

Ecole des HEC de l'université de Lausanne
Modélisation Stratégique

Groupe 15

Alexandre Curchod

Daniel Tapis

Gérard Métrailler

projet de modélisation stratégique
**le trafic en Suisse
et son impact écologique**

modélisation stratégique

table des matières

modélisation stratégique : introduction	3
description du problème	3
les principaux comportements dynamiques	3
Objectif du projet de modélisation stratégique	4
modélisation stratégique : description du modèle	5
modélisation stratégique : la validation	8
description des tests effectués	8
modélisation stratégique : simulation et scénarios	9
description des scénarios	9
modélisation stratégique : conclusion	11
conclusion relative au projet / modèle considéré	11
conclusion relative à la modélisation stratégique	11
modélisation stratégique : annexe 1 – modèle	12
modélisation stratégique : annexe 2 – équations	14
modélisation stratégique : annexe 3 – graphiques	19
Validation et scénario « continuité »	19
Scénario « changements extrêmes »	21
Scénario « evolution probable »	23
modélisation stratégique : annexe 4 – données	25
modélisation stratégique : annexe 5 – références	28
modélisation stratégique : annexe 6 – présentation	29

modélisation stratégique :

introduction

description du problème

Un des problèmes majeurs que notre société rencontre aujourd'hui est la détérioration de son environnement, ceci étant la résultante de comportements humains qui en subissent les conséquences. Pour obtenir une vision macroscopique de la situation et de pouvoir scénariser un avenir prévisible, nous nous sommes concentrés sur les variables essentielles représentant au mieux la situation, ceci le plus simplement possible.

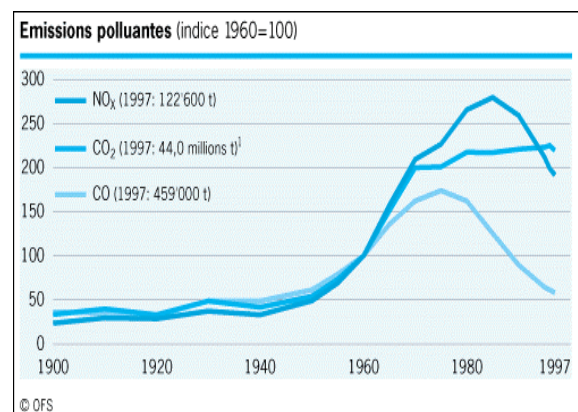
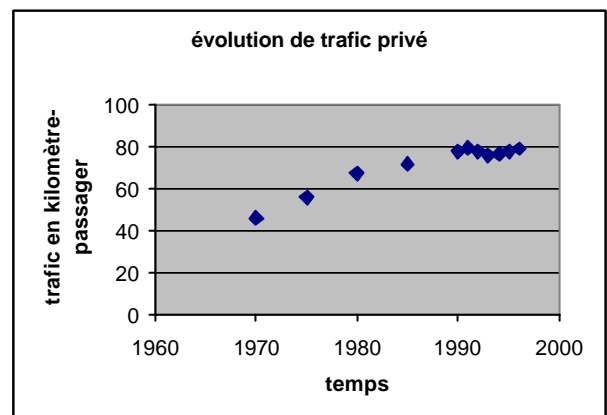
Le plus souvent cristallisé par des notions tel l'émission de CO₂, les trous dans la couche d'ozone et la santé publique, les transports privés ont une part active dans la problématique de la pollution. De plus, quel est l'impact des nuisances liées au trafic par rapport aux différentes régulations mises en place (catalyseur, taxes sur le prix de l'essence, ...) ainsi que sur le produit intérieur brut d'un pays (coût du temps perdu lié au trafic, coût de la santé lié à la pollution, les accidents, ...) ?

les principaux comportements dynamiques

Dans le cadre du projet de modélisation stratégique et pour ne pas chercher à lier des facteurs à des échelles différentes (Suisse vs. monde), nous allons nous concentrer sur la situation suivante :

Relation entre le transport privé (essentiellement routier), la pollution atmosphérique (représentée sous la forme d'émissions de CO₂ en Suisse), la création de richesse et la pression législative (due à la prise de conscience des citoyens)

La première variable représentative sera le trafic de personnes privées en Suisse. Ce choix s'impose car il est une source importante de polluants atmosphériques et est corrélée avec les autres sources de pollution, telles que les transports de marchandises par la route, avions,...

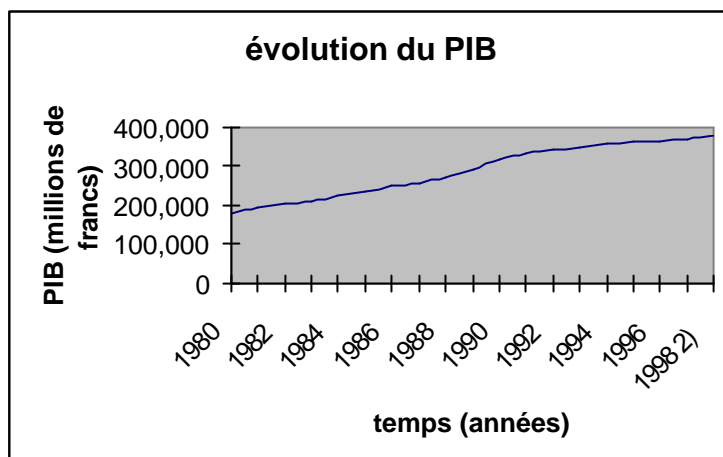


La variable représentant la pollution sera le dioxyde de carbone (CO₂), étant l'émission polluante la plus représentative. Nous disposons de données concernant l'émission de CO₂ en Suisse ; toutefois, pour ce qui est du stock de CO₂ dans la nature, l'absence de données nous imposera de poser des hypothèses réalistes quant à notre modèle. Le stock de CO₂ engendrera des mesures essentiellement législatives tendant à réduire le trafic et l'émission de polluants par kilomètre. Il s'agit de la première boucle qui est régulatrice.

En plus, notre modèle inclura un réservoir représentant la richesse du pays alimenté par le PIB. Ce réservoir aura une influence positive sur le trafic et sera influencé réciproquement, de manière positive, par celui-ci. Il s'agit ici d'une seconde boucle qui est accélératrice.

En modélisant la problématique des transports avec son influence économique et écologique, il sera intéressant d'effectuer une réflexion sur les différents moyens d'action que les individus et les pouvoirs publics peuvent avoir sur ce problème majeur des temps modernes. Nous nous concentrerons en particulier sur les effets dans le temps des différentes solutions tels que la législation, le comportement des citoyens

(conscience des leurs actes), les caractéristiques techniques des moyens de transport utilisés (catalyseurs, baisse de consommation), permettant une utilisation intéressante du modèle construit.



Objectif du projet de modélisation stratégique

Dans le cadre de notre projet de modélisation stratégique, nous nous sommes attelés à la création et d'un modèle et de divers scénarios servant de base à une réflexion et à une discussion sur la problématique considérée. Le modèle pouvant servir de « boule de cristal » expliquant de façon quasi-certaine les relations et les évolutions futures entre la pollution, le parc automobile et l'évolution du produit intérieur brut serait en effet d'une complexité tout autre, et nous en sommes conscients.

Malgré cette « limitation », un modèle tel que celui décrit et utilisé dans ce rapport permet d'observer des tendances, de mettre en avant des facteurs clés. Dans un monde où la pollution est un sujet de plus en plus central, nous avons cherché à regarder dans quelle mesure l'effet unique sur un unique facteur, à savoir le trafic automobile privé, peut avoir un impact sur deux des points les plus importants des sociétés modernes : la richesse et la pollution.

modélisation stratégique :

description du modèle

Afin de limiter la taille, et par la même occasion la complexité du modèle considéré dans le cadre de ce projet, nous allons considérer la Suisse comme un système fermé à tous les niveaux. Cette section du rapport va décrire le modèle utilisé dans le cadre du projet. Celui-ci est disponible dans les annexes 1 et 2 aux pages 12 et suivantes.

partie du modèle consacré au produit intérieur brut

Le réservoir « Richesse » représente l'ensemble des biens accumulés par la Suisse au sens large durant son histoire. Ce réservoir, qui est alimenté par le PIB, diminue selon nos estimations de 2% par an. Nous avons par conséquent posé comme hypothèse (vraisemblable) que la durée de vie moyenne pondérée de tous les objets disponibles en Suisse est de 50 ans. Le PIB est alimenté par trois parties distinctes:

1. Une part constante exogène qui représente le minimum vital créé par l'activité humaine, ceci également lors d'une absence de richesse. Celui-ci est estimé à 15'000.—CHF par an et par habitant. La valeur de 1'050'000'000'000.—CHF par an et ainsi obtenu pour la population helvétique d'environ 7 millions de résidents permanents.
2. Une part représentant le rendement de la richesse accumulée hors véhicules généré par l'activité humaine (ou rendement de la fortune), que nous avons fixé à un taux de 0.9% par année. Cette faible valeur représente la constatation qu'une grande majorité des biens produits sont ceux de consommations alors que les biens d'investissement qui génèrent un rendement ne forment qu'une faible part des biens produits.
3. La dernière part du PIB est générée par le trafic automobile privé. Nous avons ici effectué la subdivision suivante :
 - Les frais fixes engendrés par chaque automobile représentent approximativement 5'000.— CHF par année et sont formés par les frais d'assurances, d'impôts, d'achats, de location de garage, de participation à des clubs automobiles, ...
 - Les frais variables relatifs aux kilomètres parcourus à hauteur de 0,5 CHF par km et qui représentent la consommation d'essence, l'entretien, l'usure des pneus, ...
 - Une création de valeur pour l'économie helvétique par effet externe de 2.— CHF par kilomètre qui représente la possibilité d'occuper des emplois plus productifs et de consommer des biens et services inaccessibles sans possibilité de déplacement individuels.

Cette partie est exprimée en milliards de francs suisses. Par exemple, dans notre modèle, le PIB généré par les véhicules (calculé en francs suisses) est ajusté par un facteur de conversion. Les ajustements et contrôles nécessaires ont été effectués à l'aide des données relatives à l'évolution du produit intérieur brut helvétique (cf. annexes)

partie du modèle consacrée au transport

Le nombre de véhicules est le réservoir principal de cette partie. Celui-ci est alimenté par l'achat de véhicules neufs et diminue avec le temps. Nous avons pris comme hypothèse une durée de vie moyenne pondérée des véhicules de 15 ans. L'achat de véhicule découle de la création de richesse du pays en utilisant une part du PIB de 2.3% avec un délai¹ qui représente le temps entre la disponibilité des ressources pour l'acquisition d'un véhicule et l'achat effectif. Ce dernier subi une influence représentant la pression législative qui provient de la perception de la pollution. Celle-ci est matérialisée en pratique par différents obstacles à l'usage, à l'achat et à la détention d'automobiles (restrictions de parcage en ville par exemple) ainsi que par l'effet indirect des mesures visant à promouvoir les transports publics.

L'estimation d'un prix d'achat moyen d'un véhicule de 20'000.—CHF a été effectuée sur la base des données chiffrées du Touring Club Suisse et en se basant sur l'inventaire du parc automobile helvétique. Nous avons également défini le nombre de kilomètres parcouru par l'ensemble du parc automobile par année. Le kilométrage de chaque véhicule est un nombre maximal hypothétique désiré de 50'000 km/an modéré par les contraintes légales découlant du problème de pollution. Nous faisons ici abstraction des autres facteurs limitant le nombre de kilomètres parcourus par année tels les accidents ou les nuisances sonores en les intériorisant à la valeur définissant les contraintes.

Les prescriptions légales servent à représenter les taxes sur l'essence, les restrictions au trafic tels limitations de vitesse plus restrictives et vignette autoroutière depuis le début des années 1980 ainsi que les mesures diverses tendant à décourager l'usage de véhicule privé en milieux urbain.

partie du modèle consacré à la pollution

Le réservoir de cette partie contient le stock de dioxyde de carbone en Suisse en émettant l'hypothèse d'absence d'échange avec les pays limitrophes. La croissance de la végétation consomme environ 5 millions de tonnes de CO₂ par année et nous sommes partis de l'hypothèse que le trafic motorisé privé est l'unique² émetteur de CO₂.

L'émission de CO₂ par kilomètre parcouru sans contrainte est obtenu en utilisant les valeurs des émissions de 1960, à savoir 3 kg³. Les émissions par kilomètre sont limitées par une pression légale découlant de la perception du problème de pollution et rendu possible par le progrès technique. Ceci représente la diminution importante de consommation d'essence par kilomètre qui peut être illustré par les 15 litres de carburant consommés pour 100 kilomètres parcourus par une VW coccinelle en 1960 qui se sont réduit à 3 litres pour une VW Lupo actuelle⁴.

¹ délai filtre SMTH1

² en réalité, les émissions des véhicules représentent environ la moitié des émissions de CO₂ dans les pays industrialisés et environ 15 à 20% au niveau de la planète.

³ dans cette partie du modèle, le trafic automobile n'est que un indicateur et les émissions réelles par kilomètre sont environ deux fois moins importantes

⁴ notre modèle s'applique au cas helvétique. Par opposition, la consommation d'essence aux USA est en augmentation en raison de la forte adoption de « SUV » et autre « Truck ».

Il faut ensuite comparer le stock de CO₂ à un niveau acceptable de pollution dans la nature, à savoir 0, puis calculer la différence entre l'état désiré et l'état réel adapté par un délai de perception. Ceci commande un flux de pression législative qui influe le niveau du réservoir de pression législative (son niveau peut varier de 0 à 1)

Le délai d'ajustement du flux de pression législative est considéré dans ce modèle comme équivalent à la durée de législature suisse qui est de 4 ans. La partie du modèle relative à la pollution contient des facteurs de conversions entre les stocks et les émissions de CO₂ dans la nature qui sont en millions de tonnes et les émissions des véhicules qui sont en kilogrammes. Un ajustement et contrôle de cette partie du modèle à été effectué en se basant sur les données historiques d'émission de dioxyde de carbone pour la Suisse (cf. annexes)

Déroulement dans le temps

Pour éviter les chocs tel que la deuxième guerre mondiale et afin de rester dans un contexte suffisamment constant, la simulation du modèle va de 1960 à 2000 pour permettre la correspondance entre les résultats obtenus et les données disponibles. La simulation est ensuite effectuée jusqu'en 2020, en utilisant différents scénarios.

Le pas de simulation a été fixé à ¼ d'année, soit quatre fois mois que le délai minimum du modèle considéré.

L'utilisation du modèle présenté dans le cadre de ce rapport à des fins de prédictions nécessite des affinements car l'évolution future dépendra en majeure partie de la conversion dans la réalité de l'accroissement des pressions législatives. Sans entrer dans les détails des simulations effectués dans les sections suivantes, il est cependant possible de s'attendre aux situations suivantes pour la Suisse :

1. Une croissance légèrement fléchie du nombre de véhicules⁵
2. Une stabilisation ou légère croissance des émissions de CO₂ dans l'atmosphère.
3. Une croissance soutenue du stock de CO₂ dans l'atmosphère.
4. Une accumulation continue de richesses
5. Un fléchissement de la croissance du produit intérieur brut.

Evolution possible du modèle

De nombreuses complications et évolutions de modèle sont possibles. Nous pourrions par exemple créer un lien entre le stock de CO₂ dans l'air et le niveau de pollution acceptable par la population, en partant de l'hypothèse d'une accoutumance à un certain niveau de pollution engendrant une augmentation du niveau de pollution acceptable ou, au contraire, une exaspération de la population conduisant pour un même niveau de pollution, à un renforcement de la pression législative.

Ces effets sont naturellement à considérer dans une perspective à long terme. En effet, l'individu qui naît aujourd'hui ne sera pas autant marqué par une augmentation significative du niveau de pollution qu'une personne née il y a 60 ans.

⁵ un niveau de saturation sera éventuellement atteint un jour

modélisation stratégique : la validation

description des tests effectués

Puisque la tendance des courbes peut être influencée par une mauvaise estimation, il convient de comparer les données numériques fournies avec les tendances figurant sur les différents graphiques de l'annexe 3 (pages 19 et suivantes). Il s'agit en effet, sous cette rubrique, de faire correspondre les chiffres à la réalité.

Dans les graphiques 1 et 5 de l'annexe 3, nous constatons les points suivants :

- En ce qui concerne la richesse, les données correspondent en général bien à la réalité, si ce n'est que la tendance par voie graphique tend à surévaluer les données numériques.
- Concernant les véhicules, le graphique a manifestement tendance à sous-estimer les données numériques. Etant donné que les variations entre les différents écarts restent négligeables, l'analyse reste valable et rationnelle.
- Le produit intérieur brut quant à lui répond très bien aux données initiales. A de petits écarts près, la solution graphique est significative.
- Le CO₂ dans l'air correspond également au modèle numérique de base. Les estimations en conséquence correctes.

La concordance entre les résultats obtenus par le modèle et ceux des tableaux statistiques est vérifiée et significative en considérant les observations ci-dessus et une analyse détaillée entre la réalité et le modèle représenté.

Après observation du tableau statistique de base, il est nécessaire de remarquer la possibilité d'extension du modèle en ajoutant une influence du stock de CO₂ sur le niveau de pollution, ceci de deux façons distinctes :

- habitude ; dans cette situation, le niveau acceptable de pollution augmente en fonction du stock existant avec un grand temps de retard.
- à mesure que le stock de CO₂ augmente le niveau acceptable diminue.

De plus, la pression législative se trouve dans un intervalle]0 ;1[. Ces bornes montrent une tendance non linéaire. Pour éviter que deux convertisseurs non linéaires se suivent, la perception de la pollution reste linéaire.

Il convient finalement de noter que malgré le fait que notre modèle décrive de façon satisfaisante les années 1960 à 2000, les prévisions basées sur celui-ci seront uniquement indicatives en fonction du domaine ajusté (ou plutôt ajustable)

modélisation stratégique : simulation et scénarios

description des scénarios

Suite à la validation de notre modèle en comparant les résultats obtenus avec la situation réelle entre les années 1960 et 2000, il convient d'analyser différentes possibilités pour l'avenir. La construction des deux scénarios décrits ci-dessous permet une estimation ayant pour but d'ouvrir la réflexion sur les moyens d'action relative à la pollution et au trafic.

Premier scénario : la continuité

Le premier scénario (graphique 1 à 4 de l'annexe 3 en page 19) se base sur la continuité de la situation actuelle. Dans ce scénario nous constatons que l'évolution des indicateurs poursuit une trajectoire constante dans la continuité de celles observées jusqu'en l'an 2000. Notre modèle prédit par conséquent un accroissement continu du PIB, de la richesse accumulée et du parc de véhicules du pays. Il prédit également une légère augmentation des rejets de CO₂. Pour ce dernier point, il est nécessaire d'émettre des réserves puisque notre modèle sort du domaine de fonctionnement pour lequel il a été ajusté. Le résultat le plus intéressant mais aussi le plus inquiétant est de constater une augmentation soutenue du stock de polluants dans l'environnement.

L'observation des indicateurs illustre l'effort fourni par le législateur dans le sens d'une réduction des émissions de polluants pour le même nombre de kilomètres parcourus par véhicule.

Deuxième scénario : les changements extrêmes

Le deuxième scénario (graphiques 5 à 8 de l'annexe 3), tant extrême pour des raisons de validation, a été élaboré en modifiant les trois des variables essentielles du modèle. Nous avons imaginé à l'extrême qu'en l'an 2000, suite à un progrès technologique fulgurant et à une prise de conscience massive de la population, les émissions de CO₂ par kilomètre parcouru étaient divisés par deux. En outre, le désir de rouler des citoyens et leur désir d'achat des véhicules étaient divisés par deux également. Malgré la brutalité des hypothèses retenues, la situation que nous observons est la suivante : le stock de polluants dans l'environnement se stabilise ; en effet les émissions de CO₂ convergent vers une valeur correspondant approximativement, à la capacité d'absorption naturelle. Ce résultat est obtenu au prix d'une récession sévère, comme on pourrait s'en douter.

L'observation de ce scénario explique mieux l'importance de la pression législative sur l'émission de polluants plutôt que sur les autres moyens d'action possible, dont leur répercussions - économiques en particulier - seraient bien plus importantes.

Troisième scénario : évolution probable

Le troisième scénario se rapproche plus de la réalité dans le sens où il affecte le désir de rouler, le désir d'achat et les émissions de pollutions que de 10% au lieu de 50%. Suite à cette mesure, on peut remarquer que la tendance du nombre de voiture suit de très près celle du PIB. De plus, La richesse n'est pas du tout affectée dans cet intervalle de temps. Il en va de même pour le stock de CO₂ dans l'atmosphère puisqu'il n'est pas question d'une répercussion notable de cette mesure sur l'environnement.

Le nombre de kilomètres par véhicule et par an diminue sensiblement. Savoir si la mesure prise initialement aura des répercussions non négligeables au niveau de l'environnement mais aussi au niveau de la richesse du pays semble très difficile à identifier. Les différents graphiques, figurant en annexe, donne une représentation des différents scénarios. Contrairement aux conseils proposés dans le cadre du cours, le mélange de différentes grandeurs dans les graphiques à été effectué volontairement dans la mesure où leur vision simultanée permettrait d'analyser le déroulement dans le temps d'une situation de façon plus pertinente.

Observations et remarques

Les émissions de CO₂ sont nettement plus importantes que l'absorption par la végétation, ce qui implique que seul des mesures extrêmes pourrait empêcher le stock de croître. La croissance du parc de véhicules et son utilisation faiblit peu malgré le fait que les émissions de CO₂ soient stables, ce qui indique un bien plus grand effort dans le sens d'une progression technique que de restrictions de circulation ou d'achat.

La crise pétrolière des années 70 n'apparaît pas au niveau économique (PIB Richesse) mais une partie de la stabilisation des émissions de CO₂ est sans doute liée au renchérissement du pétrole. En effet, le CO₂ émis est directement proportionnel au pétrole consommé. Cela ne fait pas toute l'explication de la stabilisation des émissions, car en CHF constant les prix actuels du pétrole sont redescendus bien en dessous du maximum et les rejets de CO₂ n'augmentent pas. Une bonne partie du prix de l'essence est faite de taxes qui ne dépendent pas du prix fixé par les producteurs.

Le scénario extrême de stabilisation du stock de CO₂ par diminution drastique des émissions prédit une récession sévère. Cela semble correct dans la mesure ou même si la Suisse ne produit pas de véhicules automobiles, beaucoup d'activités annexes en dépendent: réseaux de distribution de véhicules et de carburant, d'entretiens, de réparation mécanique ou carrosserie, de services médicaux, d'assurances, de prestations touristiques (Hôtels, Station de sport d'hivers isolés), de constructions d'infrastructures (routes et autoroutes). On peut aussi indiquer qu'indirectement l'achat d'un véhicule contribue au produit intérieur brut dans la mesure où l'acheteur désirant acheter un véhicule fabriqué à l'étranger doit notamment fournir une contre prestation équivalente à son achat pour avoir les moyens de le faire et que sans ce désir d'achat, il ne produirait peut être pas autant.

D'un autre côté la récession prédite serait atténuée dans la mesure où les transports privés seraient remplacés par des transports publics moins polluants et que les travailleurs qui seraient pénalisés par la baisse du trafic se reconvertiraient dans d'autres secteurs d'activités (notre modèle ne peut inclure cette modification dynamique)

modélisation stratégique :

conclusion

conclusion relative au projet / modèle considéré

Bien que relativement fidèle à la réalité passée, le modèle décrit et développé dans ce projet/rapport est très certainement bien trop simplifié de par sa taille et complexité pour permettre une simulation réaliste de l'évolution future. La série d'hypothèses incluses dans ce modèle et explicitées précédemment en font un modèle utilisable comme indicateur général, décrivant des tendances en considérant que le passé représente une image fidèle du futur. Or il n'est pas possible de garantir ce point. Les scénarios analysés représentent les possibilités de changement qui peuvent servir de base à une réflexion sur les impacts futurs de modifications tant politiques, techniques que sociales.

Il faut encore noter que le modèle explicité dans le cadre de ce rapport s'applique au cas de la Suisse. Une utilisation de celui-ci à un autre pays nécessitera des adaptations plus ou moins importantes. Dans le cas des différents pays limitrophes, ces changements seront très certainement minimes et seront la plupart du temps uniquement relative à des changements de valeurs de départ. L'application du modèle aux Etats-Unis nécessitera très certainement des changements plus importants, tant au point de vue de la pollution, des kilomètres parcourus, que de la pression législative pour ne citer que quelques points. Finalement, ce modèle se base sur des hypothèses qui ne sont pas vérifiées dans des pays tels la Chine, la Russie ou encore un pays sub-saharien, en particulier sur la part relative que représente les véhicules privés dans l'émission de CO₂.

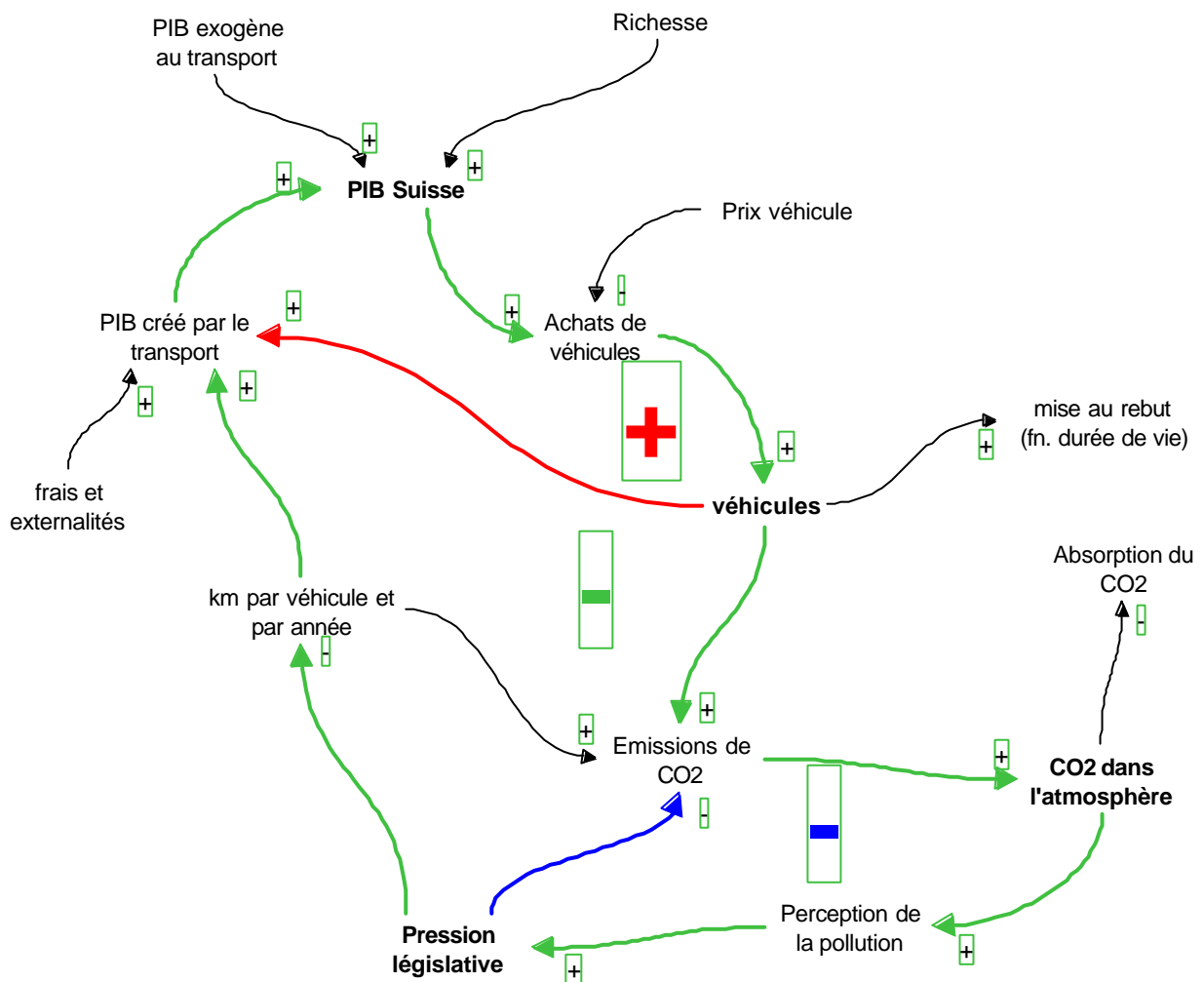
conclusion relative à la modélisation stratégique

L'application des différents concepts enseignés au cours de modélisation stratégique s'est avérée très intéressante dans le cadre de ce projet. L'apport des expériences passées des différents membres de l'équipe a très souvent étendu la vision au-delà d'une idée de base ne prenant pas en compte les différentes facettes du problème. La définition des limites du modèle et des hypothèses à poser s'est avérée être un des challenges les plus intéressants de ce projet. Trouver le juste milieu entre le nécessaire et le superflu est une tâche très complexe qui nécessite une vision globale du problème. La complémentarité des membres de l'équipe a apporté des points de vue différents qui se sont finalement retrouvés dans le modèle décrit et utilisé dans ce rapport.

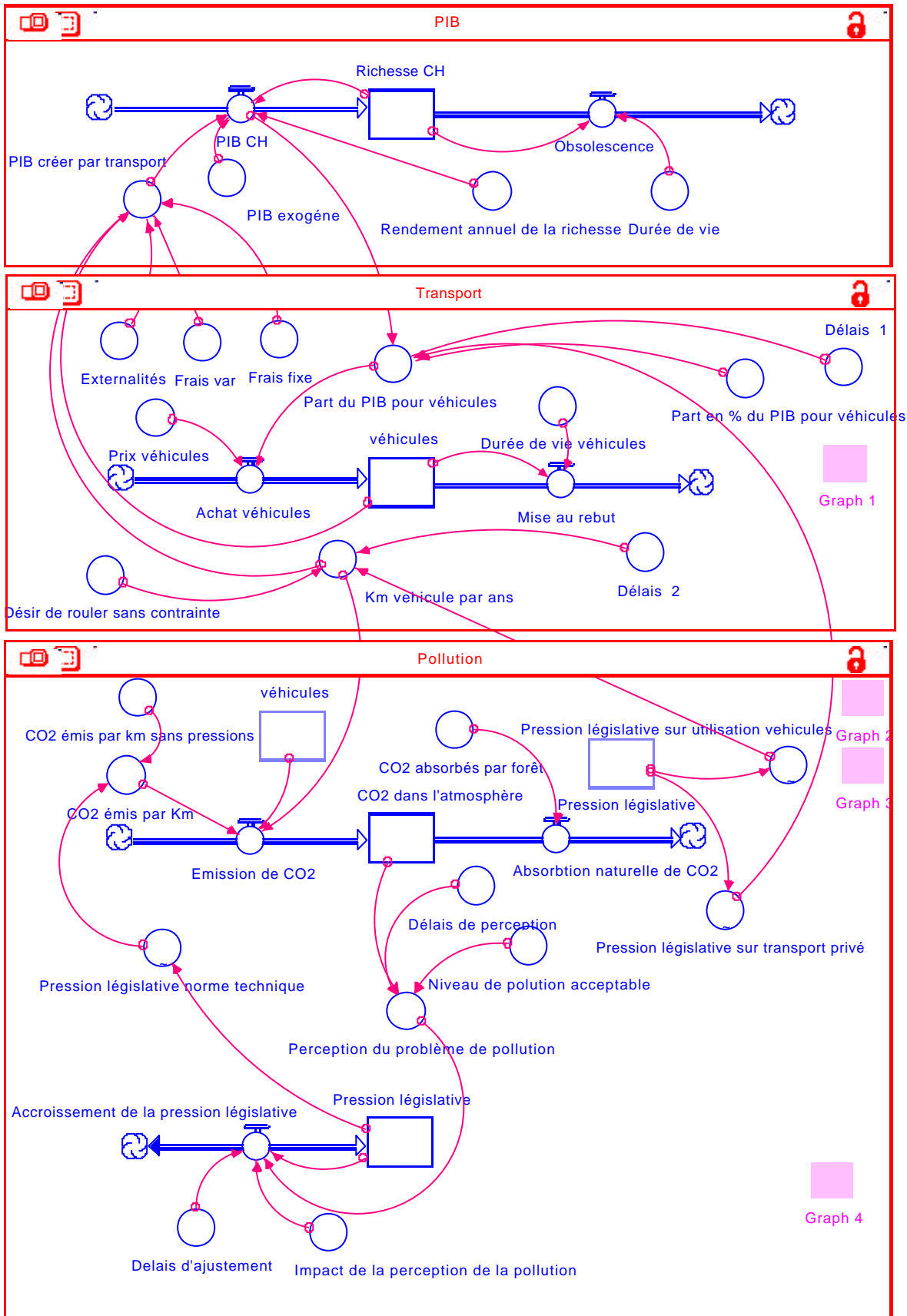
La recherche et l'utilisation de données pertinentes pour comprendre le passé est également une tâche complexe, très souvent ouverte à discussion au sein du groupe ayant participé au projet de modélisation stratégique. Finalement, il faut encore effectuer une remarque quant aux délais à considérer. Le temps est un facteur primordial dans tous les modèles, et en particulier dans quelque chose d'aussi global que la relation entre véhicules et pollution qu'il est important de considérer lors de la modélisation, de la validation et de l'élaboration des scénarios.

modélisation stratégique : annexe 1 – modèle

modèle avec boucles régulatrices et accélératrices



modèle iThink



modélisation stratégique :

annexe 2 – équations

PIB CH

$$\text{PIB_créer_par_transport} / 1000000000 + \text{PIB_exogène} + \text{Richesse_CH} * \text{Rendement_annuel_de_la_richesse}$$

{Mia de CHF/année. Coefficient de 1000000000 car PIB transport calculer en CHF doit être convertit en Mia}.

PIB exogène

105

{Mia de CHF/an générer par l'activité humaine même sans richesse, minimum vital, 5000/personne et par an}

PIB crée par transport

$$(\text{véhicules} * \text{Frais_fixe}) + (\text{Km_vehicule_par_ans} * \text{véhicules} * \text{Frais_var}) + (\text{Km_vehicule_par_ans} * \text{véhicules} * \text{Externalités})$$

{CHF par an, coûts fixes par véhicule + coûts variables par km parcouru + effets externes}

rendement annuel de la richesse

0.009

{rendement par année}

Obsolescence

$$\text{Richesse_CH} / \text{Durée_de_vie}$$

{Obsolescence en Mia de CHF/an}

Durée de vie

50

{Années}

externalités

2

{CHF/Km de création de richesse externe, choix d'un travail plus productifs etc.}

frais variables

0.5
{CHF de frais variable par km parcouru}

frais fixes

5000
{CHF par année de frais fixe par véhicule}

part du PIB pour véhicules

(1 - Pression_législative_sur_transport_privé) *
SMTH1(Part_en_%_du_PIB_pour_véhicules * PIB_CH , Délais__1)
{Mia CHF par année}

prix véhicule

20000
{CHF prix moyen des véhicules}

achat véhicules

(Part_du_PIB_pour_véhicules * 1000000000) / Prix_véhicules
{Véhicules/année. 1000000000 pour convertir de Mia de CHF/an en CHF/an}

durée de vie des véhicules

15
{ans}

mise au rebut

véhicules / Durée_de_vie_véhicules
{véhicules par ans}

part en % du PIB pour les véhicules

0.023
{part du PIB pour véhicules sans dimensions}

délai 1 (ajustement de l'effet sur le PIB)

1
{Année}

Km véhicules par an

SMTH1(Désir_de_rouler_sans_contrainte *
(1 - Pression_législative_sur_utilisation_vehicules) , Délais__2)

Délai 2

2

{Années}

désir de rouler sans contraintes

50000

{Km par an et par véhicule}

CO₂ émis par km sans pression législative

3

{Kg de CO₂ par kilomètre}

CO₂ émis par km

$CO2_émis_par_km_sans_pressions * (1 - Pression_législative_norme_technique)$

{Kg de CO₂ émis par km}

Emissions de CO₂

$véhicules * Km_vehicule_par_ans * CO2_émis_par_Km / 1000000000$

{Mio de tonnes de CO₂ émis par année. 1000000000 pour convertir de kg de CO₂ en mio de tonnes de CO₂}

CO₂ absorbé par la forêt

5

{Mio de tonnes de CO₂ par an}

délai de perception

1

{Année}

niveau de pollution acceptable

0

{Mio de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère}

perception du problème de la pollution

$SMT1(CO2_dans_l'atmosphère - Niveau_de_pollution_acceptable , Délais_de_perception)$

{mio de tonnes de CO₂ dépassant le seuil acceptable}

Impact de la perception de la pollution

0.0004

{Pression législative désirée par tonne de CO₂ dans l'atmosphère}

délai d'ajustement

4

{années de délai pour l'action du législateur, soit une législature}

accroissement de la pression législative

IF

$((\text{Pression_législative} + ((\text{Impact_de_la_perception_de_la_pollution} * \text{Perception_du_problème_de_pollution}) - \text{Pression_législative}) / \text{Delais_d'ajustement}) < 1)$

AND

$(\text{Pression_législative} + ((\text{Impact_de_la_perception_de_la_pollution} * \text{Perception_du_problème_de_pollution}) - \text{Pression_législative}) / \text{Delais_d'ajustement}) > 0)$

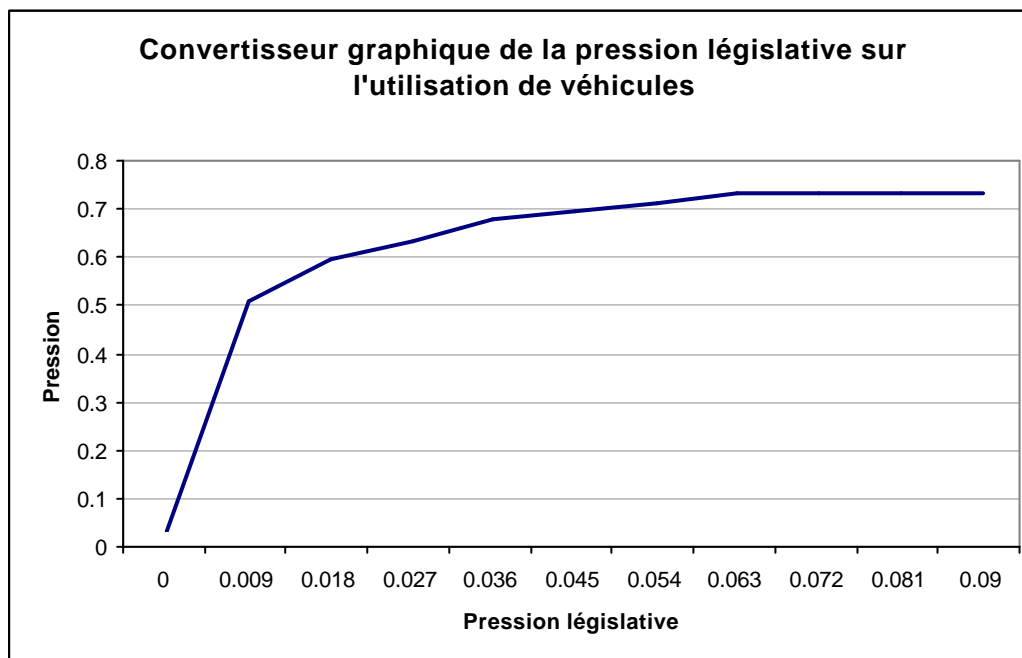
THEN

$((\text{Impact_de_la_perception_de_la_pollution} * \text{Perception_du_problème_de_pollution}) - \text{pression_législative}) / \text{Delais_d'ajustement})$

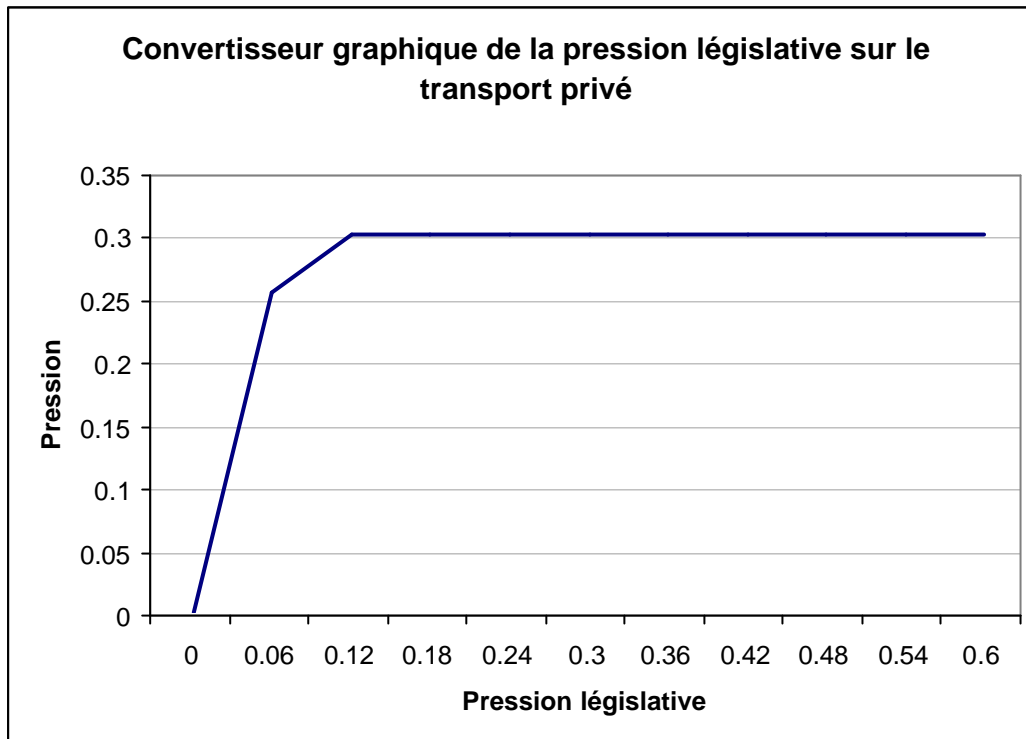
ELSE

0

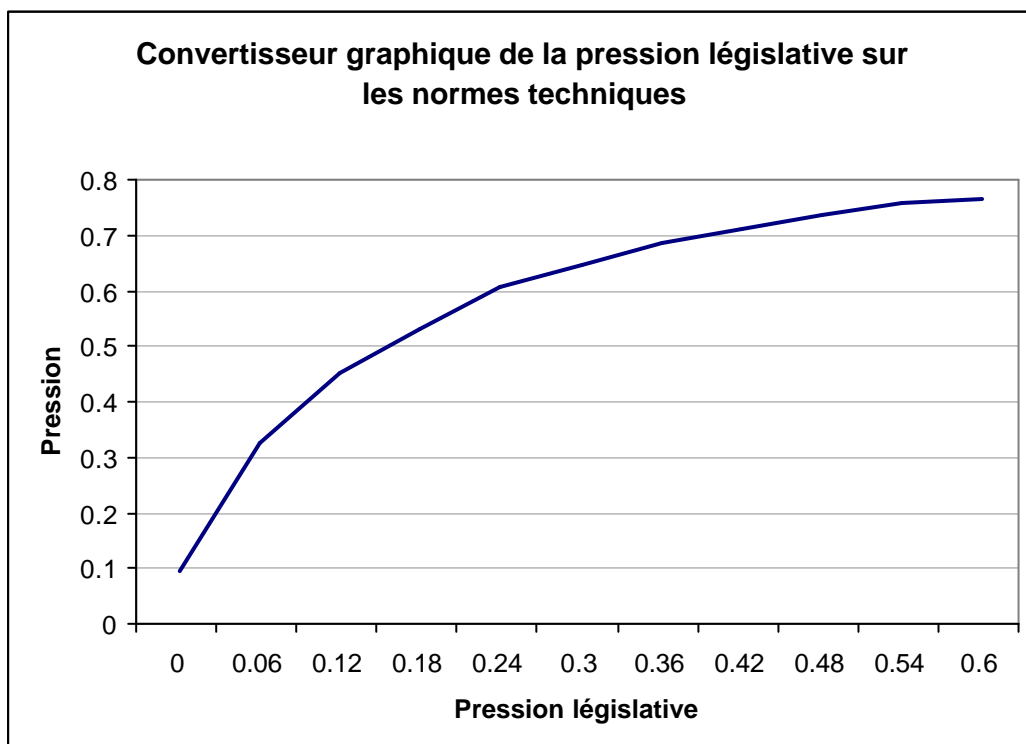
Pression législative sur utilisation de véhicules



Pression législative sur transport privé



Pression législative sur les normes techniques

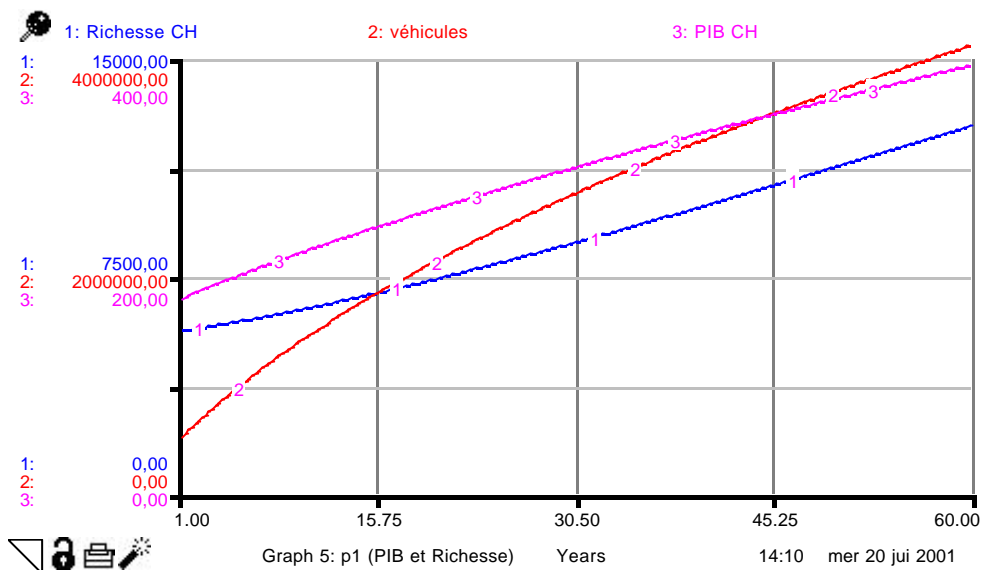


modélisation stratégique :

annexe 3 – graphiques

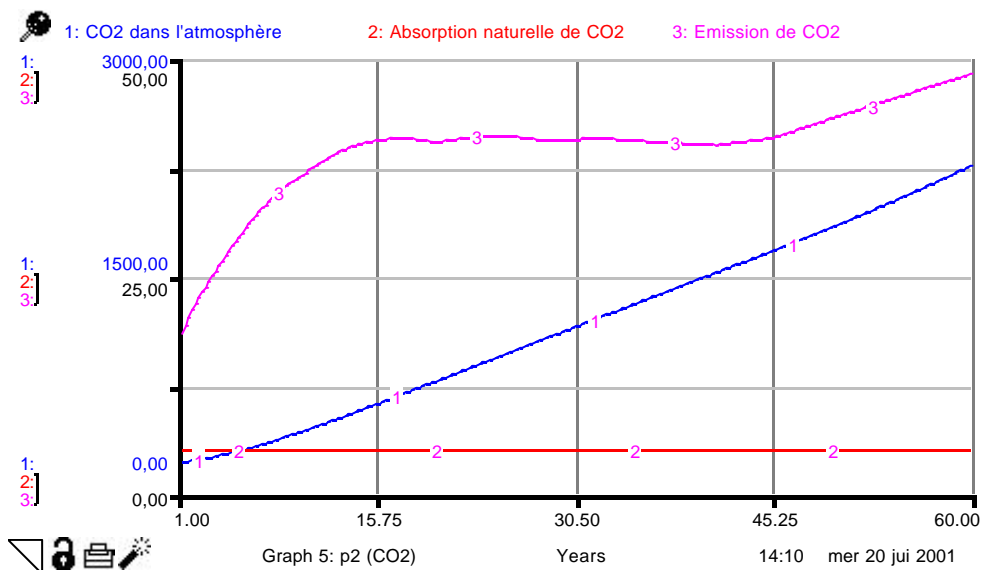
Validation et scénario « continuité »

Graphique 1 : PIB

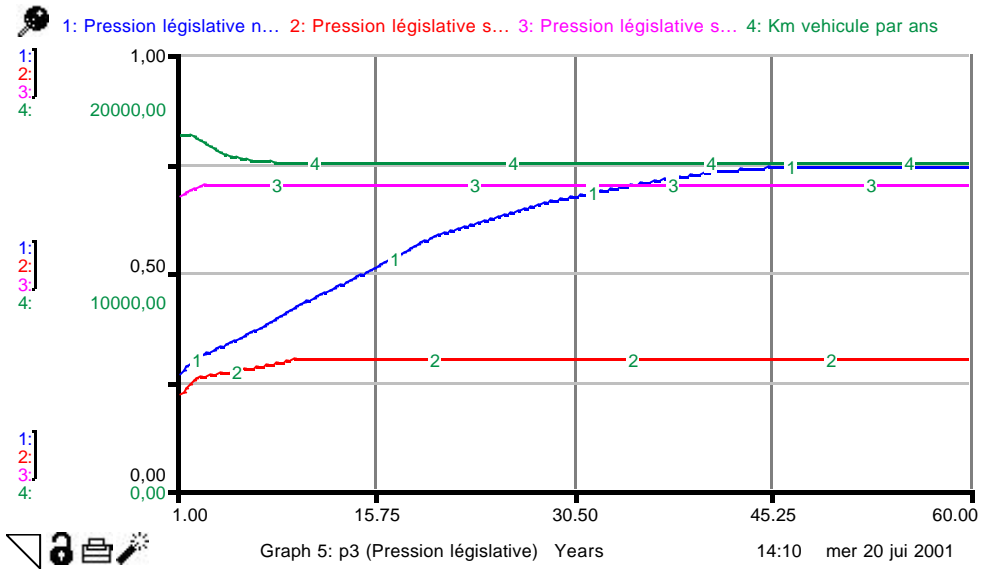


$$1 = 1960 / 60 = 2020$$

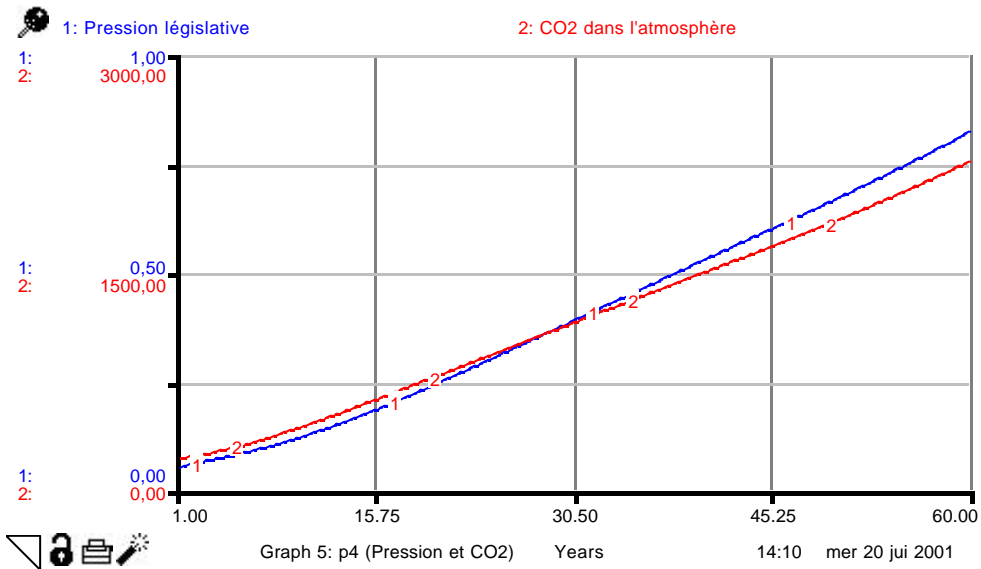
Graphique 2 : CO2



Graphique 3 : pression

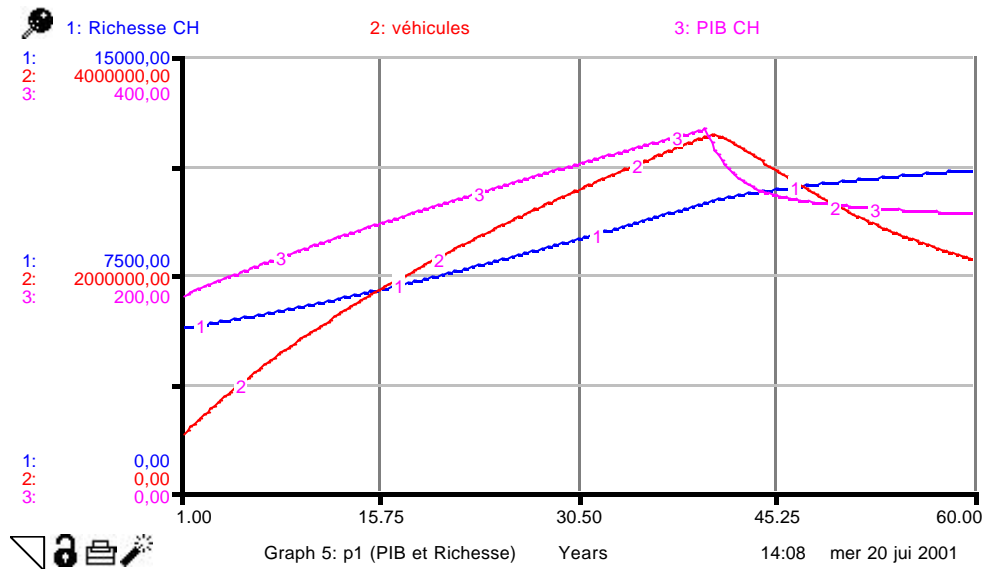


Graphique 4 : législation

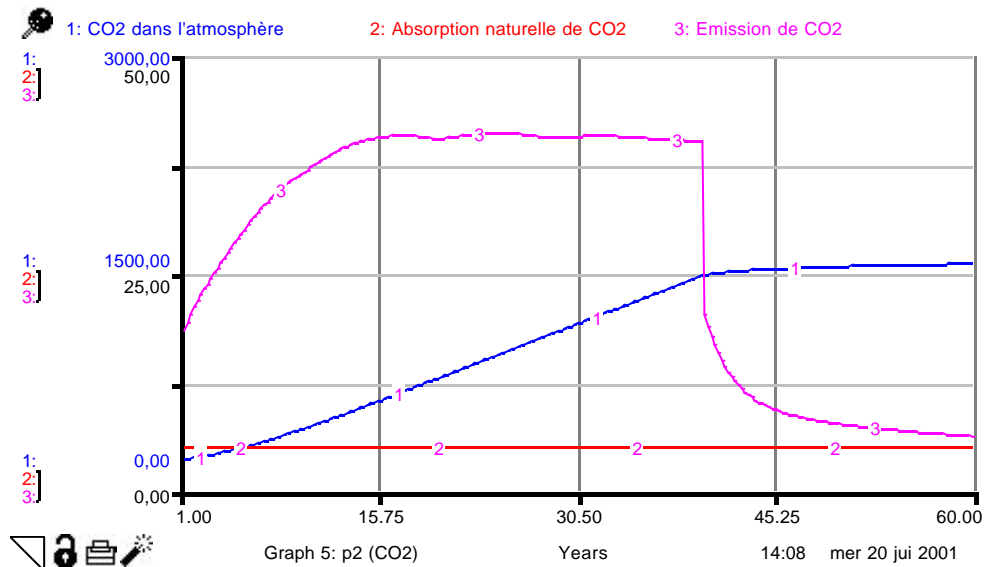


Scénario « changements extrêmes »

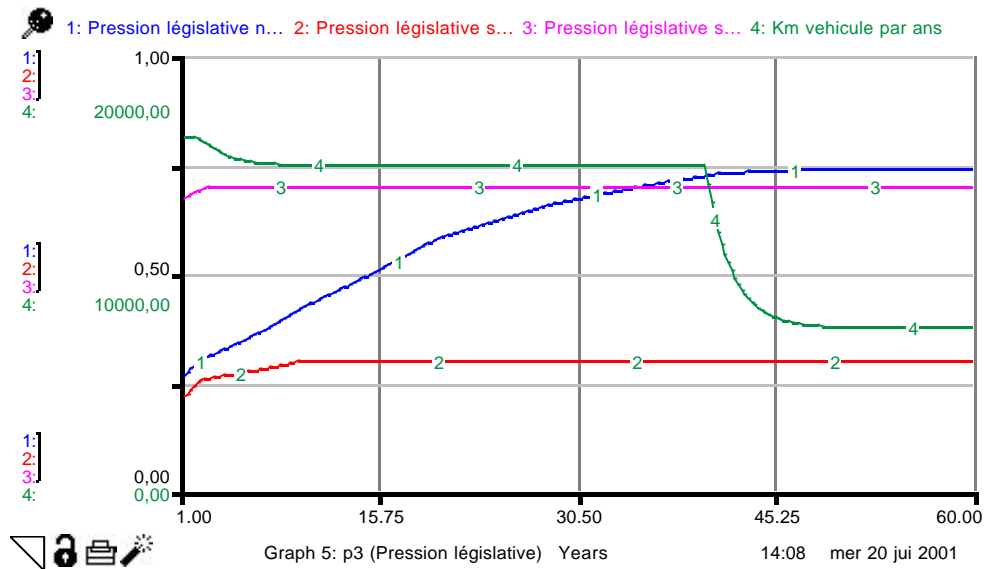
Graphique 5 : PIB



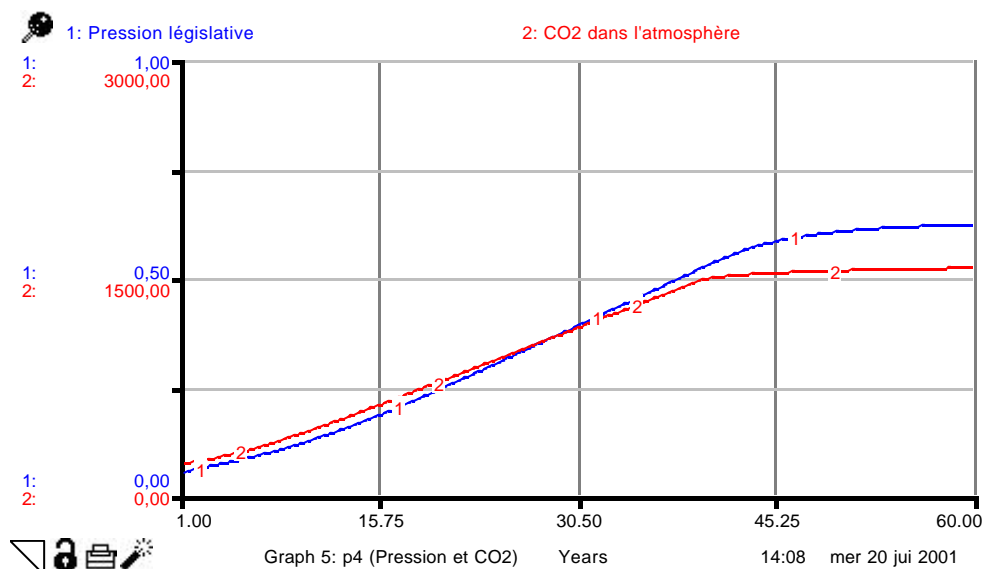
Graphique 6 : CO2



Graphique 7 : pression

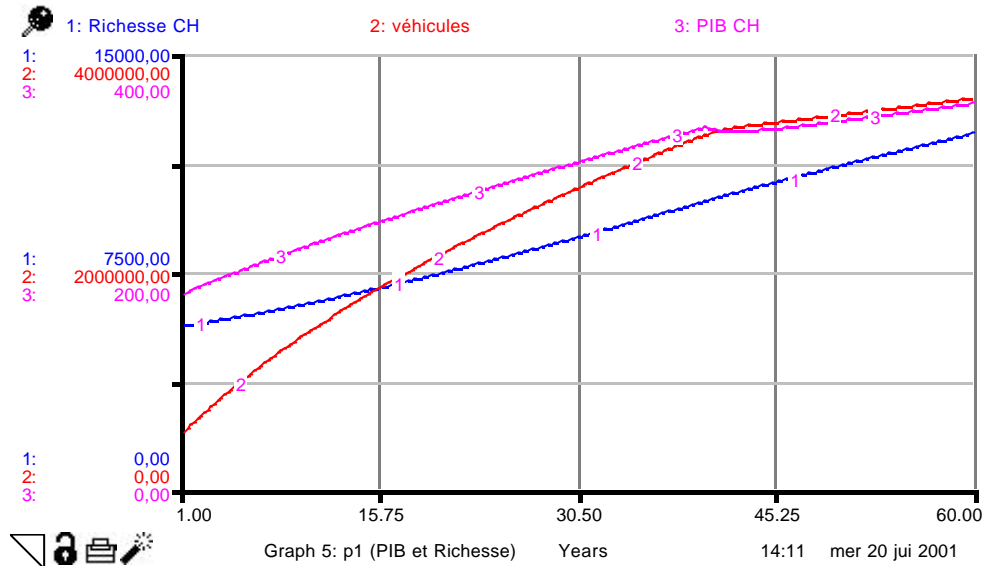


Graphique 8 : legislation

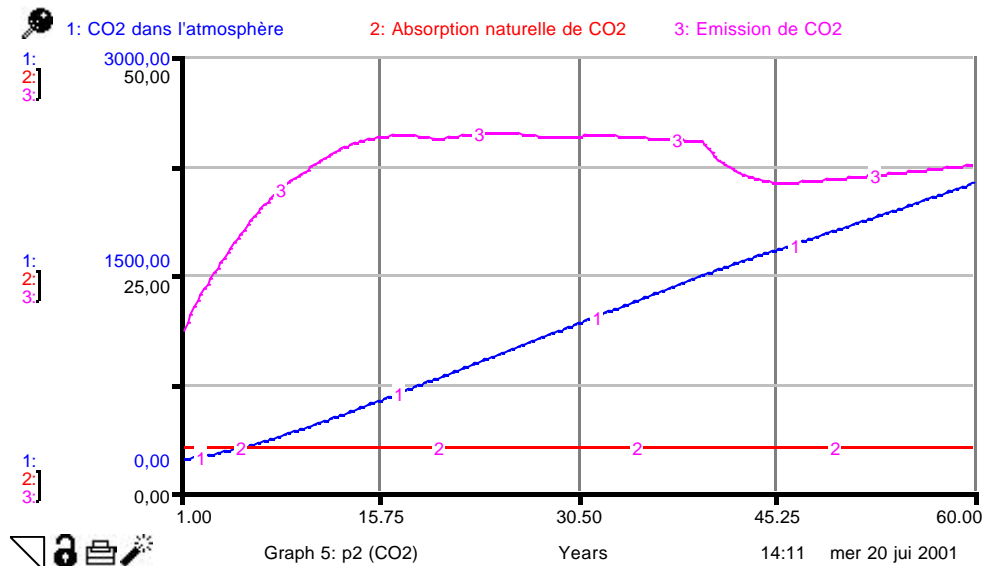


Scénario « evolution probable »

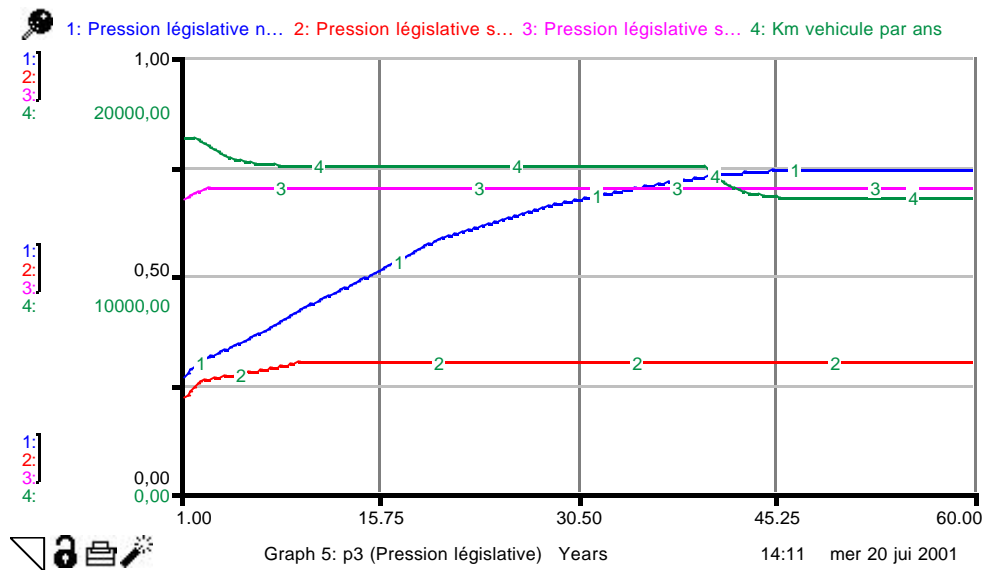
Graphique 9 : PIB



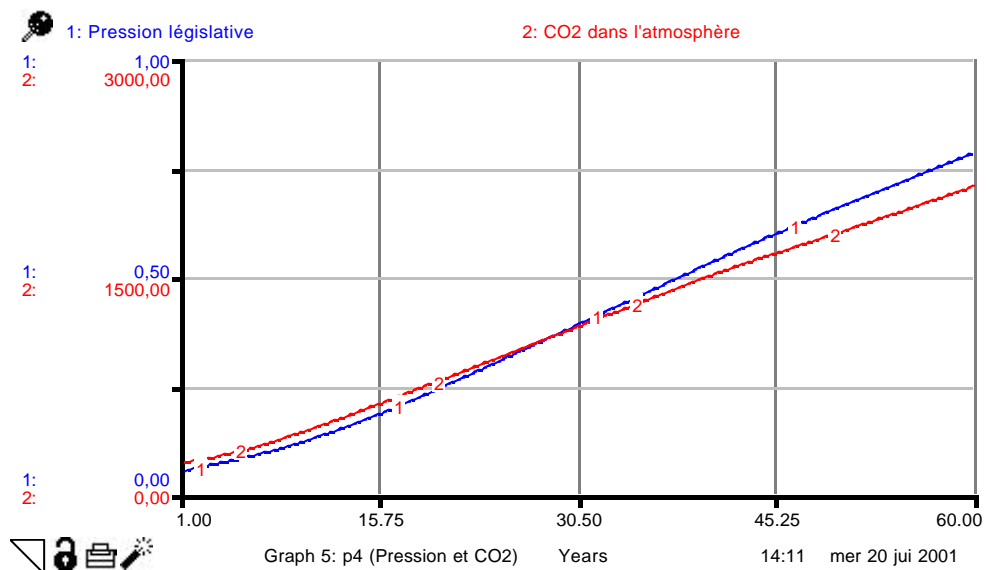
Graphique 10 : CO₂



Graphique 11 : pression



Graphique 12 : législation



modélisation stratégique :

annexe 4 – données

Projet MS Sources de base = WWW.statistik.admin.ch/stat_ch/berXX/FrufrYY

Donée	Delta PIB	PIB	Richesse	Véhicules	Emission CO2	Stock CO2	Transport
Unités	%	Mia de CHF	Mia de CHF	millier	Mio de tonnes		Mia Pas Km
Source XXYY	04 04	04 04		11 11	02 02		11 11
Donnée de base		1999		décénies	bi-décénies		décénies
		Autres Val. :		Autres Val. :	Autres Val. :		Autres Val. :
		Extrapolation		Extrapolation	Extrapolation		Extrapolation
Années							
1900		87.5797267	4378.98634			6	1
1910		100.137455	4282.64864			6	11
1920		114.495789	4317.34226			6	21
1930		130.912911	4472.88634			8	31
1940		149.684023	4743.43398	65		10	61
1950		171.146653	5126.93498	150		15	111
1960		195.68673	5624.7532	510		20	211
1970		223.745516	6241.41446	1380		32	361
1980		255.827547	6984.46666	2250		44	631
1981	1.5	259.278558	7095.48832	2323		44	670
1982	-1.5	262.776122	7207.67155	2396		44	709
1983	0.4	266.320867	7321.03871	2469		44	748
1984	2.9	269.913429	7435.61239	2542		44	787
1985	3.3	273.554453	7551.4153	2615		44	826
1986	1.5	277.244593	7668.47036	2688		44	865
1987	0.7	280.984512	7786.80065	2761		44	904
1988	3	284.774881	7906.42946	2834		44	943
1989	4.2	288.61638	8027.38026	2907		44	982
1990	3.7	292.509699	8149.6767	2980		44	1021
1991	-0.8	296.455538	8273.34267	3036		44	1060
1992	-0.2	300.454605	8398.40225	3092		44	1099
1993	-0.6	304.507617	8524.87972	3148		44	1138
1994	0.5	308.615303	8652.79959	3204		44	1177
1995	0.4	312.7784	8782.18659	3260		44	1216
1996	0.3	316.997656	8913.06569	3316		44	1255
1997	1.7	321.273827	9045.46208	3372		44	1294
1998	2	325.607683	9179.40119	3428		44	1333
1999	1.5	330	9314.90869	3484		44	1372
2000		334.451568	9452.01052	3540		44	1411

Delta PIB 18 Ans 1.27276249

Delta PIB / Ans 1.0134896

Projet MS Sources de base = WWW.statistik.admin.ch/stat_ch/berXX/FrufrYY

Donée	Delta PIB	PIB	Richesse	Véhicules	Transport	Km Véh. / An
Unités	%	Mia de CHF	Mia de CHF	millier	Mia Pas Km	
Source XYY	04 04	04 04		11 11	11 11	
Donnée de base		1999		décénies	décénies	
		Autres Val. :		Autres Val. :	Autres Val. :	
		Extrapolation		Extrapolation	Extrapolation	
Années						2 Pass. /Vhé.
1900		87.5797267	4378.98634			
1910		100.137455	4282.64864			
1920		114.495789	4317.34226			
1930		130.912911	4472.88634			
1940		149.684023	4743.43398	65	0.01370315	
1950		171.146653	5126.93498	150	0.02925725	
1960		195.68673	5624.7532	510	0.09067064	19 18627.451
1970		223.745516	6241.41446	1380	0.22110373	46 16666.6667
1980		255.827547	6984.46666	2250	0.32214342	67 14888.8889
1981	1.5	259.278558	7095.48832	2323	0.32739114	68.6 14765.3896
1982	-1.5	262.776122	7207.67155	2396	0.33242358	70.2 14649.4157
1983	0.4	266.320867	7321.03871	2469	0.33724723	71.8 14540.2997
1984	2.9	269.913429	7435.61239	2542	0.34186828	73.4 14437.4508
1985	3.3	273.554453	7551.4153	2615	0.3462927	75 14340.3442
1986	1.5	277.244593	7668.47036	2688	0.35052623	76.6 14248.5119
1987	0.7	280.984512	7786.80065	2761	0.35457438	78.2 14161.5357
1988	3	284.774881	7906.42946	2834	0.35844246	79.8 14079.0402
1989	4.2	288.61638	8027.38026	2907	0.36213558	81.4 14000.688
1990	3.7	292.509699	8149.6767	2980	0.36565868	83 13926.1745
1991	-0.8	296.455538	8273.34267	3036	0.36696171	84.6 13932.8063
1992	-0.2	300.454605	8398.40225	3092	0.36816527	86.2 13939.1979
1993	-0.6	304.507617	8524.87972	3148	0.36927207	87.8 13945.3621
1994	0.5	308.615303	8652.79959	3204	0.37028478	89.4 13951.3109
1995	0.4	312.7784	8782.18659	3260	0.37120596	91 13957.0552
1996	0.3	316.997656	8913.06569	3316	0.3720381	92.6 13962.6055
1997	1.7	321.273827	9045.46208	3372	0.37278361	94.2 13967.9715
1998	2	325.607683	9179.40119	3428	0.37344484	95.8 13973.1622
1999	1.5	330	9314.90869	3484	0.37402406	97.4 13978.186
2000		334.451568	9452.01052	3540	0.37452349	99 13983.0508

Delta PIB 18 Ans 1.27276249

Delta PIB / Ans 1.0134896

Projet MS		Sources de base = WWW.statistik.admin.ch/stat_ch/berXX/FrufrYY			
Donnée	Véhicules	Emission CO2	Stock CO2	Transport	Emmission CO2
Unités	millier	Mio de tonnes		Mia Pas Km Kg/ Km pass	
Source XXYY	11 11	02 02		11 11	
Donnée de base	décénies	bi-décénies		décénies	
	Autres Val. :	Autres Val. :		Autres Val. :	
	Extrapolation	Extrapolation		Extrapolation	
Années					
1900		6	1		
1910		6	11		
1920		6	21		
1930		8	31		
1940	65	10	61		
1950	150	15	111		
1960	510	20	211	19	1.05263158
1970	1380	32	361	46	0.69565217
1980	2250	44	631	67	0.65671642
1981	2323	44	670	68.6	0.64139942
1982	2396	44	709	70.2	0.62678063
1983	2469	44	748	71.8	0.61281337
1984	2542	44	787	73.4	0.59945504
1985	2615	44	826	75	0.58666667
1986	2688	44	865	76.6	0.57441253
1987	2761	44	904	78.2	0.56265985
1988	2834	44	943	79.8	0.55137845
1989	2907	44	982	81.4	0.54054054
1990	2980	44	1021	83	0.53012048
1991	3036	44	1060	84.6	0.52009456
1992	3092	44	1099	86.2	0.51044084
1993	3148	44	1138	87.8	0.50113895
1994	3204	44	1177	89.4	0.49217002
1995	3260	44	1216	91	0.48351648
1996	3316	44	1255	92.6	0.47516199
1997	3372	44	1294	94.2	0.4670913
1998	3428	44	1333	95.8	0.45929019
1999	3484	44	1372	97.4	0.45174538
2000	3540	44	1411	99	0.44444444

Hyp:

5Mt/An abs.

modélisation stratégique :

annexe 5 – références

livres, brochures et documents

- Business Dynamics : Systems thinking and modeling for a complex world
John D. Sterman – Editions Irwin McGraw-Hill – ISBN 0-07-231125-5
- The economics of social problems (third edition) – pages 134 à 182
J. Le Grand, C. Propper, R. Robinson – Editions MacMillan – ISBN 0-333-55258-X
- Info-guide: Frais kilométriques 2001
Brochure éditée par le Touring Club Suisse (TCS)

sites web

- www.statistik.admin.ch: Office fédérale de la statistique
- www.statistique.ch: Mirroir statistique de la Suisse 1999/2000
- www.ucar.edu: University Corporation for Atmospheric Research

modélisation stratégique :

annexe 6 – présentation

Cette annexe contient les transparents utilisés lors de la présentation en classe de modélisation stratégique le 20 juin 2001 à 13h45.