Economie de la production de services de transport

Cours d’économie des transports,

Séance 2, octobre 2008

Intérêt d'étudier la structure des coûts

- Pour une entreprise :
  - Être efficace (cost-efficiency)
  - déterminer la tarification,
  - décider les investissements (incertitude).
- Pour un régulateur :
  - Connaître la structure de marché -> régulation
  - En cas de fourniture de service public :
    - Mesurer l'efficacité des entreprises productives de transport
    - Déterminer les prix
    - Négocier les contrats

Objectif de la séance

- Introduire les outils d’analyse de la production de services de transport
- Expliquer le comportement des producteurs de service de transport.
- Proposer des indications sur les moyens de corriger/pallier le fonctionnement du marché lorsque c’est nécessaire.

Plan de la séance

- 0. Définitions préliminaires d'économie industrielle.
- 1. Modélisation de la production.
- 2. Production optimale : la fonction de coût.
- 3. Comportement du producteur.

0. Définitions préliminaires d'économie industrielle

- Agents
  - Producteur
  - Consommateur
- Relations entre les agents
  - Concurrence
  - Complémentarité verticale
  - Complémentatité horizontale
- Cas : analyse systémique simplifiée de la prestation de service logistique.

Producteur

- Le **producteur (producer)** transforme des **facteurs (inputs)** en **produits (outputs)**, ayant pour vocation d'être consommés, ou en déchets.
- Possibilités de transformation = **technologie**.
- Producteur : agent économique (entreprise, individu, institution).
- Exemples :
  - Le conducteur utilise son **véhicule**, du **carburant** et son **temps** afin de produire un **déplacement**.
  - Le transporteur routier utilise ses **chauffeurs**, ses **camions** et du **carburant** et le **temps d'attente** des marchandises afin de transporter des marchandises.

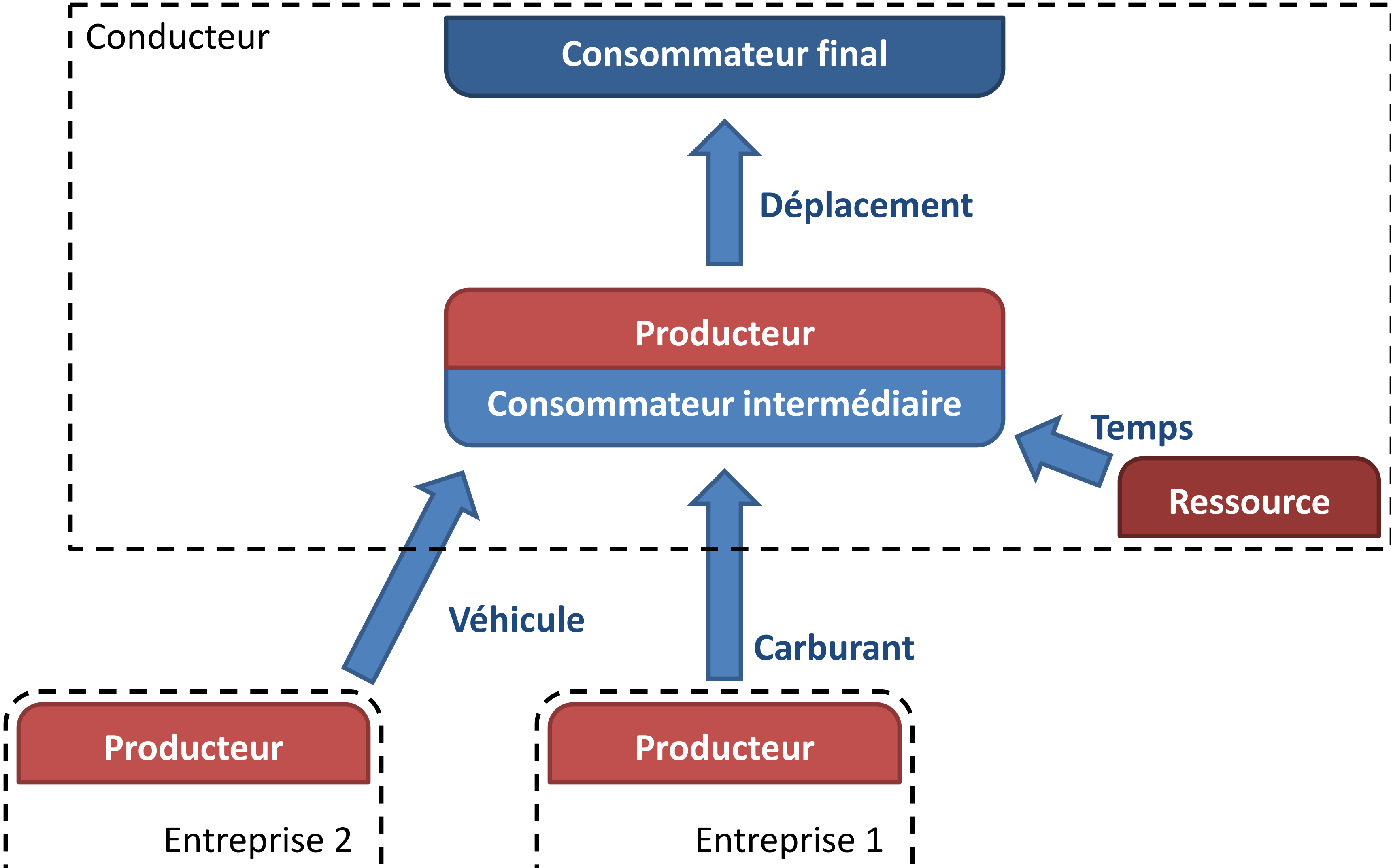
Consommateur

- Le **consommateur (consumer)** utilise des biens ou services.
- Le consommateur a des **préférences** -> utilité
- Consommateur : agent économique. Il peut être le producteur du service qu'il consomme.
- Exemples :
  - Le conducteur consomme le déplacement qu'il produit au moyen de son véhicule, de carburant et de son temps.
  - L'expéditeur d'un colis consomme l'opération de transport produite par l'entreprise de messagerie.

Consommateur final

- Un individu est un **consommateur final** lorsqu'il consomme un bien ou service pour sa valeur intrinsèque.
- Dans tous les autres cas : **consommation intermédiaire**.
- Exemples :
  – Déplacement domicile-loisir : consommation intermédiaire, indispensable à la consommation de l'activité de loisir.
  – Promenade : le promeneur est consommateur final du déplacement qu'il produit.

Exemple : promenade en moto



Remarques sur la demande de transport de fret

- Un bien est **daté et localisé** **->** **économie spatiale**
- Consommation finale **dispersée dans l'espace**.
- Consommation finale et ressources inégalement réparties (pas de backyard capitalism).
- **Economies d'échelles** dans les opérations de transformation.
- Besoin de déplacement des marchandises : **demande dérivée**.

Relations entre les agents

- Représentation **concise** d'un système **complexe**.
  - Agents hétérogènes, relations complexes
  - Opérations complexes
- Relations de marché :
  - Relation de concurrence.
  - Relation de complémentarité verticale.
  - Relation de complémentarité horizontale.
- Relations d'impact, ou externes.

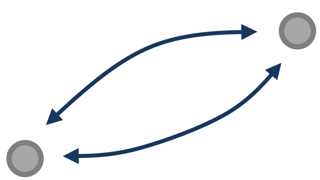
Concurrence

- Un acheteur dispose de produits similaires produits par des agents distincts. Ces agents sont en **concurrence (competition)**.
- Divers degrés de concurrence.
- Conditions de la **concurrence parfaite** :
  - Produits identiques,
  - Entreprises de taille atomique,
  - Information parfaite des consommateurs,
  - Prix unique fixé par commissaire priseur pour équilibrer S et D.

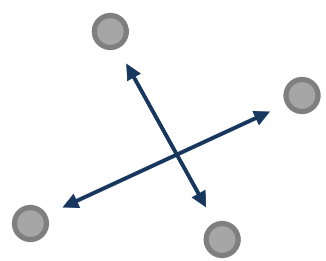
Elles sont rarement réunies en transport.

Complémentarité

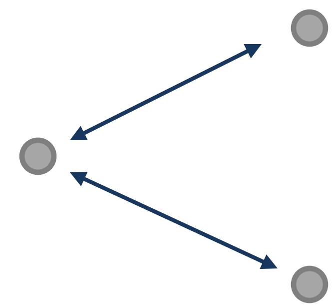
- Une entreprise consomme un input produit par une autre entreprise unique : **complémentarité verticale**.
  - Exemple : constructeur automobile et équipementier.
- Des entreprises produisent des biens apparemment similaires, mais qui satisfont des demandes distinctes : **complémentarité horizontale**.
  - Exemple : deux lignes de transport en commun.



Concurrence



Complémentarité spatiale

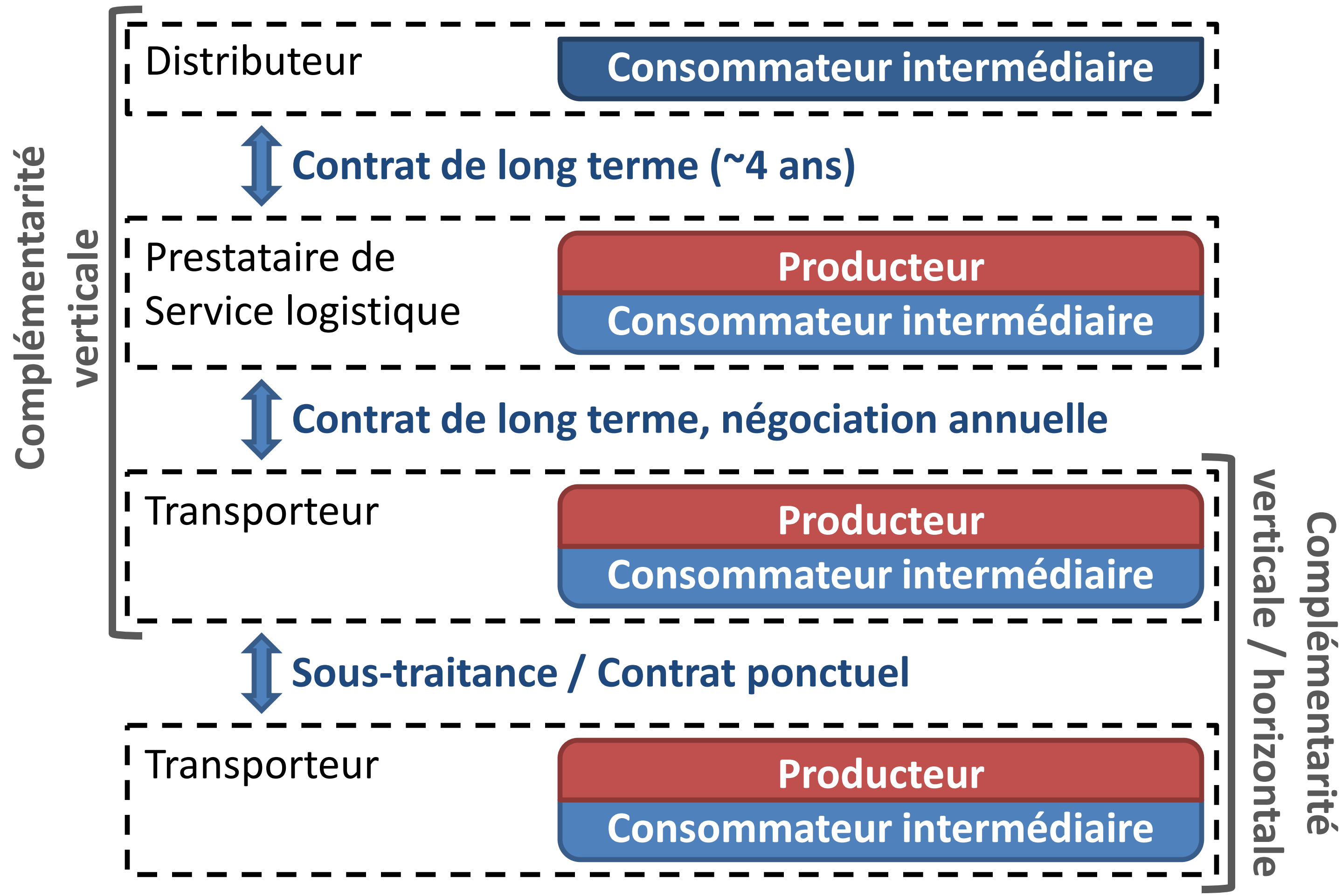


Complémentarité spatiale ; de plus, chaque ligne apporte des clients à l’autre.

Impact

- Lorsque la production d'un output est indissociable de celle d'un autre output : **production jointe**.
- Exemples :
  - Voyage de retour en transport de fret.
  - Emission de polluants en transport (déchets)/.
- Effet sur un agent extérieur à la transaction : **impact externe**.
- Exemples :
  - Impact positif : économies d'échelle au niveau d'un secteur; effets économiques d'une meilleure mobilité des biens et des personnes (hors considérations d'équité, à ne pas négliger bien sûr.)
  - Impact négatif : pollution locale, globale ; congestion.

Analyse systémique simplifiée de la prestation de service logistique. Types de relation contractuelle



Conclusion

- Identification des agents, de leurs comportements, de leurs relations et des variables pertinentes :
  - utile à la compréhension du système étudié,
  - indispensable à la modélisation,
  - permet la mobilisation de résultats d'économie.
- Etude d'un système complexe pour :
  - Représentation concise par modélisation (pas nécessairement mathématique).
  - Diagnostic et aide à la décision.

1. Modélisation de la production : fonction de production

- Définition, propriétés.
- Formes classiques.
  - Linéaire
  - Leontiev
  - Cobb-Douglas
  - Constant Elasticity of Substitution
- Exemple : le modèle Economic Order Quantity.

Définitions

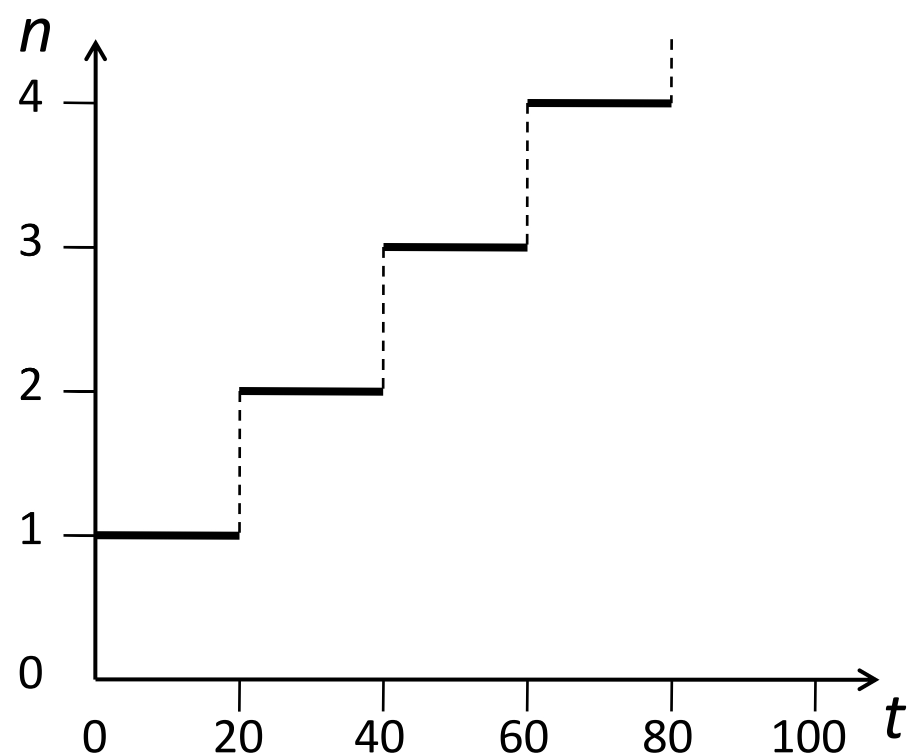
- Espace des **produits** : *n* produits, *n* dimensions
- Espace des **transformations** : technologie.

  $(-x_1, x_2) \in T$: avec x_1 unités de 1 je peux produire x_2 unités de 2.
- Espace des **transformations optimales** (non dominées) résumé par la fonction de production *F*, vérifiant $F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 0$.
- Cas à un produit. Réécriture sous forme de fonction de production f : $y = f(x_1, \ldots, x_n)$.

Exemple : un facteur, un produit

- Pour transporter *t* tonnes de marchandises de A à B, il faut au minimum *n* camions :

$$n = \left\lfloor \frac{t}{20} \right\rfloor + 1$$



Plusieurs facteurs, un produit

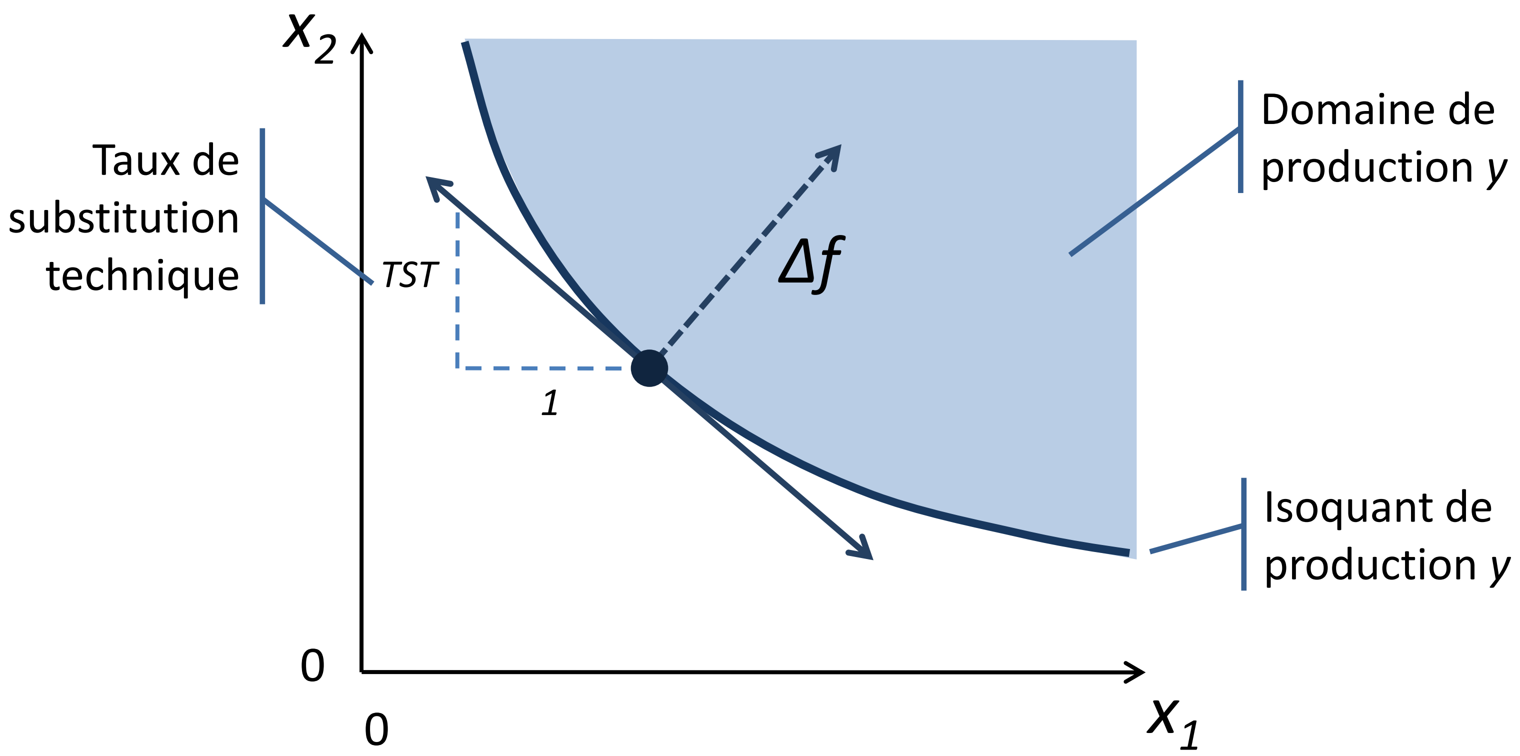
- ***y*** est un vecteur à 1 dimension, $\{y\}$.
- ***x*** est un vecteur à *n* dimensions, de composantes $\{x_i\}$
- Combinaisons possibles non dominées permettant de produire *y* : **isoquant**.
- Changement local de combinaison de facteurs : dx_i, dx_j tel que *y* est inchangé :

$$\frac{dx_j}{dx_i} = -\frac{f_i}{f_j} = TST$$

Taux de substitution technique.

Représentation graphique.

- Production d'un niveau donné *y* de produit à partir de deux types de facteurs en quantité x_1 et x_2.

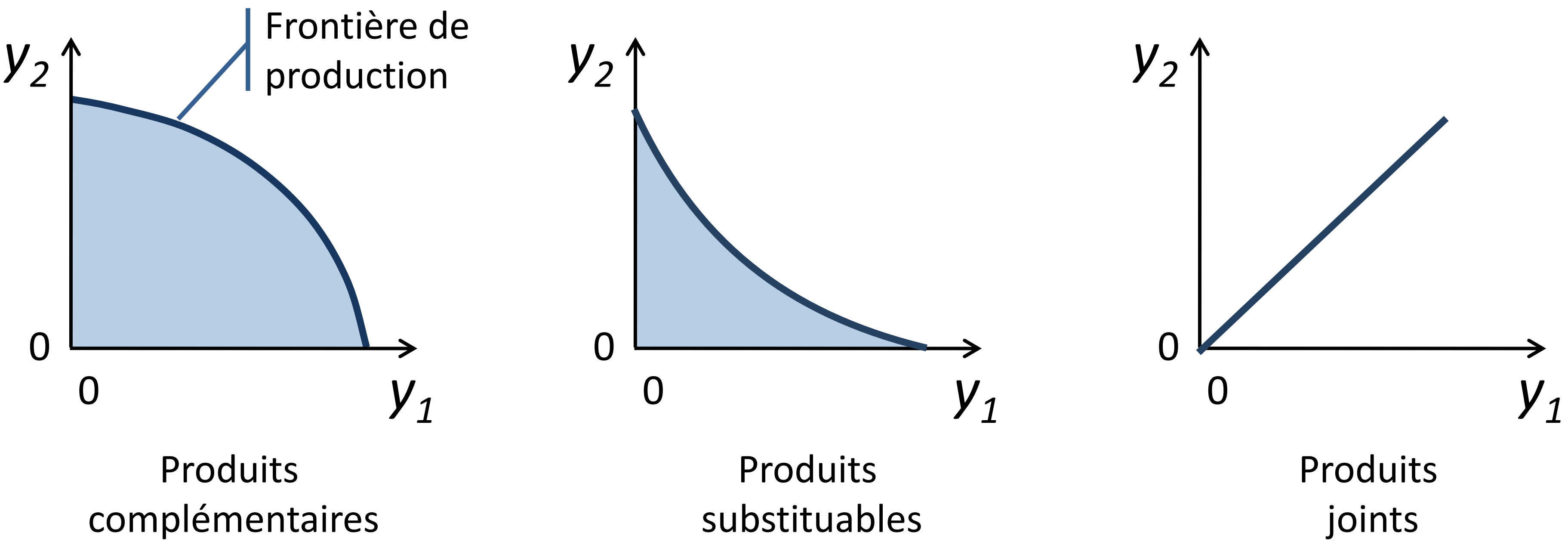


Plusieurs facteurs, plusieurs produits

- ***y*** est un vecteur à *m* dimension, de composantes $\{y_i\}$.
- ***x*** est un vecteur à *n* dimensions, de composantes $\{x_i\}$
- Combinaisons possibles non dominées permettant de produire $\boldsymbol{y^0}$: **isoquant**. Ensemble des ***x*** vérifiant $F(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y^0}) = 0$
- Production possible avec une dotation d'inputs $\boldsymbol{x^0}$: **frontière de production**. Ensemble des ***y*** vérifiant $F(\boldsymbol{x^0}, \boldsymbol{y}) = 0$ (ex: frontière de production d'une économie)

Représentation graphique.

- Productions de produits y_1 et y_2 à partir d'un niveau donné de facteur x.



Exemple : le retour à vide en fret

- Produits joints

  - Facteur : *m*, mouvement aller-retour.
  - Produit 1 : $y_{A \rightarrow B}$, service de transport de A vers B.
  - Produit 2 : $y_{B \rightarrow A}$, service de transport de B vers A.
- Les opérations de transport de A vers B et de B vers A sont produites conjointement, en proportion fixe.
- Exemple : NMPP. Solution?

Exemple : production de plusieurs services portuaires.

- Plusieurs outputs :
  - *CGC* : Containerised General Cargo.
  - *NCGC* : Non Containerised General Cargo.
  - *DB* : Dry Bulk.
  - *LB* : Liquid Bulk.
- Plusieurs inputs :
  - *L* : Labour.
  - *A* : Amortisation.
  - *I* : Other expenses.

Propriétés des fonctions de production

- Productivité marginale du facteur x_i :

$$f_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

- Productivité moyenne du facteur x_i :

$$\frac{f}{x_i}$$

- Rendements d'échelle :
  - croissants : $\forall \lambda \geq 1, f(\lambda \boldsymbol{x}) \geq \lambda . f(\boldsymbol{x})$
  - constants : $\forall \lambda \geq 1, f(\lambda \boldsymbol{x}) = \lambda . f(\boldsymbol{x})$
  - décroissants : $\forall \lambda \geq 1, f(\lambda \boldsymbol{x}) \leq \lambda . f(\boldsymbol{x})$

Elasticité de substitution

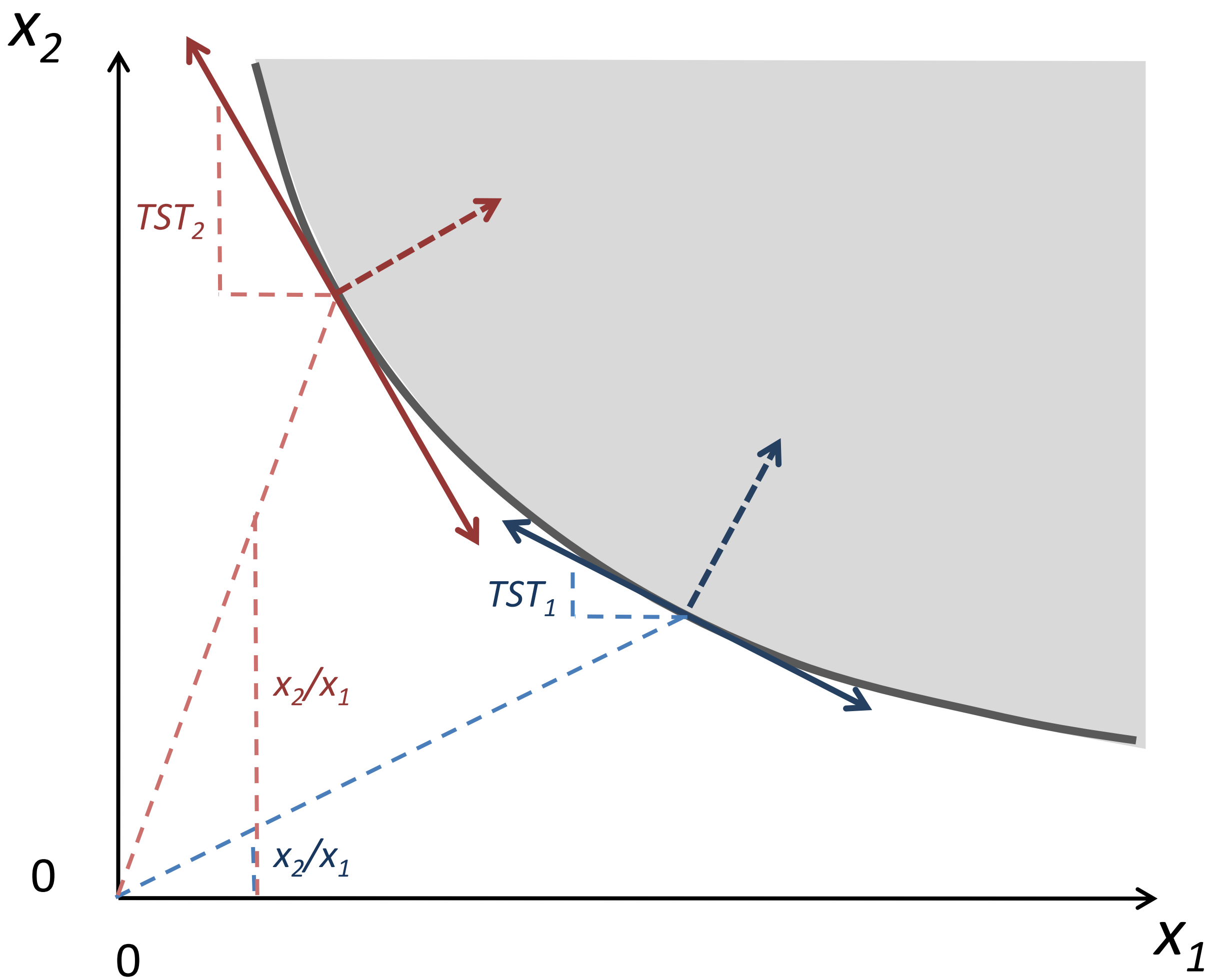
- Rappel : Elasticité de la fonction *f* par rapport à la variable *x*.

$$\varepsilon_{f,x} = \frac{d \ln f}{d \ln x} = \frac{df/f}{dx/x} = \frac{x}{f}\frac{\partial f}{\partial x}$$

- Elasticité de substitution :

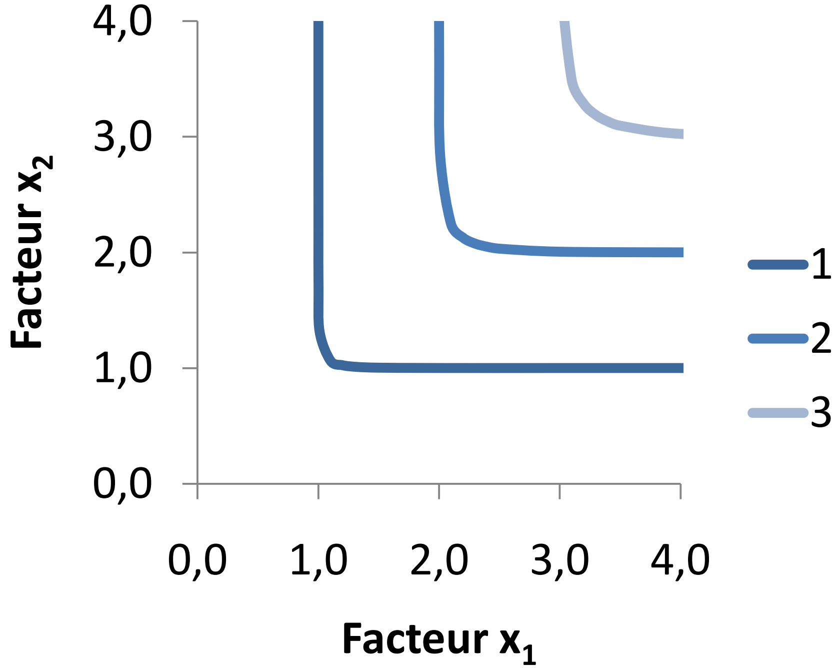
$$\varepsilon = \frac{d \ln(x_2/x_1)}{d \ln TST}$$

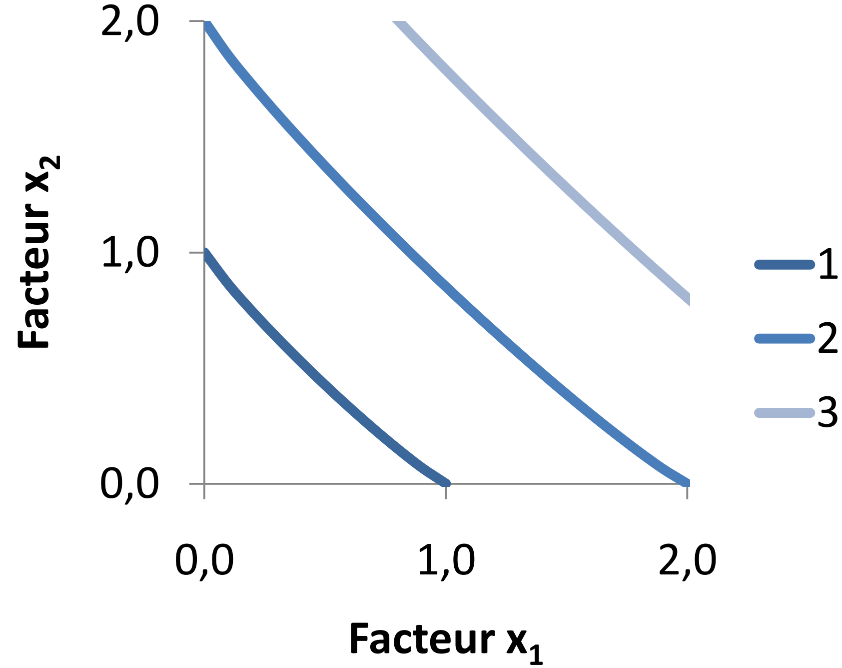
Elasticité de substitution



Différentes élasticités de substitution

- $s = 0.1$
- $s = 10$



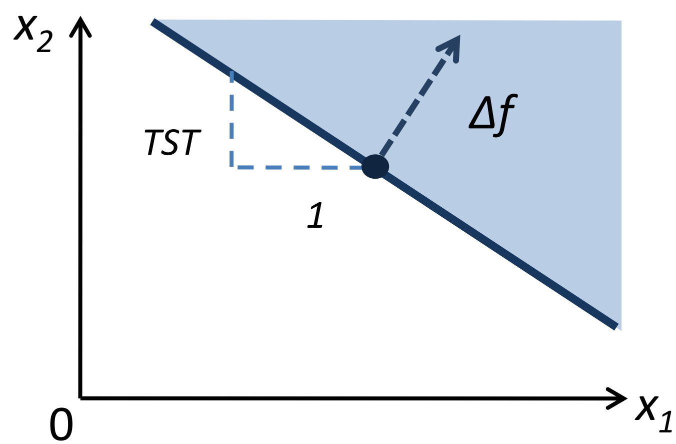


Formes classiques de fonction de production.

- Fonction de production additive.
- Fonction de Leontiev.
- Fonction de Cobb-Douglas.
- Fonction CES.

Formes classiques : fonction additive.

- Inputs parfaitement substituables : $$y = \sum_{i=1}^{n} a_i . x_i$$
  Les a_i sont des constantes.
- Isoquante linéaire.



- TST constant, élasticité de substitution infinie, rendements constants.

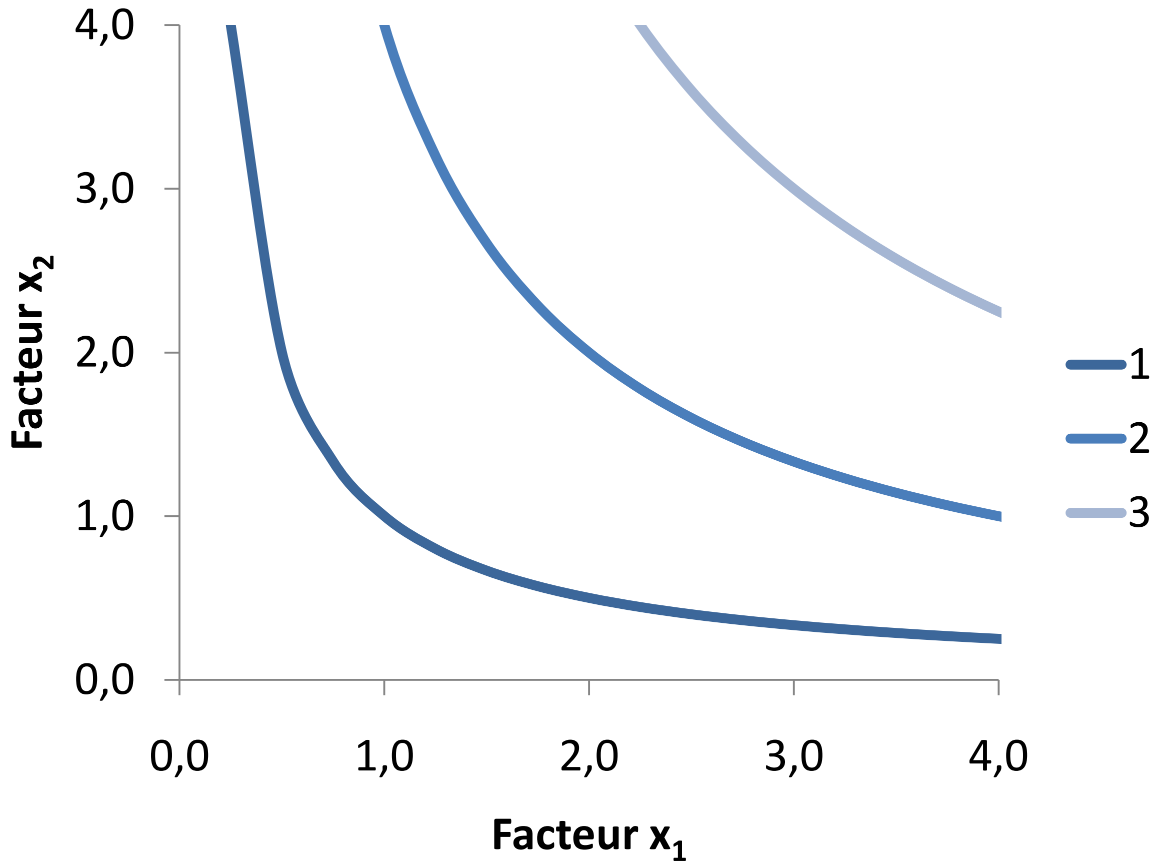
Formes classiques : fonction additive.

- Exemple : automobiliste disposant d'une voiture essence.
  - Efficacité Super 95 : 6,5 L/100 km.
  - Efficacité Sans-Plomb 98 : 6 L/100 km.
- Fonction de production de l kilomètres de déplacement :

$$l = \frac{x_{S95}}{0{,}065} + \frac{x_{SP98}}{0{,}06}$$

Formes classiques : Cobb-Douglas.

- Isoquantes, cas $A = 1$, $a_1 = 0.5$, $a_2 = 0.5$

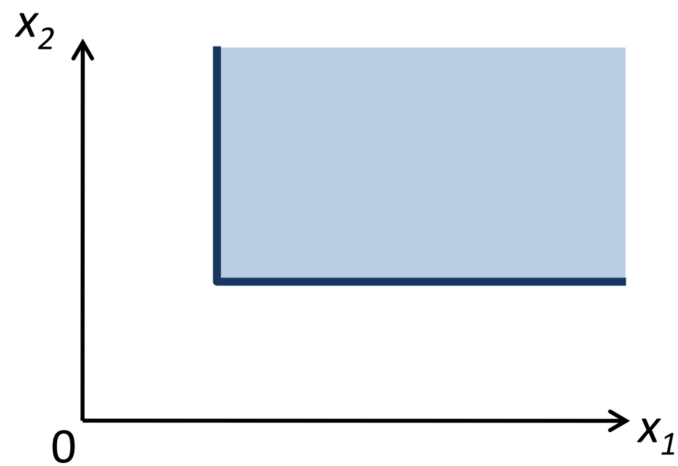


Formes classiques : Leontiev.

- Inputs parfaitement complémentaires :

$$y = \min\{a_i . x_i\}$$

- Isoquante :



- Élasticité de substitution nulle, rendements constants

Formes classiques : Leontiev.

- Exemple : transporteur disposant d'un camion.
  – Consommation : ~40 L/h
  – Un chauffeur
- Fonction de production de *h* heures de transport, pour une vitesse fixée :

$$h = \min\left\{\frac{x_c}{40} ; x_w\right\}$$

Formes classiques : Cobb-Douglas.

- Fonction de production :

$$y = A.\prod (x_i)^{\alpha_i}$$

avec, éventuellement :

$$\sum \alpha_i = 1$$

- Élasticité de substitution unité, rendements d'échelles croissants si la somme des α_i est supérieure à 1.

Formes classiques : Cobb-Douglas.

- Exemple : transport routier de marchandises, 1998, France.

$$\text{zone courte} \quad VA = 270.\,N^{0,16}.\,C^{0,84}$$
$$\text{zone longue} \quad VA = 290.\,N^{0,14}.\,C^{0,85}$$

où *VA* est la valeur ajoutée, *N* le nombre de tracteurs, et C le nombre de chauffeurs.

- Rendements d'échelle proches (légèrement inférieurs) de 1. Certains facteurs fixes ne sont pas pris en compte.

Note : VA = CA – CI (chiffre d'affaire moins consommations intermédiaires.) Ici, les camions financés en crédit-bail sont réintroduits dans la VA. Normalement, la fonction de production ne devrait pas dépendre de prix. Or, il n'y a pas d'indice des prix de la VA. Les prix sont mesurés en F95, L'indice des prix de la production est le prix de la tonne-kilomètre (zone longue), l'indice des consommations intermédiaires est celui des coûts calculé par le Comité national routier.

Formes classiques : CES.

- Fonction de production.

$$y = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{\frac{1}{s}} . x_i^{\frac{s-1}{s}}\right]^{\frac{\nu s}{s-1}}$$

- Elasticité de substitution *s*.
  - s = 1 : Cobb-Douglas,
  - s → 0 : Leontiev,
  - s → +∞ : linéaire.
- Rendements constants si *v* = 1, croissants si *v* > 1.
- Généralisation : CES emboîtées.
- Intérêt: théorique et économétrique.

Formes classiques : CES.

- Exemple du TRM en 1998. Estimation de la fonction de production à partir d'une structure CES : l'élasticité de substitution obtenue est 0.2.
- Les tracteurs et les chauffeurs sont des facteurs fortement complémentaires.

Exemple : le modèle type EOQ

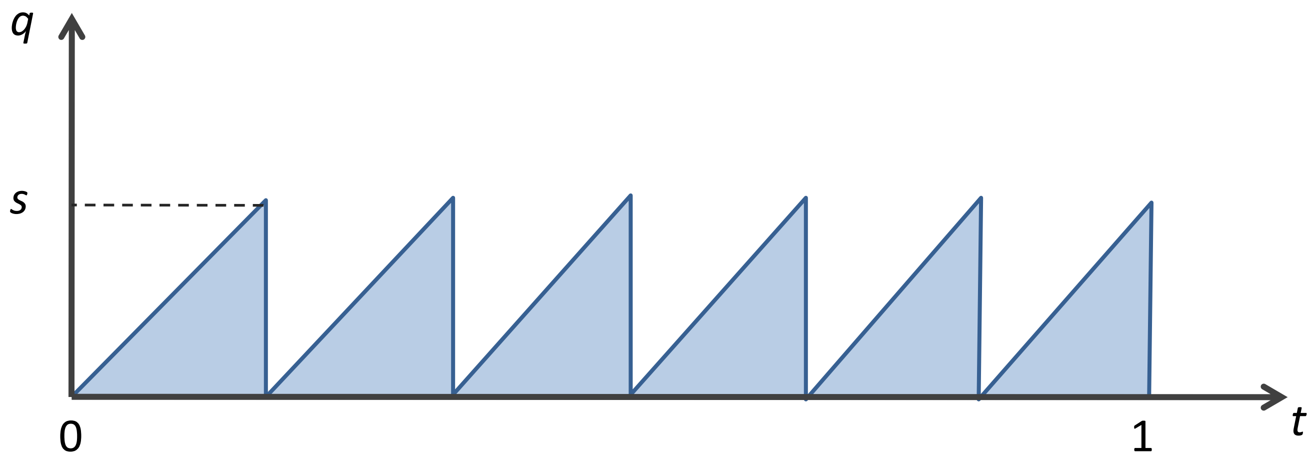
- Modèle classique, dit *economic order quantity*. Première occurrence dans la littérature : Harris, 1913, « How many parts to make at once »
- Origine : industrie. Taille optimale de lot (*batch*) sur une chaîne de production avec changement d'outillage nécessaire pour passer d'un produit à l'autre.
- Application ici : transport de marchandise, fonction de production à deux inputs : déplacements et temps d'immobilisation de la marchandise.

Exemple : le modèle type EOQ

- Déplacement d'un flux de marchandises Q par camion sur une période de temps de durée 1 (an).
- Inputs nécessaires au transport :
  - n opérations de transport,
  - t temps d'immobilisation des marchandises transportées.
- Le transporteur n'a pas intérêt à ce que les marchandises soient immobilisées :
  - immobilisation de capital,
  - dépréciation/péremption,
  - Manque de réactivité de la supply chain.

Exemple : le modèle type EOQ

- Temps passé par la marchandise en attente de transport :



- Sur une période de temps, pour une fréquence f

$$t = f \int_0^{\frac{1}{f}} Q\, u\, du = \frac{Q}{2\, f} = \frac{s}{2}$$

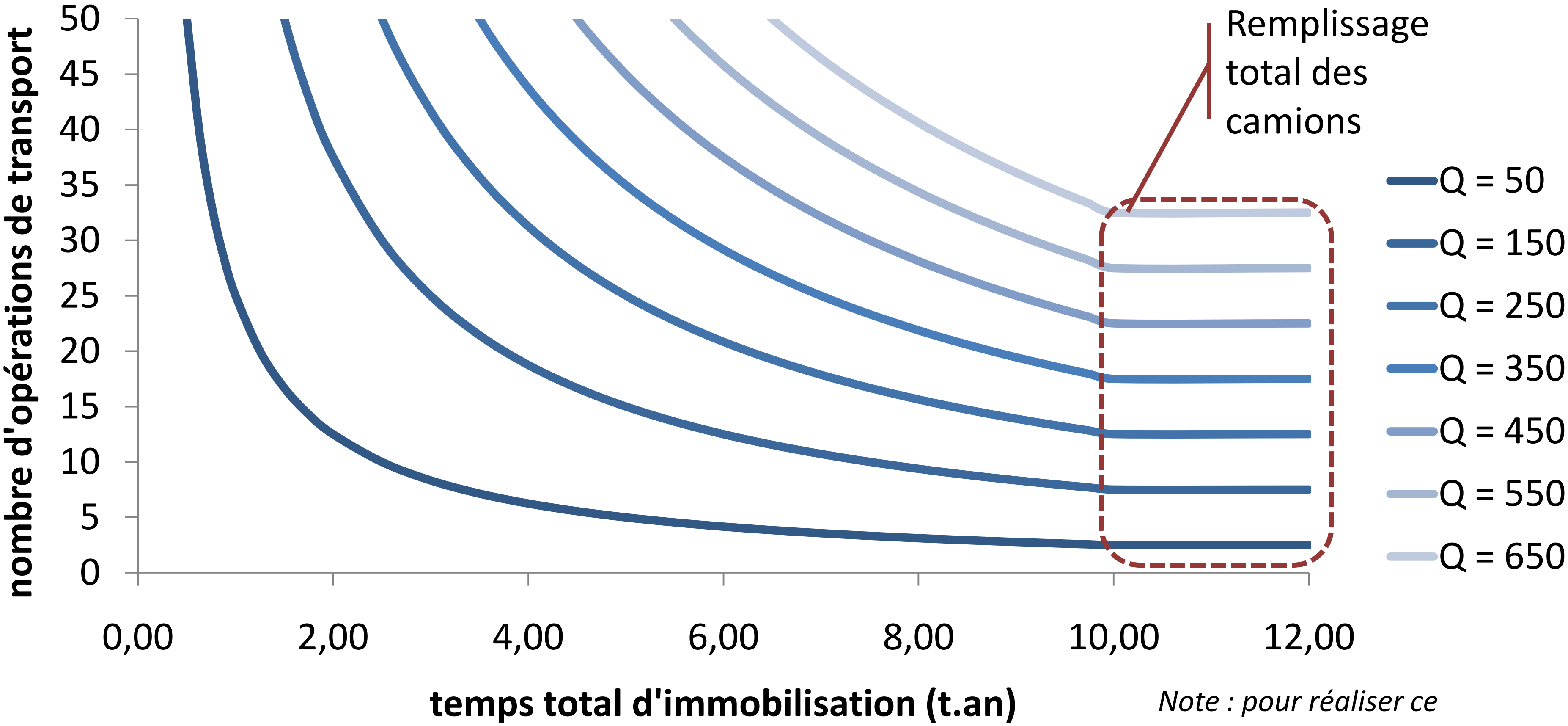
Exemple : le modèle type EOQ

- Plan de transport envisagé : envois réguliers de taille *s*, à une fréquence *n*. *Q = n.s*
- Ce plan de transport implique :
  - $n = Q/s$ opérations de transport.
  - un temps d'immobilisation t égal à $Qt_v + s/2$ (où t_v est le temps passé à bord des véhicules, sans influence.)
- L'isoquante correspondant au transport de *Q* unités de marchandises en 1 unité de temps est définie par les points (Q/s, $Qt_v + s/2$), pour $s \leq 20$, (Q/20, t) pour $t \geq Qt_v + 10$
- Finalement :

$$Q = f(n,t) = \min\left(\frac{t}{t_v + \frac{1}{2n}}, \frac{20n.t_v + 10}{t_v + \frac{1}{2n}}\right)$$

Exemple : le modèle type EOQ

- Représentation graphique des isoquantes :



Note : pour réaliser ce graphique, on a supposé que le temps de transport était nul

2. Production optimale : fonction de coût.

- Comment l'entreprise connaît-elle ses coûts?
- Définition.
- Propriétés.
  - Propriétés générales.
  - Economies d'échelle.
  - Sous-additivité.
- Formes classiques.
- Exemple : le modèle type EOQ.
- Cas multiproduit.

Comment l'entreprise connaît-elle ses coûts?

- Comptabilité générale : deux objectifs :
  - Calcul du résultat / des impôts.
  - Information des dirigeants et des tiers sur l'état de l'entreprise.
- Comptabilité analytique :
  - Calcul des prix de revient.
  - Problématique de l'allocation des coûts fixes.
- Exemple : le transport routier de longue distance

Le transport routier longue distance.

- Analyse technique des coûts : poste par poste. Cette analyse est rarement possible. Ici, beaucoup de ratios. Source : CNR.
- Utilisation d'un camion :
  - 230 jours par an,
  - 69 km/h en moyenne,
  - capacité : 25 tonnes,
  - kms parcourus en charge : 86%,
  - taux de remplissage sur parcours en charge : 90%,
  - durée de vie tracteur : 6 ans,
  - durée de vie remorque : 10 ans.
  - coût annuel de détention du tracteur : 10 500 €,
  - coût annuel de détention de la remorque : 4 100 €,
  - assurances diverses : 3 000 €,
  - taxes sur le véhicule : 600 €.

Le transport routier longue distance.

- Utilisation d'un chauffeur :
  - temps de service par mois : 207 h,
  - temps de conduite : 75 % du temps de service,
  - nombre de chauffeurs par véhicule : 1,065,
  - coût horaire du chauffeur : smic horaire brut 8,71€. Charges patronales : 47,25 %. Indemnités journalières : 3,44 €.
- Coûts kilométriques, pour 100 km :
  - carburant : 38 €
  - pneumatiques : 3 €
  - entretien-réparation : 7 €
  - péages : 7 €

Le transport routier longue distance.

- Tous les éléments de coût **directs** sont (plus ou moins bien) connus. Mais ce sont des éléments **moyens**. Problème :
  - 1. Difficile de faire une tarification avec (Déséquilibre de trafic, capacité inutilisée ?)
  - 2. Difficile de discerner la structure des coûts.
  - 3. Les coûts de l'usager sont absents.
- Formulation dite trinôme :
  - terme kilométrique : 0,559 €,
  - terme horaire : 21.56 €,
  - terme journalier : 161.85 €.

Modélisation des coûts.

- Le modélisateur et le régulateur a **peu de données** sur le fonctionnement des entreprises.
- Objectif : connaître la forme générale des coûts, et donc de la production, avec le peu de données publiquement disponibles.
- Méthode : théorie économique, économétrie.

Définition

- Les facteurs utilisés par les producteurs sont disponibles à un coût, *C(**x**).*
- Cas classique : les facteurs sont disponibles à un prix unitaire ***p***:

$$C(\boldsymbol{p},\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{p}.\boldsymbol{x} = \sum_{i=1}^{n} p_i . x_i$$

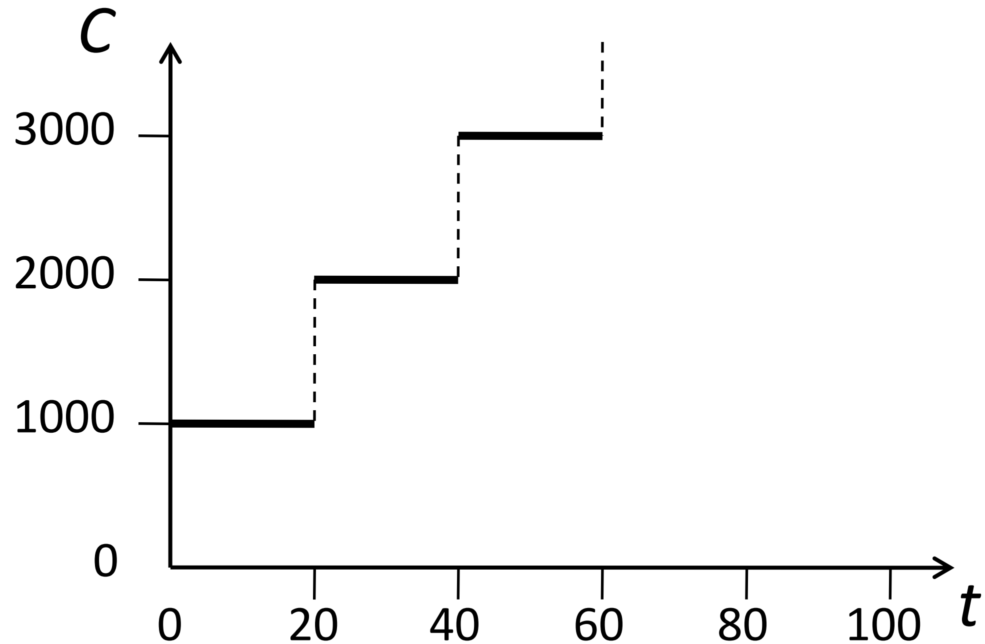
- La combinaison de facteurs ***x*** permet de produire ***y*** = *f(**x**),* à un coût *C(**p**, **x**).*
- Pour un produit **y**, une combinaison de facteurs ***x*** assure un coût minimum. On note directement ce coût *C(**p**, **x**)*

$$C(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}) = \underset{\text{s.c.}\ \boldsymbol{y}=f(\boldsymbol{x})}{\min} C(\boldsymbol{x})$$

Exemple

- Coût de transport de *t* tonnes de A vers B.
  - Une opération de transport coûte 1000 €
  - Une opération de transport : maximum 20 t

$$C(t) = 1000\left(\left\lfloor\frac{t}{20}\right\rfloor + 1\right)$$



Propriétés

- Cas où *C(**p**, **x**) = **p**.**x***. La combinaison optimale de facteurs ***x*** permettant de produire ***y*** est notée ***x***(p, **y**)*

$$\boldsymbol{x}^*(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}) = \underset{s.c.\quad f(\boldsymbol{x})=\boldsymbol{y}}{\operatorname{Argmin}} \ \boldsymbol{p}.\boldsymbol{x}$$

- Dans ce cas : $C(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}) = \boldsymbol{p}.\boldsymbol{x}^*(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y})$
- Lemme de Shephard :

$$\frac{\partial C(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y})}{\partial p_i} = {x_i}^*(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y})$$

- **Résultat fondamental** : Au point ***x***(**p**, **y**)*, le rapport des productivités marginales est égal au rapport des prix.

$$\boxed{\frac{\boldsymbol{p_j}}{\boldsymbol{p_i}} = \frac{\boldsymbol{f_j}}{\boldsymbol{f_i}}}$$

Où f_i est la dérivée partielle de *f* par rapport à x_i.

Propriétés

- Définition de la fonction de coût, cas monoproduit :

$$C(y) = \min_{\text{s.c. } y=f(\boldsymbol{x})} C(\boldsymbol{x})$$

- Problème dual :

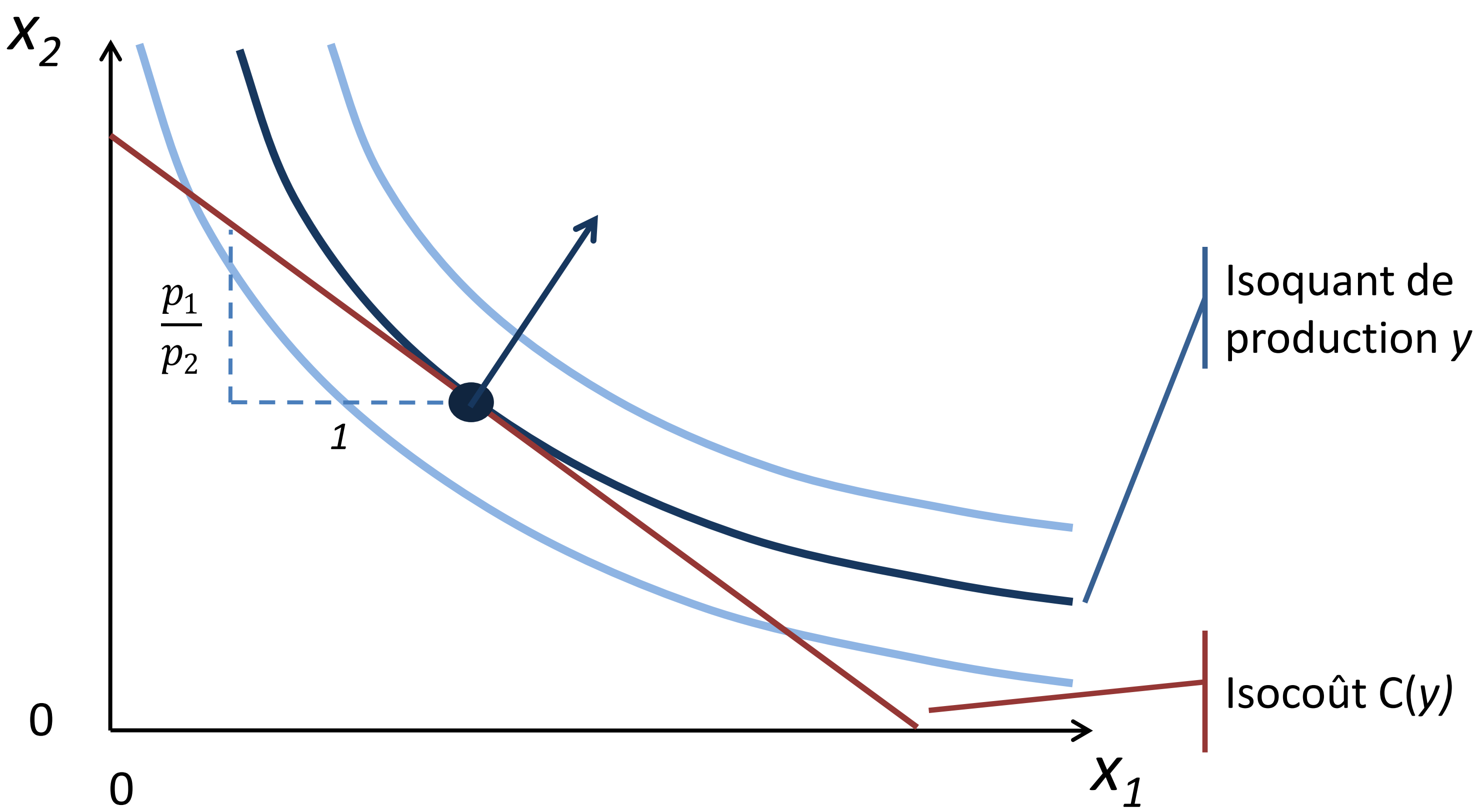
$$f(c) = \max_{\text{s.c. } c=C(\boldsymbol{x})} f(\boldsymbol{x})$$

- Les deux problèmes fournissent la même solution :

$$f(C(y)) = y$$

Représentation graphique.

- Coût et demande de facteur pour la production de *y* produit.



Propriétés, cas à un produit

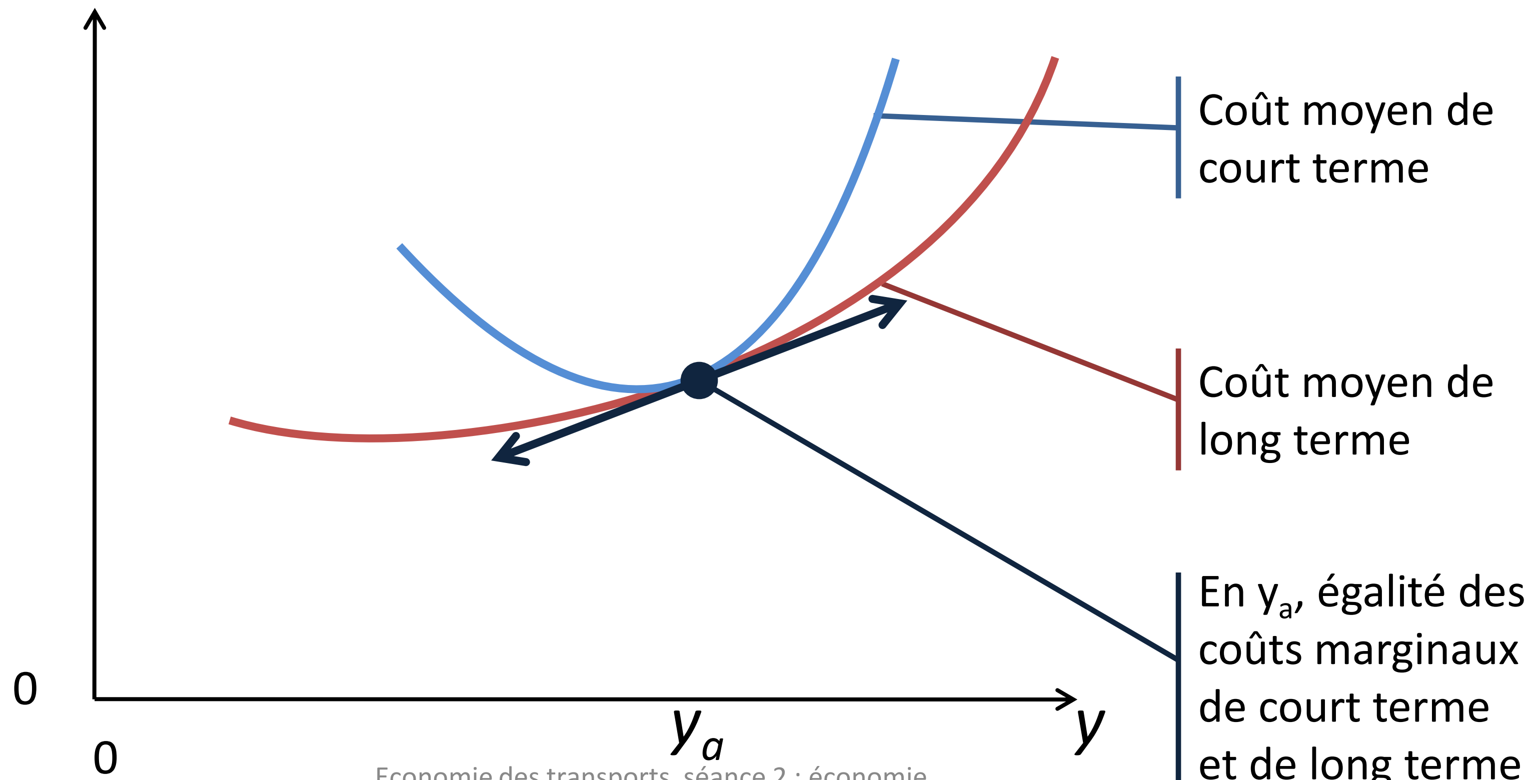
- Si $C(0) > 0$, $C(0)$ constitue le **coût fixe**.
- En présence de coût fixe : $C(y) - C(0)$ constitue le **coût variable**.
- Coût moyen : $C(y)/y$
- Coût marginal : $C'(y)$

Court terme et long terme

- x_K facteur fixe à court terme, la fonction de coût de court terme est déterminée à x_K fixé. On définit alors les fonctions suivantes :
  - SRAC et SRMC (short run average/marginal cost)
  - LRAC et LRMC (long run average/marginal cost)
- Exemple d'un port :
  - Facteur variable : personnel, énergie électrique, carburant.
  - Facteur fixe : quais, grues.

Court terme et long terme

- Si les facteurs fixes sont optimaux pour un niveau de production y_a, évolution des coûts moyens à court terme et à long terme :



Economies d’échelle

Définition

Soient des facteurs $\boldsymbol{x}$ permettant de produire $\boldsymbol{y}$. Si pour tout $w > 1$ il existe $v > w$ tel qu’il est possible de produire $v\boldsymbol{y}$ avec $w\boldsymbol{x}$, alors il y a **économies d’échelle (scale economies)**.

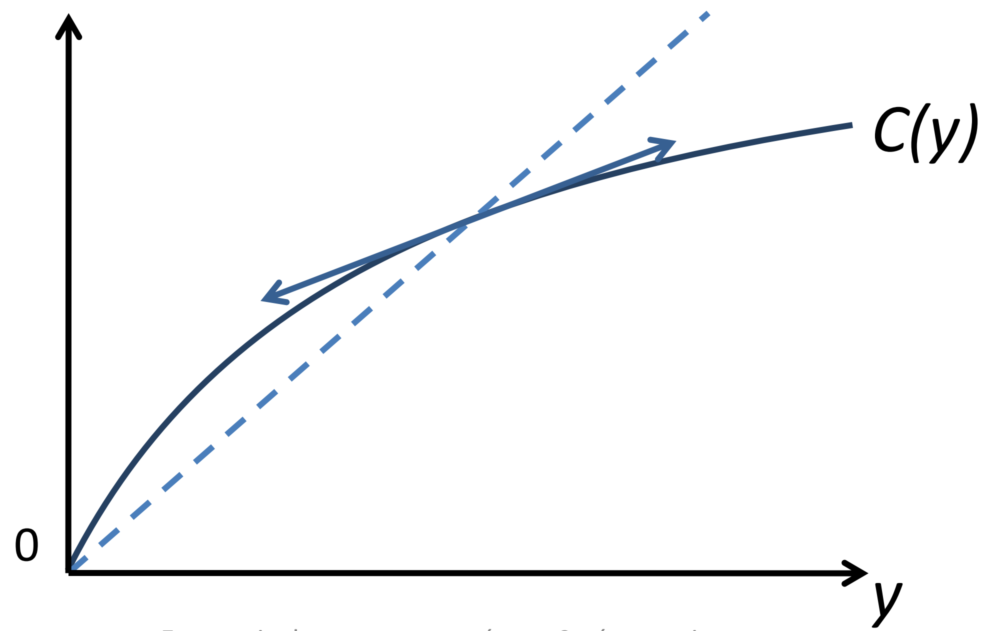
Interprétation :

Economies d’échelles = le coût unitaire décroît avec le volume

Economies d'échelle

- Indice d'économie d'échelle s (cas monoproduit) rapport du coût moyen sur le coût marginal :

$$s = \frac{C/y}{\mathrm{C}'}$$



Economies d'échelle

- Lien avec les rendements croissants et décroissants
  - $s > 1$: économies d'échelle, rendements croissants,
  - $s = 1$: absence d'économies d'échelle, rendements constants,
  - $s < 1$: déséconomies d'échelle, rendements décroissants.

Propriété *technique* lisible dans la fonction de coût.

Sources d'économies d'échelle en transport

- **Taille des opérations** : certains coûts sont fixes par opération
  - Coûts administratifs
  - Quantité de personnel

  Le coût unitaire (ex. à la tonne) décroît donc avec la taille de l'opération.
- **Facteurs indivisibles** : ex. sur un port, les quais, les grues et le personnel. Il est peu probable que les trois types de facteurs soient utilisés à 100% simultanément.
- **Réserves partagées (massed reserves)** : ex. la quantité de pièce détachée permettant de réparer rapidement n'importe quel véhicule d'une flotte croît moins que proportionnellement à la taille de la flotte.

Types d'économies d'échelle en transport

- **Economies de densité de trafic (trafic density)** : coût unitaire (dé)croissant avec le volume de trafic sur un réseau donné (ex: congestion, diminution du temps d'attente)
- **Economies de taille de réseau (network size)** : coût unitaire (dé)croissant avec le nombre de stations/longueur des voies/routes, à densité de trafic donnée.
- **Economies de taille de véhicule (vehicle size)** : les plus gros véhicules permettent des coûts unitaires plus faibles.
- **Economies de longueur de trajet (lenght of haul)**: coût kilométrique (dé)croissant avec la longueur du trajet (ex: possibilité d'utiliser l'autoroute, opérations aux ports/aéroports)

Sous-additivité

- Une fonction de coût est sous-additive quand pour tout produit $\boldsymbol{y}$, si $\{\boldsymbol{y_i}\}$ vérifie $\Sigma \boldsymbol{y_i} = \boldsymbol{y}$:

$$C(\boldsymbol{y}) \leq \sum C(\boldsymbol{y_i})$$

- Lorsque la fonction de coût est sous-additive, il y a **monopole naturel** (une entreprise produit plus efficacement que plusieurs.)

Clarifications importantes

- **La présence d'économies d'échelle, la décroissance des coûts marginaux et la sous-additivité de la fonction de coût sont des propriétés <u>différentes</u>.**
- **Coût marginal constant au delà d'un certain niveau de production <u>ne veut pas dire</u> épuisement des économies d'échelle.**

Le modèle type EOQ : les coûts

- Le producteur dispose des possibilités (Q/s, $Qt_v + s/2$), pour $s \leq 20$, ($Q/20$, t) pour $t \geq Qt_v + 10$ pour transporter son flux de marchandises de débit Q.
- Parmi ces possibilités, laquelle est la moins coûteuse?
  - Coût unitaire de l'opération de transport : c_t (€.n^{-1}) (ne dépend pas de s)
  - Coût unitaire du temps : a (€.t^{-1}.an^{-1})
- La fonction de coût correspondante est :

$$C(Q, c_t, a) = \min_{\text{s.c. } f(n,t)=Q} c_t.n + a.t$$

La production optimale

- Fonction de production :

$$Q = f(n,t) = \min\left(\frac{t}{t_v + \frac{1}{2n}}, \frac{20n.t_v + 10}{t_v + \frac{1}{2n}}\right)$$

- Supposons $t_v = 0$. Clairement, t > 10 n'est jamais optimal.
- On résout le lagrangien suivant :

$$\mathcal{L}(n,t,\lambda_1,\lambda_2) = c_t.n + a.t + \lambda_1.\left(Q - \frac{t}{t_v + \frac{1}{2n}}\right) + \lambda_2.(10 - t)$$

Rappel : le Lagrangien.

- Optimisation de la fonction f de $\boldsymbol{x} = \{x_1, \ldots, x_n\}$, sous certaines contraintes : $g_i(\boldsymbol{x}) = 0$
- Le lagrangien correspondant est :

$$\mathcal{L}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\lambda}) = f(\boldsymbol{x}) + \sum_k \lambda_k g_k(\boldsymbol{x})$$

- Condition nécessaire pour que x soit l'optimum recherché : les dérivées partielles par rapport à tous les x_i et λ_i du lagrangien sont nulles.
- Si f est convexe, cette condition est suffisante.

La production optimale

- Les solutions sont :

$$\left.\begin{array}{l} t^*(c_t, a, Q) = \min\left(\sqrt{\dfrac{c_t Q}{2a}}; 10\right) \\ \\ n^*(c_t, a, Q) = \max\left(\sqrt{\dfrac{aQ}{2c_t}}; \dfrac{Q}{20}\right) \end{array}\right\}$$

Demandes conditionnelles

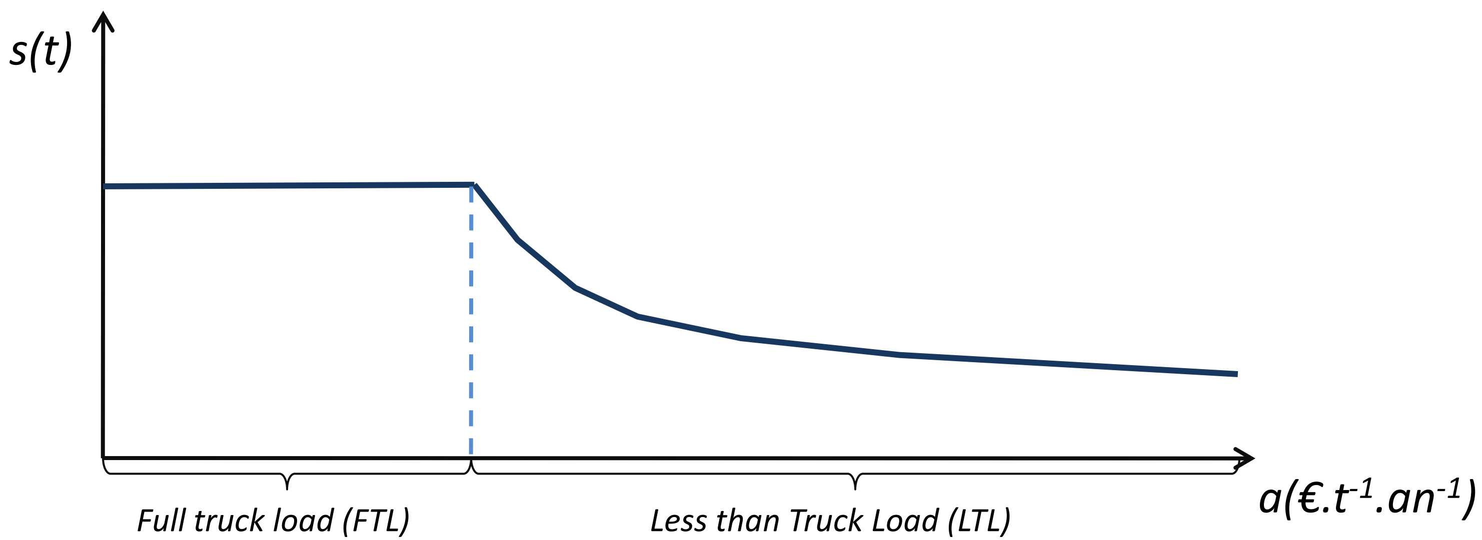
$$\boxed{C(c_t, a, Q) = \begin{cases} \sqrt{2a.c_t.Q} \ \text{ si } \ Q \leq \dfrac{200a}{c_t} \\ \dfrac{c_t Q}{20} + 10a \ \text{ sinon} \end{cases}}$$

Taille optimale d'envoi

- Taille de l'envoi :

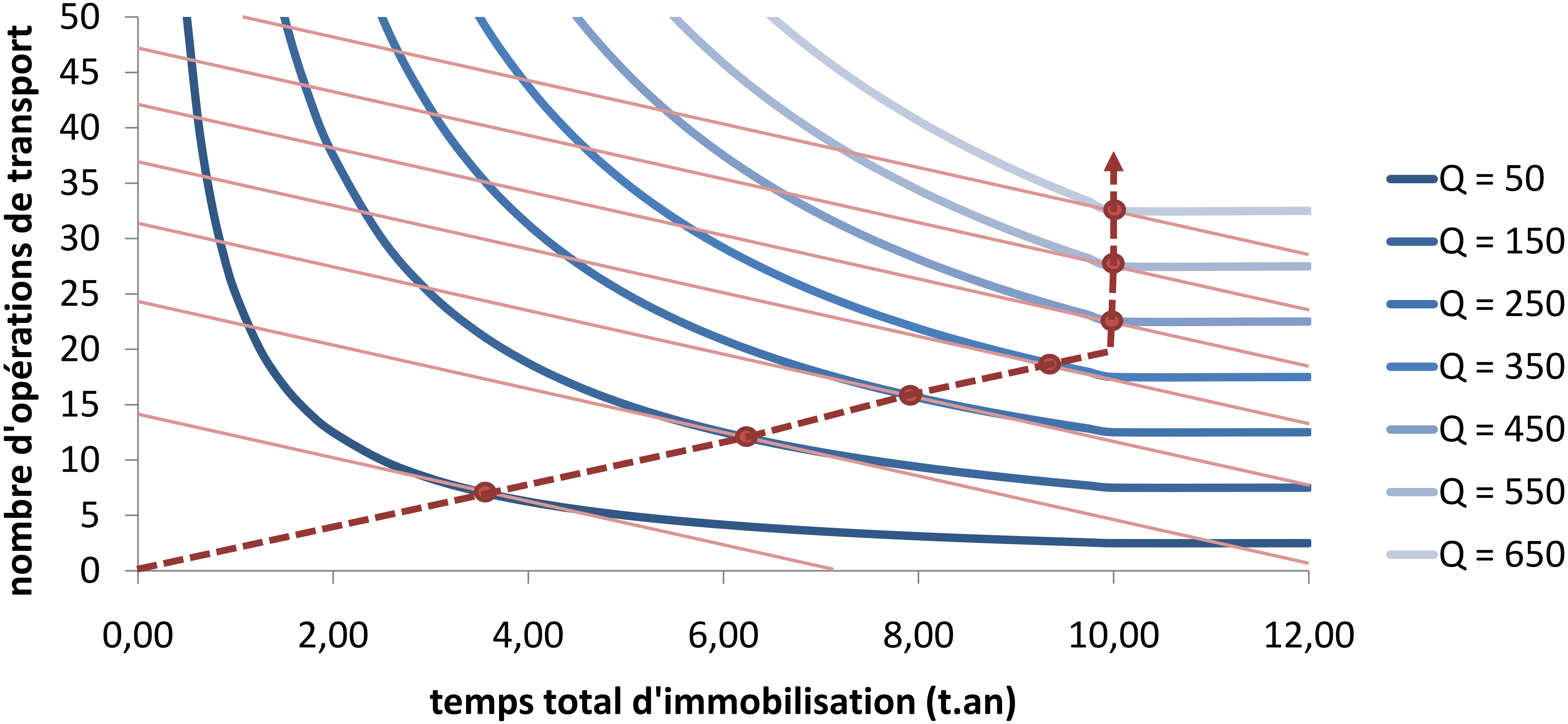
$$s^*(c_t, a, Q) = \frac{Q}{n} = \min\left(\sqrt{\frac{2c_tQ}{a}}; 20\right)$$

- Evolution avec la valeur du temps *a* :



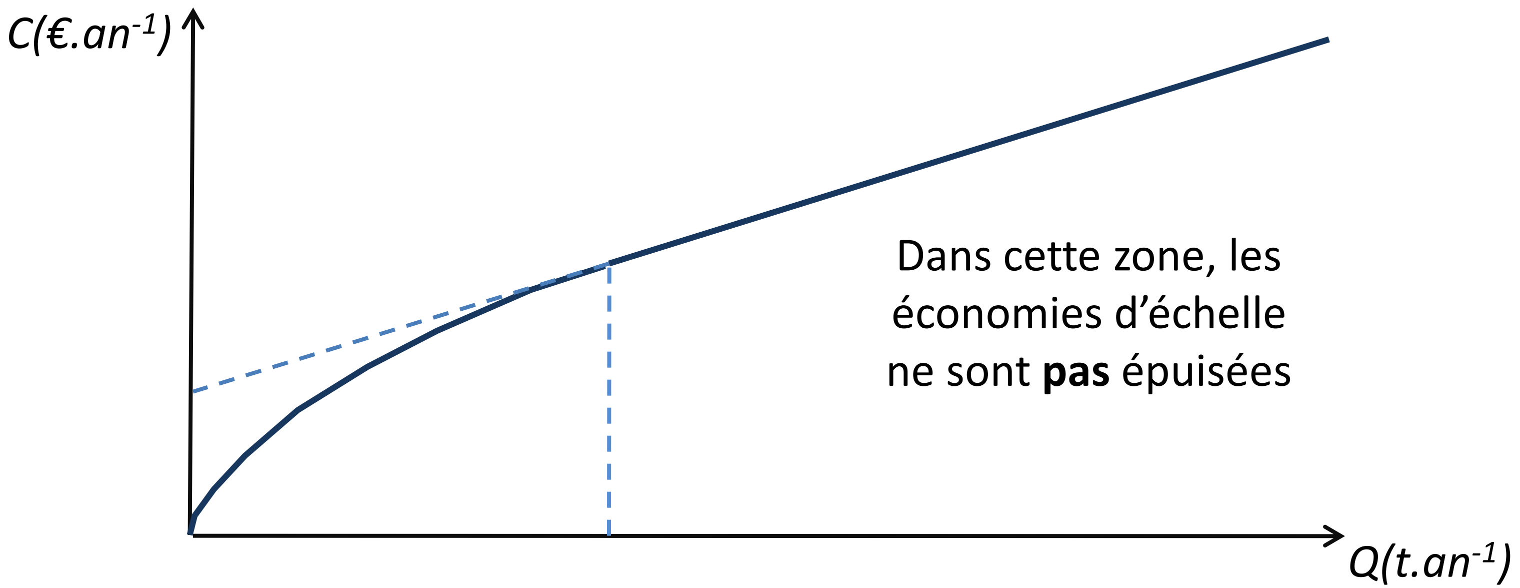
La production optimale

- Evolution de la production optimale avec Q :



Economies d'échelle

- Indice d'économies d'échelle de *C* : 2 entre 0 et 200a/c_t, puis **décroît vers** 1. La fonction est positive, strictement convexe en 0, donc sous-additive.



Formes classiques de fonction de coût.

- Lorsqu'on ne connaît pas la structure de la fonction de production d'un secteur, on peut en supposer une. Fonctions de coût classiques correspondantes:
  - Cas des facteurs parfaitement substituables.
  - Cas des facteurs parfaitement complémentaires : fonction linéaire.
  - Cas de la fonction de Cobb-Douglas.
  - Cas de la fonction CES.
- Les formes flexibles ne supposent aucune structure sur la fonction de production.

Cas de la fonction de production additive

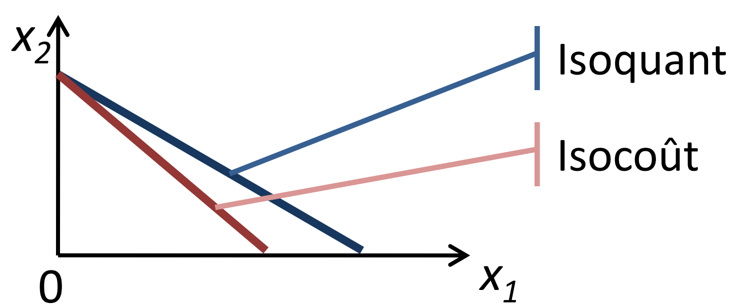
- Fonction de coût correspondante :

$$C(\boldsymbol{p}, y) = y.\min_i \left(\frac{p_i}{a_i}\right)$$

- Demande de facteurs :

$$x_i^*(\boldsymbol{p}, y) = \begin{cases} \dfrac{y}{a_i} \text{ si } \dfrac{p_i}{a_i} = \min_j \left(\dfrac{p_j}{a_j}\right) \\ 0 \ \text{ sinon} \end{cases}$$

- Absence d'économies d'échelle : coût moyen et coût marginal égaux.



Cas de la fonction de Leontiev

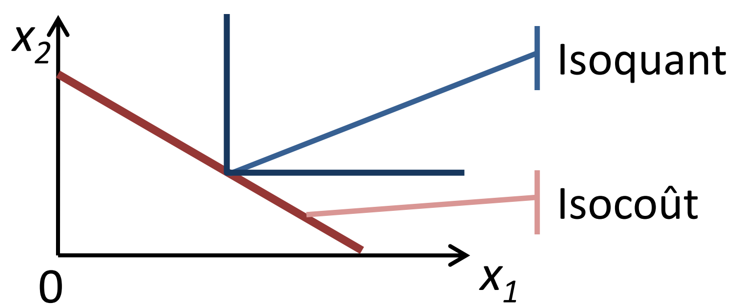
- Fonction de coût correspondante : fonction linéaire

$$C(\boldsymbol{p}, y) = y. \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i}{a_i}$$

- Demande de facteurs :

$$x_i^*(\boldsymbol{p}, y) = \frac{y}{a_i}$$

- Absence d'économies d'échelle : coût moyen et coût marginal égaux.



Cas de la fonction de Cobb-Douglas

- Fonction de coût correspondante, cas à deux facteurs :

$$C(\boldsymbol{p}, y) = \left(p_1 \left(\frac{\alpha p_2}{\beta p_1}\right)^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} + p_2 \left(\frac{\beta p_1}{\alpha p_2}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} \right) \left(\frac{y}{A}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}} = K(p_1, p_2).\, y^{\frac{1}{\alpha+\beta}}$$

- Demande de facteurs :

$$x_1^*(\boldsymbol{p}, y) = \left(\frac{\alpha p_2}{\beta p_1}\right)^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} \left(\frac{y}{A}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}} = K_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right).\, y^{\frac{1}{\alpha+\beta}}$$

  Les isoquantes sont homothétiques. L’intensité relative des facteurs ne change pas avec le niveau de production.

- Economies d’échelle :

$$s = \frac{C(\boldsymbol{p}, y)}{y.\, \partial \mathrm{C} / \partial \mathrm{y}} = \alpha + \beta$$

Propriété particulière de la fonction de Cobb-Douglas

- Rapport des demandes de x_1 et x_2 :

$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{\beta p_1}{\alpha p_2}$$

- Or le coût total est :

$$C = p_1 x_1 + p_2 x_2$$

- Donc :

$$\boxed{p_1 x_1 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} C}$$

Cas de la fonction CES

- Fonction de coût correspondante, cas à deux facteurs :

$$C(\boldsymbol{p}, y) = y^{\frac{1}{v}} p_1 p_2 (a_1 p_2^{s-1} + a_2 p_1^{s-1})^{\frac{s}{1-s}} (a_1 p_2^s + a_2 p_1^s) = K(p_1, p_2).\, y^{\frac{1}{v}}$$

- Demande de facteurs :

$$x_1^*(\boldsymbol{p}, y) = y^{\frac{1}{v}} a_1 p_2^s \left(a_1 p_2^{s-1} + a_2 p_1^{s-1}\right)^{\frac{s}{1-s}} = K_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right).\, y^{\frac{1}{\alpha+\beta}}$$

  Les isoquantes sont homothétiques.
- Economies d'échelle :

$$s = \frac{C(\boldsymbol{p}, y)}{y.\,\partial \mathrm{C}/\,\partial \mathrm{y}} = v$$

Formes flexibles, fonction translog

- **Formes flexibles** : elles permettent l'approximation quadratique de n'importe quelle fonction.
  - élasticités du coût par rapport aux produits,
  - élasticités de substitution.

  Aucune supposition sur la structure des coûts.
- Exemple : fonction translog (*transcendental logarithmic*)

$$\ln C(\boldsymbol{p}, y)$$
$$= a_0 + a_1 \ln y + b_1 \ln p_1 + b_2 \ln p_2 + \frac{1}{2} a_{11} (\ln y)^2 + \frac{1}{2} b_{11} (\ln p_1)^2 + b_{12} \ln p_1 \ln$$
$$+ \frac{1}{2} b_{22} (\ln p_2)^2 + d_{11} \ln y \ln p_1 + d_{12} \ln y \ln p_2$$

  Standard dans les études économétriques aujourd'hui.
- Désavantage logique : de nombreux paramètres à estimer.

Cas à plusieurs produits

- Coûts dans le cas multiproduit :
  - coûts **spécifiques** : relevant d'un service unique (exemple, repas pour les passagers/transport de fret),
  - coûts **communs** : présents lorsque des produits sont produits en proportion variable (transport passager et fret sur des voies ferrées)
  - coûts **joints** : présents lorsque des produits sont produits en proportion fixe (aller-retour, nombre de sièges)
- Problème d'allocation des coûts.

Economies d'envergure

Définition

Lorsqu'il est moins cher de produire ensemble des produits différents que de les produire séparément, il y a présence **d'économies d'envergure (scope economies)**. Par exemple :

$$C(\,y_1, y_2) < C(y_1, 0) + C(y_1, 0)$$

Economies d'envergure

- Indice local de présence d'économies d'envergure, ou de **complémentarité des coûts (cost complementarities)** :

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y_1 \partial y_2} < 0$$

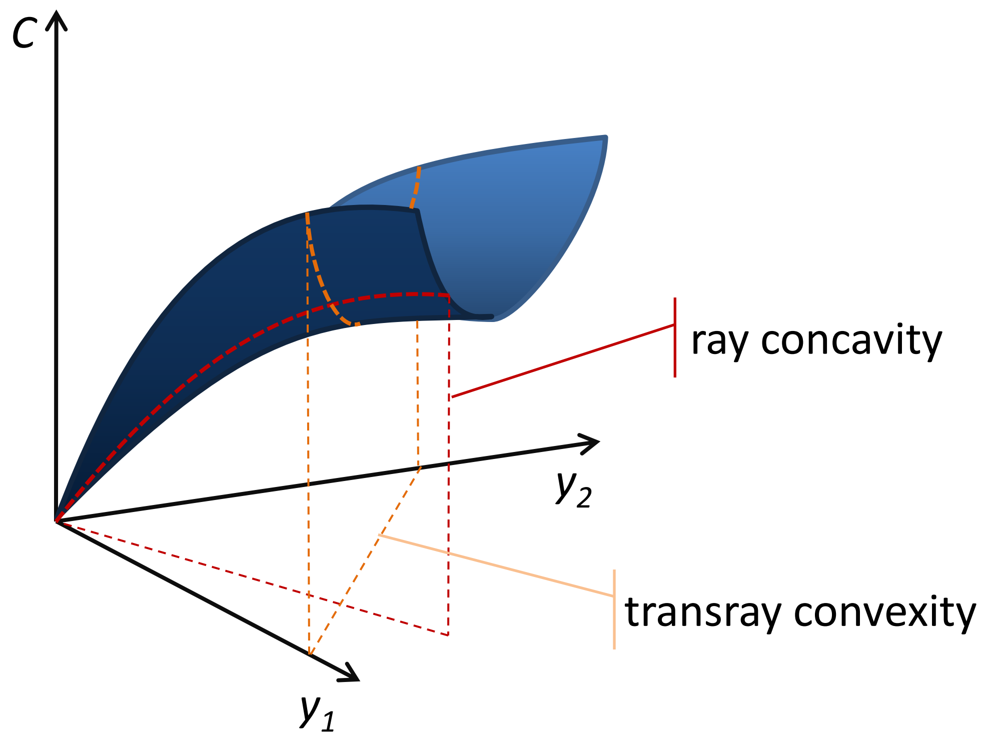
- Les économies d'envergure expliquent la présence d'entreprises multiproduits.

Sources d'économies d'envergure en transport

- Economies dues au partage d'un facteur :
  - Même véhicule pour transporter des biens ou des personnes dans deux directions opposées.
  - Même véhicule pour transporter des passagers et du fret.
- Economies dues à l'indivisibilité d'un facteur :
  - Ligne ferroviaire, autoroute, aéroports, sont utilisables pour différents usages.
- Economies de réseau :
  - Consolidation des petits envois en fret.
  - Réseau en hub en spokes (économies : meilleur taux de remplissage, avions plus gros; déséconomies : trajet plus long, plus de trafic dans les aéroports)

Cas à plusieurs produits

- Exemple d'une fonction de coût présentant des économies d'échelle, des économies d'envergure, et sous-additive (-> monopole naturel)



Conclusion

- Deux regards :
  - Interne : l'entreprise cherche à connaître ses coûts.
  - Externe : le régulateur cherche à connaître la structure des coûts de production d'un (ensemble de) services.
- Complexités :
  - Conceptuelles : produits multiples, notions complexes d'économies d'échelle, d'envergure, de monopole naturel.
  - Econométriques : difficultés d'avoir des données, de prendre en compte les bonnes variables.

3. Comportement du producteur

- Fonction de profit.
- Cas price-taker.
- Cas price-maker.
- Situations de concurrence imparfaite.
  - situation monopolistique,
  - situation oligopolistique.

Variété des situations de marché

- Concurrence forte : transport routier de marchandises, sur contrat spot : prix de marché inférieur ou égal au coût marginal.
- Concurrence par marchés : transport régional de voyageurs.
- Monopole : naturel et/ou réglementaire, plus ou moins historique : transport collectif urbain ou interurbain, péages d'infrastructures.
- Situations intermédiaires : frontières de concurrence plus ou moins intense (ferroviaire/bus, ferroviaire/aérien, grandes lignes/low costs, etc.)

Fonction de profit

- La fonction de profit donne la marge effectuée par un producteur vendant un produit ***y*** à un prix $\boldsymbol{p_y}$ après l'avoir produit à l'aide de facteurs ***x***

- Pour tout ***y***, ***x*** est choisi optimalement. Donc :

$$\pi(\boldsymbol{y}) = \boldsymbol{p_y}.\boldsymbol{y} - C(\boldsymbol{p_x}, \boldsymbol{y})$$

- On suppose que le producteur maximise son profit.

Cas *price-taker*

- Lorsque tous les prix sont fixes pour le producteur, il est **price-taker**. Ni $\boldsymbol{p_y}$ ni $\boldsymbol{p_x}$ ne dépndent de ***y***. (C'est le cas quand il a beaucoup de concurrents, et qu'il ne domine pas le marché.)
- Cas à un facteur, un produit, coût marginal de production croissant.

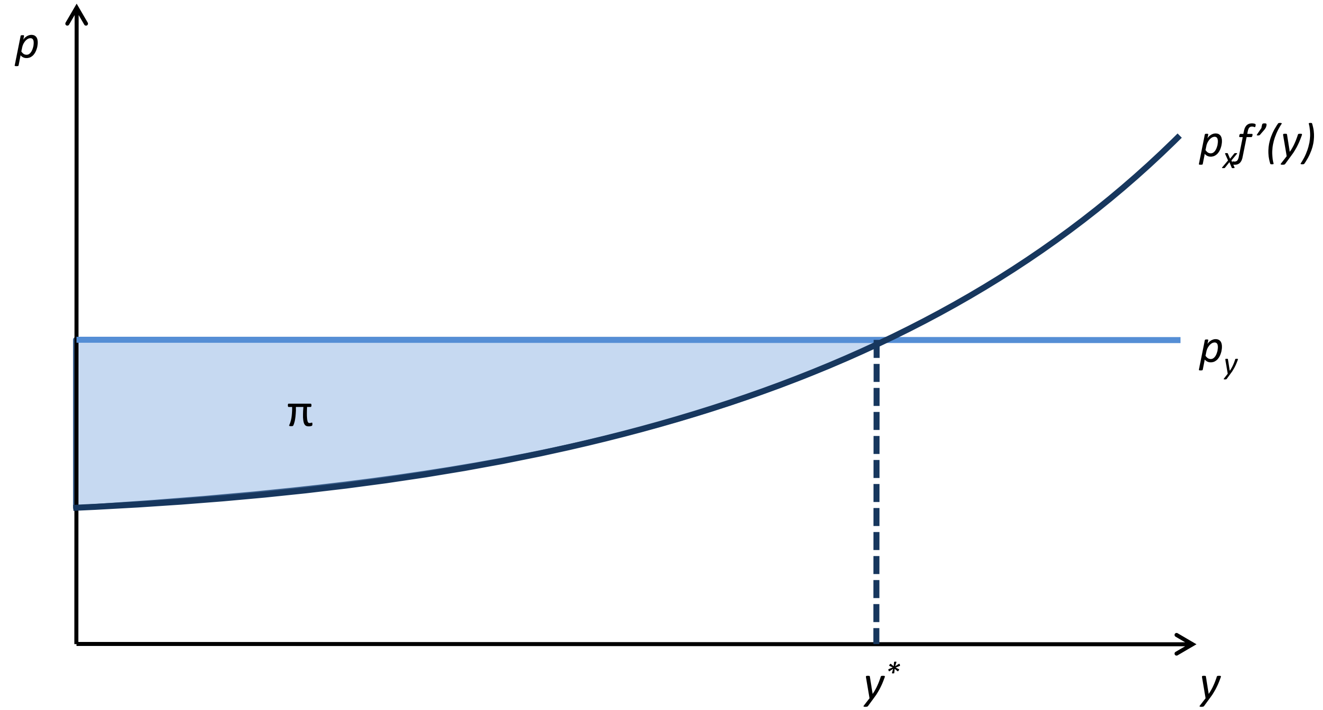
$$\pi(y) = p_y . y - C(p_x, y) = p_y . y - p_x f(y)$$

- Le producteur produit y^* égalisant le prix et le coût marginal :

$$p_y = p_x . f'(y^*)$$

Cas *price-taker*

- Représentation graphique :



Cas *price-maker*

- Le producteur en monopole détermine le prix auquel il vend son produit.
- Cas à un facteur, un produit, coût marginal de production croissant, demande décroissante.

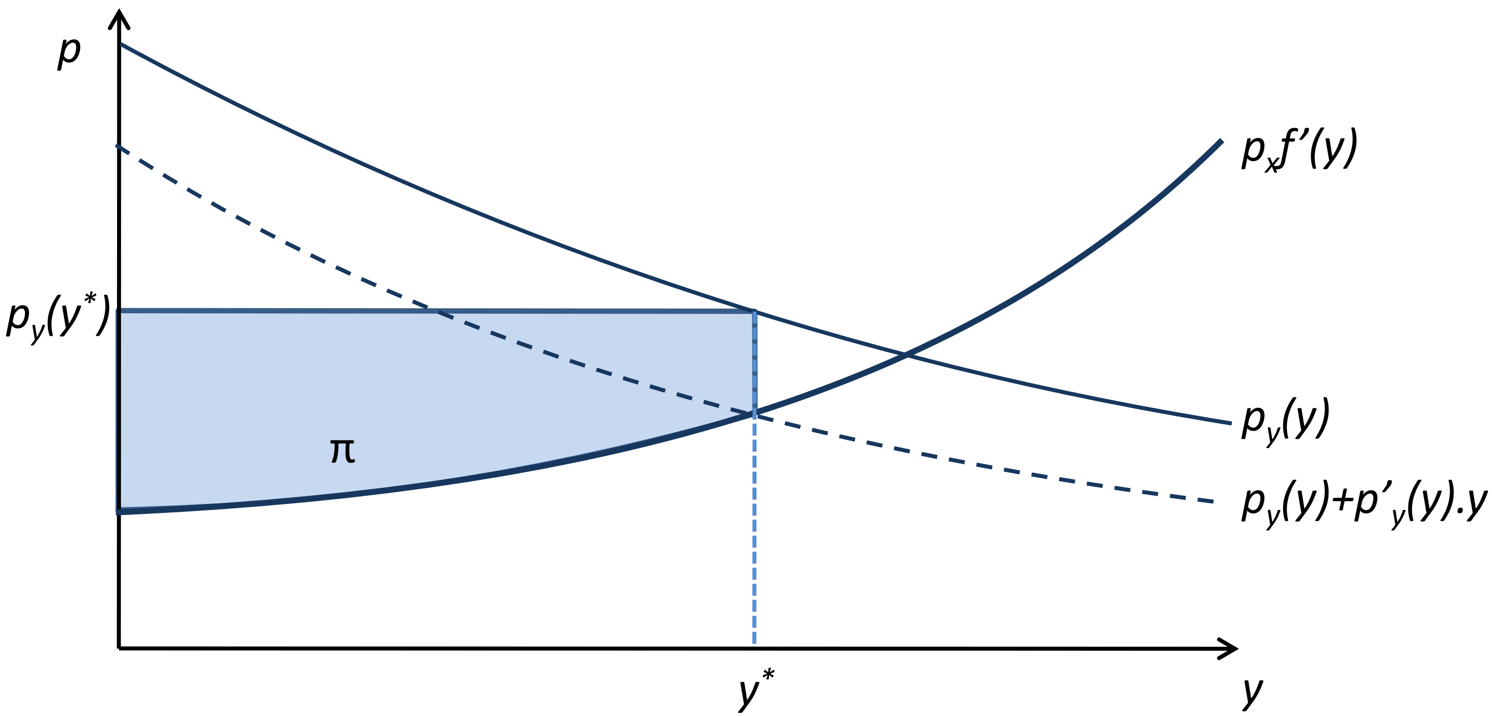
$$\pi(y) = p_y . y - C(p_x, y) = p_y(y). y - p_x f(y)$$

- Le producteur produit y^* égalisant la recette marginale (inférieure au prix) et le coût marginal.

$$p_y(y^*) + y^*. p_y^{'}(y^*) = p_x{}' f(y^*)$$

Cas *price-maker*

- Représentation graphique :



Concurrence imparfaite

- **Concurrence oligopolistique** : un petit nombre de grosses entreprises se partagent un marché (ex : modèle de Cournot). Jeu non coopératif, il ne s'agit pas forcément d'une entente.
- **Concurrence monopolistique** : chaque entreprise propose un produit unique. Ces produits sont des subtituts imparfaits. Ex : Paris-Marseille en voiture, en train, en avion : les trois possibilités ne sont pas identiques.

Conclusion générale.

- Résolution rapide du modèle EOQ. Soit une taille d'envoi *s*. Le coût unitaire de transport d'un débit *Q* est :

$$C = \frac{c_t}{s} + \frac{a.s}{2Q}$$

- La taille d'envoi optimale minimise C :

$$s^* = \min\left(\sqrt{\frac{2c_t.Q}{a}}, 20\right)$$