



# Les indicateurs de développement durable : l'apport de l'analyse factorielle multiple

JMS – Session 5 – Analyse des données

Michel David (SOeS)  
Vincent Marcus (INSEE)





# Introduction

- › Deux dates fondatrices dans l'élaboration et l'émergence de la notion de développement durable :
  - 1987 : Rapport Bruntland *Our Future*
  - 1992 : Sommet de la Terre à Rio
- › « *un développement qui permette de satisfaire les besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs* »
- › « *un développement économiquement efficace, socialement équitable, écologiquement soutenable* » (les 3 « piliers »)
- › ...Restait un formidable besoin d'information quantitative pour orienter l'action publique et évaluer ses effets
- › A partir des années 1990, réflexion sur les indicateurs de développement durable



# Introduction

- › On élabore notamment des tableaux de bord du développement durable (ONU, UE, niveau national, régional...)
- › un ensemble organisé (thématique, hiérarchisé) d'indicateurs statistiques nombreux (118 pour l'UE)
  - **8 « défis » déclinés en 10 thèmes et sous-thèmes**
  - **3 niveaux d'indicateurs (1,2,3)**
    - niveau 1 : «...ayant le plus grand pouvoir de communication »
    - niveau 2 ou 3 : « plus opérationnels », mais souvent décomposition d'un indicateur du niveau 2 (structure relative)
- › **souvent reliés à des objectifs politiques :**
  - **Kyoto : réduction des gaz à effet de serre (GES)**
  - **Paquet énergie-climat : part des énergies renouvelables**
  - **Millenium Goals : part de l'aide au développement**
- › *Autres approches* : indicateurs composites, agrégats de comptabilité nationale « corrigés » (e.g : Genuine Savings), empreinte écologique...



# Introduction :

## Défi « prospérité économique »

### › Niveau 1

- taux de croissance du PIB réel par habitant

### › Niveau 2

- taux d'investissement public et privé (en % PIB)
- évolution de la productivité horaire du travail
- taux d'emploi

### › Niveau 3

- écart de PIB intra-régional, RNB/PIB, Taux d'épargne
- dépenses de R&D, Compétitivité-prix à l'export, intensité énergétique du PIB
- écart de taux d'emploi par sexe, par niveau de diplôme, par région et écart de taux de chômage par sexe et par âge (jeunes/>25ans)



# Introduction :

## Défi « changement climatique »

### › Niveau 1

- émissions de gaz à effet de serre ( / cible Kyoto)
- part des énergies renouvelables dans la conso d'énergie

### › Niveau 2

- émissions de GES par secteurs (transports, habitat...)
- dépendance énergétique (ratio import sur conso)

### › Niveau 3

- ratio GES / conso énergie, projections des GES, température moyenne à la surface de la terre
- consommation intérieure d'énergie par type de combustible,
- part de l'électricité produite issue d'énergies renouvelables
- part de l'électricité produite en cogénération
- taux d'imposition apparent sur l'énergie (ratio recettes/conso énergie)



# Plan

- › **Le « phare » cache-t-il la côte ?**
- › **Une méthode pour l'analyse des « piliers » : l'analyse factorielle multiple (AFM)**
- › **Résultats**
- › **Conclusion**



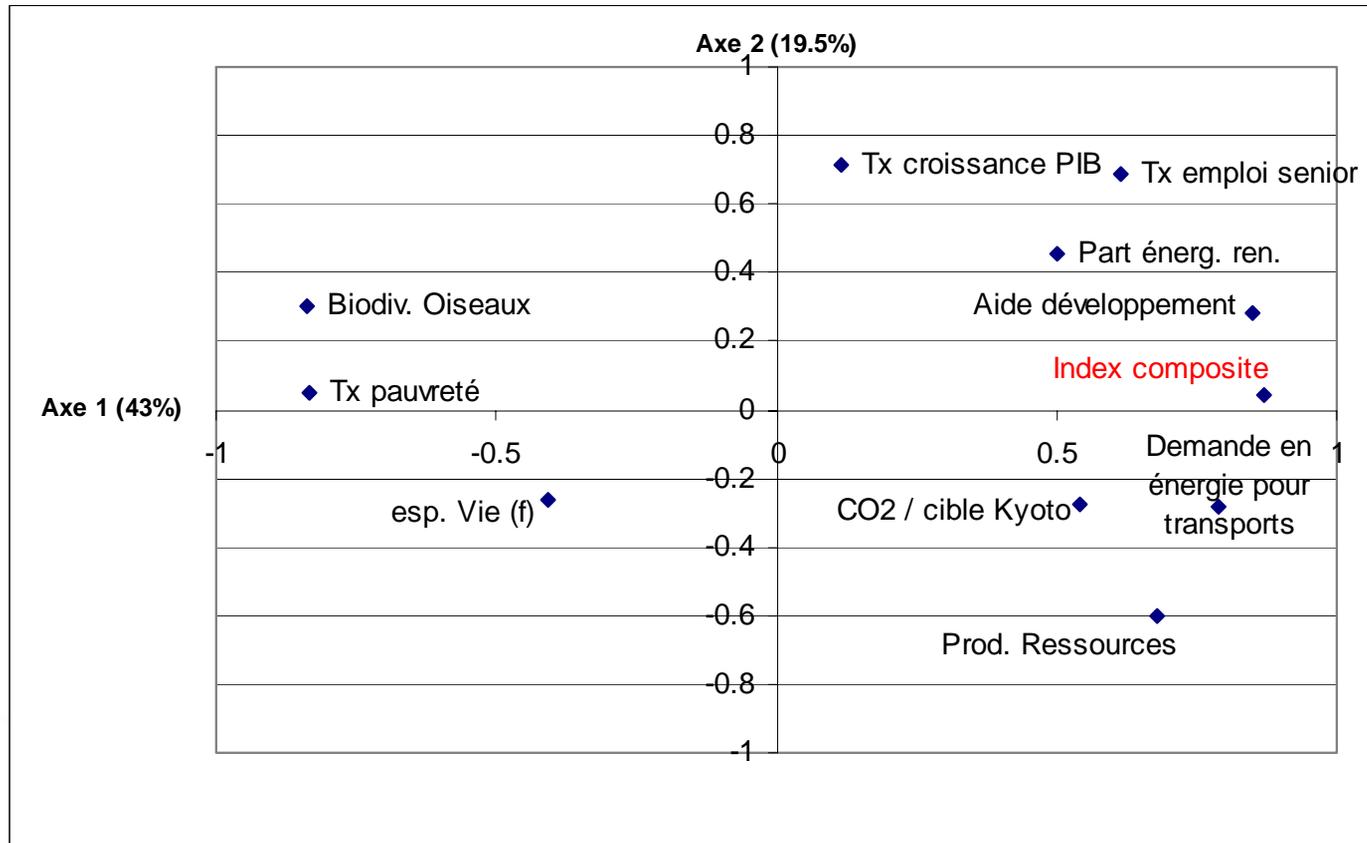
# Les indicateurs de niveau 1 (« phares »)

- › Développement économique
  - **Taux de croissance du PIB réel par habitant**
- › Consommation et production durable
  - **Consommation de matières par unité de PIB**
- › Inclusion sociale
  - **Taux de pauvreté**
- › Changements démographiques
  - **Taux d'emploi des seniors (55-64)**
- › Santé publique
  - **Espérance de vie en bonne santé (H et F)**
- › Changement climatique
  - **Emissions de GES et part des énergies renouvelables**
- › Transport durable
  - **Consommation énergétique des transports (normalisée)**
- › Ressources naturelles
  - **Indice d'abondance des oiseaux communs**
- › Partenariat global
  - **Aide publique au développement / RNB**

Page 7

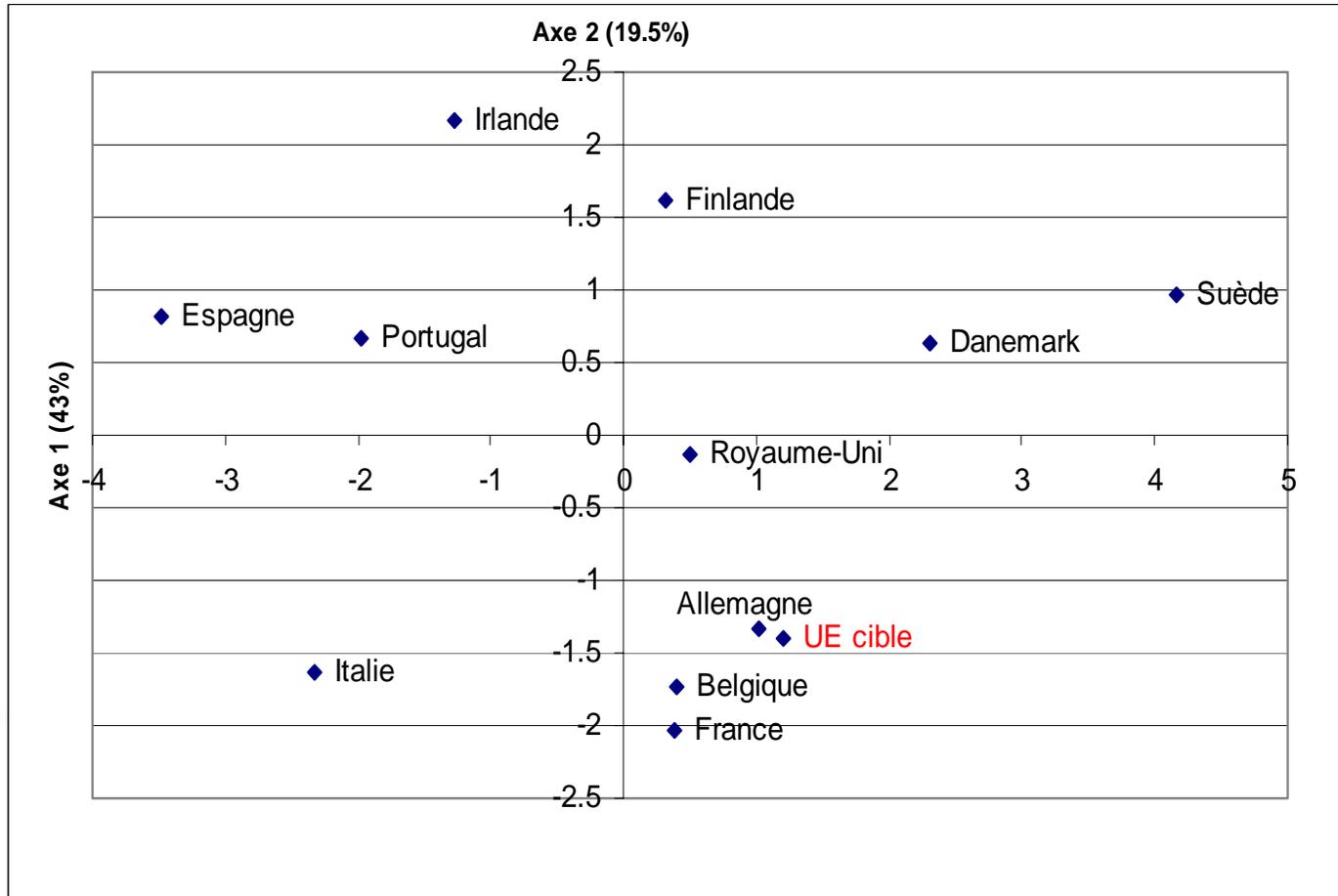


# ACP « statique » sur niveau 1 (UE15), variables



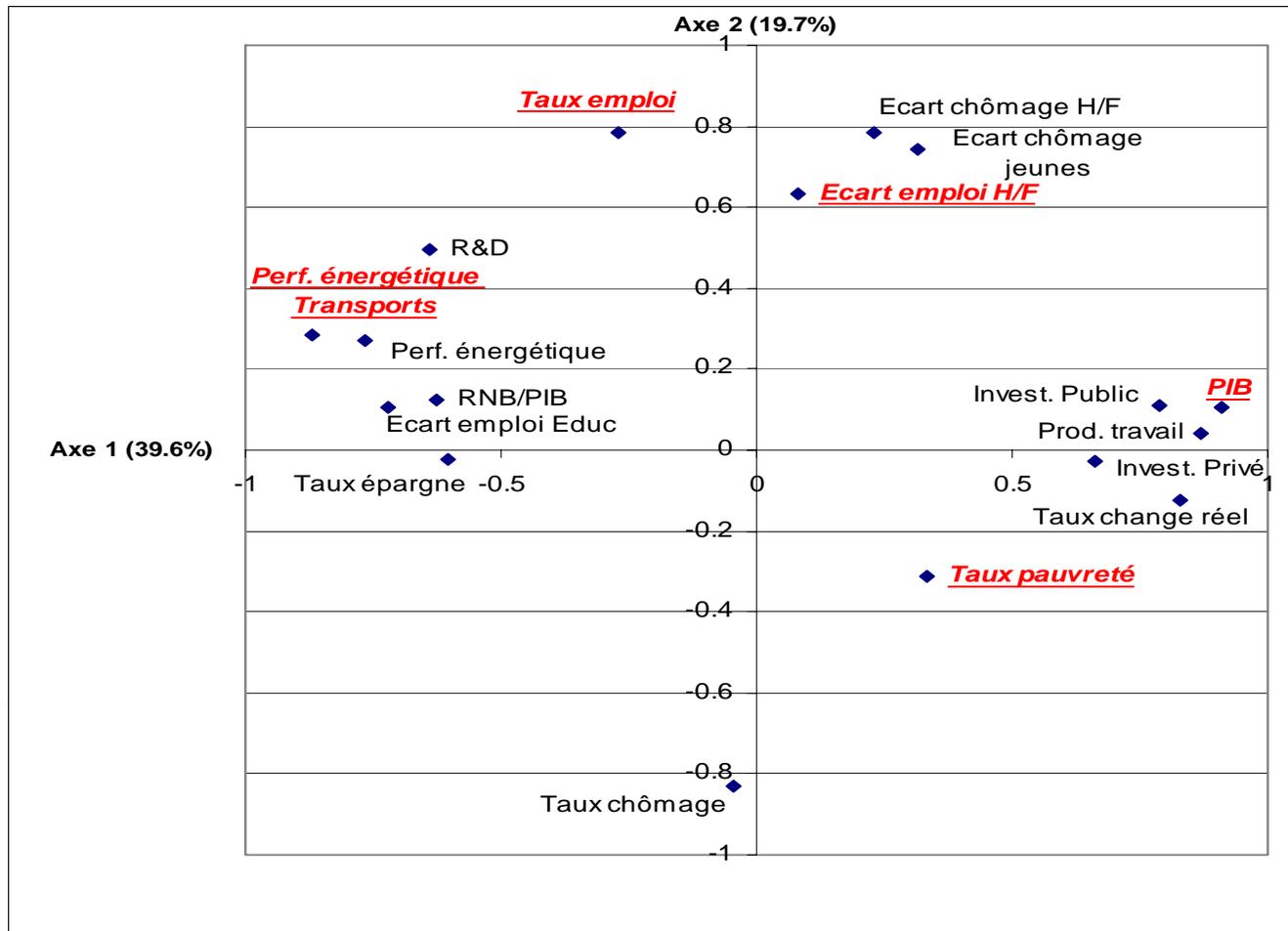


# ACP « statique » sur niveau 1 (UE15), Pays



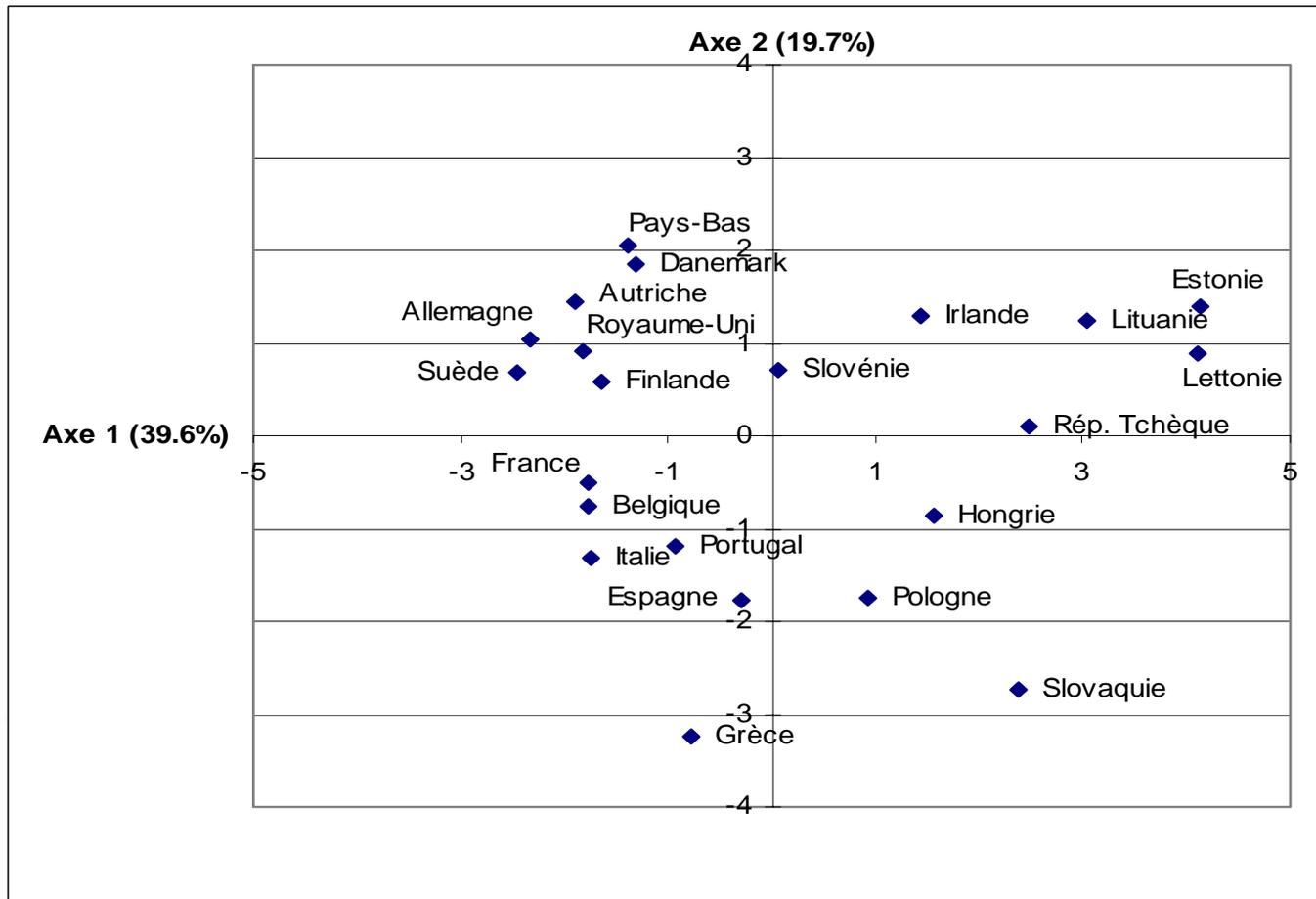
# ACP « statique » sur niveaux 2 et 3 (Thème Croissance)

variables (rouge=supp.)



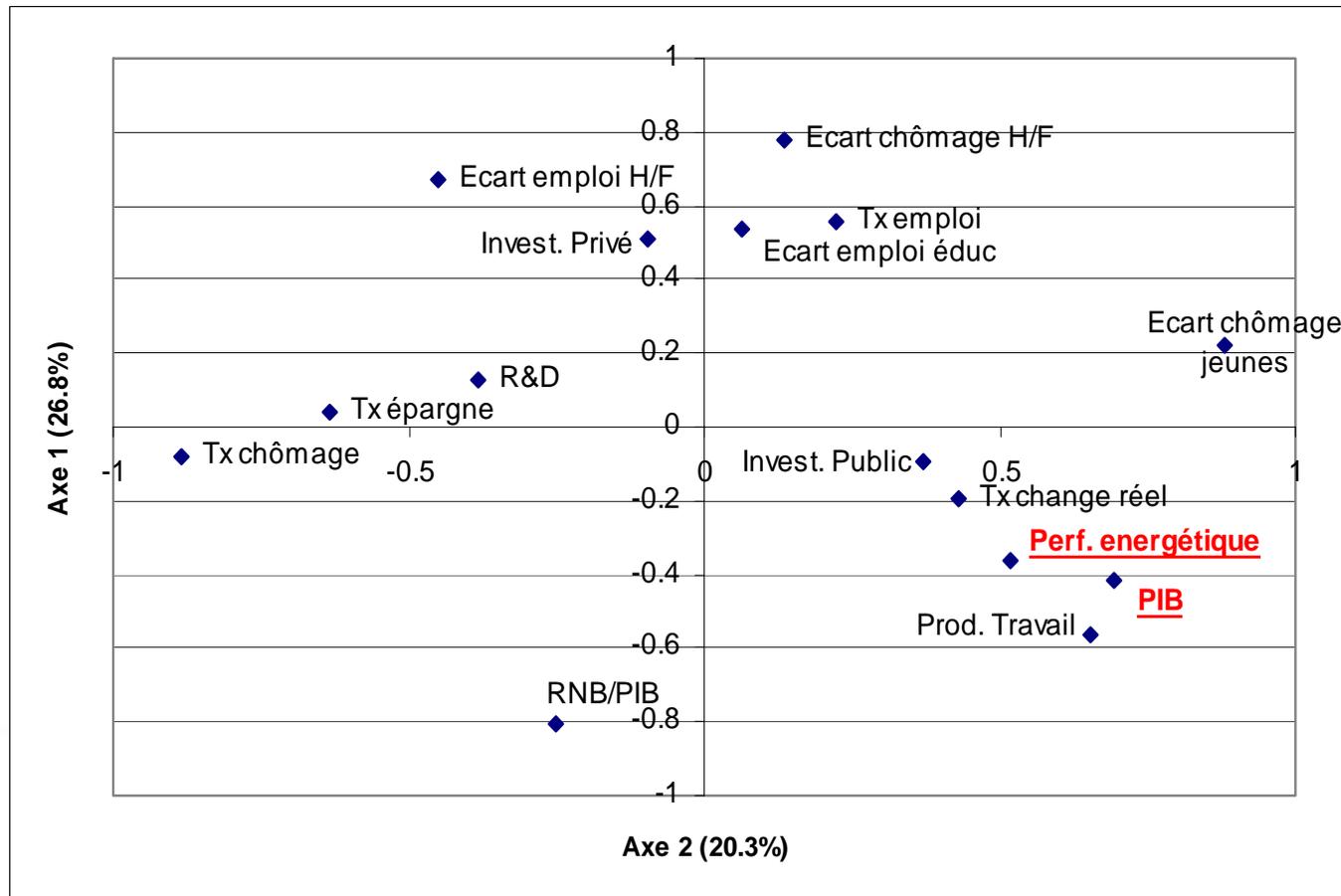


# ACP « statique » sur niveaux 2 et 3 (Thème Croissance) pays

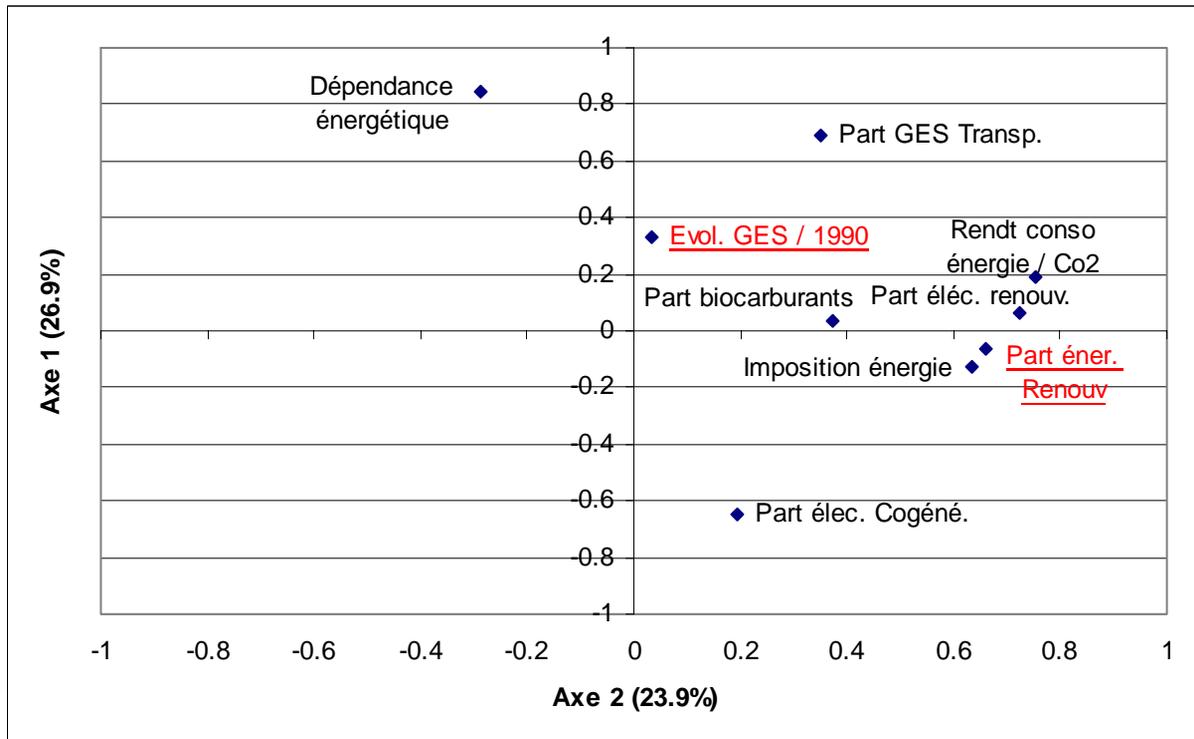




# ACP « dynamique » sur niveaux 2 et 3 (Thème Croissance) variables (rouge=supp.)



# ACP « statique » sur niveaux 2 et 3, (Thème climat) variables (rouge=supp.)





# Les indicateurs de niveau 1 (« phares »)

- › **Conclusion 1**
  - analyser les indicateurs de niveau 1 ne suffit pas
  - analyser l'ensemble (1+ niveaux 2 et 3)
- › Mais ensemble vaste et hétéroclite
- › On souhaiterait conserver une analyse par thèmes si suffisamment d'indicateurs par thème ou par piliers (éco, socio, environnemental)
- › **L'analyse factorielle multiple (AFM)** est une extension de l'ACP (sur variables quantitatives) qui ajoute une dimension « groupe de variables » (=pilier pour nous) aux deux dimensions usuelles individus et variables
- › **Conclusion 2**
  - double analyse statique et dynamique
- › Représentation adaptée avec :
  - analyse factorielle statique sur la dernière année observée
  - projection de l'année de départ en supplémentaire



# Analyse factorielle multiple

## *Equilibrer* les « piliers » du développement durable

- › des individus, des variables...et des groupes de variables qui ont une signification (cf thème ou pilier)
- › Si un groupe de variables « pèse » plus que d'autres, alors l'ACP sur l'ensemble des variables (ignorant les groupes) sera fortement influencé par ce groupe
- › Un groupe « pèse » en fonction :
  - du nombre de variables du groupe
  - de la structure de corrélation des variables du groupe
- › Principe de l'AFM : normalisation des inerties de chaque groupe
  - **pour un groupe donné, chaque variable est pondérée par l'inverse de l'inertie de la 1ère composante principale du groupe**
  - **ACP sur le nuage des variables ainsi pondérées**



# Analyse factorielle multiple

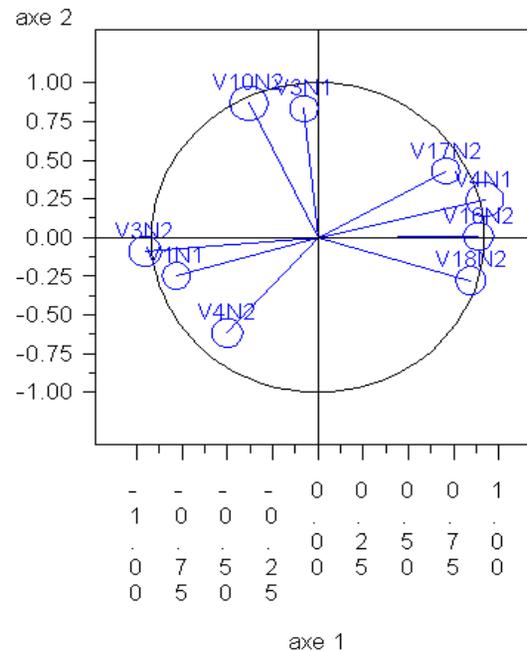
*Analyser* les « piliers » du développement durable

- › **Représentation d'un groupe sur les axes de l'AFM :**
  - coordonnée sur l'axe ( $0 < c < 1$ ) = inertie cumulée des variables du groupe sur cet axe
  - mesure l'importance du facteur comme axe d'inertie du groupe
  - mesure de la liaison entre le groupe et l'axe
  - en supp. : les composantes principales de chaque groupe
- › **Représentation des individus caractérisés par groupe :**
  - un groupe est un sous-espace particulier de l'espace des variables qui peut être projeté (supp.) sur les axes factoriels de l'AFM
  - une transformation invariante permet de représenter un individu au barycentre des différents groupes



# Résultats : une application de l'AFM

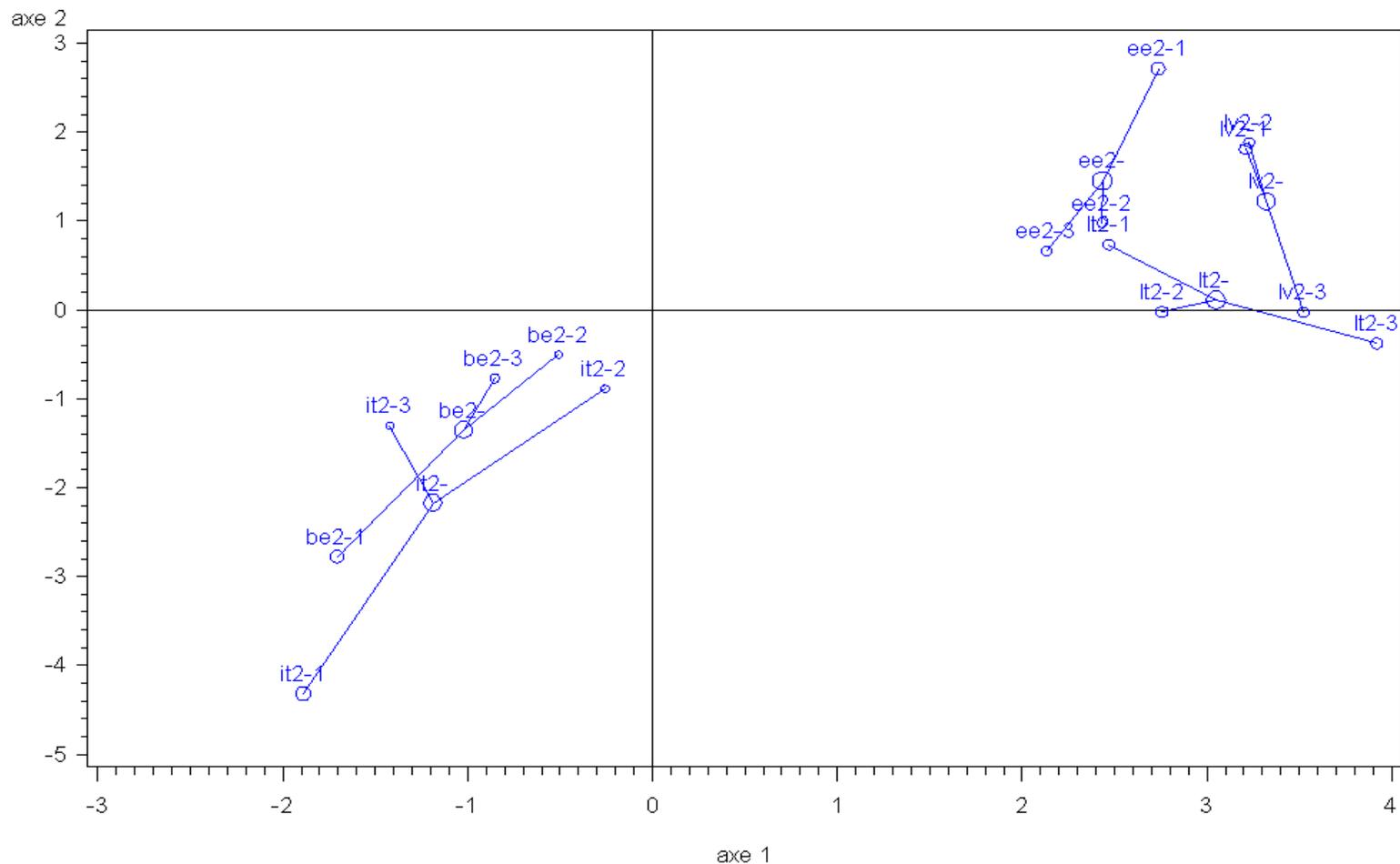
Représentation des variables numériques act -  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan



9 var num act de plus forte CTR

# Résultats : une application de l'AFM

Représentation des individus moyens et partiels actifs  
proportionnelle à la qualité de représentation sur le plan

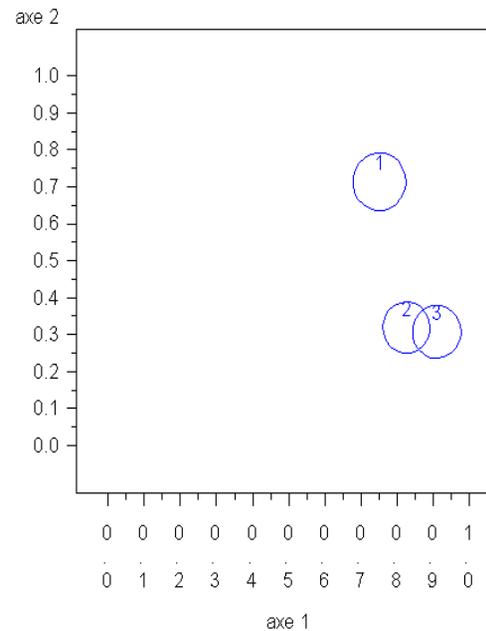


5 individus actifs ayant la plus forte QLT



# Résultats : une application de l'AFM

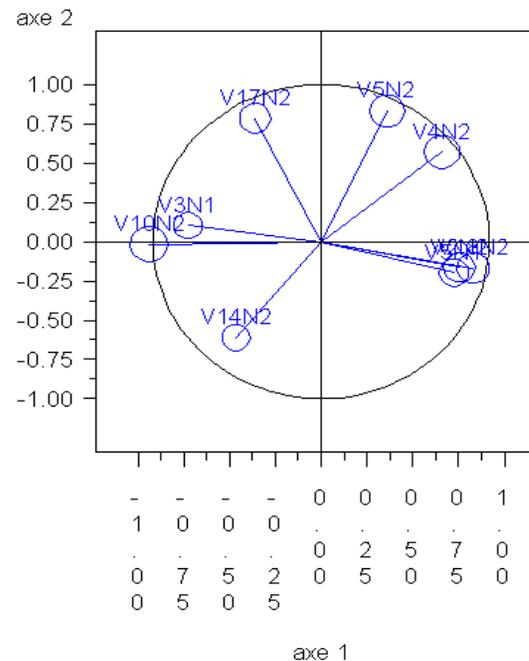
**Représentation des groupes actifs**  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan





# Résultats : une application de l'AFM (UE15)

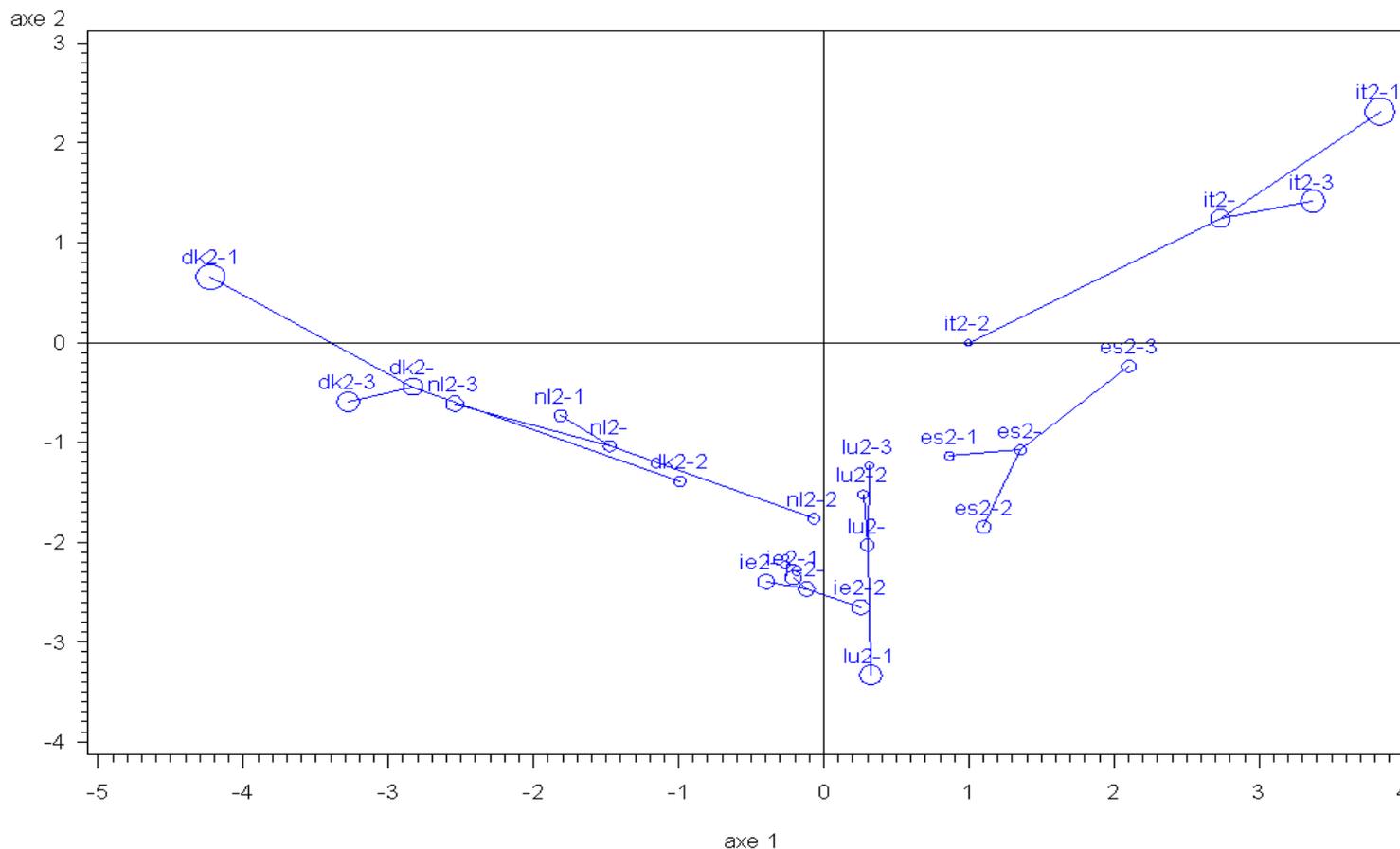
Représentation des variables numériques act -  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan



9 var num act de plus forte CTR

# Résultats : une application de l'AFM (UE15)

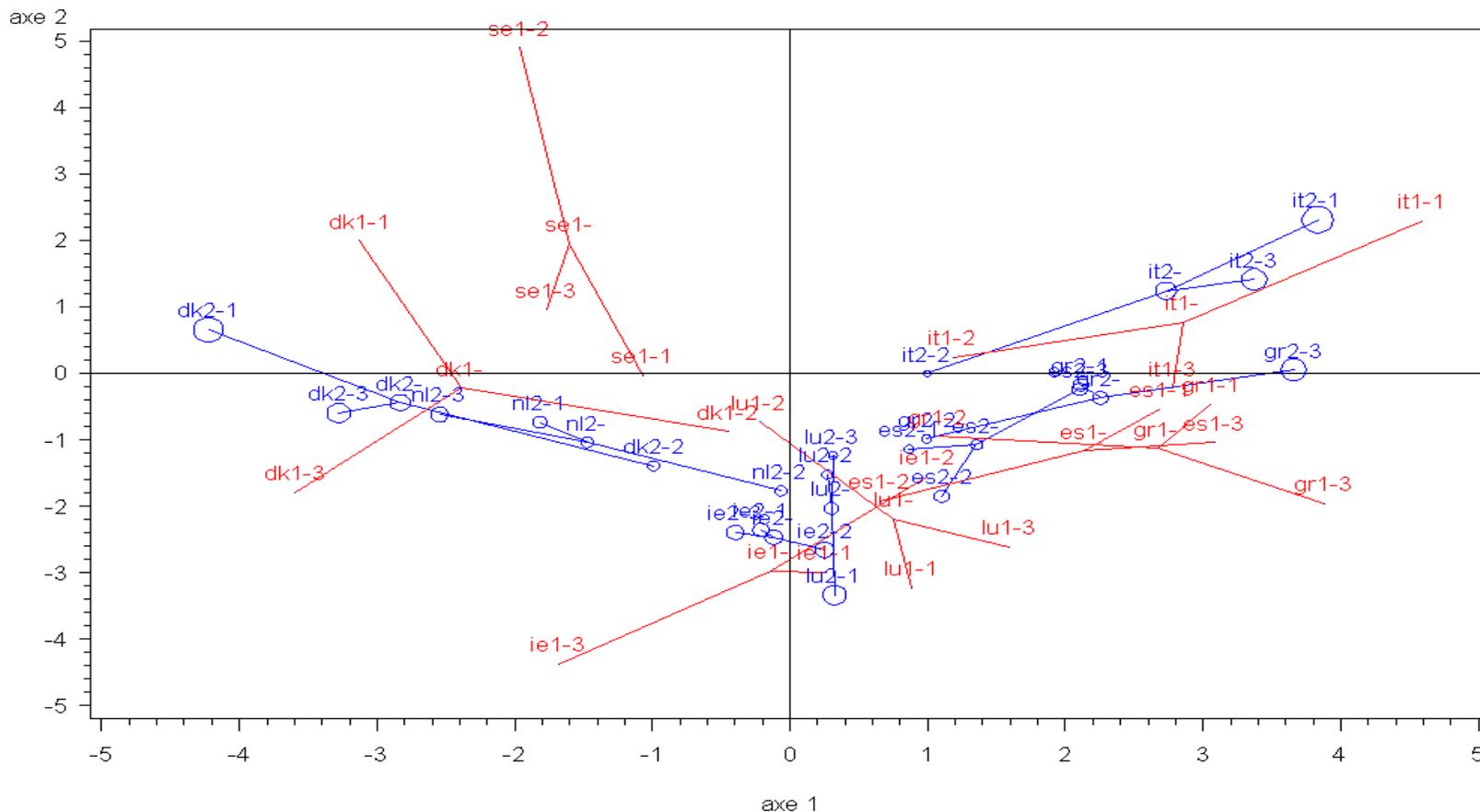
Représentation des individus moyens et partiels actifs  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan



6 individus actifs ayant la plus forte QLT

# Résultats : une application de l'AFM (UE15)

Représentation des individus moyens et partiels actifs et supplémentaires  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan

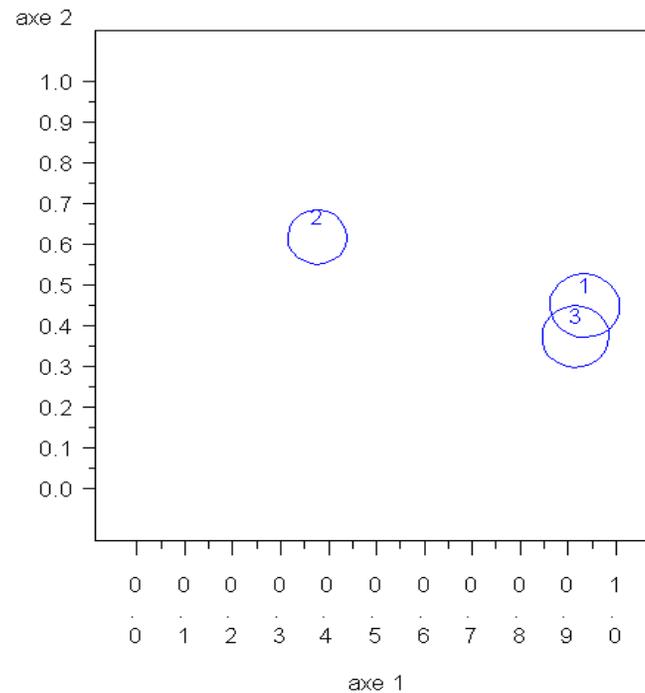


individus supplémentaires en rouge  
7 individus actifs ayant la plus forte QLT    7 individus supplémentaires ayant la plus forte QLT



# Résultats : une application de l'AFM (UE15)

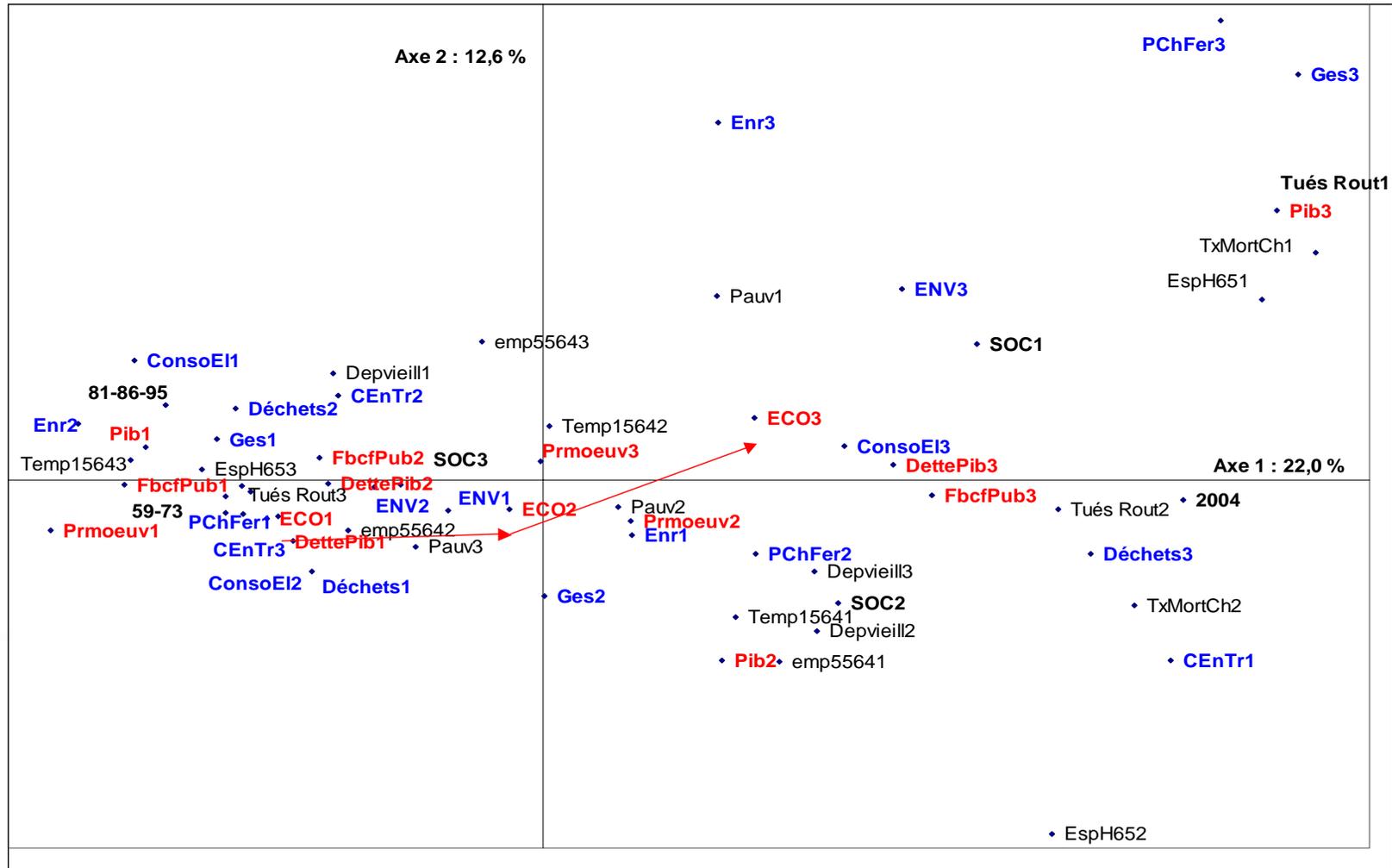
**Représentation des groupes actifs**  
proportionnelle à la contribution à l'inertie expliquée par le plan





# Une représentation alternative :

## ACM après classification et projection des piliers en supp.





# Conclusion

- › **Ambition initiale : élaborer un diagnostic de développement durable avec les outils de l'ADD**
- › **Résultats mitigés :**
- › synthèse souvent difficile, car informations élémentaires très hétérogènes
- › En refusant l'agrégation, on transfère, sans la résoudre, la difficulté méthodologique des valorisations relatives à la phase aval d'interprétation
- › Mais permet de trouver des pistes pour retourner aux indicateurs individuels (ex : tués sur les routes en Lituanie)
- › L'ADD pour un diagnostic du tableau de bord ?
- › **=> Quelques enseignements épistémologiques sur l'élaboration et les usages des tableaux de bord**