

**ANALYSE DE LA PROBLÉMATIQUE DES ZONES DE
DÉPASSEMENT SUR LES ROUTES À DEUX VOIES CONTIGUËS
EN MILIEU RURAL**

RÉSUMÉ

KARSTEN BAASS, Ing., Ph.D.

**École Polytechnique de Montréal
Département de génie civil, géologique et des mines
Groupe Transports
2006**

Le présent document constitue le résumé du projet de recherche. Le projet est décrit en détail dans les deux volumes du rapport final et dans les 11 rapports d'étape. Ces rapports d'étape représentent essentiellement les travaux des étudiants qui ont participé au projet de recherche (projets de fin d'études, mémoires et projets de maîtrise) et les résultats de ces rapports ont été intégrés dans le rapport final.

Les livrables du projet, c'est-à-dire les deux volumes du rapport final ainsi que les rapports d'étape sont présentés sous forme de fichiers Word et PDF sur un DVD. Ce DVD contient également les rapports de maîtrise, les présentations faites aux congrès, les articles scientifiques, les logiciels développés ainsi que toutes les données utilisées soit recueillies par l'équipe de recherche soit fournies par le ministère des Transports. Le contenu du DVD est présenté en annexe à ce résumé.

But du projet de recherche

Le projet de recherche a pour but fondamental de développer un outil de travail et d'aide à la décision pour déceler les endroits où la demande en dépassements sur les routes à 2 voies n'est pas satisfaite, en trouver les raisons et proposer des solutions efficaces au problème.

Plusieurs sous-objectifs ont été poursuivis pour atteindre ce but.

Objectif 1: Mieux comprendre le phénomène du dépassement sur les routes à deux voies contiguës en milieu rural

Objectif 2: Développer ou choisir un logiciel de simulation pour étudier les dépassements sur les routes rurales à 2 voies

Objectif 3 : Développer l'outil d'aide à la décision

Objectif 1: Mieux comprendre le phénomène de dépassement sur les routes à deux voies

a) Étude de la manœuvre de dépassement

Pour comprendre efficacement les mouvements de dépassement, plusieurs études ont été menées. Ce sont des études sur:

- Les distances de visibilité de dépassement nécessaires en fonction de certaines variables de base du dépassement telles que le comportement du conducteur ou le véhicule
- Analyse de la trajectoire poursuivie lors du dépassement en mouvement latéral ;
- Étude des probabilités d'acceptation de créneaux de dépassement;

Ces aspects nous ont permis de déterminer les facteurs qui influencent les dépassements, tout en ayant un impact direct sur le niveau de service de la route.

Le travail de Conche (rapport de stage effectué en 2004 et présenté ici sous forme de rapport d'étape 1) décrit les modèles de Baass, R. Akçelik et M. Besley. Le but de l'étude est d'identifier un modèle décrivant le dépassement à partir des équations du mouvement de la physique mécanique. Ce travail a été fait sur un chiffrier EXCEL et permet d'étudier les DVD (distances de visibilités de dépassement) pour tenir compte de différentes situations, en variant les paramètres influençant la longueur de dépassement

(longueur du véhicule, vitesse, etc.). Les résultats de ce travail peuvent être utilisés pour la reformulation des normes sur le dépassement.

Cependant, l'analyse du mouvement est limitée à cause du confinement dans l'espace X, T. Bultez a étudié dans son travail (rapport de stage 2004 et rapport d'étape 2) la géométrie et la dynamique du dépassement. Les différentes simulations présentées dans un tableur Excel sont utiles pour la description des mouvements latéraux. En effet un dépassement peut être caractérisé par une suite de courbes en S, une première pour le déboîtement, une deuxième pour la réinsertion dans la voie de droite. Ce mouvement nécessite une certaine distance pour qu'il puisse s'effectuer en toute sécurité. Ces courbes en S peuvent être décrites par différentes fonctions mathématiques mais le modèle basé sur une séquence d'arcs de cercle est suffisamment précis en pratique.

Enfin, Denis (PFE 2005 et rapport d'étape 3) a complété les études précédentes en élargissant le contexte de la norme. En effet la norme traite le cas le plus défavorable (par exemple le conducteur venant en sens inverse roule à la vitesse affichée), alors qu'en réalité des conditions moins sévères ou même plus sévères permettent également des dépassements sécuritaires. La méthode utilisée (la simulation Monte Carlo) a été préférée à celle des observations avec enregistrements vidéo, car ces derniers ne nous renseignent pas forcément sur tous les cas probables et en plus sont très coûteux. L'analyse Monte Carlo a fait ressortir les distributions d'acceptation des créneaux pour différentes vitesses affichées et pour différents écarts type de vitesses entre les véhicules impliqués. Les conclusions permettent de mieux évaluer la répartition de l'offre de dépassement le long de la route. De plus, des propositions sont formulées concernant le seuil minimal à considérer pour la longueur du marquage permettant le dépassement. Un des résultats utiles pour la révision des normes est que très peu de personnes utilisent des zones de dépassement de 100 mètres de longueur ou moins.

b) Détermination de la visibilité disponible

La possibilité de dépassement repose sur une bonne visibilité le long de la route. Il devient donc important de déterminer ce paramètre. L'algorithme développé par Hervé Grange (mémoire de maîtrise soutenu en 2004 et rapport d'étape 6) lors de sa recherche de maîtrise se base sur des points GPS relevés sur l'axe de la route à des distances fixes d'environ 20 mètres et nous renseigne sur les distances de visibilité réelles disponibles à chaque point de la route et les éléments limitant la visibilité. Selon la vitesse de base de la route, et d'après les directives de la norme, il est facile de déterminer les zones où la visibilité minimale disponible est insuffisante pour un dépassement. L'algorithme a été programmé en VBA pour EXCEL et peut être extrêmement utile pour les agents du ministère des transports pour déterminer les zones où la visibilité est insuffisante. Le programme a été vérifié à l'aide de mesures effectuées en collaboration avec le MTQ sur plusieurs kilomètres de routes en Abitibi-Témiscamisque, dans les Laurentides et en Estrie. Marré (projet de maîtrise présenté en 2006 et rapport d'étape 8) a ajouté à cet algorithme la possibilité de déterminer la distance de visibilité d'arrêt.

c) Étude de l'emplacement des zones de dépassement

Une étude globale statistique des occasions de dépassements sur le réseau routier du Québec a été effectuée par ElAmri (mémoire de maîtrise soutenu en 2004 et rapport d'étape 9) afin de déterminer par exemple l'impact qu'un rallongement de la zone minimale de dépassement de 100 m fixée dans la norme pourrait avoir sur le nombre d'occasions de dépassement sur le réseau routier du Québec. Les responsables de

l'élaboration des normes possèdent donc ainsi un outil pour apprécier l'impact que les valeurs fixées dans la norme peuvent avoir sur l'offre en occasions de dépassement. Une base de données sur les zones de non- dépassement et de dépassement est également disponible afin de connaître la qualité et les possibilités de dépassement sur le réseau de la province du Québec.

Un autre aspect de l'emplacement des zones de dépassement interdit est la détermination du début et de la fin de ces zones. Leur détermination avec des méthodes traditionnelles est longue et coûteuse mais devient simple, précise et rapide en utilisant l'algorithme de la visibilité de dépassement développé par Grange.

Une étude subséquente par Gélinas, (Projet de fin d'études de 2005 et rapport d'étape 7) et Marré (rapport d'étape 8) a permis d'approfondir le programme élaboré par Grange en tenant compte des caractéristiques routières supplémentaires (tel que les accotements, les vitesses affichées, la présence de carrefours ou encore de zones où le dépassement est interdit à cause d'autres raisons) en proposant un marquage axial du tronçon indiquant les zones de non-dépassement. Cet outil permet de connaître la proportion de zones de dépassement sur une route et de déterminer les portions ayant une géométrie inadéquate pour le dépassement. Il a aussi été développé afin de comparer les résultats obtenus par l'algorithme aux marquages en place (matérialisés par les plaquettes). Ce logiciel qui a été écrit en VBA pour EXCEL est en phase de "rodage" avec la Direction Technique du MTQ de l'Estrie qui l'a appliqué à plusieurs kilomètres de routes.

d) Détermination de la géométrie routière

Des paramètres comme la géométrie routière, les caractéristiques des véhicules et les débits sont au premier abord les variables essentielles qui conditionnent le niveau de service final d'un tronçon de route.

Connaître les caractéristiques de la géométrie routière telles les courbes verticales et horizontales est essentiel pour la compréhension des dépassements et pour la simulation de la circulation sur les routes à 2 voies. Une pente forte ou une courbe raide par exemple vont ralentir sensiblement la vitesse des camions et ainsi provoquer le besoin de dépassements. Une base de donnée du ministère des transports (connue sous le nom de « capacité courbe pente ») est disponible mais peu précise étant donné les moyens d'acquisition de données limités en précision à l'époque de sa constitution. Un logiciel a été développé par Vouland (mémoire de maîtrise 2005 et rapport d'étape 10) afin de générer ces informations à partir des traces de points GPS relevés sur l'axe de la route. Ces traces sont disponibles avec une précision suffisante sur tout le territoire du ministère des Transports. Le logiciel écrit en VBA pour EXCEL est unique et se base sur des régressions circulaires et paraboliques pour déterminer l'alignement horizontal et vertical avec une grande précision. Cet outil est devenu rapidement indispensable car le Ministère des Transports du Québec ne dispose pas de bases de données suffisamment précises sur ces caractéristiques. L'algorithme proposé est une alternative très intéressante aux techniques traditionnelles d'arpentage et fournira les premières données utiles à l'analyse du tronçon. L'algorithme a été testé sur plusieurs routes du Québec avec un grand succès et est présentement testé pour évaluer son utilité pour établir des bases de données géométriques au ministère des Transports.

e) Étude de la vitesse des véhicules lourds

Dans toute simulation de la circulation les camions jouent un rôle important à cause de leur vitesse plus faible et à cause de la difficulté qu'ils ont pour monter des pentes.

Deschamps, (projet de fin d'études (2005) et rapport d'étape 4) a entrepris une étude qui permet de déterminer la vitesse d'un camion type le long de la route (plan et profil). En effet, un besoin en dépassements supplémentaire peut être créé par la présence de poids lourds, car la géométrie routière ou l'insuffisance de la visibilité peuvent être à l'origine d'un sérieux ralentissement. Il y a alors formation de pelotons et réduction du niveau de service. Ce projet définit des équations permettant de calculer les vitesses des camions selon le type du véhicule. Les résultats de la simulation sont très proches des résultats issus d'une application de la méthodologie décrite dans la norme du Québec. Nous disposons donc d'un outil capable de déterminer la vitesse des poids lourds selon le type de véhicule et la géométrie routière.

Durlut (mémoire de maîtrise (2006) et rapport final 2) a également étudié ce problème en se basant sur les équations de mouvement de camions publiées dans le logiciel TWOPAS. En effet, il a réussi à calibrer les camions du modèle pour représenter aussi fidèlement que possible les camions représentés dans la norme du Québec. Par la suite, Durlut a intégré cette partie dans l'outil d'aide à la décision que nous proposons.

f) Analyse des accidents de dépassement

Un autre aspect primordial dans l'analyse des problèmes de dépassement sont les accidents attribuables aux dépassements.

El Amri dans ces travaux de recherche de maîtrise (2004) prend en compte cette notion de sécurité. L'étude essaye de relier la fréquence des accidents à la géométrie routière en développant un modèle de prévision d'accidents. Ainsi on pourrait identifier et ensuite éviter certaines configurations géométriques particulièrement accidentogènes. Pour cela, il est d'abord nécessaire de correctement identifier dans les bases de données les accidents occasionnés lors d'un dépassement. El Amri a donc développé des critères pour identifier ces accidents (par exemple un accident causé par un chevreuil n'est pas un accident de dépassement). D'une part à cause du nombre relativement faible d'accidents de dépassement et d'autre part à cause des corrélations faibles entre les variables, ce modèle ne permettait d'expliquer que 28% de la variation dans les données. Un tel modèle a été jugé comme insuffisant pour en tirer des conclusions valables. Ce résultat est d'ailleurs corroboré par d'autres études. À partir de ce projet, une distribution géographique des accidents (à l'aide de MAPINFO) a été réalisée permettant de localiser les zones où les accidents se concentrent et donc d'identifier les zones à risque et les tronçons à étudier de manière plus approfondie ou à modifier.

L'analyse des accidents ne rentre donc pas directement dans l'outil d'aide à la décision, mais fait partie de la méthodologie d'analyse.

Différentes routes ont été choisies en collaboration avec le MTQ pour servir de banc d'essai, et les données sur la visibilité y ont été relevées ainsi que la géométrie afin de vérifier et calibrer les algorithmes développés.

Objectif 2 Développer ou choisir un logiciel de simulation pour étudier les dépassements sur les routes rurales à 2 voies

L'outil d'aide à la décision est plus qu'un simple logiciel de simulation. L'outil englobe la préparation des données, le calcul des visibilitées, la reconstitution des alignements horizontal et vertical, la simulation proprement dite et ensuite des programmes nécessaires à l'analyse des résultats des simulations. L'outil contient également les rudiments d'une analyse économique et permet donc une analyse complète du problème de dépassements sur des routes rurales.

En premier lieu une décision a été prise quant au type d'approche à envisager : macroscopique ou microscopique.

Vouland (2003, 2004) a étudié les formules théoriques pour déterminer le nombre de dépassements en fonction du débit et de la vitesse. Il a trouvé que l'utilisation de cette approche macroscopique a plusieurs désavantages pour un projet qui vise une utilité pratique : Les formulations mathématiques sont difficiles à gérer, plusieurs facteurs importants ne sont pas considérés (ex : géométrie routière, types de véhicules) et l'évaluation ponctuelle n'est pas possible.

L'approche microscopique par contre, s'avère plus appropriée dans le contexte de notre étude. En effet, elle permet de suivre les mouvements des véhicules individuels le long de la route ce qui localise les endroits où il y a insuffisance de dépassement. Le travail de Jacquot (mémoire de maîtrise soutenu en 2004 et rapport d'étape 5) a bien montré que cette approche atteint les objectifs fixés par le projet. Le programme de simulation représentant le noyau de l'outil d'aide à la décision est donc basé sur une approche microscopique.

Naturellement, vu la faiblesse des modèles de simulation existants, la première solution envisagée était de développer notre propre algorithme de simulation de la circulation sur des routes à deux voies. Cette solution a été partiellement menée à bien par Jacquot (2004) pendant ses travaux de recherche pour la maîtrise. Un pas important vers l'établissement d'une méthodologie cohérente pour le projet a également été fait par Jacquot (2004). Ce travail a permis de formuler une problématique portant sur la mise au point d'un outil de caractérisation de l'offre et de la demande de dépassement sur une route rurale. Le travail décrit très bien les étapes à parcourir pour évaluer l'offre et la demande de dépassement sur un segment de route rurale avec l'aide d'un logiciel. Toutefois, l'effet des courbes horizontales sur la dynamique des véhicules n'a pas été modélisé par Jacquot. Le développement d'un logiciel de simulation a donc été écarté car le travail aurait été très long et très complexe.

Nous avons alors analysé des logiciels disponibles tels que TRARR, UCBRural, TWOPAS. Notre choix s'est porté sur TWOPAS (faisant partie du logiciel IHSDM), entre autres par ce que le manuel de capacité se base sur les simulations issues de ce logiciel.

Le code source du programme écrit en FORTRAN a été obtenu gracieusement par le FHWA ce qui a permis d'effectuer des modifications au programme pour ainsi atteindre une bonne adaptation du logiciel aux conditions du Québec.

Objectif 3 Développer l'outil d'aide à la décision

Autour du noyau représenté par le logiciel de simulation TWOPAS se greffent un pré-processeur et un post- processeur pour faciliter l'utilisation du logiciel.

Ces processeurs ont été créés à partir de l'ensemble des travaux du laboratoire de circulation mentionnés ci-haut. La programmation a été effectuée par Durlut en VBA, facilitant ainsi le développement et le partage des algorithmes. Nous avons aussi créé une interface simplifiant la prise en main et l'exploitation des différents algorithmes en rassemblant toutes les applications en une seule. Le pré- processeur rassemble toutes les bases de données concernant la géométrie routière, les distances de visibilité, etc. Il s'adapte parfaitement à TWOPAS (la langue de travail est le français) et est accessible et éditable en permanence.

Après avoir réalisé les simulations avec le logiciel, un fichier de sortie rassemblant les résultats de la simulation est créé. La méthodologie d'analyse subséquente se base sur ces résultats, et l'algorithme propose des solutions adaptées techniquement et économiquement aux problèmes. Cette dernière partie a été réalisée par Guillaume (mémoire de maîtrise soutenu en 2006 et rapport final 1).

La méthodologie qui est décrite dans le rapport final du projet est présentée dans les grandes lignes dans ce qui suit. Ce travail représente les recherches de maîtrise de Durlut et de Guillaume (2006).

L'outil de simulation et les résultats qu'il fournit doivent s'intégrer à une méthodologie de détection et d'analyse des problèmes de dépassement. Cette méthodologie explicite une démarche à suivre par un analyste pour étudier et remédier à des problèmes de dépassement observés sur une route.

TWOPAS ne permettant de simuler qu'un tronçon de route à la fois, la route à analyser est fragmentée en divisions pour lesquelles un nombre important de données telles que la géométrie routière, la distance de visibilité de dépassement, le trafic, le conducteur et son véhicule sont à recueillir. Une partie de ces données n'est pas toujours disponible ; la méthodologie incorpore donc un algorithme de reconstitution de la géométrie routière et un algorithme de calcul de la distance de visibilité de dépassement à partir de données GPS relevées sur l'axe de la route et disponibles sur toutes les routes du ministère des Transports du Québec. La validation de la reconstitution est ensuite réalisée à l'aide de photographies géo-référencées. Une interface informatisée d'aide au recueil des données a été créée qui permet l'exécution de ces différents algorithmes.

Une fois toutes les données acquises, la division à analyser est fragmentée en segments et les simulations peuvent être réalisées. L'allocation aléatoire d'une vitesse désirée à chaque conducteur de chaque type de véhicule peut conduire à des simulations représentant un cas particulier. Il a donc été décidé qu'un segment de route doit être simulé au moins 10 fois pour obtenir des résultats en lesquels l'analyste peut avoir confiance. L'interface (ou le préprocesseur) incorpore ce principe préétabli permettant ainsi de réduire au maximum les manipulations de logiciels et de traitement de données. Par ailleurs, une méthode a été développée pour fournir des indicateurs exploitables pour la méthodologie à partir des résultats obtenus par les simulations. Deux types d'indicateurs sont élaborés : les profils et les indicateurs opérationnels. L'étude de l'évolution du profil de vitesse, du profil du nombre de dépassements et du nombre de véhicules en peloton permet de localiser les zones où les conducteurs perdent de la vitesse et ne peuvent pas dépasser. En ce qui concerne les indicateurs opérationnels, ceux-ci qualifient et quantifient la qualité du service. L'estimation de la vitesse moyenne de parcours et du pourcentage de temps retardé derrière un véhicule est utilisée pour

déterminer le niveau de service. L'étude de la perte de vitesse des véhicules lourds caractérise leurs difficultés dans les pentes. Par ailleurs, le temps de parcours est lié à la satisfaction des conducteurs et le nombre probable d'accidents dû à des grandes différences de vitesse entre dans l'appréciation des conditions de sécurité sur la route. L'étude des indicateurs par rapport aux seuils proposés par le Manuel de Capacité 2000 et la Norme du Québec permet à l'analyste de décider si une intervention est nécessaire et de définir les caractéristiques de l'aménagement choisi. Des niveaux de service E et F ainsi qu'une perte de vitesse des véhicules lourds supérieure à 15 km/h sont des seuils indiquant qu'un aménagement est à préconiser. Les aménagements sont implantés et dimensionnés au sens de la norme.

De nouvelles simulations de la division sont alors réalisées en tenant compte de l'aménagement envisagé permettant ainsi d'analyser son efficacité. En effet, TWOPAS a l'avantage de visualiser l'impact qu'a un aménagement sur les conditions de circulation de la route. Le choix et le dimensionnement définitif d'un aménagement sont effectués après une analyse bénéfice/coût. Les bénéfices engendrés sont estimés par la réduction du nombre d'accidents et la diminution des temps de parcours. Les coûts de construction et d'exploitation de l'aménagement sont comparés aux bénéfices à l'aide du rapport bénéfice/coût. Si ce dernier est supérieur à un (ou à toute autre valeur préétablie), alors l'aménagement est rentable, sinon il se peut que l'aménagement soit surdimensionné. La méthodologie a été appliquée à deux exemples distincts. Le premier exemple est fictif avec des données préétablies. Le second exemple traite le cas de la route 222 (Estrie) où les données manquantes sont générées et validées.

En résumé, la méthodologie permet d'évaluer un déséquilibre entre l'offre et la demande en dépassement et de localiser les zones où les difficultés se forment, puis d'envisager une solution pour améliorer la qualité du service rendu à l'utilisateur. Elle donne une méthode pour estimer les bénéfices et les coûts engendrés par cet aménagement afin d'en calculer sa rentabilité économique. En plus de mettre à disposition un outil d'évaluation des problèmes de dépassement, la méthodologie s'appuie sur d'autres outils tels qu'un algorithme de reconstitution de la géométrie routière et un algorithme de calcul de la distance de visibilité de dépassement et d'arrêt à partir de points GPS mesurés sur l'axe de la route.

La méthodologie proposée constitue ainsi une première contribution pour l'analyse des problèmes de dépassement. Elle pourrait être étoffée de validations et de calibrations à partir de données réelles représentant d'autres cas de conditions de circulation du Québec.

C O N T E N U D U D V D



1. Livrables du projet dépassement (avec rapports d'étapes)

Les documents finaux du projet de recherche.

2. Recueil des rapports de maîtrise, PFE..

Les documents et les fichiers correspondant à chaque rapport individuel.

3. Logiciels

Les applications d'analyse produites durant le projet.

4. Annexes

Problématiques du projet

Données MTQ

Articles, Présentations

Comité de suivi du projet sur les dépassements

1. Livrables du projet dépassement (avec rapports d'étapes)

Le dossier contient les documents finaux du projet de recherche – rapports d'étapes 1 à 11 et les rapports finaux. Chaque dossier contient un fichier Word et un fichier pdf.

Résumé



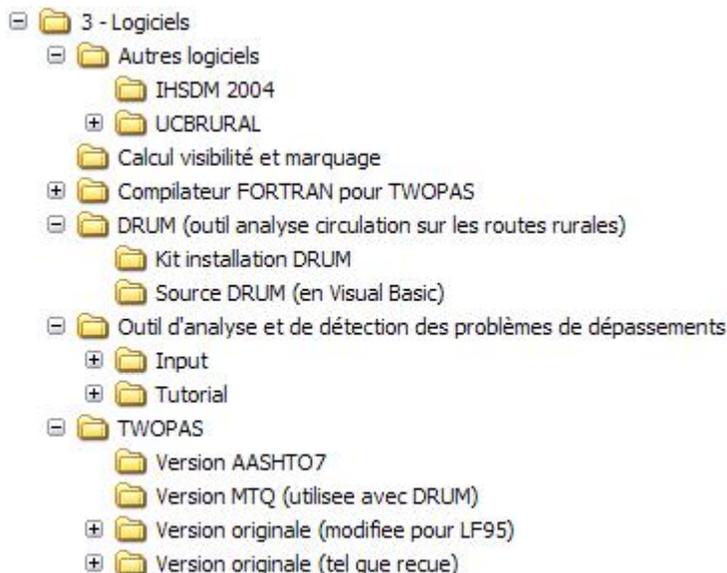
2. Recueil des rapports de maîtrise, PFE..

Les documents et les fichiers correspondent à chaque rapport individuel. Rapports des projets de fin d'études, présentations des rapports de maîtrise, ainsi que divers fichiers produits par les étudiants pendant leur activité de recherche.



3. Logiciels

Les applications d'analyse produites durant le projet (application pour le calcul de la visibilité disponible et du marquage, outil d'analyse de la circulation sur les routes à deux voies et l'outil pour l'analyse et détection des problèmes de dépassement). En plus, ont été ajoutées les versions originales et modifiées de TWOPAS, le compilateur Fortran utilisé avec TWOPAS et les deux logiciels étudiés pendant la recherche (IHSDM 2004 et UCBRURAL).



4. Annexes

* Comité de suivi du projet sur les dépassements - contient les comptes rendus des réunions du comité de suivi, ainsi que des documents présentés pendant les réunions.

* Congrès - les articles et les présentations (aux congrès de l'AQTR et del'ATC) des travaux concernant le projet.

* Données MTQ - les données (sur les routes du Québec) utilisées pendant la réalisation du projet. Les données proviennent généralement du MTQ. Certaines données ont été obtenues par mesures directes par l'équipe de recherche en collaboration avec le MTQ.

* Problématiques du projet - diverses problématiques ponctuelles du projet expliquées séparément.

