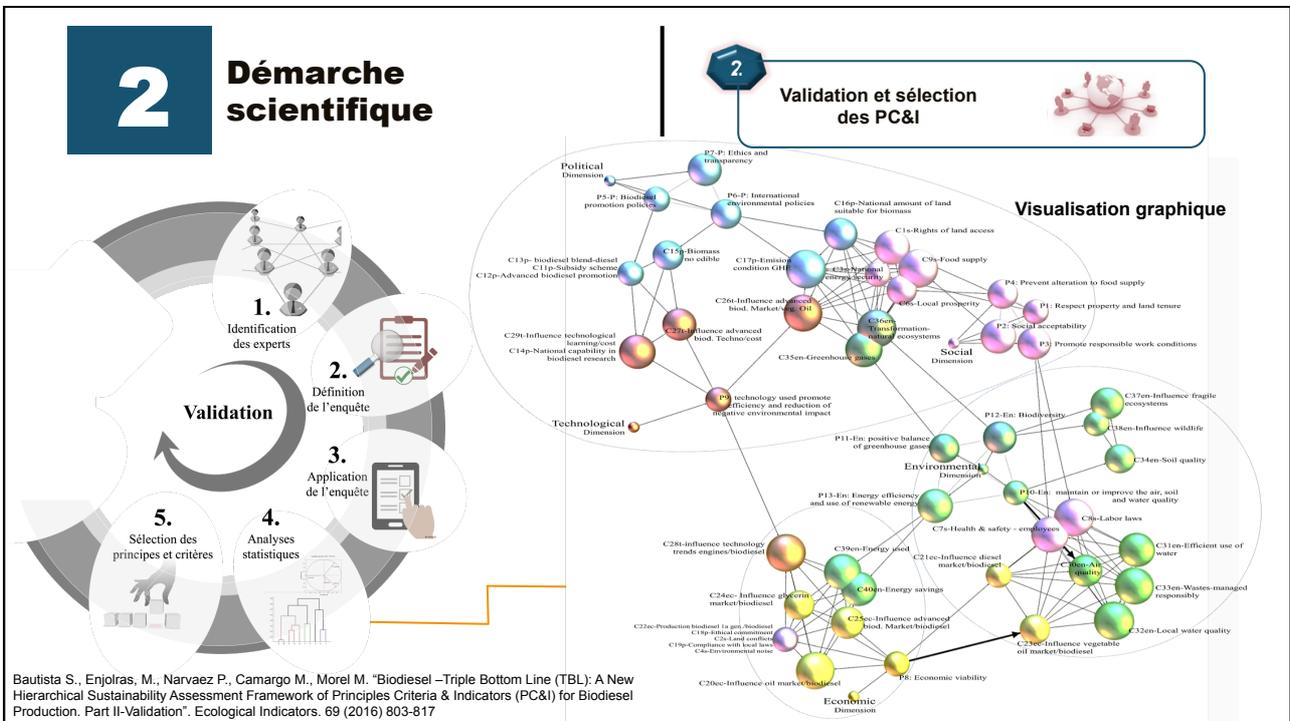
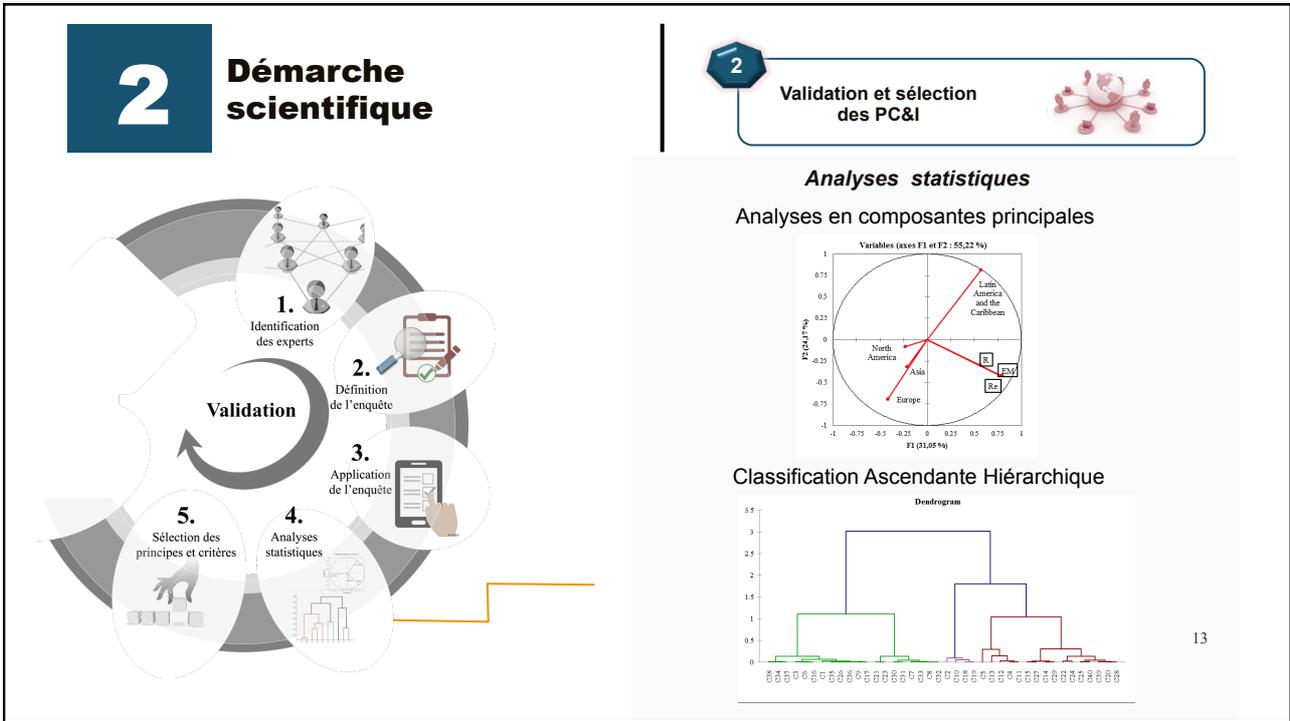


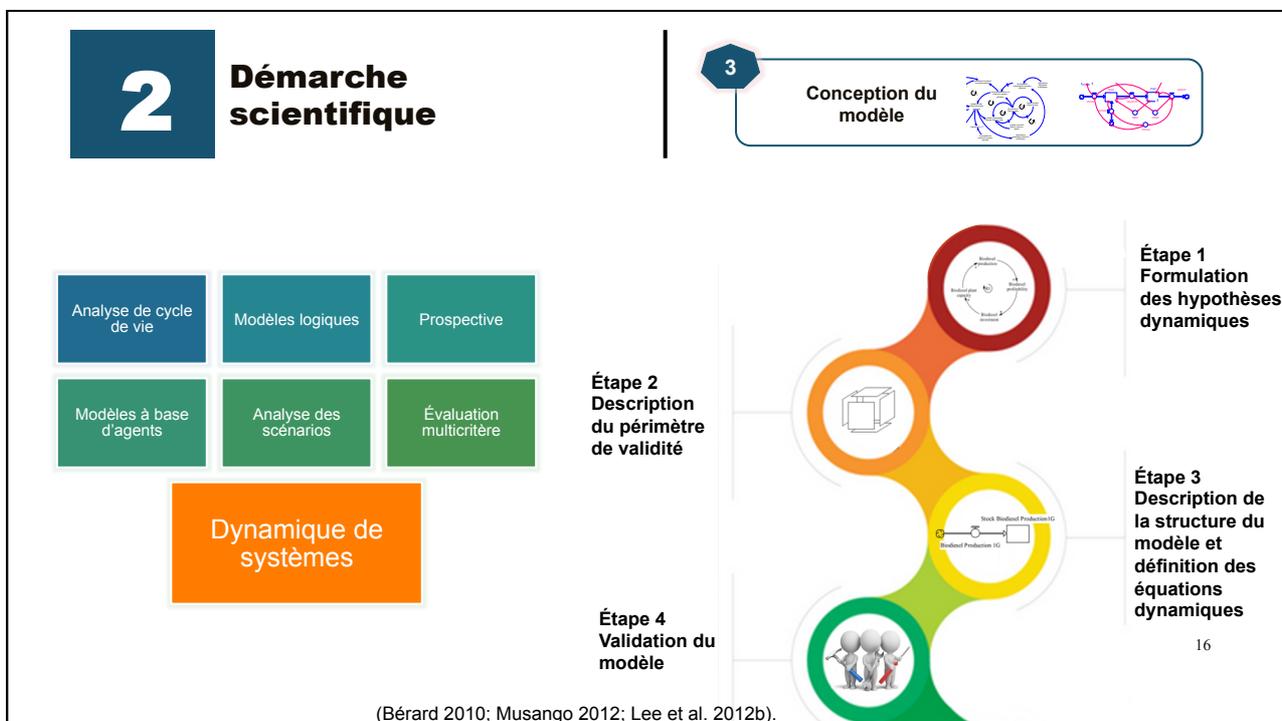
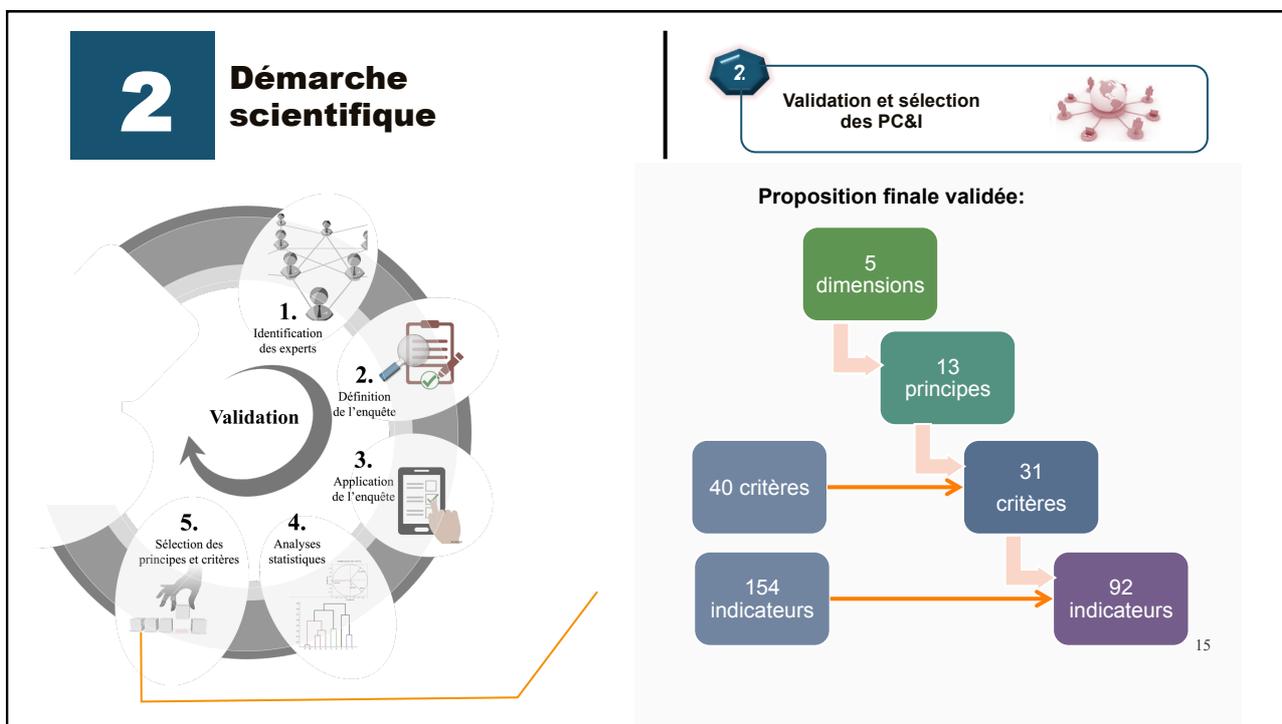
Profil général des experts



(62 réponses)





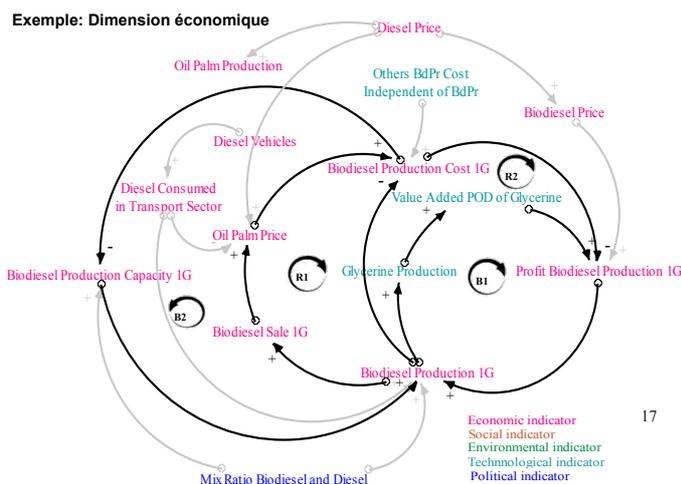
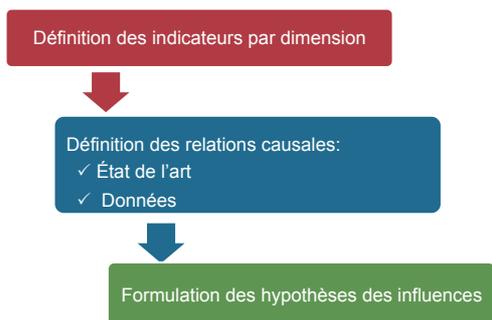


## 2 Démarche scientifique

3 Conception du modèle

### Etape 1. Formulation des hypothèses dynamiques

Cycles de boucles causales (CBC) - 5  
Comment sont définies les CBC?



17

## 2 Démarche scientifique

3 Conception du modèle

### Etape 2. Description du périmètre de validité

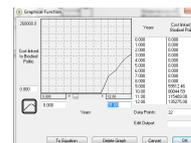
#### 1 Définition des conditions internes du modèle

**Indicateurs endogènes:** Sont calculés par le biais d'équations (92 indicateurs endogènes)

#### 2 Définition des conditions externes du modèle

**Indicateurs exogènes:** Sont définis par les conditions extérieures (81 indicateurs exogènes), et ils peuvent être représentés par:

- Constantes
- Fonctions temps
- Fonctions graphiques



18

# 2

## Démarche scientifique

### 3

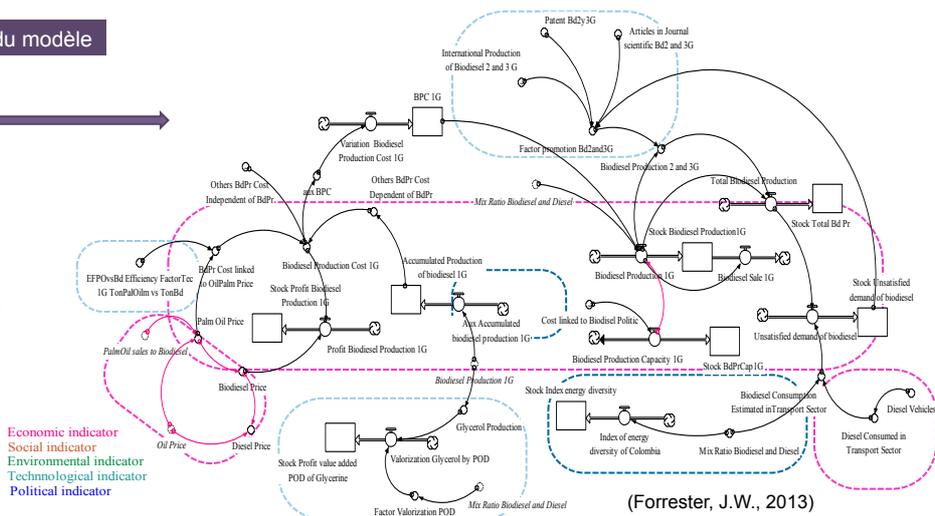
### Conception du modèle

#### Etape 3. Description de la structure du modèle et définition des équations dynamiques

#### 1 Description de la structure du modèle

Six sous-modèles:

1. La production du biodiesel
2. La terre et la société
3. L'efficacité énergétique
4. La demande en eau
5. La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le cycle de vie du biodiesel
6. L'émission de polluants qui affectent la qualité de l'air



(Forrester, J.W., 2013)

# 2

## Démarche scientifique

### 3

### Conception du modèle

#### Etape 3. Description de la structure du modèle et définition des équations dynamiques

#### 1 Description de la structure du modèle

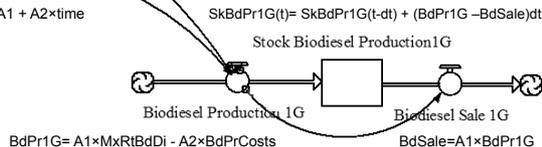
Six sous-modèles:

1. La production du biodiesel
2. La terre et la société
3. L'efficacité énergétique
4. La demande en eau
5. La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le cycle de vie du biodiesel
6. L'émission de polluants qui affectent la qualité de l'air

$$BdPrCosts = OthBdPrCostIndPr + OthBdPrCostsDepPr + BdPrCostsPalmOilPrice$$

BPC 1G

$$MxRtBdDi = -A1 + A2 \times time$$



#### 2 Définition des équations dynamiques

20

(Forrester, J.W., 2013)

## 2 Démarche scientifique

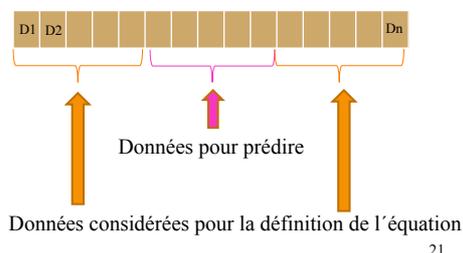
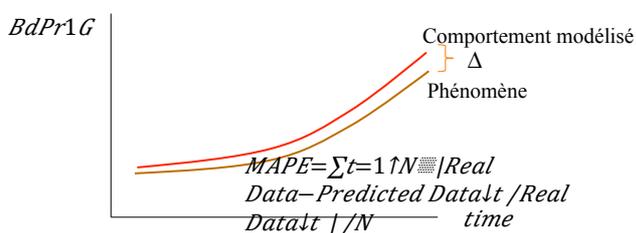
3 Conception du modèle

### Etape 4. Validation de la robustesse du modèle

**Pourcentage d'erreur moyen absolu (MAPE):**  
 Mesure la correspondance entre les comportements et entre les phénomènes

**Validation croisée**  
 L'objectif de la validation croisée est de savoir si la structure de l'équation de régression est capable de prédire les données qui ont été considérées

$$BdPr1G = A1 \times MxRtBdDi - A2 \times BdPrCosts$$



(Barlas 1989; Barlas 1994)

(Karaman et al. 2013; Kleijnen 1995; Picard & Cook 2012; Steyerberg et al. 2001)

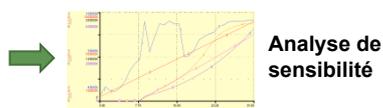
## 2 Démarche scientifique

4 Elaboration de scénarios de durabilité

**Scénario de référence**

Bases de données 1999-2013

Statuts QO 2014-2030



Indicateurs exogènes → Indicateurs endogènes

Sélection des indicateurs exogènes pouvant être influencés par la politique colombienne et les décisions gouvernementales

**Scénario optimiste**

Projection → 2014-2030

**Scénario pessimiste**

Basé sur les résultats de l'analyse de sensibilité, les **conditions d'entrée** des indicateurs qui **favorisent** ou **pénalisent** la production de biodiesel durable sont identifiés

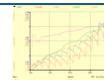
22

# 2

## Démarche scientifique

4

Elaboration de scénarios de durabilité



### Analyse de sensibilité

		Endogènes								
		Biodiesel production	Palm oil production	Profit biodiesel	Quality of employment	Food security	GHG saving	NER	Water scarcity	Pollution emission
Exogènes	Oil price	Non sensitive	High positive	High positive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive
	Diesel vehicles	Non sensitive	Low positive	Non sensitive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive	High positive	High positive
	Employment factor	Non sensitive	Low positive	Non sensitive	High positive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive	Non sensitive
	Cost liked biodiesel politics	High positive	High positive	High positive	Non sensitive	No sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive
	Agrochemical factor	Non sensitive	High negative	Non sensitive	High positive	High Negative	High positive	High positive	High positive	Non sensitive
	Mix ratio	High positive	High positive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive	Low positive
	Efficiency factor	Non sensitive	Low positive	High positive	Non sensitive	Non sensitive	High positive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive
	Land use change factor	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive	High negative	Non sensitive	Non sensitive	Non sensitive

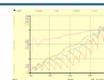
23

# 2

## Démarche scientifique

4

Elaboration de scénarios de durabilité



### Conditions de projection 2014 - 2030

Scénario de référence

Exogènes
Oil price
Diesel vehicles
Employment factor
Cost liked biodiesel politics
Agrochemical factor
Mix ratio
Efficiency factor
Land use change factor

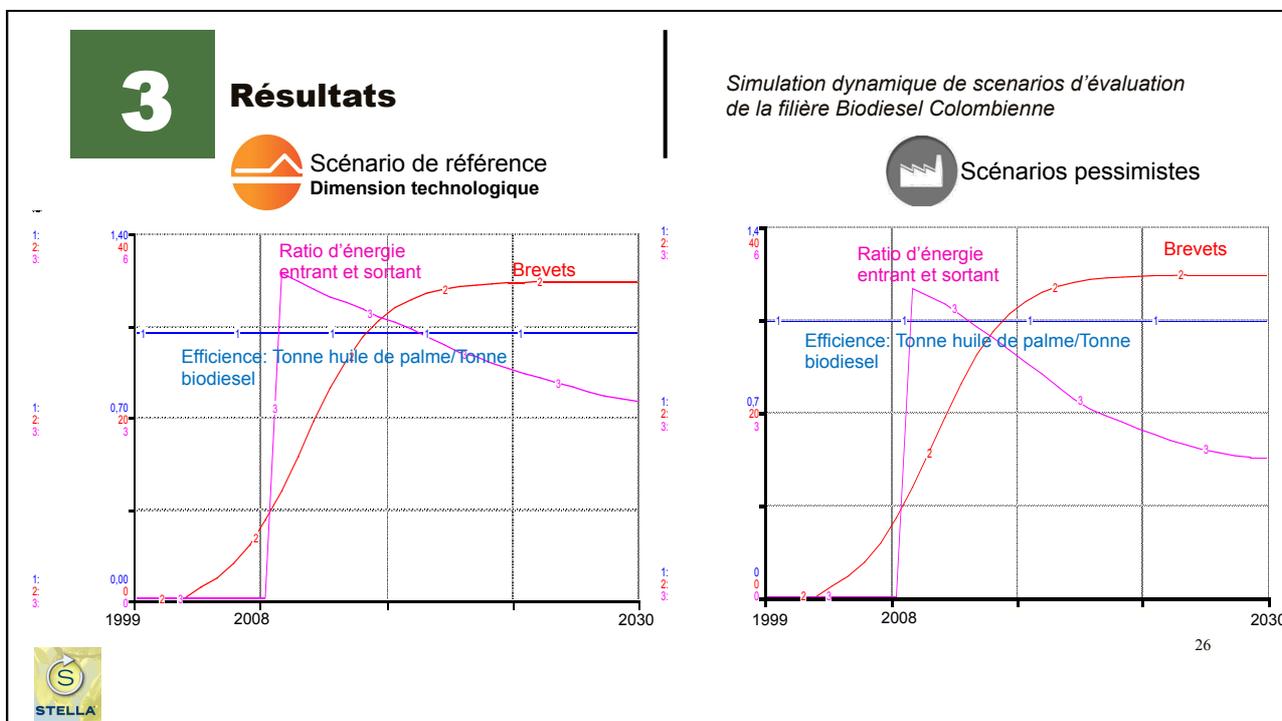
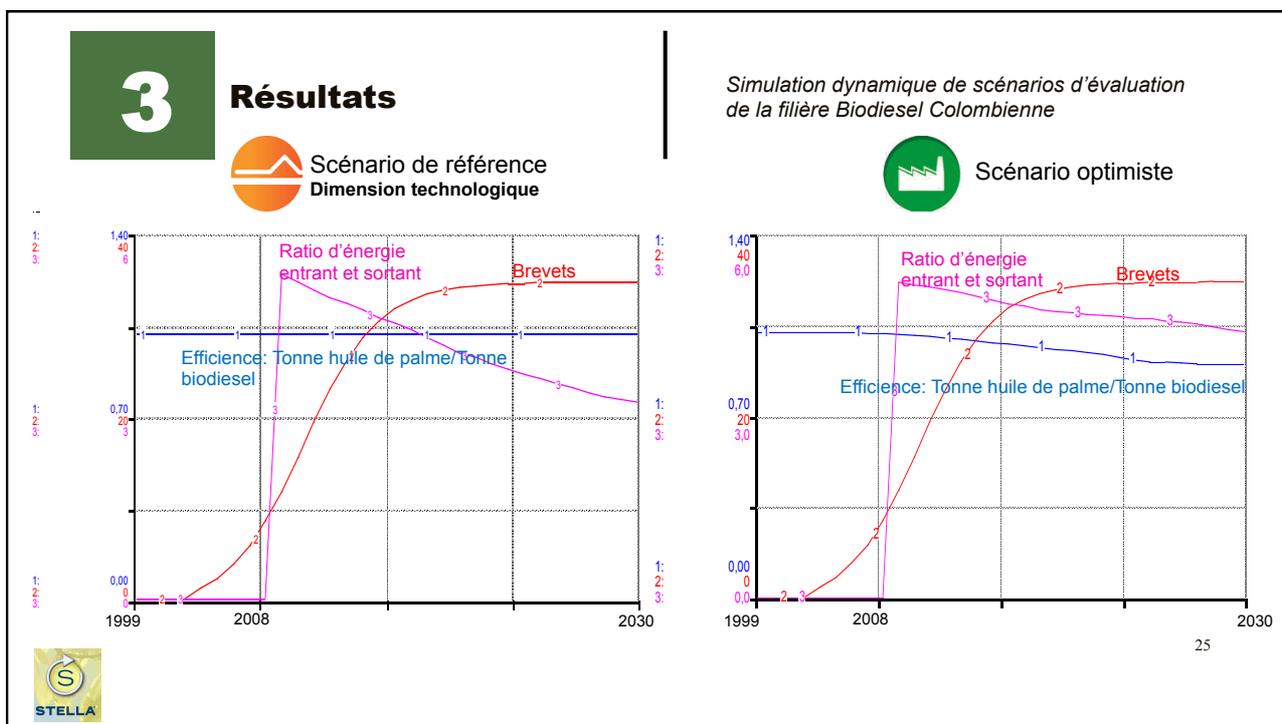


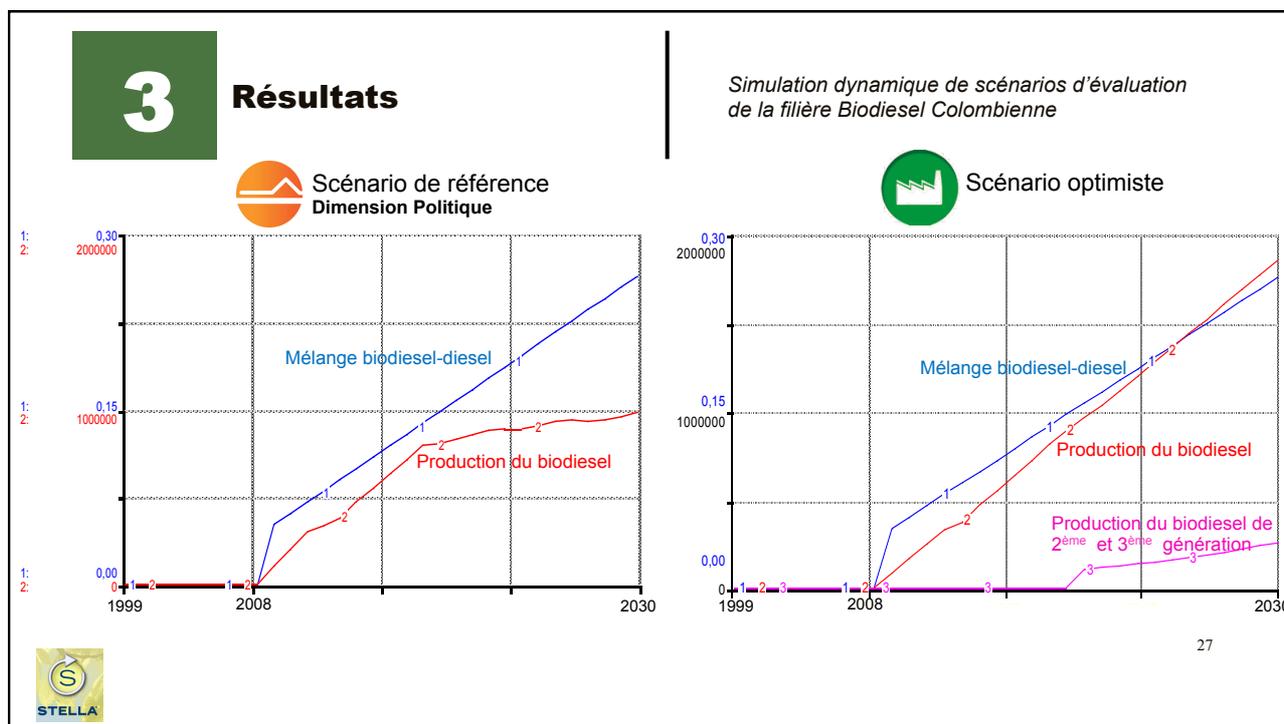
Scénario optimiste
Augmente
Augmente
Augmente
Augmente
Diminue
Augmente à 25%
Augmente
Diminue



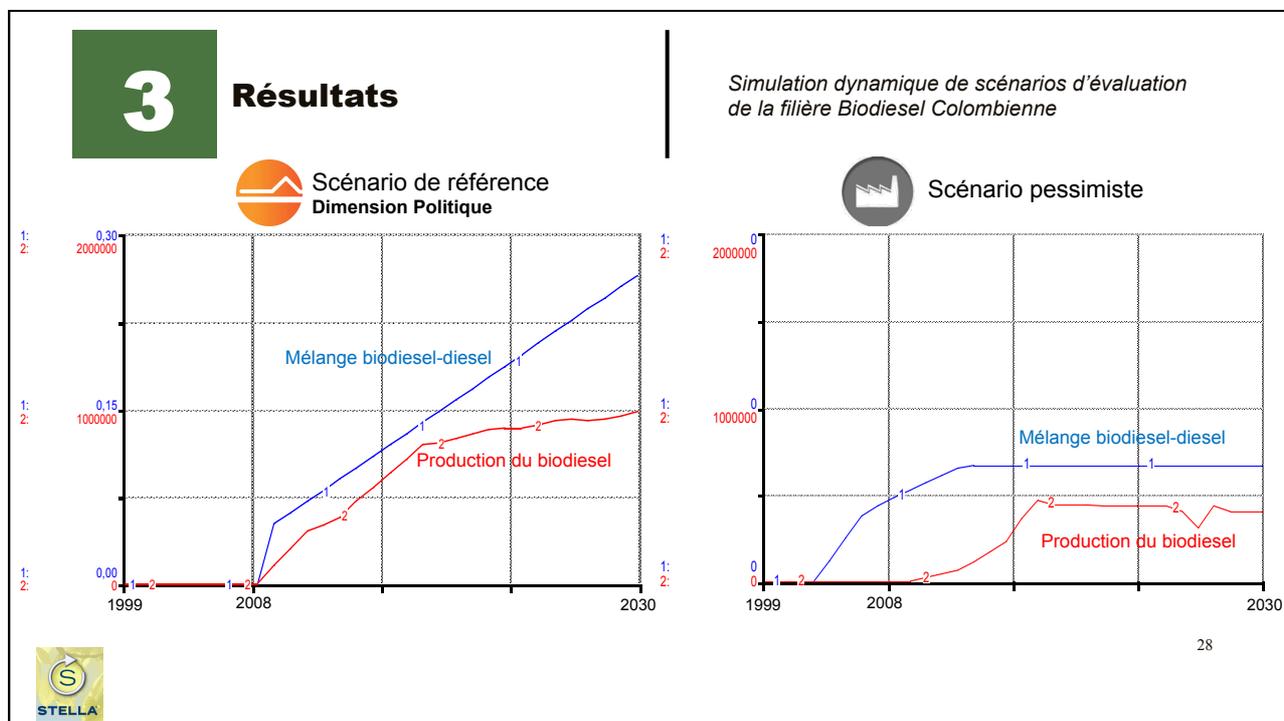
Scénario pessimiste
Diminue
Diminue
Diminue
n'existe pas
Augmente
10%
Diminue
Augmente

24





27



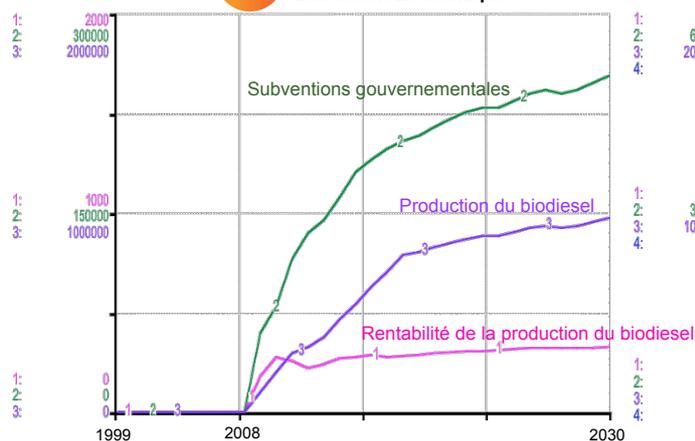
28

# 3

## Résultats



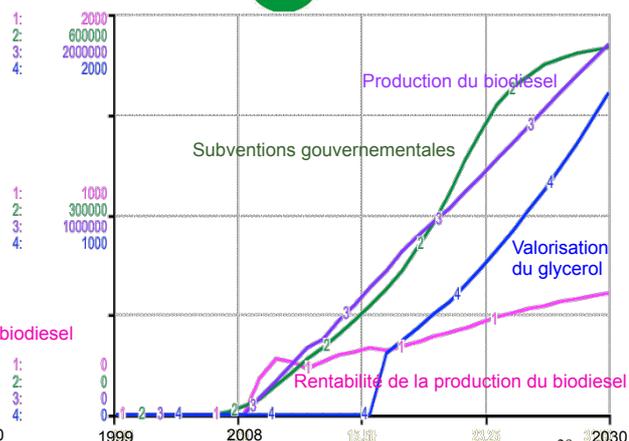
Scénario de référence  
Dimension Economique



Simulation dynamique de scénarios d'évaluation de la filière Biodiesel Colombienne



Scénario optimiste

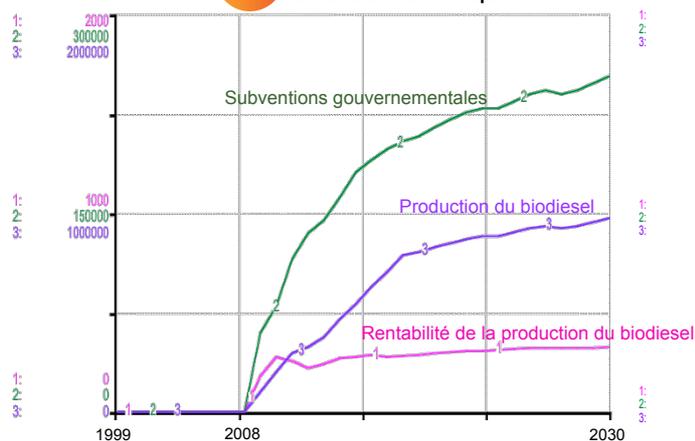


# 3

## Résultats



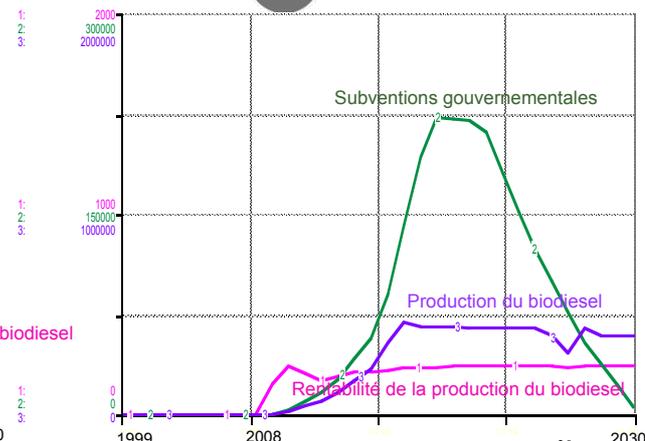
Scénario de référence  
Dimension Economique

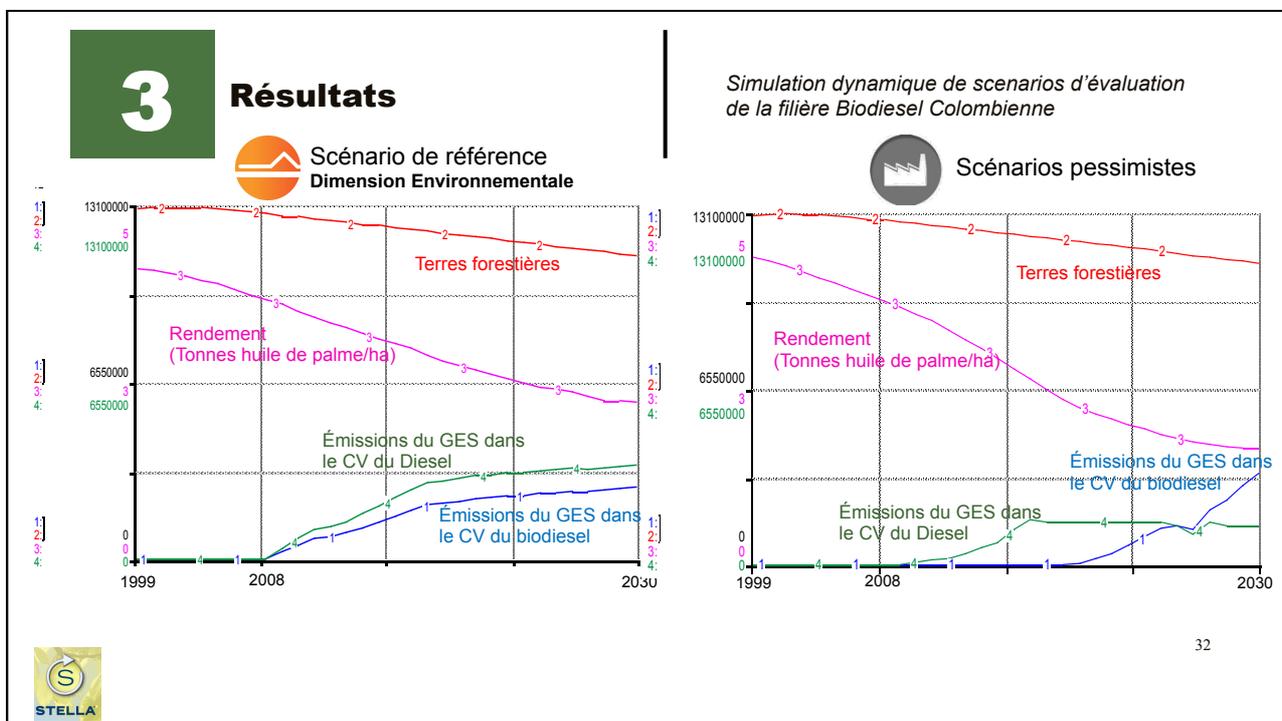
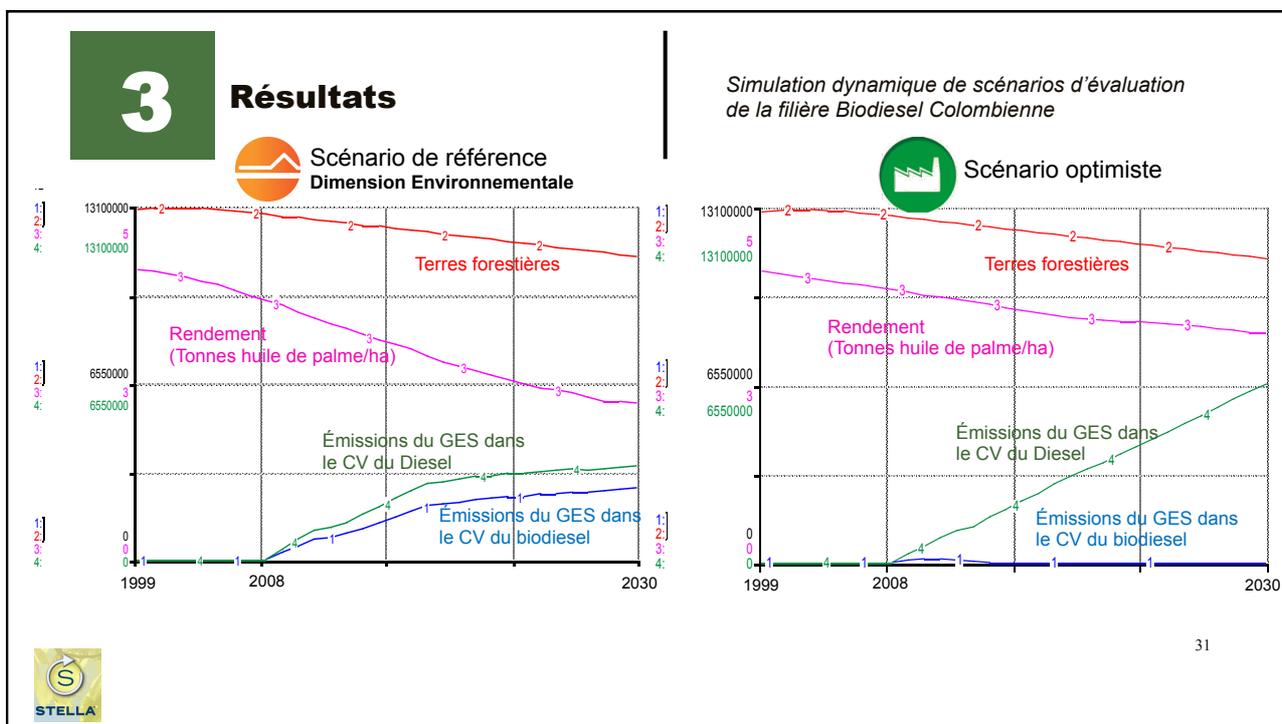


Simulation dynamique de scénarios d'évaluation de la filière Biodiesel Colombienne



Scénario pessimiste



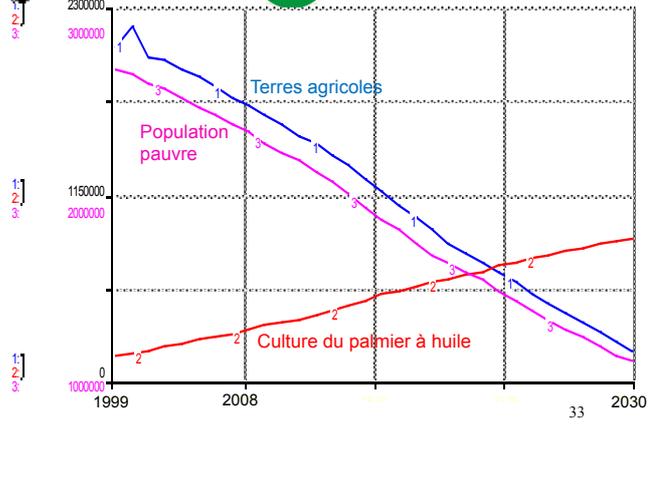
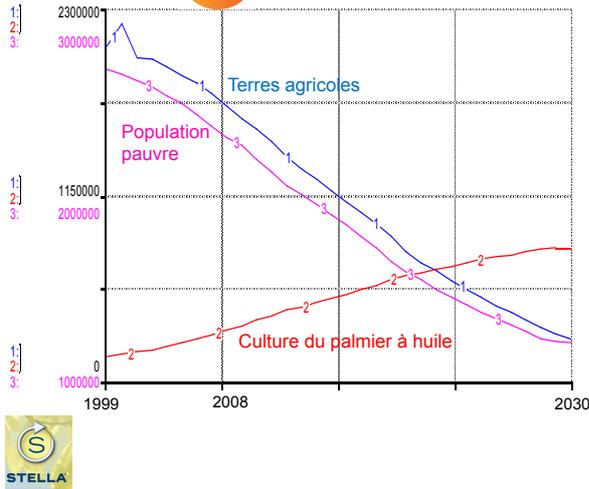


### 3 Résultats

Simulation dynamique de scénarios d'évaluation de la filière Biodiesel Colombienne

Scénario de référence  
Dimension Sociale

Scénario optimiste

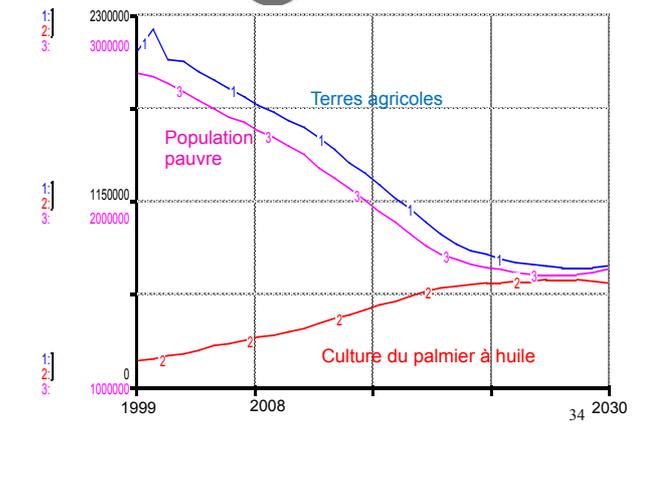
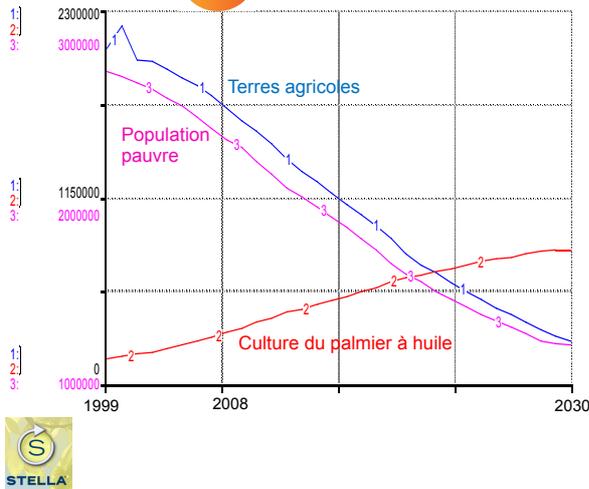


### 3 Résultats

Simulation dynamique de scénarios d'évaluation de la filière Biodiesel Colombienne

Scénario de référence  
Dimension Sociale

Scénarios pessimistes



# 4

## Conclusion

*Générale de la recherche*

Vers une approche transdisciplinaire du développement et appropriation d'une technologie sur un territoire

Vision holistique, mais modèles intensives en données historiques, une part de subjectivité qui doivent être ajustés et validés de manière itérative.

35