



Informatique et développement durable

Module 11

INF8480 Systèmes répartis et infonuagique

Michel Dagenais

École Polytechnique de Montréal
Département de génie informatique et génie logiciel

Sommaire

- ① L'ingénieur et le développement durable
- ② L'économie selon un modèle de développement durable
- ③ L'informatique et le développement durable
- ④ L'économie d'un centre de données selon un modèle de développement durable



Informatique et développement durable

- 1 L'ingénieur et le développement durable
- 2 L'économie selon un modèle de développement durable
- 3 L'informatique et le développement durable
- 4 L'économie d'un centre de données selon un modèle de développement durable



L'ingénieur

Un ingénieur est un professionnel concevant des projets, si possible, par des moyens novateurs, et dirigeant la réalisation et la mise en œuvre de l'ensemble : produits, systèmes ou services impliquant de résoudre des problèmes techniques complexes. Il crée, il conçoit, il innove dans plusieurs domaines tout en prenant en compte des facteurs sociaux, environnementaux et économiques. Il lui faut pour cela, non seulement des connaissances techniques, mais aussi économiques, sociales, environnementales et humaines reposant sur une solide culture scientifique et générale.

(Wikipedia)



Le développement durable

Le développement durable est une nouvelle conception de l'intérêt général, appliquée à la croissance économique et reconsidérée à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects environnementaux et sociaux d'une planète globalisée. Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

(Wikipedia)



Loi fédérale sur le développement durable

Développement qui permet de répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs.

(Canada 2008)



Loi provinciale sur le développement durable

Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Le développement durable s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique des activités de développement.

(Québec 2006)



Les 16 principes du développement durable au Québec

- Santé et qualité de vie
- Équité et solidarité sociales
- Protection de l'environnement
- Efficacité économique
- Participation et engagement
- Accès au savoir
- Subsidiarité
- Partenariat et coopération intergouvernementale
- Prévention
- Précaution
- Protection du patrimoine culturel
- Préservation de la biodiversité
- Respect de la capacité de support des écosystèmes
- Production et consommation responsables
- Pollueur payeur
- Internalisation des coûts

Code de déontologie de l'Ordre des Ingénieurs du Québec

Dans tous les aspects de son travail, l'ingénieur doit respecter ses obligations envers l'homme et tenir compte des conséquences de l'exécution de ses travaux sur l'environnement et sur la vie, la santé et la propriété de toute personne.



Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes de Génie (BCAPG) _____

Les 12 qualités:

- Investigation
- Conception
- Utilisation d'outils d'ingénierie
- Travail individuel et en équipe
- Communication
- Professionnalisme
- Impact du génie sur la société et l'environnement
- Analyse de problèmes
- Déontologie et équité
- Économie et gestion de projets
- Apprentissage continu
- Connaissances en génie



Conseil canadien des ingénieurs, 2016

Les lignes directrices du guide national sur le développement durable et la gérance environnementale, les ingénieurs:

- 1 devraient maintenir et **améliorer continuellement leur connaissance** et leur compréhension des principes et des enjeux de la gérance environnementale et de la durabilité dans leur champ d'exercice;
- 2 devraient **avoir recours à l'expertise de spécialistes** pour régler de manière appropriée les questions liées à l'environnement et à la durabilité, de même que pour améliorer leur compréhension de ces questions et les pratiques en la matière;
- 3 devraient **tenir compte dans leur travail des valeurs sociétales** aux échelons international, régional et local;



Conseil canadien des ingénieurs, 2016 (suite)

Les lignes directrices du guide national sur le développement durable et la gérance environnementale, les ingénieurs:

- 4 devraient **adopter des indicateurs de durabilité** et des critères de gérance environnementale établis d'un commun accord **dès la phase initiale des projets**, et en évaluer périodiquement la mise en oeuvre par rapport à des cibles de rendement;
- 5 devraient **déterminer les coûts et les avantages de la protection de l'environnement**, des éléments de l'écosystème et de la durabilité lors de l'évaluation de la viabilité économique des travaux;
- 6 devraient **intégrer la planification de la gérance environnementale et de la durabilité à la planification du cycle de vie et à la gestion des activités** qui ont un impact sur l'environnement, et mettre en oeuvre des solutions efficaces et durables;



Conseil canadien des ingénieurs, 2016 (suite)

Les lignes directrices du guide national sur le développement durable et la gérance environnementale, les ingénieurs:

- 7 devraient **rechercher et diffuser des innovations** qui permettent d'équilibrer les facteurs environnementaux, sociaux et économiques, tout en contribuant à la santé de l'environnement bâti et naturel;
- 8 devraient **assumer un rôle de leadership** dans les discussions concernant la durabilité et la gérance environnementale, et solliciter l'avis des parties prenantes et des experts accrédités de façon ouverte et transparente;
- 9 devraient s'assurer que les projets **respectent les exigences réglementaires et législatives**, par l'application des technologies et des procédures optimales et les plus économiquement viables;
- 10 devraient, s'il existe des risques de dommages graves ou irréversibles, mais pas de certitude scientifique, **mettre en oeuvre des mesures d'atténuation des risques** en temps voulu pour limiter le plus possible la dégradation de l'environnement.

Autres lois et principes liés au développement durable

- La procédure d'évaluation environnementale du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE): barrage, dragage, port, gare, aéroport, gazoduc, centrale, raffinerie, mine, incinérateur, nucléaire, certains types d'usines. . .
- Responsabilité élargie des producteurs (REP), ministère du développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques: récupération et valorisation des produits électroniques, des piles et batteries, des lampes avec mercure, des peintures et leurs contenants, et des huiles.



Informatique et développement durable

- 1 L'ingénieur et le développement durable
- 2 L'économie selon un modèle de développement durable
- 3 L'informatique et le développement durable
- 4 L'économie d'un centre de données selon un modèle de développement durable



L'économie

L'économie est une discipline qui étudie l'économie en tant qu'activité humaine qui consiste en la production, la distribution, l'échange et la consommation de biens et de services.

(Wikipedia)

- Un outil pour évaluer les bénéfices d'un scénario de projet et comparer diverses solutions alternatives.



Scénario A

- Un jeune entrepreneur achète un immeuble à logements à crédit. Selon ses estimés, il escompte les revenus et dépenses suivants pour la prochaine année.
- Hypothèque, entretien, taxes, salaires, électricité... \$350000
- Revenu des loyers, \$300000.
- Est-ce rentable?
- Les données sont-elles complètes?



Scénario B

- Un jeune entrepreneur hérite d'une ferme et de sa machinerie. Selon ses estimés, en travaillant dur, il escompte les revenus et dépenses suivants pour la prochaine année.
- Engrais, semences, carburant, entretien, taxes, salaires, électricité... \$300000
- Vente des produits agricoles, \$350000.
- Est-ce rentable?
- Les données sont-elles complètes?



Que vaut notre temps?

- Le prix du salaire à payer pour embaucher quelqu'un qui fait le même travail.
- L'impôt peut biaiser le calcul, le revenu du travail peut générer une augmentation du capital, ce qui est imposé à moitié. . .
- Peinturer ou cuisiner soi-même, réduction de dépense plutôt que revenu imposé, en partie divertissant versus quelqu'un qui ne fait que cela. . .
- Le salaire est en relation avec l'offre et la demande, ce qui dépend du nombre de personnes aptes à faire ce travail et de l'intérêt que présente ce travail. . . avec quelques barrières artificielles qui perturbent cet équilibre.
- Les enquêtes sur le transport qui étudient les choix des usagers permettent d'évaluer le prix que les usagers mettent sur leur temps selon la situation (attendre dans son auto, attendre l'autobus, faire du vélo).

L'économiste et les confitures

Le jour que nous reçûmes la visite de l'économiste, nous faisons justement nos confitures de cassis, de groseille et de framboise.

L'économiste, aussitôt, commença de m'expliquer avec toutes sortes de mots, de chiffres et de formules, que nous avons le plus grand tort de faire nos confitures nous-mêmes, que c'était une coutume du moyen âge, que, vu le prix du sucre, du feu, des pots et surtout de notre temps, nous avons tout avantage à manger les bonnes conserves qui nous viennent des usines, que la question semblait tranchée, que, bientôt, personne au monde ne commettrait plus jamais pareille faute économique.

— Attendez, monsieur! m'écriai-je. Le marchand me vendra-t-il ce que je tiens pour le meilleur et le principal?



L'économiste et les confitures

— *Quoi donc? Fit l'économiste.*

— *Mais l'odeur, monsieur, l'odeur! Respirez: la maison toute entière est embaumée. Comme le monde serait triste sans l'odeur des confitures!*

L'économiste, à ces mots, ouvrit des yeux d'herbivore. Je commençais de m'enflammer.

— *Ici, monsieur, lui dis-je, nous faisons nos confitures uniquement pour le parfum. Le reste n'a pas d'importance. Quand les confitures sont faites, eh bien! Monsieur, nous les jetons.*

J'ai dit cela dans un grand mouvement lyrique et pour éblouir le savant. Ce n'est pas tout à fait vrai. Nous mangeons nos confitures, en souvenir de leur parfum.

(Georges Duhamel Fables de mon jardin)



Scénario A

- Un jeune entrepreneur achète un immeuble à logements à crédit.
- Est-ce que l'hypothèque inclut une part de remboursement de capital, ce qui est un revenu?
- Combien l'immeuble prend-il de valeur?
- Il faut comparer ce scénario sur une longue période avec ne rien faire, en tenant compte de l'argent à ajouter à chaque année, de l'évolution du prix des dépenses et des loyers et surtout du produit de la vente de l'immeuble, après impôt, à la fin de la période. Il est possible que les pertes annuelles soient déductibles de l'impôt si cet entrepreneur a d'autres revenus.



Scénario B

- Un jeune entrepreneur hérite d'une ferme et de sa machinerie. . .
- Combien d'heures devra-t-il travailler?
- Combien vaut la ferme?
- Qu'en est-il de la dépréciation sur la machinerie et les immeubles? En dépit de l'entretien, il faut éventuellement remplacer ces équipements coûteux.
- Est-ce qu'il y a un facteur de risque (récolte perdue)?
- Une étude économique classique comparera ce scénario (avec la vente au bout de 30 ans) avec la vente de la ferme, le placement du produit de la vente, et le salaire obtenu en travaillant un emploi équivalent. . .
- Avec l'approche développement durable, il faut aussi regarder les aspects environnementaux (carburant, engrais chimique, pollution. . .).



Les données manquantes

- Le prix d'un bien ne tient généralement pas compte de l'appauvrissement des ressources épuisables (pétrole, minéral. . .) et de la pollution de l'environnement (accumulation des gaz à effet de serre, empoisonnement graduel du milieu, accumulation de déchets plastiques).
- Les redevances sur l'extraction minière et les taxes sur les produits polluants ne compensent souvent qu'en partie les dommages.
- La société sous sa forme actuelle se dirige vers un mur mais amorce un virage vers l'économie circulaire.
- Dans l'évaluation d'un projet, l'ingénieur doit tenir compte de ces données "manquantes" non reflétées dans les prix affichés.

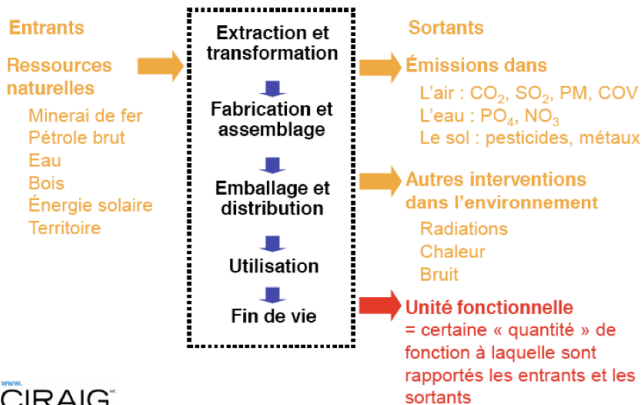
Analyse du cycle de vie d'un produit ou projet

- Tenir compte de l'impact environnemental
- Considérer toutes les phases: acquisition des ressources, fabrication, distribution, utilisation, gestion en fin de vie.
- Mesurer l'impact environnemental à plusieurs niveaux: santé humaine, écologie, changements climatiques, utilisation des ressources.
- Il est souvent difficile mais pas nécessairement impossible de mettre un prix sur ces différents impacts. Bourse du carbone: <https://www.youtube.com/watch?v=Re0j12UAus4>
- Approche Cycle de Vie: <https://vimeo.com/40419331>



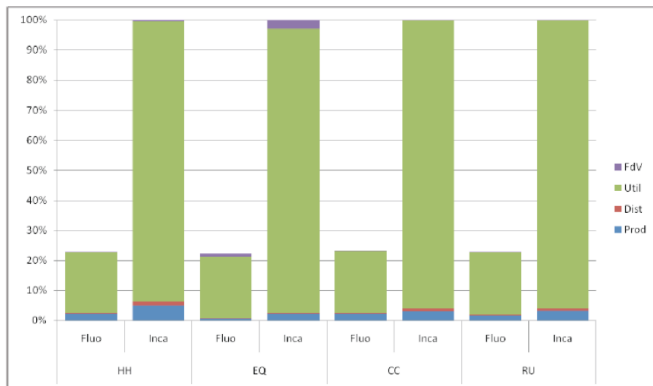
Intrants et sortants pour un projet

L'inventaire du cycle de vie



Cycle de vie des ampoules

Résultats d'indicateur pour les ampoules



L'écoblanchiment

L'écoblanchiment, ou verdissage, aussi nommé greenwashing, est une expression désignant un procédé de marketing ou de relations publiques utilisé par une organisation (entreprise, administration publique nationale ou territoriale, etc.) dans le but de se donner une image écologique responsable. La plupart du temps, l'argent est davantage investi en publicité que pour de réelles actions en faveur de l'environnement.

(Wikipedia)



Informatique et développement durable

- 1 L'ingénieur et le développement durable
- 2 L'économie selon un modèle de développement durable
- 3 L'informatique et le développement durable
- 4 L'économie d'un centre de données selon un modèle de développement durable



L'informatique et le développement durable

- L'informatique, vecteur de dématérialisation, de procédés plus efficaces et d'optimisation.
- Les coûts de l'informatique, au niveau du client mais plus encore de la face cachée que constituent les centres de données.



Dématérialisation

- Le papier est remplacé par des versions électroniques (factures, documents, livres, formulaires, cartes d'embarquement...).
- Le travail à distance, usuellement à l'aide d'un ordinateur en réseau.
- Les vidéo-conférences qui remplacent les réunions en personne.
- Les jeux vidéo et systèmes immersifs plutôt que d'aller à l'extérieur ou voyager.
- *Paperless office is pure fiction* (CBC News 2006)! La consommation de papier dans les bureaux a dans un premier temps augmenté avec la démocratisation de l'impression, connu un sommet en 2015 et commence à baisser depuis.
- Cette baisse a commencé plus tôt (2012) en Amérique du nord et en Europe mais était contrebalancée par l'augmentation en Asie.



Informatisation de procédés

- Épandage d'engrais en fonction de la position, basé sur des analyses de sol en plusieurs lieux.
- Conduite autonome d'avion, de camion, d'auto...
- Découpage laser commandé par ordinateur.
- Moteur à vitesse variable pour les ventilateurs.
- L'électronique pour la commande ne cesse de diminuer de prix.



Optimisation

- Optimisation du profil d'une aile d'avion, d'une carrosserie de voiture ou des pales d'une turbine.
- Optimisation du chemin pour la livraison de colis pour les conducteurs de camion.
- Modélisation 3D en architecture.
- Calcul des horaires pour le personnel (trains, avions, hopitaux. . .).
- Prévisions météorologiques.
- Planification de la demande en fonction de divers paramètres (e.g. canicule prévue versus climatiseurs).



Informatique et développement durable

- 1 L'ingénieur et le développement durable
- 2 L'économie selon un modèle de développement durable
- 3 L'informatique et le développement durable
- 4 L'économie d'un centre de données selon un modèle de développement durable



Le client informatique

- Les coûts et problématiques au niveau du client sont semblables et un sous-ensemble de ceux rencontrés dans les centres de données.



L'économie d'un centre de données

- Construction / fabrication: construction du centre de données et de ses infrastructures; fabrication de l'équipement.
- Transport des matériaux et de l'équipement vers le site.
- Opération du centre de données: consommation d'énergie, fournitures, entretien, employés; renouvellement des équipements informatiques aux 3 à 5 ans typiquement.
- Fin de vie et démantèlement: recyclage des équipements et peut-être du bâtiment, remise en état des lieux.
- Pour chacune de ces étapes, considérer les coûts directs ainsi que l'impact sur la santé humaine, l'écologie, les changements climatiques et l'utilisation des ressources.



Réaliser une analyse

- Obtenir toutes les données spécifiques aux équipements choisis, aux constructeurs, aux fournisseurs. . .
- Ou utiliser un mélange de données moyennes de l'industrie (e.g., béton, serveurs) et de données spécifiques (e.g., énergie fournie par Hydro-Québec).
- Mandater un groupe spécialisé en Analyse du Cycle de vie (e.g. CIRAIG).
- Groupements pour l'informatique durable (Green ICT)
<https://www.thegreengrid.org/>
<http://greenict.ieee.org/standards>
- Centre de données de Google: <https://youtu.be/vo0K-1DLr00>
- Centre de données de Microsoft: <https://youtu.be/VtYTppHp8vY>
- Le projet Kolos: <https://youtu.be/YUYybIvFIYQ>



Exemple d'analyse d'un centre au Royaume-Uni

- Bâtiment de 2 étages avec armature en acier.
- $42500m^2$ dont $8100m^2$ pour l'équipement.
- 56600 serveurs $1u$ à environ 325 Watts (18.4MW).
- Environ 3000 chassis de 20 serveurs.
- Environ 2 à $3m^2$ et 3 à 10 kW par chassis.
- Refroidissement à air (17500 kW).
- UPS pour quelques minutes.
- Génératrices 46000 kVA avec redondance.
- Eclairage efficace avec détecteurs de mouvement.



Calcul de l'impact

- Fabrication et transport des matériaux utilisés (acier, béton, infrastructure électrique. . .), données typiques utilisées.
- Construction sur le site, impact négligeable.
- Acquisition des équipements informatiques et de réseautique avec un plan de renouvellement (e.g., aux 3 ans), données typiques utilisées.
- Opération pendant la vie utile du centre, principalement l'électricité dont l'impact dépend de la source (le Royaume-Uni utilisait beaucoup de charbon et maintenant du gas naturel).
- Démolition sur le site, négligeable.
- Recyclage des matériaux et équipements, données typiques utilisées.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0838-7>

Consommation électrique

Catégorie	Puissance
Serveurs	9000 kW
Stockage	2600 kW
Réseau	1300 kW
Eclairage	16.8 kW
UPS (pertes)	1096 kW
Distribution (pertes)	258 kW
Ventilateurs	722 kW
Refroidisseurs	51.6 kW
Humidificateurs	12.9 kW
Pompes	12.9 kW

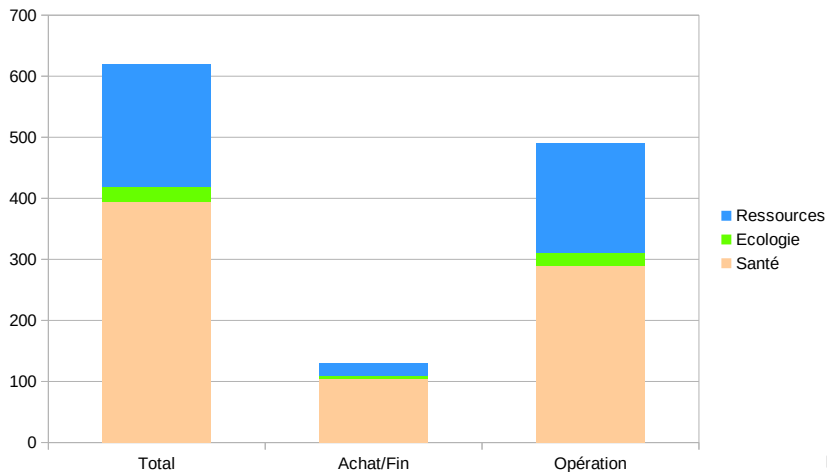


Destination des matériaux en fin de vie

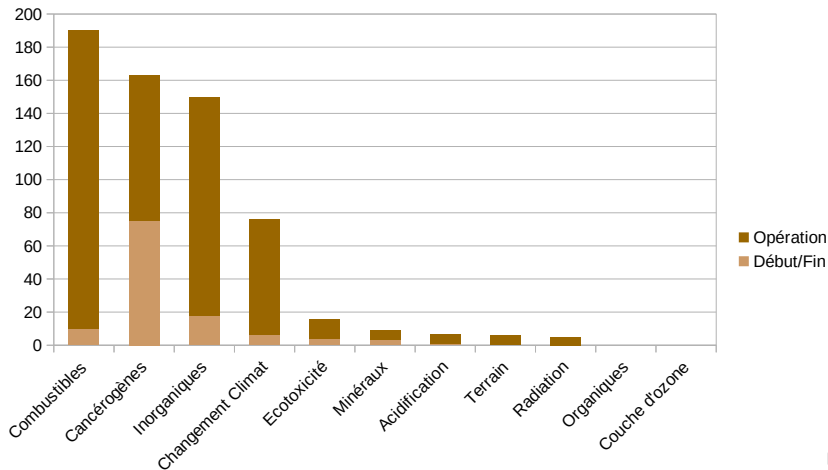
Matériau	Enfoui	Recyclé
Asphalte	39%	61%
Terre	53%	47%
Mélange	73%	27%
Bois	20%	80%
Métal	30%	70%
Plastique	36%	64%
Gypse	40%	60%
Isolant	90%	10%
Liquide	2%	98%
Acier	1%	99%
Acier galvanisé	15%	85%
Acier renforcé	8%	92%



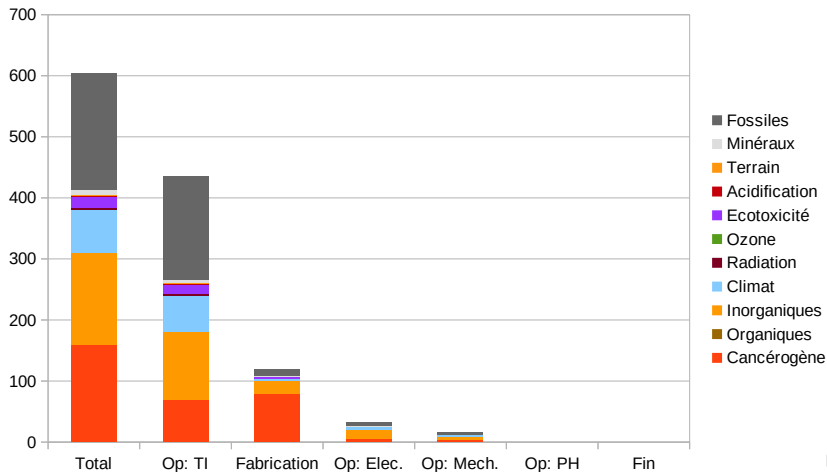
Cycle de vie du centre de données



Cycle de vie du centre de données



Cycle de vie du centre de données



Principaux impacts

- Utilisation du gaz pour produire l'électricité pendant l'opération.
- Utilisation de l'acide sulphurique pour le raffinage du cuivre et de l'or utilisés pour fabriquer les équipements.
- Impact sur la santé dû aux produits cancérigènes comme l'arsenic et le cadmium et aux émissions de gaz carbonique et oxyde d'azote pour la fabrication des équipements.
- Impact sur l'écologie dû au gaz brûlé pour l'électricité et au rejet de l'acide sulphurique pour le raffinage.



Conclusion

- Le développement durable, basé sur une économie circulaire, ajoute une dimension fondamentale à l'économie et la planification de projet.
- Une comptabilité séparée est souvent utilisée pour les coûts directs (\$) versus les dommages (mauvais points pour la santé, l'écologie, le climat et les ressources).
- Les coûts réels des dommages sont souvent astronomiques et difficiles à estimer.
- L'impact de l'électricité utilisée pendant l'opération varie beaucoup selon sa source.
- Des panneaux solaires diminuent considérablement l'impact en opération mais augmentent beaucoup celui de la fabrication.
- L'indiscipline au niveau mondial rend le problème très difficile: "pas dans ma cour", "laissons les autres faire des efforts", "après moi le déluge".

