

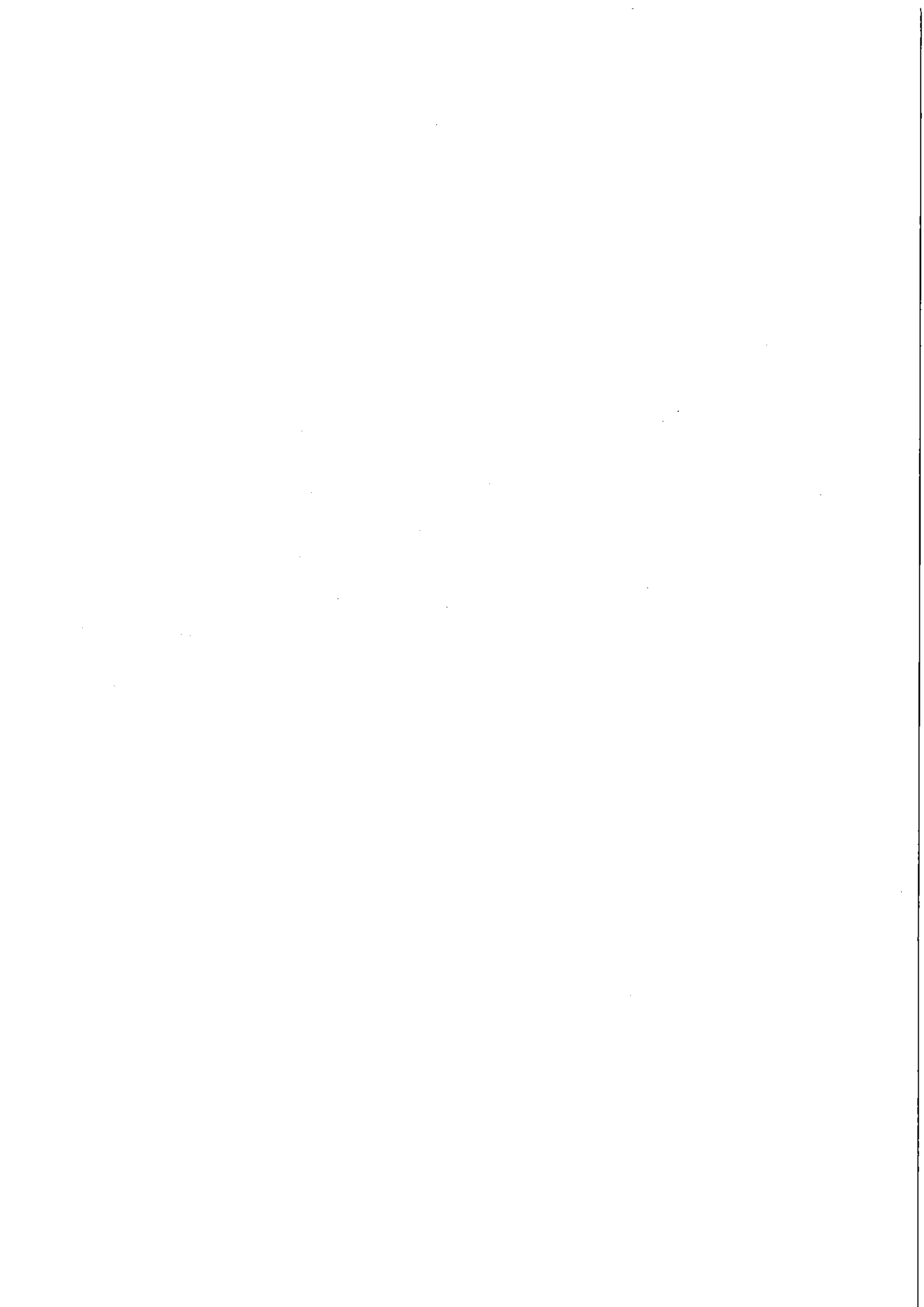


RAPPORT N° 188

**ANALYSE DES ACCIDENTS ET
EVALUATION DES RISQUES
ASSOCIES AU TRANSPORT
DES MATIERES DANGEREUSES
PAR POIDS LOURDS**

F. RANCILLAC, P. PAGES

Février 1993. Rapport final Contrat SRETIE/MERE/89 320



RESUME

La démarche générale

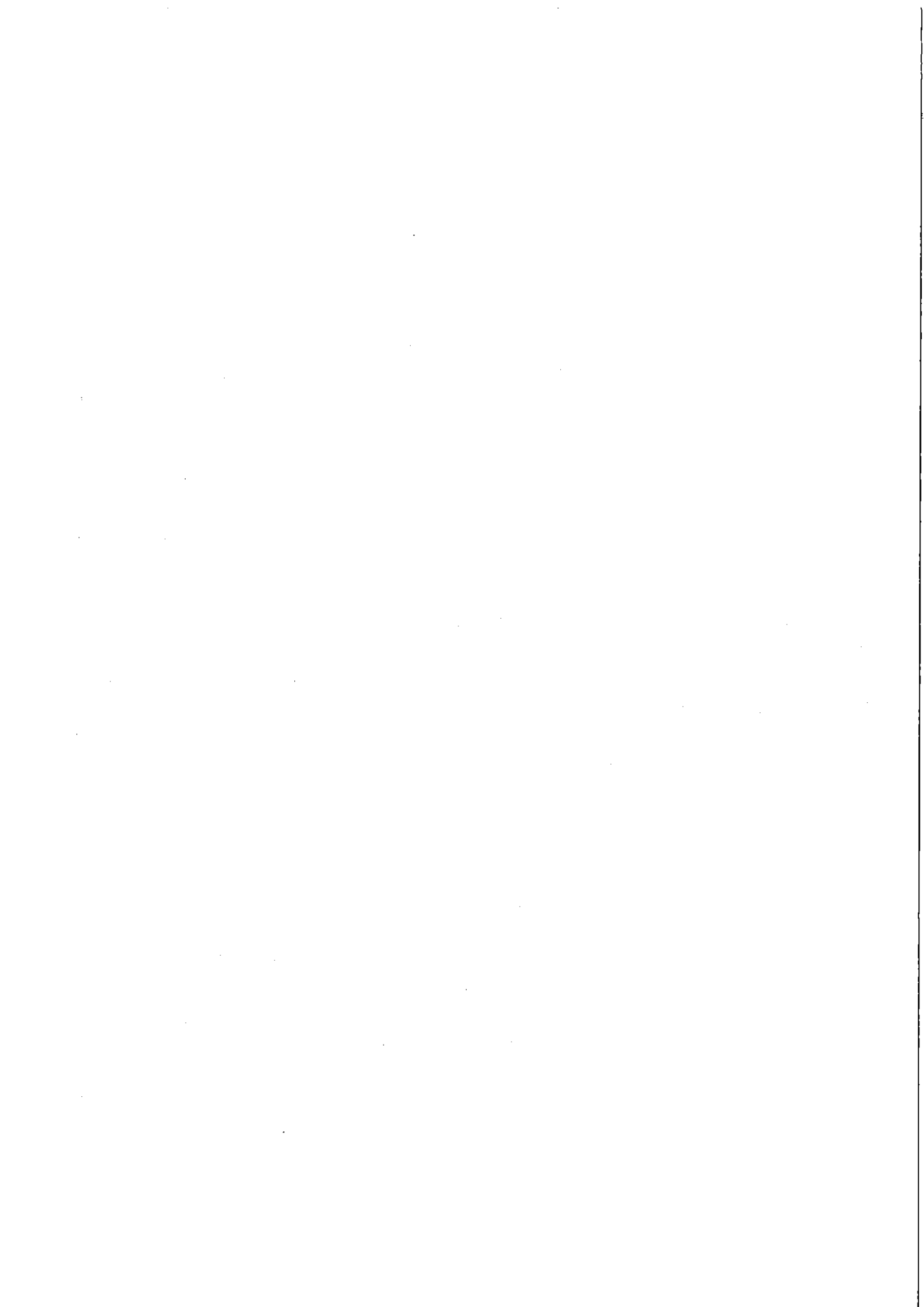
L'accidentologie vise, à travers l'observation de situations accidentelles à la fois à identifier les principaux paramètres de l'accident et à quantifier la gravité potentielle des conséquences. Chaque accident est considéré comme une occurrence parmi un ensemble d'événements possibles : choc, renversement, déraillement, feu, explosion, immersion,... A chaque type d'événement sont associées des contraintes susceptibles de s'exercer sur le colis et pour chaque contrainte, des "indicateurs de gravité" sont définis, par exemple : énergie du choc, vitesse à l'impact, durée du feu, présence de matière inflammable,... La plupart de ces indicateurs sont quantifiables. Certains sont susceptibles d'estimation directe lors du recueil de données, d'autres sont plutôt fonction de paramètres directement observés à travers une modélisation physique du phénomène accidentel. Après cette phase d'identification, il convient de déterminer les probabilités d'occurrence des scénarios d'accident ainsi que la distribution statistique des valeurs des indicateurs de gravité.

Une des applications de l'accidentologie est de définir la solidité qui doit être exigée pour un colis de transport des matières dangereuses. L'évaluation du taux d'ouverture d'un colis relatif à un transport passe par une connaissance des scénarios accidentels susceptibles de se produire, et par la connaissance des différentes contraintes (incendie, choc, compression, immersion,...) susceptibles de s'exercer sur les colis de transport en cas d'accident. La figure 1 présente de façon schématique la place de l'accidentologie dans les différents domaines de la gestion des risques du transport des matières dangereuses.

Les accidents de transport de matières dangereuses par route

Dans cette étude, la recherche d'une description statistique des environnements accidentels associés aux transports routiers a été entreprise. Elle synthétise toutes les données relatives aux accidents de la route accumulées au CEPN depuis 15 ans et concerne plus de 2000 accidents impliquant des poids lourds transportant des matières dangereuses (PLMD). Les fichiers d'où sont issus l'ensemble des résultats proviennent de la Commission Interministérielle de Transport des Matières Dangereuses (CITMD), et depuis 1987 de la Mission du Transport des Matières Dangereuses (MTMD) ainsi que de la Direction de la Sécurité Civile.

Les types d'accidents peuvent se résumer en trois catégories : les accidents triviaux, les incendies et les chocs ou les renversements. Sont considérés comme *accidents triviaux* les défaillances



mécaniques, les sorties de route sans choc, et les chocs contre des piétons ou des deux roues, ce type de choc n'impliquant pas de conséquence au niveau de la cargaison. Les accidents triviaux représentent environ 7 % des accidents de PLMD.

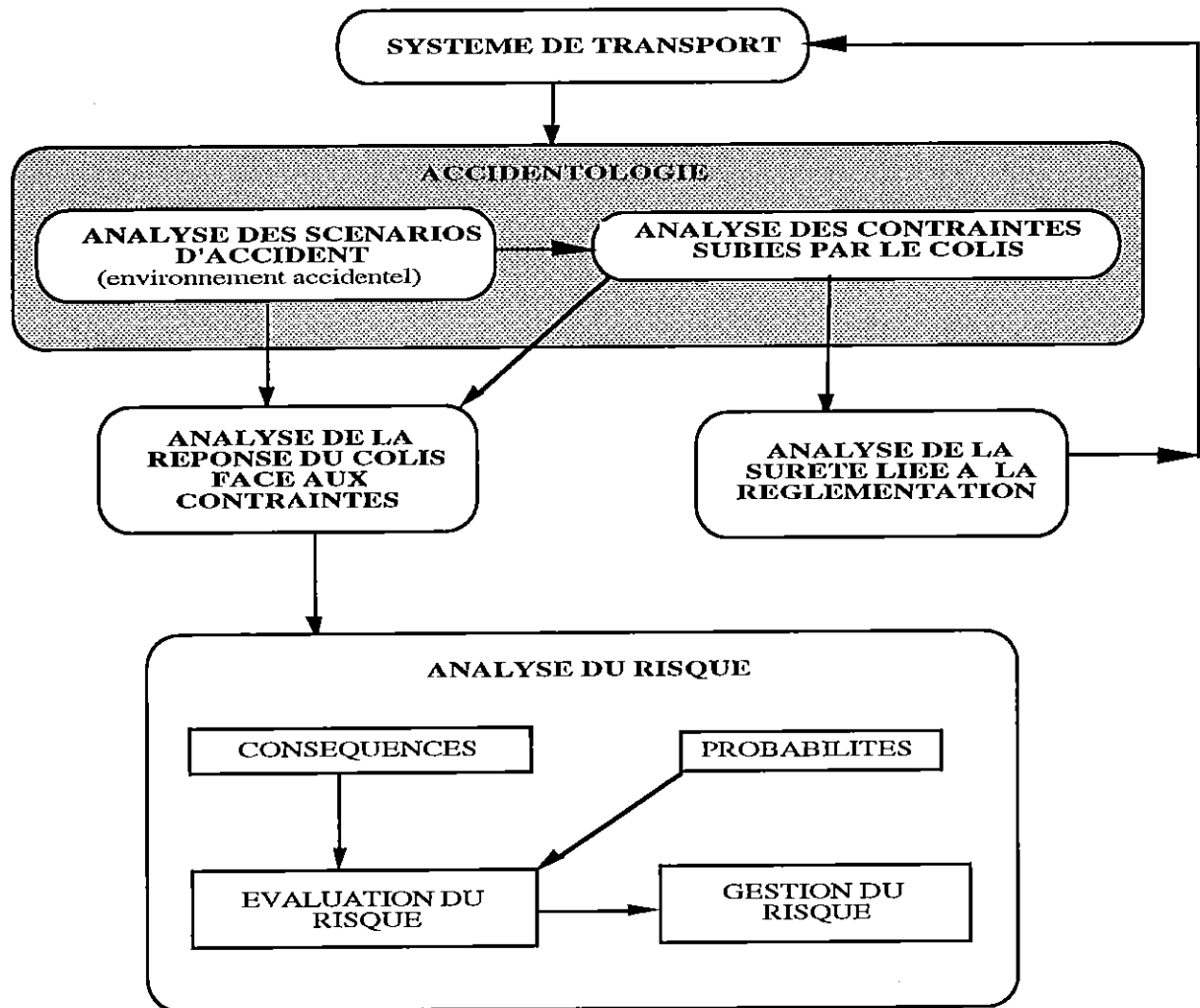
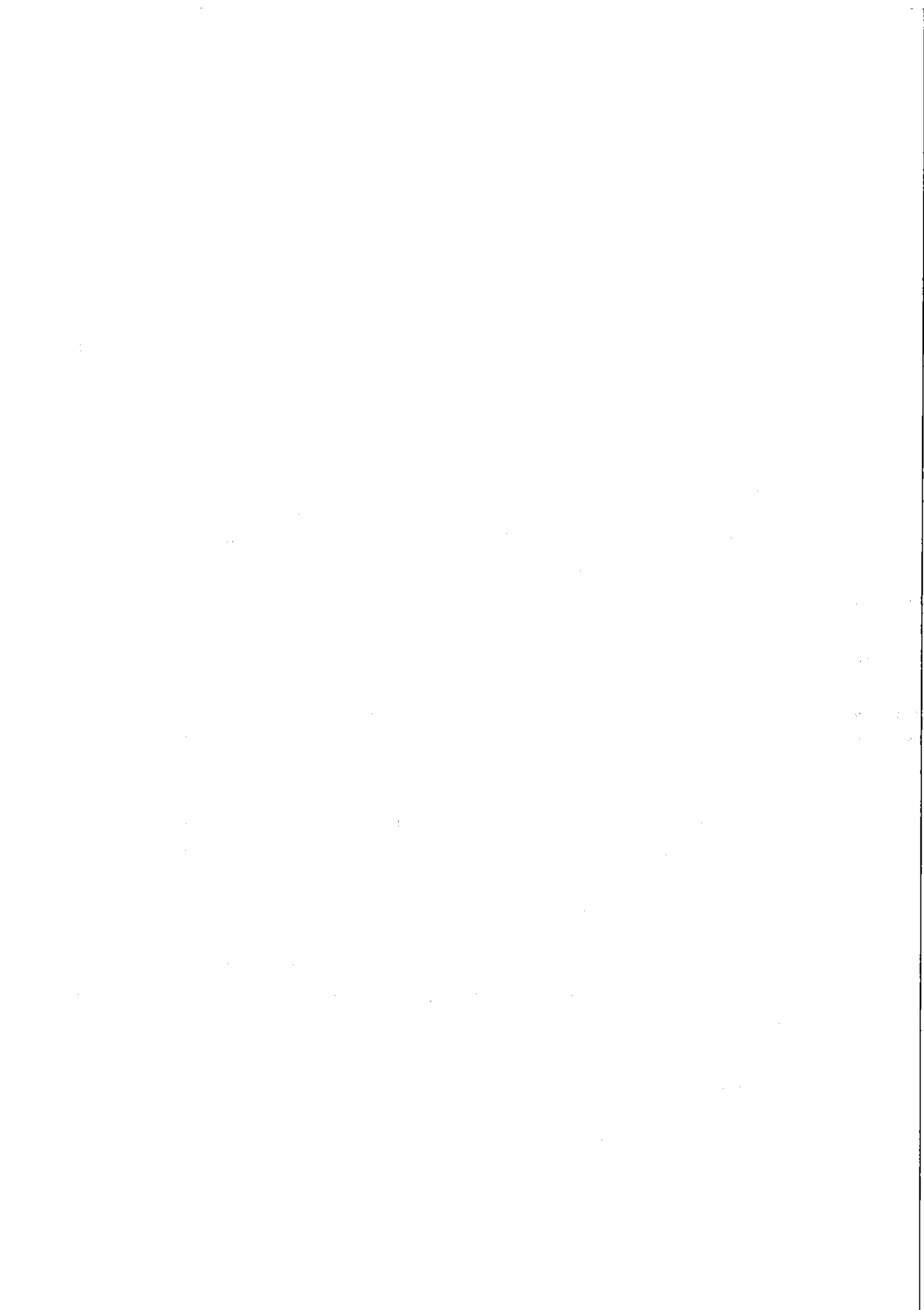


Figure 1 : Place de l'accidentologie dans l'évaluation et la gestion du risque

L'analyse des fichiers montre que la probabilité d'*incendie* est stable depuis 1975 et représente 5 % des accidents. 30 à 40 % des incendies impliquent la destruction totale du chargement et l'épandage de matière s'observe en moyenne dans 70 % des incendies mais varie entre 40 et 75 % des cas selon le type d'accident, voire 100 % en cas de chute. Au vu de ces résultats et sous les hypothèses d'une exposition systématique du colis en cas de feu et d'une absence de marge de sécurité dans la réalisation d'une protection thermique, il apparaît que réaliser un colis capable de résister à un incendie pendant 1 heure éviterait à 60 % des incendies d'avoir des conséquences sur la matière dangereuse (80 % en cas de matière dangereuse ininflammable).



Le dernier type d'accident concerne les *impacts mécaniques* qui représentent la grande majorité des accidents. La probabilité d'avoir un impact est de 0,92 par accident si on inclut également les impacts associés à un incendie. Si on ne considère que les impacts sans feu, ils se répartissent en renversement (20 % des accidents), en choc contre obstacle fixe ou mobile (45 % des accidents), en choc associé à un renversement (20 % des accidents) et en chute presque toujours associée à un choc ou à un renversement (2 % des accidents). Parmi les impacts, 36 % présentent des dommages notables au chargement (brèches) et 66 % des fuites même légères liées aux déformations des orifices naturels du colis. Les impacts les plus sévères du point de vue du chargement sont les chocs associés aux chutes, aux renversements ou simplement contre un obstacle fixe.

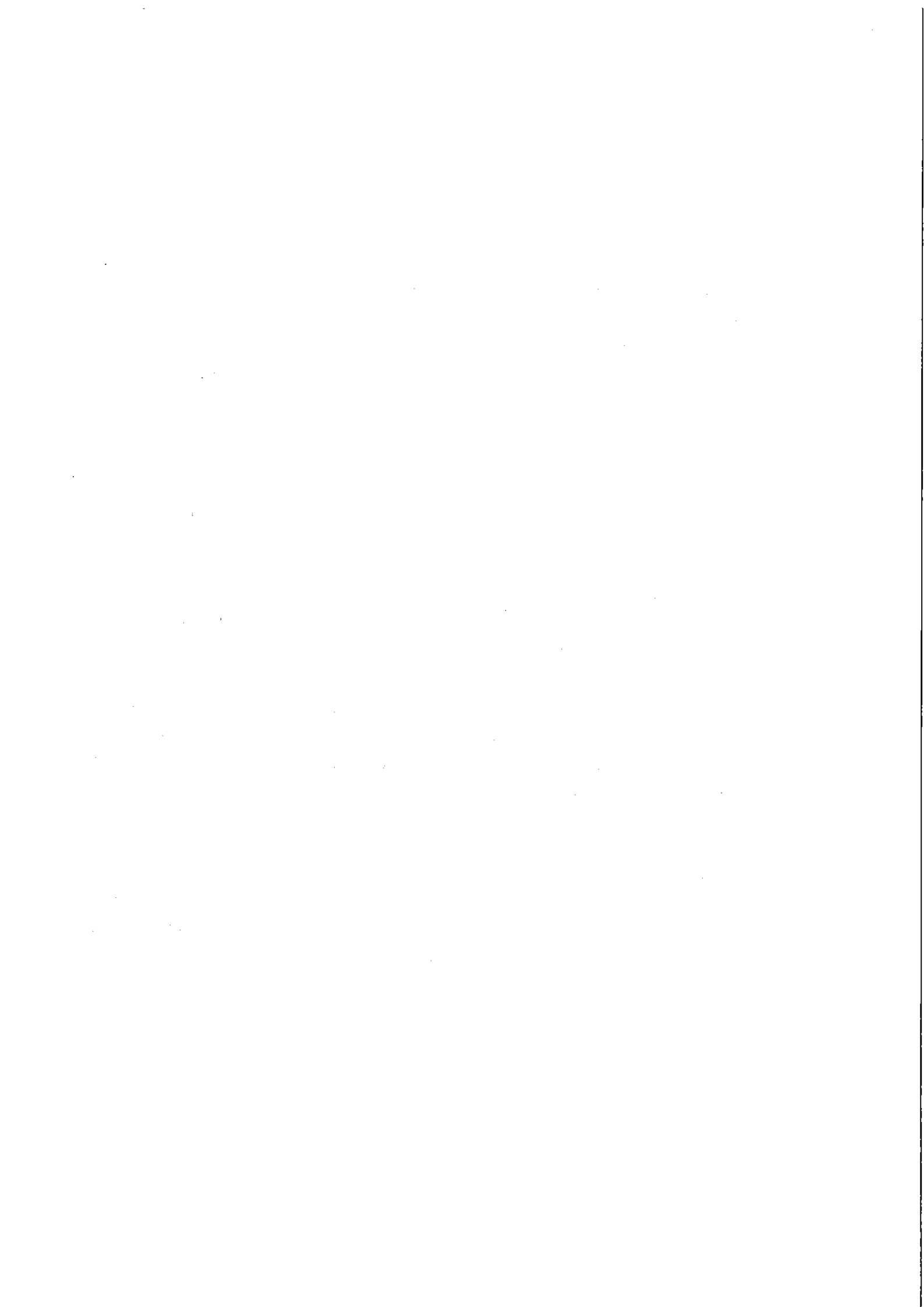
Les indicateurs de gravité

L'indicateur retenu pour évaluer la sévérité des impacts est la valeur de l'énergie mécanique libérée par l'accident en supposant que cette énergie soit entièrement utilisée pour endommager le colis. Dire qu'un colis d'environ 2 tonnes résiste à une énergie de $1,8 \cdot 10^5$ J revient à dire que ce colis résiste à un impact à 50 km/h sur un mur rigide (ou encore à une chute de 9 m sur une surface indéformable). Actuellement, 80 % des accidents de type impact libèrent des énergies inférieures ou égales à $1,8 \cdot 10^5$ J.

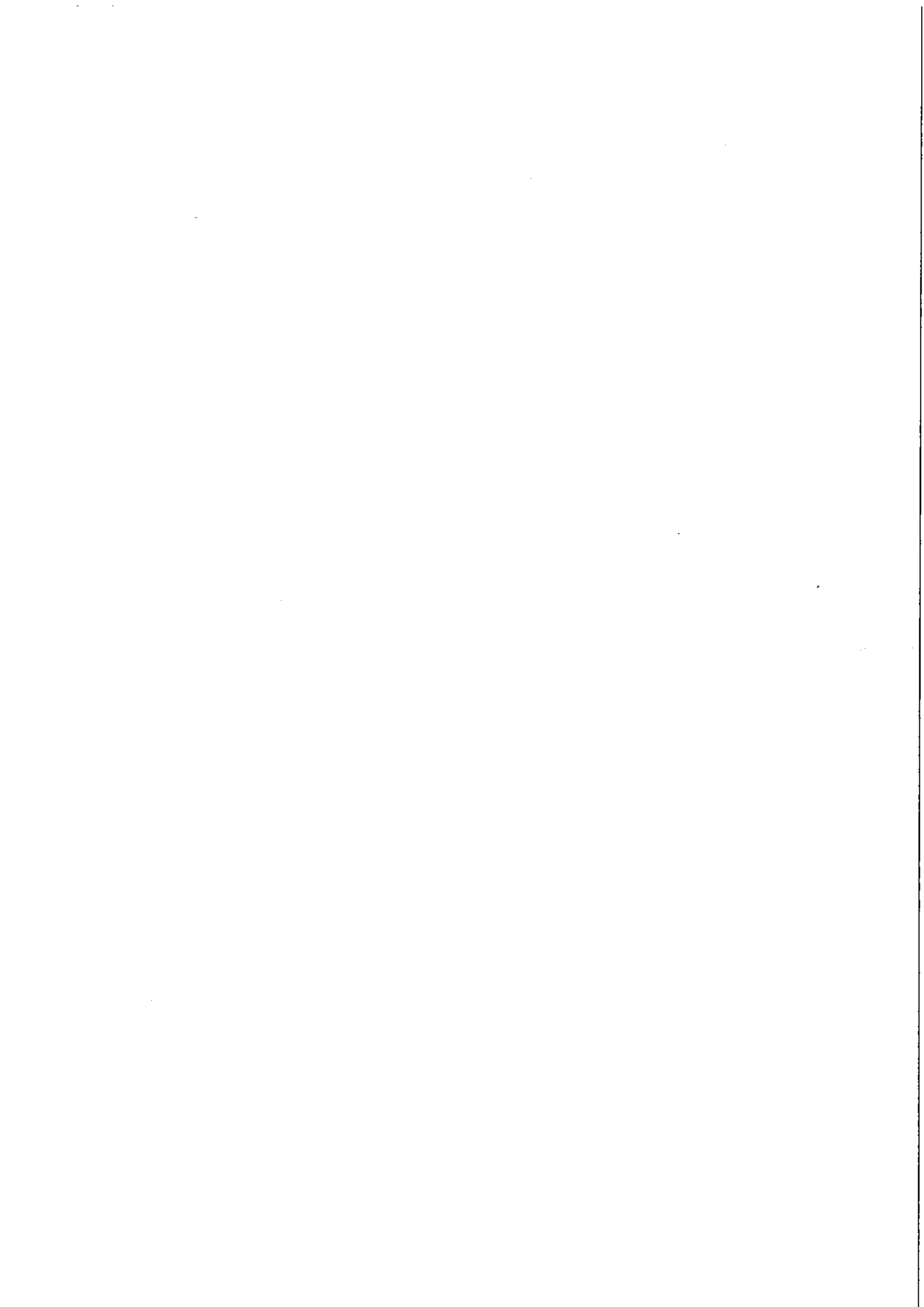
De plus, un colis peut être soumis à un autre type de contrainte, il s'agit d'une *contrainte de perforation* principalement rencontrée dans le cas des renversements. 25 % des PLMD accidentés subissent une perforation liée à la présence d'un objet dit "perforant" qui peut être des pierres, des poteaux, des supports de glissières, des trottoirs, des arbres, ou d'autres véhicules. La gravité de ces perforations est quantifiée par le rapport de la vitesse du PLMD sur le rayon de l'objet perforant. Actuellement les colis dont l'agrément est le plus sévère sont les colis de type B utilisés pour le transport de certains produits radioactifs. Le test réglementaire demande qu'un tel colis résiste à une chute de 1 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre. D'après les statistiques, ces colis seraient épargnés dans au moins 20 % des cas de perforation liée à un accident routier. Il faudrait un colis résistant à une chute de 5,5 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre pour que ce colis résiste dans au moins 50 % des accidents susceptibles d'entraîner une perforation.

Les probabilités d'accident

Cette étude a permis également de faire le point sur le taux d'accident de PLMD au kilomètre parcouru qui est en 1989 de 10^{-7} acci./véh.km sur autoroutes françaises. Il était de 10^{-6}

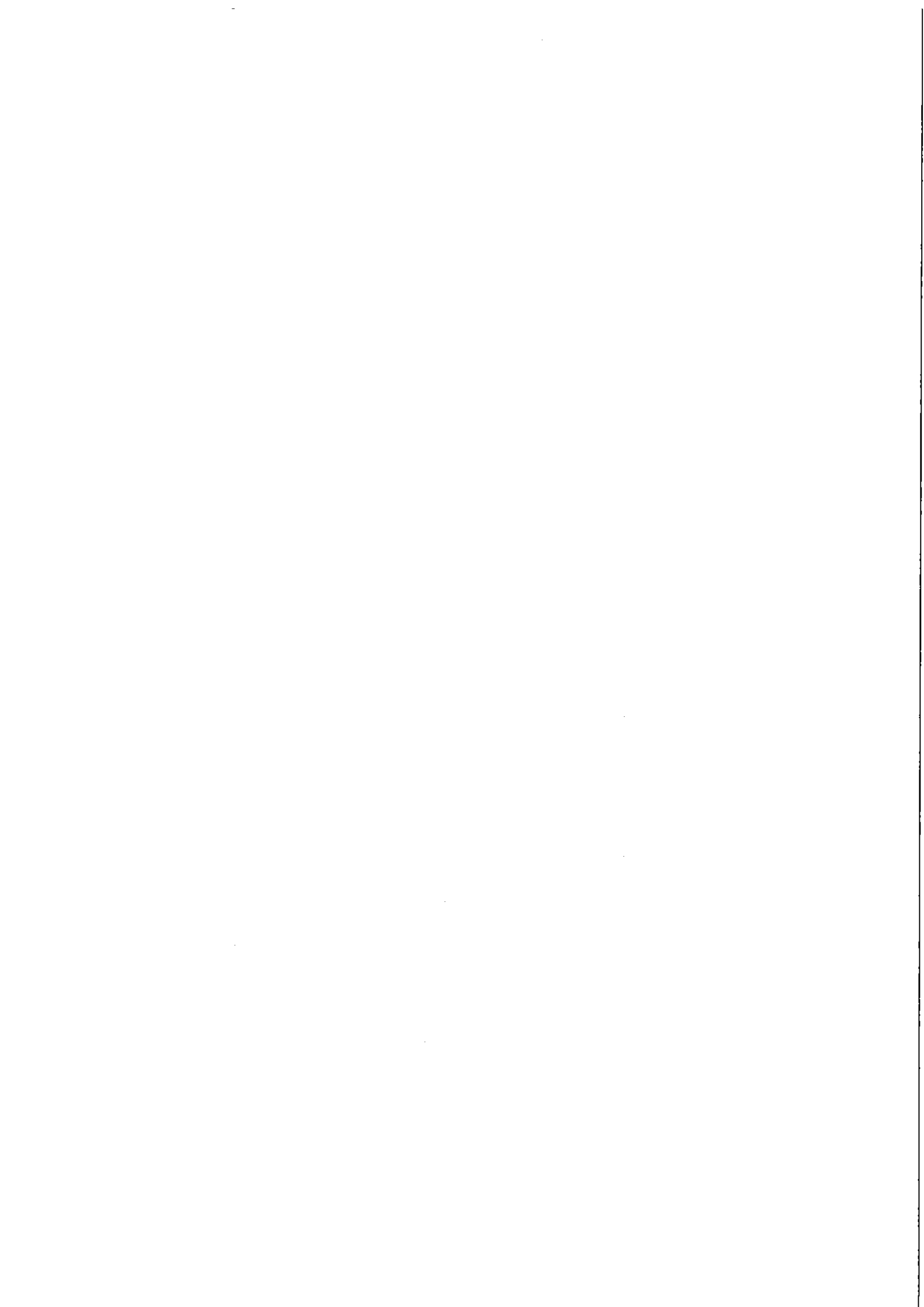


acci./véh.km sur autoroutes en 1979. Le taux d'accident sur autoroute est 3 ou 4 fois plus faible que sur routes nationales. Nous constatons entre les différents fichiers d'accident de PLMD, un nombre croissant d'accidents de PLMD survenant sur autoroute, 30 % en 1989 contre 23 % en 1983 et 11 % en 1976. Cette évolution peut s'expliquer par l'accroissement du réseau autoroutier entraînant une plus grande fréquentation par les PLMD. Les autoroutes sont plus nombreuses et donc plus fréquentées par les PLMD.



SOMMAIRE

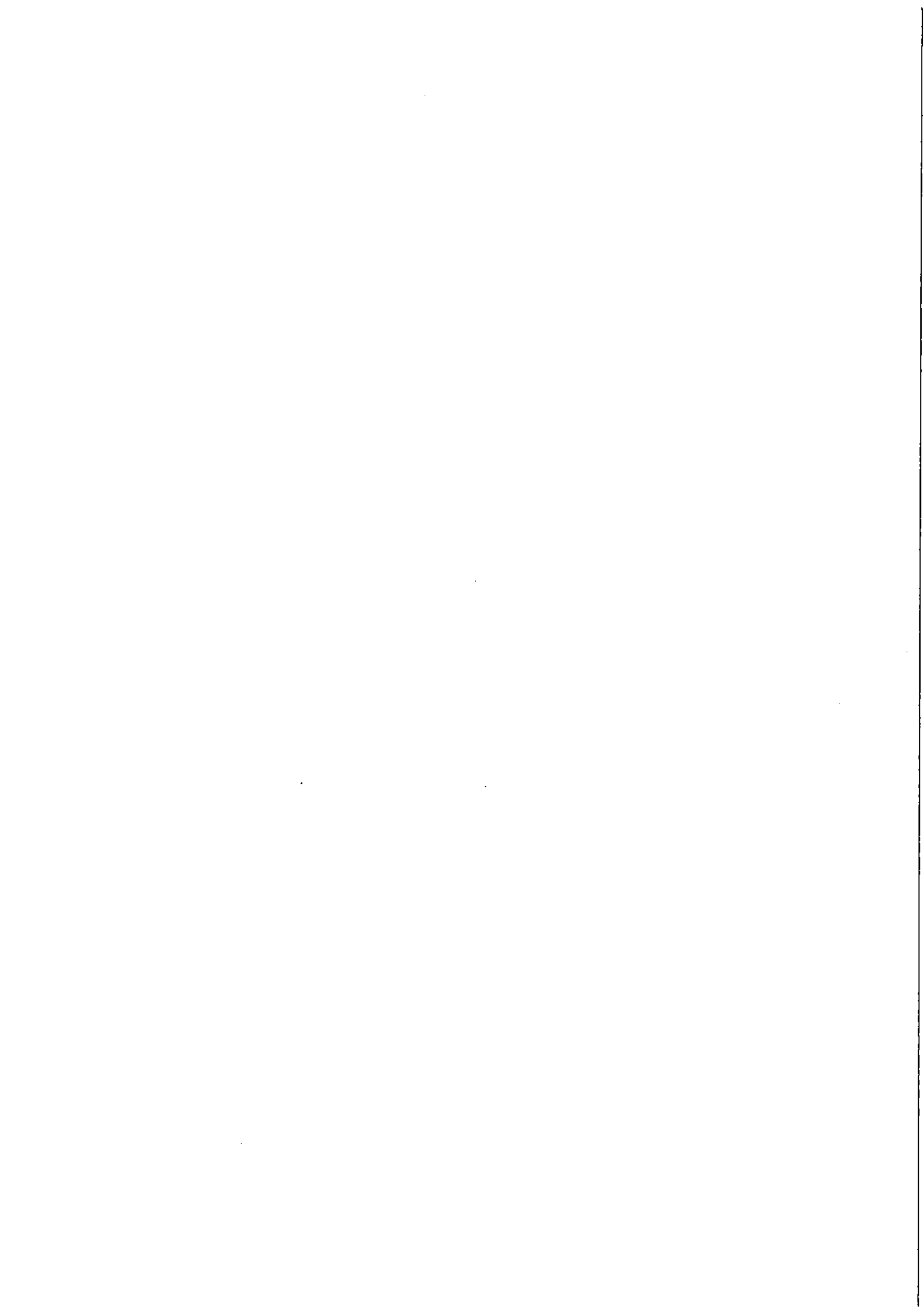
	Page
INTRODUCTION	1
1. L'ACCIDENTOLOGIE DANS LES EVALUATIONS DE RISQUES	3
1.1. La démarche générale	4
1.2. Sources de données	5
1.3. Analyse des scénarios d'accident	6
1.4. Analyse de la gravité des accidents	6
1.5. Les principaux types de résultats	7
2. LES DONNEES	9
2.1. Origines des données relatives aux accidents de Poids Lourds transportant des Matières Dangereuses (PLMD)	9
2.2. La définition de l'accident	9
2.3. Les bases de données CEPN	9
3. LES TRAFICS ET TAUX D'ACCIDENT	13
4. ANALYSE STATISTIQUE DES SCENARIOS D'ACCIDENT	17
4.1. L'évolution du nombre d'accidents de PLMD au cours du temps	17
4.2. Nombre de PLMD impliqués par accident	17
4.3. Types de voie et d'urbanisation	18
4.4. Les caractéristiques de la voie	18
4.5. Les caractéristiques du véhicule	19
4.6. Les caractéristiques du chargement	20
4.7. Analyse particulière des citernes	21
5. ANALYSE DES CONTRAINTES SUBIES PAR LE COLIS	23
5.1. Energie thermique	23
5.1.1. Le choix de l'indicateur	23
5.1.2. Les probabilités de feu	23
5.1.3. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte thermique	31
5.2. Energie mécanique	34
5.2.1. Le choix de l'indicateur	34
5.2.2. Les probabilités de subir une contrainte mécanique	35
5.2.3. Les probabilités de perforation	40
5.2.4. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte mécanique	45
5.2.5. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte de perforation	48
6. CONCLUSION	51
REFERENCES	55



ANNEXE 1 : Calcul de l'énergie absorbée lors d'un choc

ANNEXE 2 : Fichier des feux de poids lourds de 1974

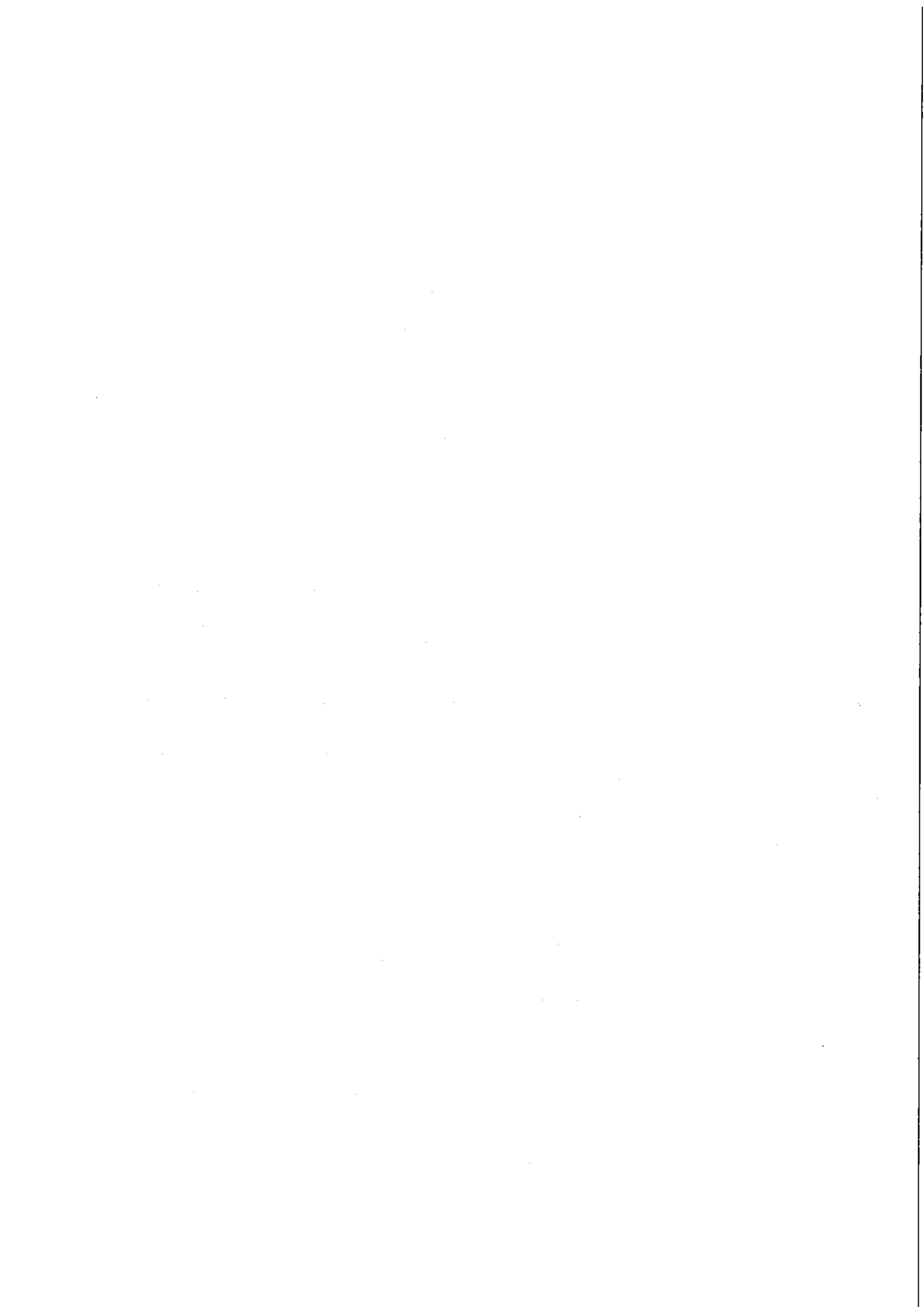
ANNEXE 3 : Analyse critique du fichier relatif aux accidents de poids lourds



Liste des tableaux et figures

TABLEAUX

	<i>Page</i>
<u>Tableau 1</u>	Bases de données CEPN sur les accidents de poids lourds. 10
<u>Tableau 2</u>	Evolution des probabilités d'accident P_0 par véhicule x kilomètre et par autoroute en fonction des années. 13
<u>Tableau 3</u>	Probabilité d'accident des autoroutes du Nord-Est de la France de 1987 à 1989. 14
<u>Tableau 4</u>	Répartition des accidents selon l'urbanisation. 18
<u>Tableau 5</u>	Répartition des accidents de 1987 à 1989 selon la présence de passage spécial. 19
<u>Tableau 6</u>	Répartition des accidents de 1987 à 1989 selon la silhouette du VTMD impliqué. 19
<u>Tableau 7</u>	Répartition des chargements selon la nature du danger du produit dans les accidents de 1987 à 1989 impliquant un VTMD. 20
<u>Tableau 8</u>	Répartition des chargements en liquide en fonction du volume transporté (accidents de 1987 à 1989). 21
<u>Tableau 9</u>	Quelques caractéristiques thermiques de produits principalement rencontrés comme aliment de feu. 25
<u>Tableau 10</u>	Evolution des températures (°C) enregistrées sur un conteneur lors d'un feu d'hydrocarbures (épreuve AIEA). 26
<u>Tableau 11</u>	Pourcentage de feux de PL. 27
<u>Tableau 12</u>	Origines des feux spontanés de poids lourds. 28
<u>Tableau 13</u>	Les aliments du feu rencontrés dans les feux de poids lourds. 28
<u>Tableau 14</u>	Dégâts aux poids lourds incendiés. 30
<u>Tableau 15</u>	Conséquences sur le chargement des poids lourds incendiés. 30
<u>Tableau 16</u>	Probabilité d'incendie par accident et par durée de feu pour des chargements de matières inflammables ou ininflammables. 33
<u>Tableau 17</u>	Pourcentage des différents types d'accident de PLMD observés. 36
<u>Tableau 18</u>	Répartition des types d'accident selon le genre de PLMD (Fichier de 189 accidents - 1973) 37
<u>Tableau 19</u>	Répartition de l'angle d'impact lors d'une collision PL avec un obstacle mobile (accidents de PL de 1980-1981). 38



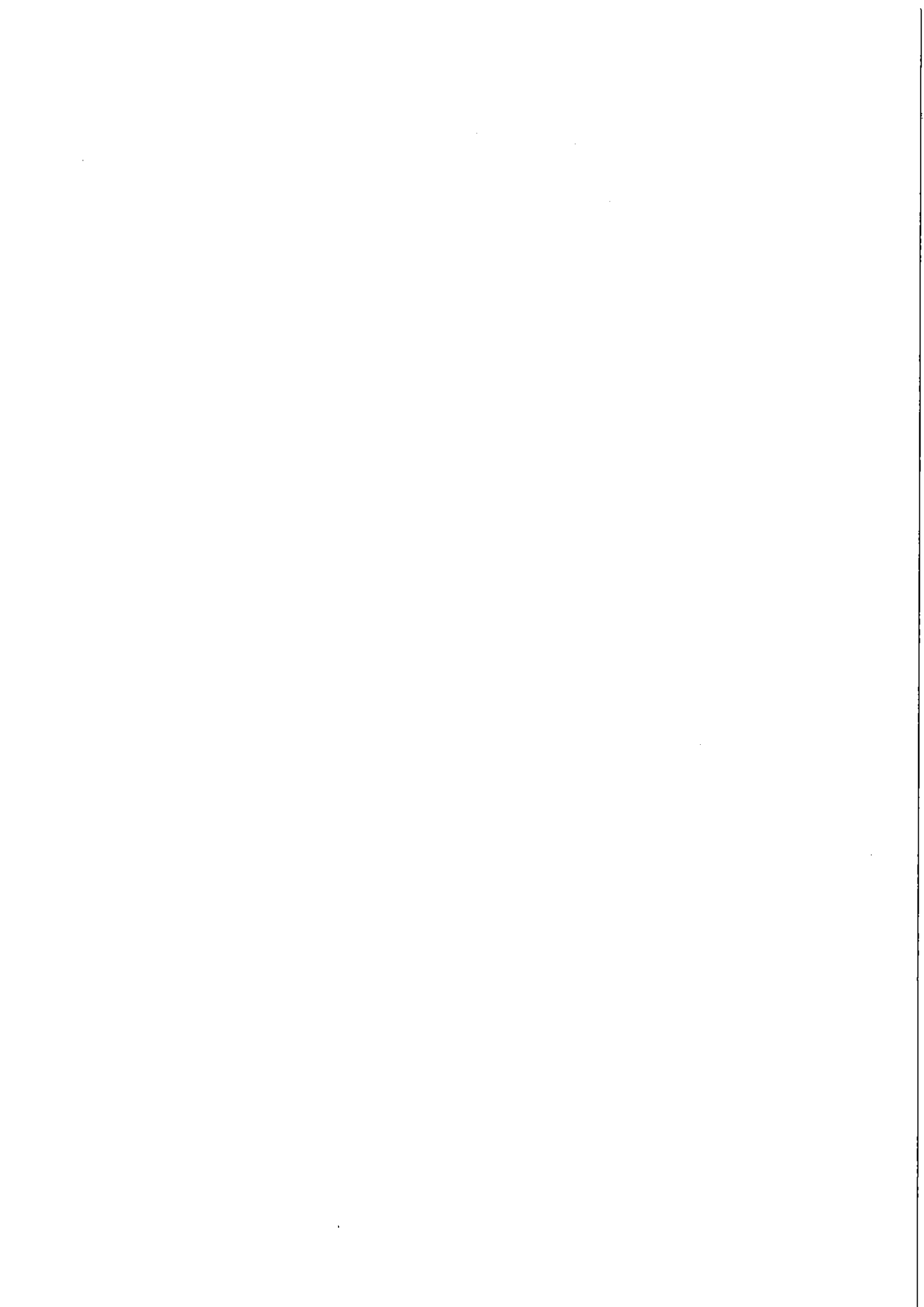
<u>Tableau 20</u>	Dégâts occasionnés au PLMD pour différents types d'accidents (accidents de PL de 1980 - 1981).	39
<u>Tableau 21</u>	Dégâts occasionnés au colis transporté par le PLMD pour différents types d'accidents (accidents de PL de 1980 - 1981).	39
<u>Tableau 22</u>	Fréquence des dégâts occasionnés à la citerne d'un PLMD pour différents types d'accidents (accidents de PL de 1980 - 1981).	40
<u>Tableau 23</u>	Répartition des différentes sources de perforation (accidents de 1975).	41
<u>Tableau 24</u>	Distribution du rayon des sources de perforation (accidents de 1975 et 1977)	42
<u>Tableau 25</u>	Répartition des vitesses lors de la perforation.	43
<u>Tableau 26</u>	Ensemble des valeurs prises par l'indicateur V/R [km/h.mm].	44
<u>Tableau 27</u>	Distribution de l'indicateur de perforation.	44
<u>Tableau 28</u>	Energie libérée lors d'une chute libre d'un colis de 2 t sur une surface rigide (vitesse d'impact et hauteur de chute correspondant aux énergies).	46
<u>Tableau 29</u>	Probabilité d'épandage des divers types d'impact mécanique et probabilité d'occurrence d'un choc libérant une quantité d'énergie donnée.	47

FIGURES

	<i>Page</i>	
<u>Figure 1</u>	Place de l'accidentologie dans l'évaluation et la gestion du risque.	3
<u>Figure 2</u>	Organigramme méthodologique de l'accidentologie.	5
<u>Figure 3</u>	Evolution du nombre d'accidents par année.	17
<u>Figure 4</u>	Répartition des types d'emballages utilisés pour le chargement des VTMD impliqués dans les accidents (1987-1989).	20
<u>Figure 5</u>	Evolution des différentes phases d'un incendie [CNPP].	24
<u>Figure 6</u>	Evolution de la température en fonction du temps pour 6 matériaux celluloseux différents [CNPP].	24
<u>Figure 7</u>	Arbre des événements de feu de poids lourds (fichier de 1987-88-89).	27
<u>Figure 8</u>	Répartition selon les moyens mis en oeuvre des feux de poids lourds (fichier de 1973 représentant 189 incendies).	29
<u>Figure 9</u>	Fonction de répartition des durées de feu selon les feux de PL de 1974.	31
<u>Figure 10</u>	Comparaison de la distribution des durées de feu entre des PLMD et des poids lourds transportant des marchandises diverses.	31
<u>Figure 11</u>	Courbe ISO des températures en fonction de la durée d'un incendie.	33



<u>Figure 12</u>	Arbre des événements probabilisés d'un accident de PLMD	36
<u>Figure 13</u>	Probabilité cumulée par choc pour que l'énergie du choc soit inférieure à l'énergie indiquée.	45
<u>Figure 14</u>	Ajustement d'une loi de défaillance exponentielle sur les taux de fuite de citernes à hydrocarbure liquide.	48
<u>Figure 15</u>	Probabilité cumulée d'occurrence d'accident avec perforation associé à la valeur de l'indicateur V/R.	49
<u>Figure 16</u>	Evolution du travail des forces de déplacement au moment de la rupture en fonction du poinçon [VERITAS].	50



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

FR112

INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre de nombreux travaux déjà réalisés sur l'évaluation du risque lié au transport de matières dangereuses. Ces travaux n'ont pu se développer qu'en se fondant sur un recueil de données de base concernant en particulier les accidents relatifs à un mode donné de transport. Après plus de dix ans de travail, il est intéressant de synthétiser ces données de base et au besoin de les actualiser.

L'accidentologie vise, à travers l'observation de situations accidentelles sur le terrain (ou au cours d'essais) à identifier dans un premier temps les paramètres de l'accident, à quantifier la gravité potentielle des conséquences dans un deuxième temps. Chaque accident est considéré comme une occurrence parmi un ensemble d'événements possibles : choc, renversement, déraillement, feu, explosion, immersion,... A chaque type d'événement sont associées des contraintes susceptibles de s'exercer sur le colis. Et pour chaque contrainte, il est possible de définir des "indicateurs de gravité", par exemple, comme : énergie du choc, vitesse à l'impact, durée du feu, présence de matière inflammable, dureté du sol,... La plupart de ces indicateurs sont quantifiables. Certains sont susceptibles d'estimation directe lors du recueil de données propres à un accident. D'autres sont plutôt fonction de paramètres directement observés à travers une modélisation physique du phénomène accidentel. Après cette phase qualitative d'identification, vient la quantification avec la probabilisation des scénarios d'accident et, d'autre part, l'estimation de la distribution statistique des valeurs des indicateurs de gravité.

Une des applications de l'accidentologie est de définir la solidité qui doit être exigée pour un colis de transport des matières dangereuses. L'évaluation du taux d'ouverture d'un colis relatif à un transport passe par une connaissance des scénarios accidentels susceptibles de se produire pour le mode de transport considéré (air, mer, route ou chemin de fer), et par la connaissance des différentes contraintes (incendie, choc, compression, immersion,...) susceptibles de s'exercer sur les colis de transport en cas d'accident.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial matters. This section also outlines the various methods and tools used to collect and analyze data, ensuring that the information is reliable and up-to-date.

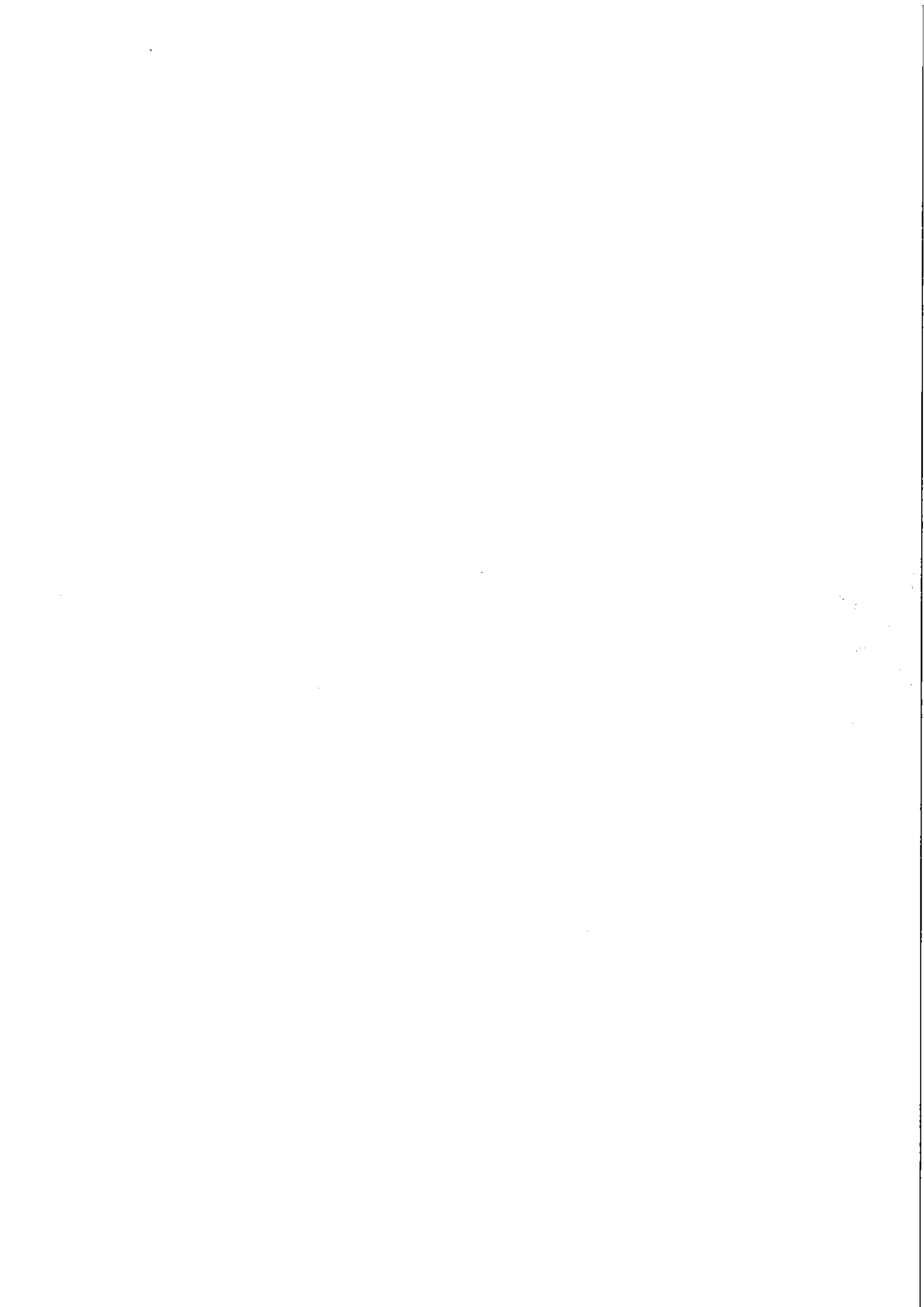
2. The second part of the document focuses on the implementation of these practices across different departments and projects. It provides detailed instructions on how to set up systems for data collection and analysis, including the selection of appropriate software and the training of staff. This section also addresses the challenges that may arise during the implementation process and offers strategies to overcome them.

3. The third part of the document discusses the importance of regular communication and reporting. It highlights the need for clear and concise reports that provide a comprehensive overview of the current status and any potential issues. This section also outlines the roles and responsibilities of different team members in ensuring that the reporting process is efficient and effective.

4. The fourth part of the document addresses the importance of maintaining the confidentiality and security of the data. It provides guidelines on how to store and protect sensitive information, including the use of secure communication channels and the implementation of access controls. This section also discusses the legal and ethical implications of data handling and the importance of staying up-to-date with relevant regulations.

5. The fifth part of the document discusses the importance of continuous improvement and innovation. It encourages the team to regularly review and evaluate their processes and systems, identifying areas for improvement and implementing new technologies and methods. This section also outlines the importance of staying up-to-date with industry trends and best practices to ensure that the organization remains competitive and forward-thinking.





1. L'ACCIDENTOLOGIE DANS LES EVALUATIONS DE RISQUES

La figure 1 présente de façon schématique la place de l'accidentologie dans les différents domaines de la gestion des risques du transport des matières dangereuses. L'évaluation proprement dite des risques peut être faite dans une optique d'acceptabilité (acceptabilité du niveau de risque en fonction de critères d'appréciation exogènes) ou dans une optique de gestion visant à se donner des éléments de décision en vue d'améliorer le niveau de sûreté du transport envisagé, ces deux optiques étant visiblement complémentaires.

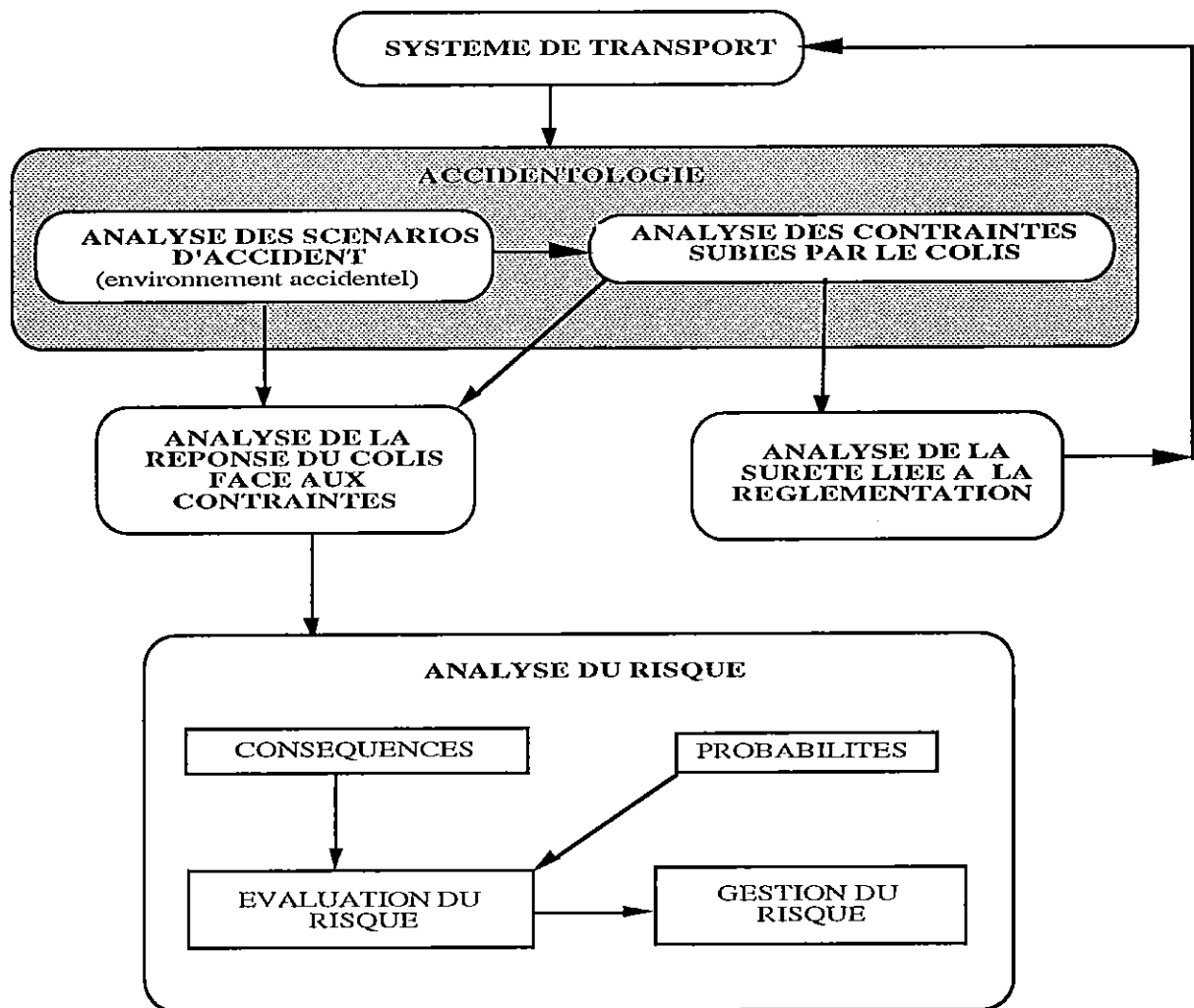
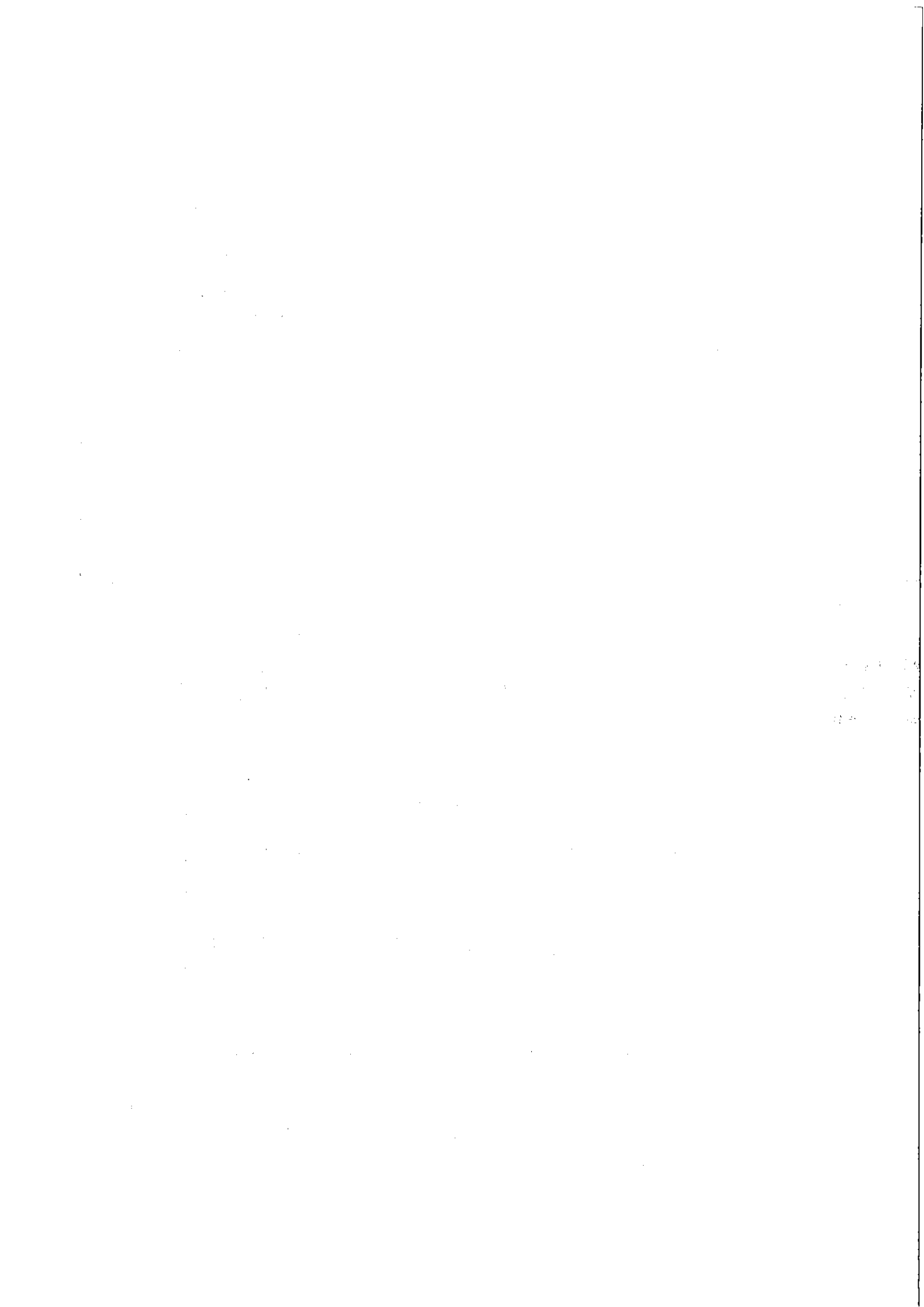


Figure 1 : Place de l'accidentologie dans l'évaluation et la gestion du risque

L'approche classique du risque dans les études de transport s'appuie sur l'identification de scénarios d'accidents qui sont quantifiés à la fois par leur probabilité d'occurrence et par l'estimation des conséquences exprimées en termes d'effets sur l'homme (mortalité, morbidité)



ou de coûts monétaires. L'expression du risque comme espérance mathématique de conséquences est donnée par la formule classique :

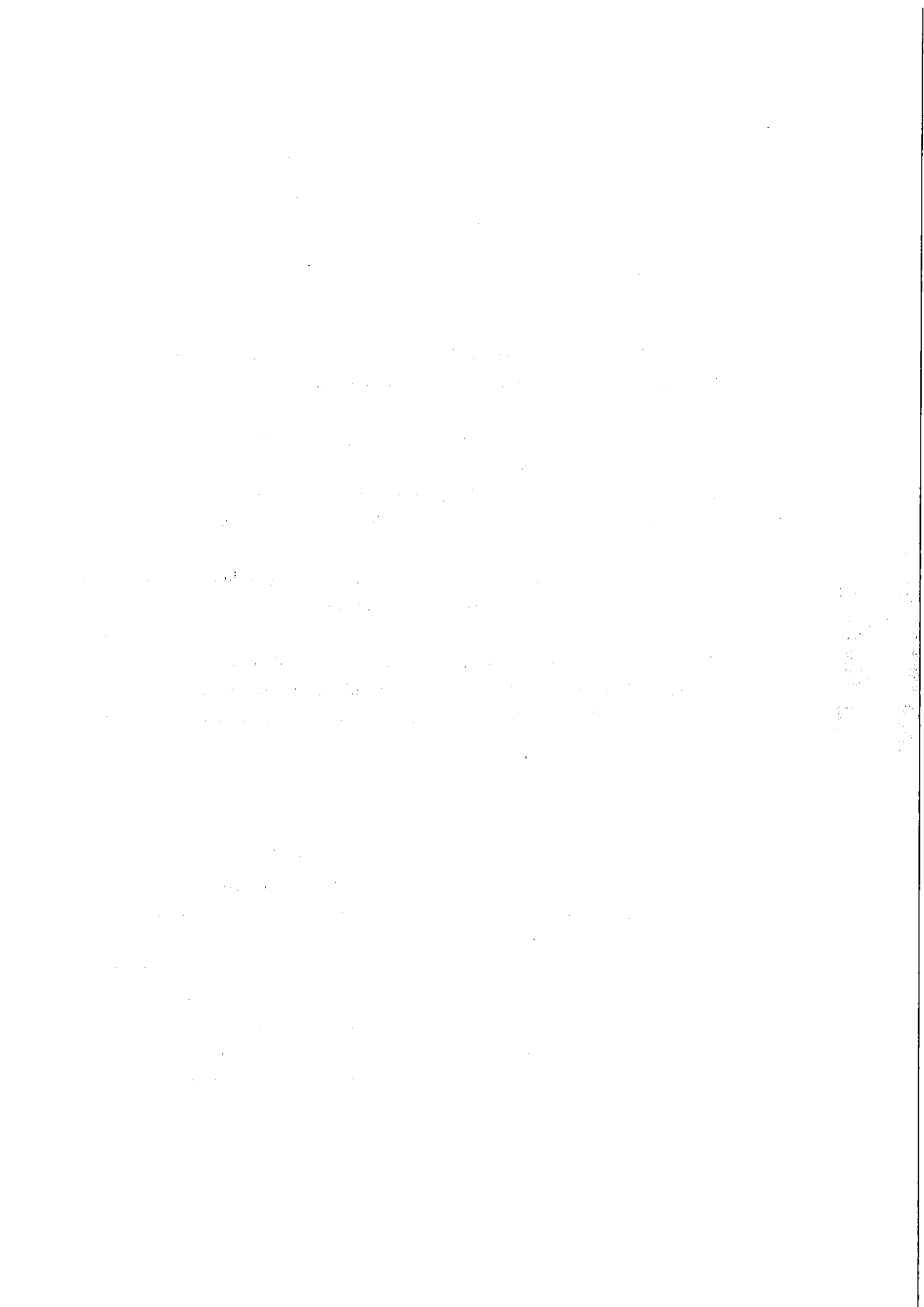
$$R = T P_o \sum_i \{ P_i \sum_j \{ R_{oij} \sum_k \{ P_k E_{jk} \} \} \}$$

- R = Risque associé à un programme de transport [nombre d'effets attendus]
 T = Trafic [véh. x km]
 P_o = Probabilité d'accident par véhicule x kilomètre
 i = Indice définissant un événement accidentel possible dit scénario d'accident
 P_i = Probabilité conditionnelle d'occurrence du scénario d'accident i par accident
 j = Indice définissant un scénario de rejet
 R_{oij} = Probabilité d'occurrence du scénario j de rejet (ouverture de l'emballage suivie de relâchement) lors du scénario i
 k = Indice définissant la situation environnante (météo, population)
 P_k = Probabilité d'occurrence de la situation k (conditions météo, densité démographique,...)
 E_{jk} = Détriment associé au scénario de rejet j dans la situation k (conditions météo, densité démographique,... dans le cas du détriment sanitaire)

L'évaluation du risque nécessite des données plus ou moins spécifiques du transport étudié, telles que : caractéristiques du produit transporté, paramètres relatifs à la météorologie, à la distribution de population, aux itinéraires empruntés et surtout au trafic des matières transportées.

1.1. La démarche générale

L'accidentologie repose essentiellement sur l'observation des accidents réels. La recherche expérimentale est très coûteuse et se trouve plutôt réservée aux aspects concernant la réponse humaine aux conditions accidentelles hors matières dangereuses (cf. les recherches de l'INRETS). Plus les observations seront nombreuses et porteuses d'une bonne description de l'environnement physique de l'accident, plus les résultats seront précis et complets. La figure 2 détaille les différentes étapes de la démarche. Celle-ci se résume à structurer les observations en fichiers (après identification des variables) et à effectuer une analyse statistique de ces fichiers complétée dans certains cas par des traitements et modélisations mathématiques. Les deux étapes de la démarche sont l'analyse des scénarios d'accident et l'analyse de la gravité de ces accidents.



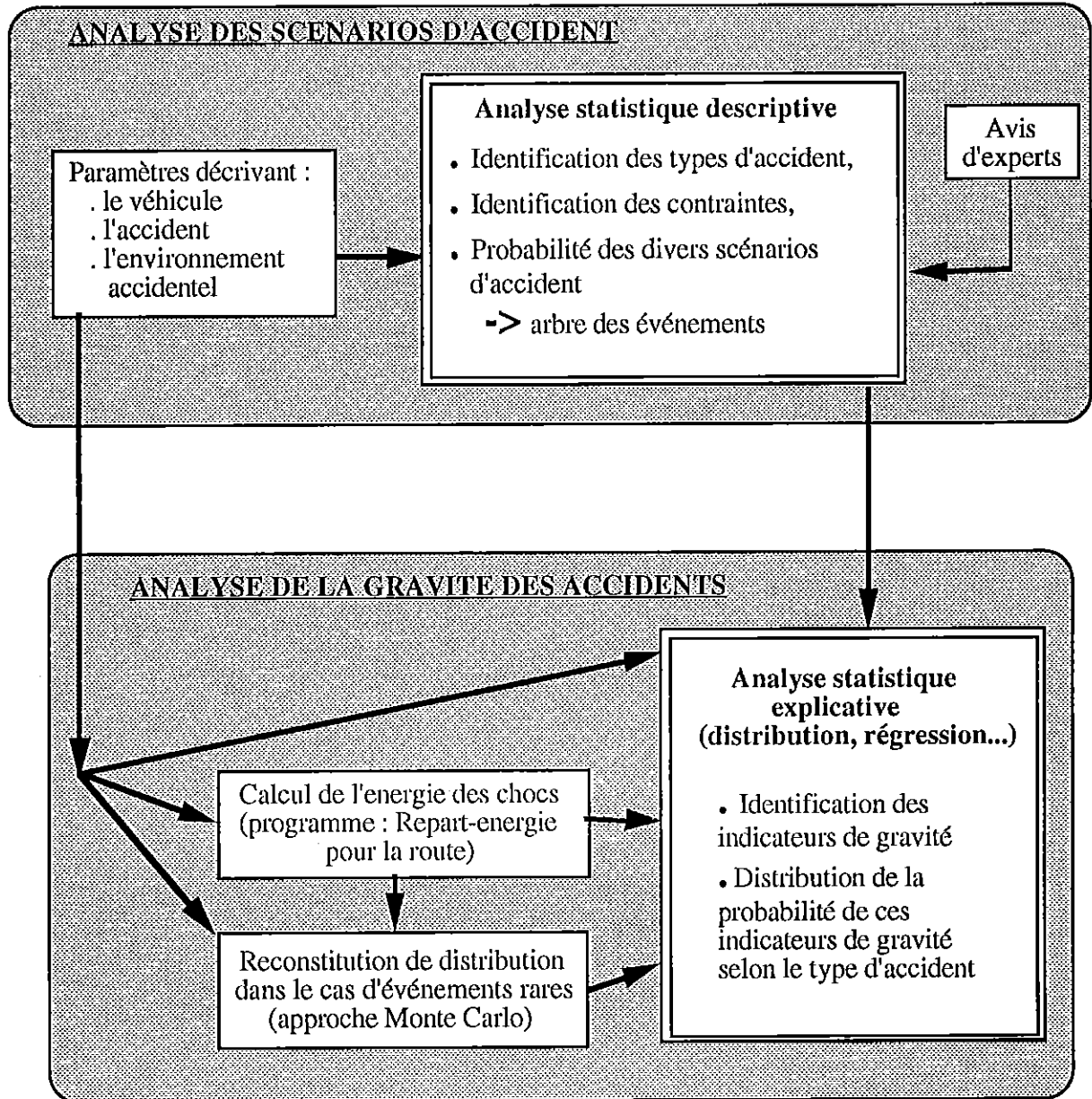
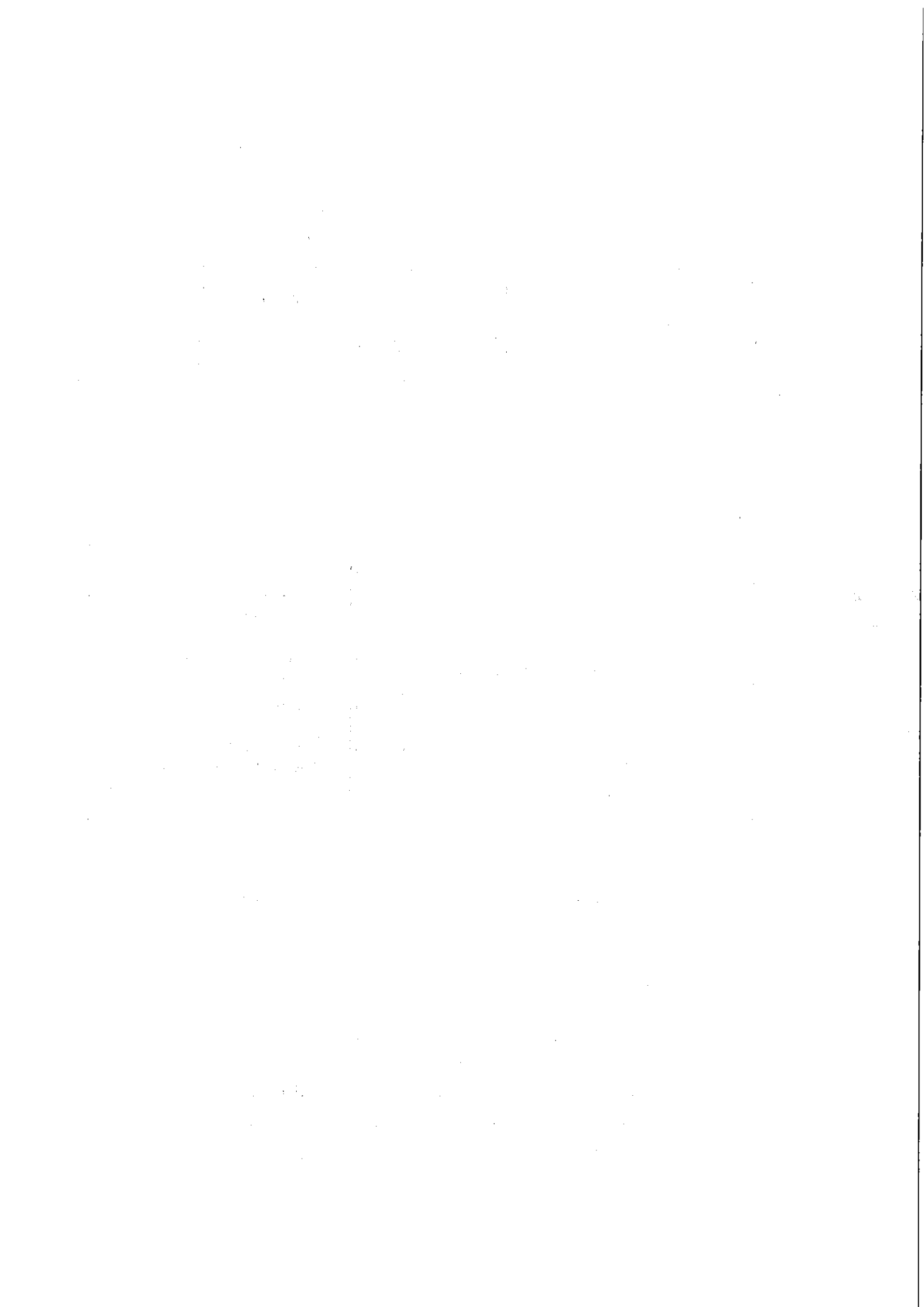


Figure 2 : Organigramme méthodologique de l'accidentologie

1.2. Sources de données

La définition de l'accident va donc être fortement dépendante des critères retenus pour sélectionner les accidents et constituer les fichiers. Sur la route sont pris en compte tous les accidents matériels ou corporels suffisamment sérieux pour justifier l'intervention des forces de l'ordre, il s'agit à peu près uniquement de poids lourds transportant des matières dangereuses. Les variables retenues décrivent :



- les caractéristiques du véhicule avant accident (type, poids, ...)
- les caractéristiques du chargement (poids, emballage, arrimage, ...)
- les coordonnées de l'accident (temporelles et géographiques)
- la description du lieu de l'accident (type de voie, aspects spécifiques, ...)
- la nature et les données de l'accident (conditions et type d'accident, modalités de l'impact, vitesse, données relatives aux obstacles en cas de collision,...)
- les conséquences de l'accident (dommage corporel, dégâts au véhicule, à l'emballage,...)

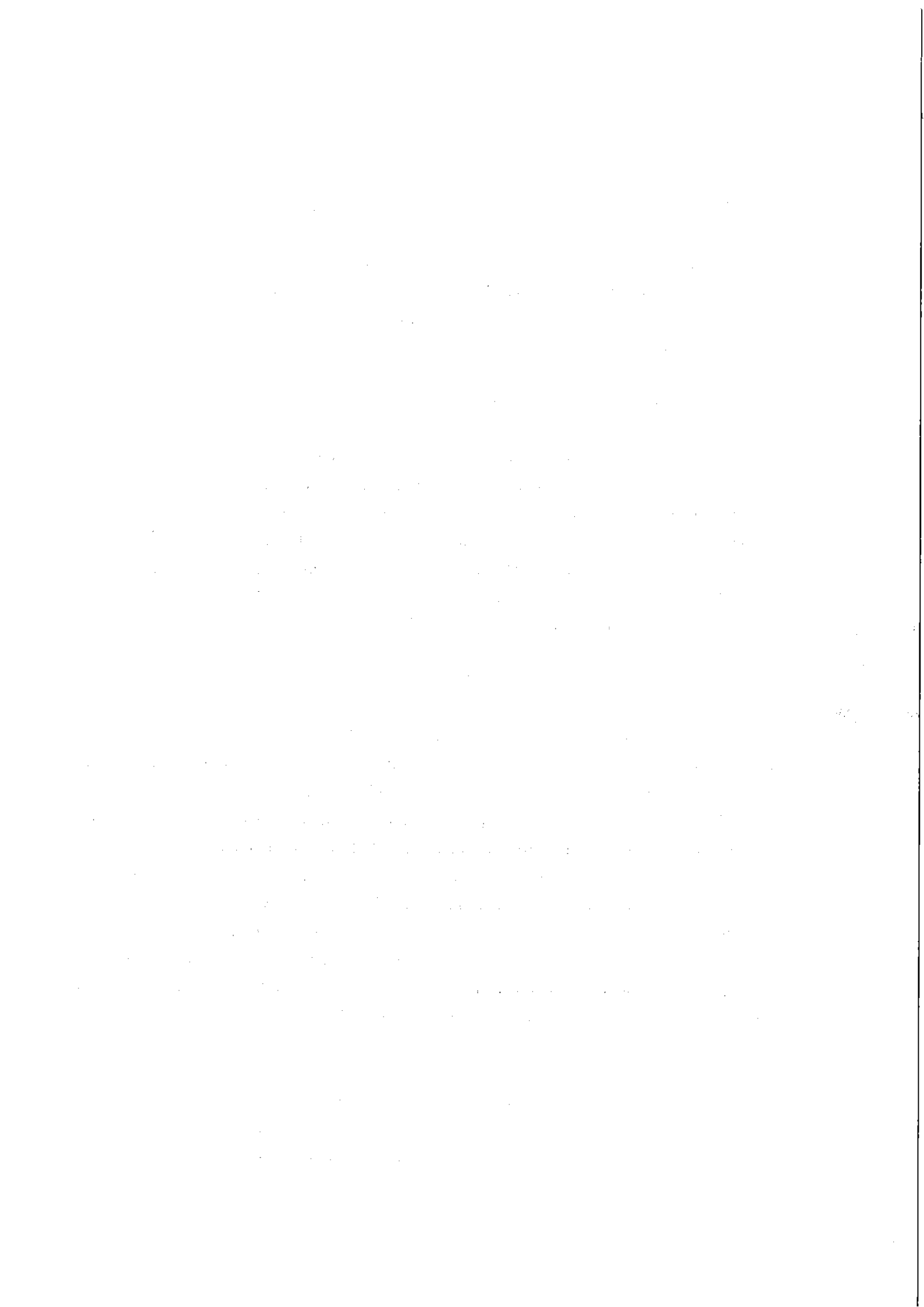
1.3. Analyse des scénarios d'accident

Le but est d'identifier les événements accidentels permettant de définir des scénarios d'accident. Dès le début, l'étude nécessite (figure 2) de constituer éventuellement un fichier, de l'apurer et d'effectuer une analyse statistique descriptive, c'est-à-dire d'effectuer des tris à plat et croisés afin de mieux connaître les accidents. Vient ensuite la détermination des différents événements susceptibles d'endommager le colis⁽¹⁾ tels que : choc, renversement, déraillement, immersion, feu, explosion, défaillance,... Ces événements décrivant les scénarios d'accident sont regroupés sur un arbre d'événements qui est ensuite probabilisé.

1.4. Analyse de la gravité des accidents

La gravité d'un accident est ici une gravité potentielle. Elle correspond aux contraintes que l'environnement accidentel fait subir au colis, de telle sorte qu'il puisse en résulter la perte du confinement de la matière dangereuse. La gravité au niveau des conséquences est simplement caractérisée dans le cadre de ces études par la quantité de matière dangereuse répandue hors du confinement. Pour rompre les différentes barrières de l'enceinte de confinement d'un colis (emballage, citerne,...), il suffit de communiquer à celles-ci une énergie suffisante. Or cette énergie peut être délivrée sous plusieurs formes associées aux divers types de contraintes : choc, pression, dépression, immersion, feu. Les contraintes d'origine chimique ou vibratoire susceptibles également d'entraîner une défaillance du confinement agissent sur des durées plutôt bien supérieures au temps de déroulement d'un accident si bien qu'elles ne peuvent être prises en compte qu'en introduisant une vulnérabilité accrue du colis.

(1) Définition du terme colis : dans ce qui suit le terme colis est employé dans un sens générique, désignant tout ensemble enceinte de confinement - contenu, qu'il soit solidaire ou non du véhicule (ou du sous-ensemble) qui le supporte dans le transport.



L'intensité de ces contraintes s'évalue par des paramètres relatifs à chaque contrainte, il s'agit des indicateurs de gravité qui sont à définir et qui s'expriment a priori :

- en cas de choc par : la masse en jeu, la vitesse lors de l'accident, la surface perforante, le temps durant lequel l'énergie est transmise ;
- en cas d'incendie par : la durée et l'intensité du feu, la température atteinte ;
- en cas d'immersion : la durée et la profondeur de l'immersion.

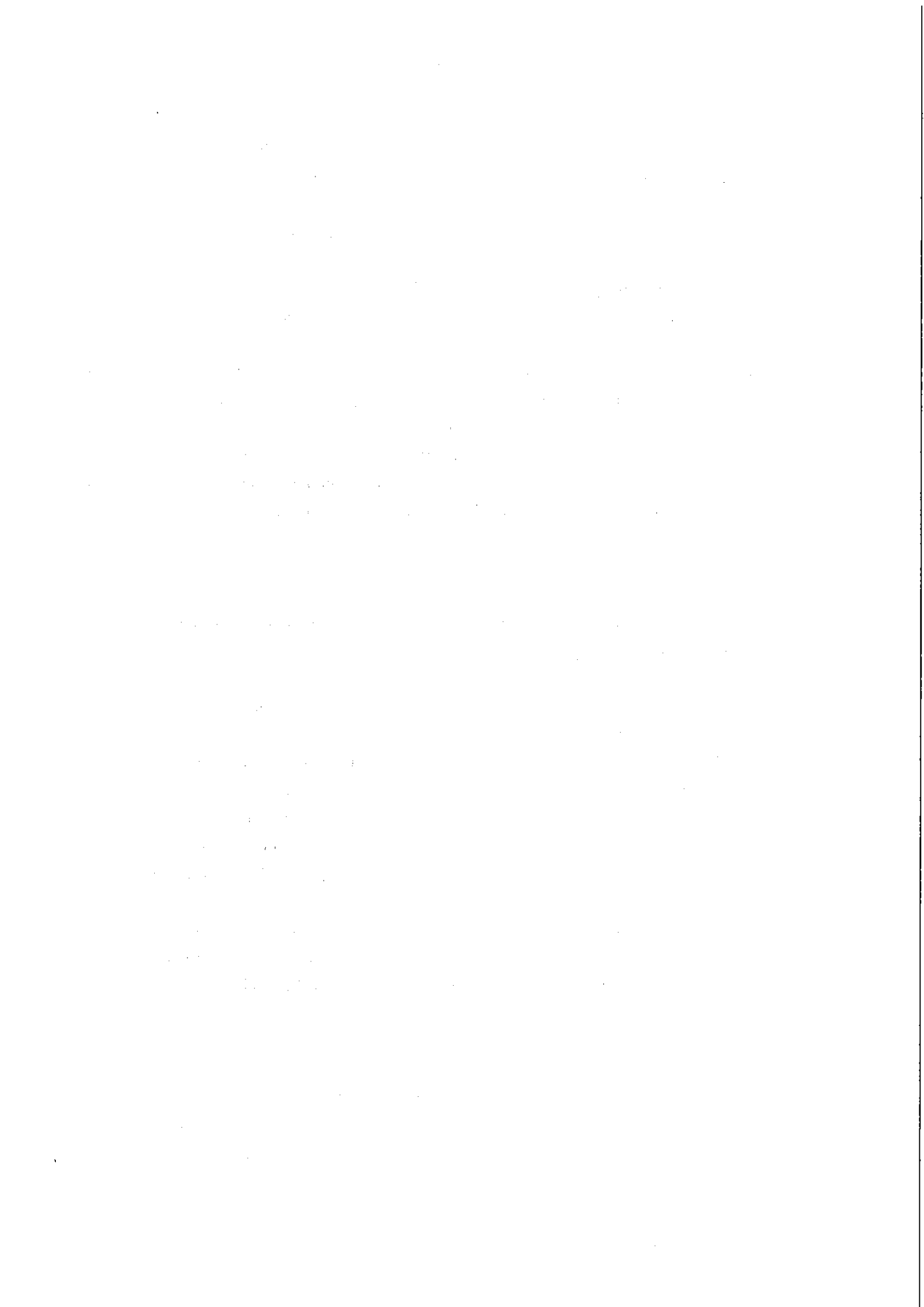
Connaissant la distribution statistique de chacun des indicateurs de gravité et en fonction de la résistance d'un colis par rapport à ces contraintes, il est possible de déterminer la probabilité d'ouverture d'un colis pour chaque scénario d'accident et de déterminer la probabilité conditionnelle pour qu'un accident soit couvert (c'est-à-dire sans qu'il y ait relâchement de matière dangereuse). Le pourcentage d'accident couvert est un bon indicateur pour apprécier le niveau de sûreté d'un colis dans des conditions données de transport.

1.5. Les principaux types de résultats

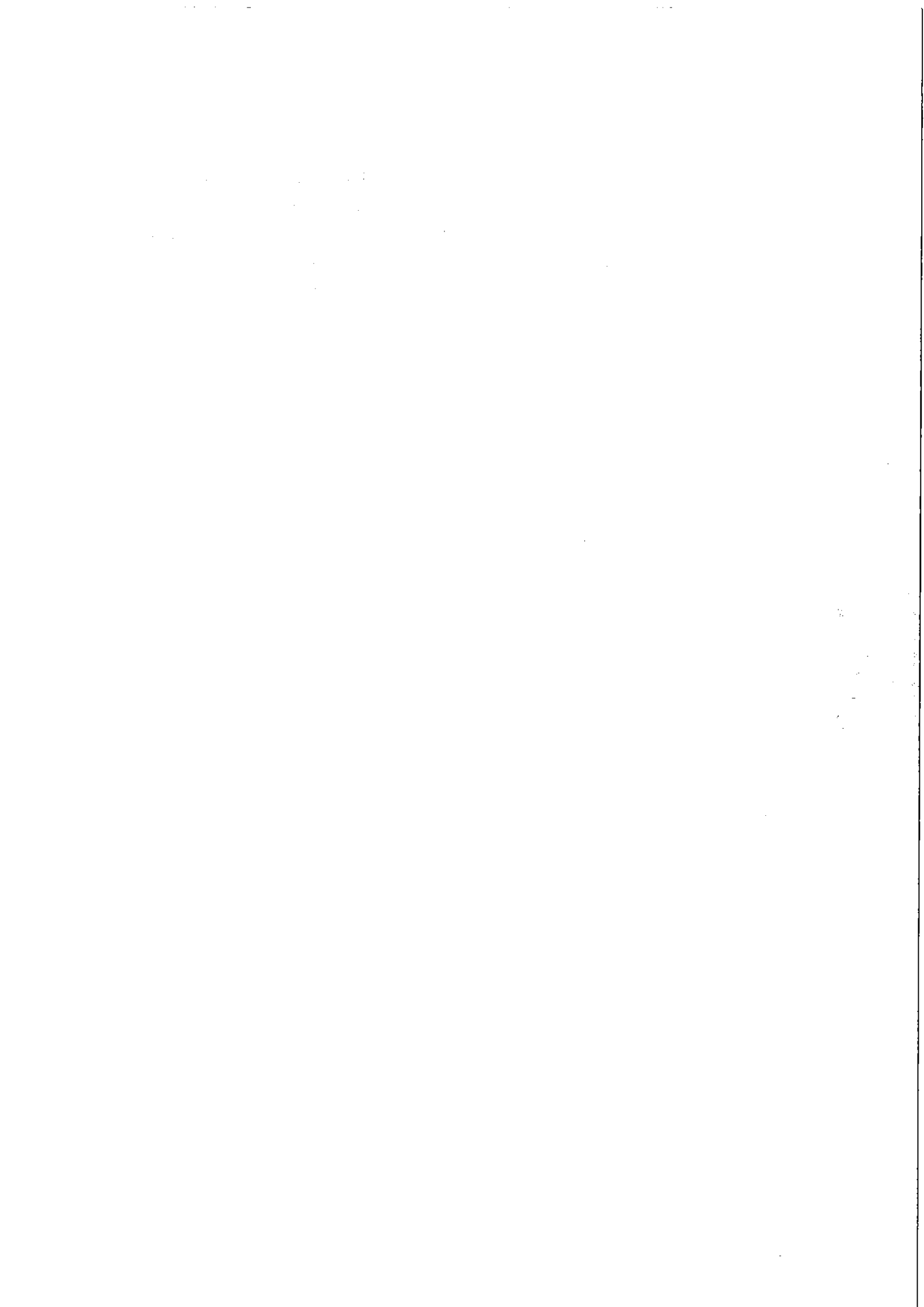
L'accidentologie débouchant sur l'évaluation des risques permet d'obtenir différents types de résultats, tels que :

- Estimation des taux d'accident en fonction des modes de transports, des itinéraires, ...
- Estimation des taux d'ouverture de colis,
- Tracé des courbes de Farmer présentant le nombre de décès N en fonction de la fréquence des événements causant au moins N victimes,
- Comparaison de la réglementation française avec la réglementation internationale,
- Mise en évidence des indicateurs de niveau de risque (nombre de décès par véh.km ou par tonne transportée, nombre d'accidents attendus de plus de 10, 50 ou 100 morts),
- Répartition géographique du risque,
- Fixation d'une quantité limite de matière dangereuse transitant par un tunnel,
- Comparaison des itinéraires d'un point de vue du risque associé au trafic des matières dangereuses (le contournement des camions d'une agglomération importante peut réduire le nombre d'accidents ou les conséquences ou les deux), ...

Les résultats de l'accidentologie permettent d'acquérir une meilleure connaissance des accidents, de leur déroulement, de leurs conséquences. De même, le comportement des véhicules de transport, des colis et des produits peut être mieux cerné. L'impact d'une réglementation sur le niveau de sûreté des transports peut être évalué dans la mesure où il est possible d'associer à un



ensemble de prescriptions concernant la conception des systèmes de transport (ici des emballages et des procédures d'exploitation : conditions particulières de transport, de qualification des personnels,...) un certain niveau de risque dû à un trafic donné. Quant aux résultats des évaluations de risque basées sur l'accidentologie, ils apportent des renseignements précieux sur l'impact sanitaire des transports de matières dangereuses qui peut être évalué pour un itinéraire, pour le transport annuel d'un produit, pour une ville, ...



2. LES DONNEES

2.1. Origines des données relatives aux accidents de Poids Lourds transportant des Matières Dangereuses (PLMD)

Les fichiers d'où sont issus l'ensemble des résultats concernant les transports routiers ont deux sources principales : la Commission Interministérielle de Transport des Matières Dangereuses (CITMD), et depuis 1987 la Mission du Transport des Matières Dangereuses (MTMD) d'une part, et la Direction de la Sécurité Civile d'autre part.

La Direction de la Sécurité Civile centralise les comptes-rendus de toutes les interventions des pompiers sur le territoire. Sur cette base, trois fichiers de feux de PL (poids lourds) relatifs aux années 1973 et 1974 ont été constitués, soit 420 incendies recensés au CEPN (voir le tableau 1).

La Mission du Transport des Matières Dangereuses centralise tous les accidents de transport terrestre de matières dangereuses. Les données sont issues des procès verbaux établis en majorité par la Gendarmerie Nationale mais aussi par la Police Nationale ou Préfecture de Police, les CRS ou la police des frontières ou des douanes. D'autres organismes peuvent aussi contribuer au recueil des données d'accidents, généralement à titre complémentaire : le SAMU, les DDE, les entreprises de transport,... Au fur et à mesure du développement des études de risque, 1900 accidents ont été répertoriés, en plus des 420 incendies, dans les différents fichiers du CEPN pour les années 1975 à 1989 (voir tableau 1).

2.2. La définition de l'accident

La définition de l'accident est généralement explicitée dans les procédures qui définissent le recueil de données. Ainsi pour la route, sont pris en compte tous les accidents matériels ou corporels suffisamment sérieux pour impliquer l'intervention des forces de l'ordre, en particulier en vue d'établir un constat des faits. A partir du moment où les gendarmes ou les services de police se déplacent, ils doivent rédiger un procès verbal. De leur côté, les pompiers établissent un compte rendu d'intervention qui est centralisé à la Mission du Transport des Matières Dangereuses qui dépend du Ministère de l'Equipement, du Logement, du Transport et de l'Espace.

2.3. Les bases de données du CEPN

Le CEPN possède plusieurs fichiers d'accidents routiers de poids lourds(PL) qui sont résumés sur le tableau 1. Il est nécessaire de distinguer les fichiers relatifs aux feux de PL, des fichiers

relatifs aux accidents de PL contenant également des feux. Les origines de ces fichiers étant différentes les variables les constituant ne sont pas les mêmes.

Tableau 1 : Bases de données CEPN sur les accidents de poids lourds

Type de fichier et origine	Période	Nombre d'accidents	Nombre de PL accidentés PL dont PLMD		Références
Feux de PL (rapports d'intervention des brigades de Sapeurs Pompiers)	1973	189	189	123	[CEPN 7,10]
	1974*	165	169	0	[CEPN 23,25]
	1974*	67	72	70	[CEPN 23,25]
Accidents de PLMD** (rapports transmis à la Com- -mission Interministérielle des Matières Dangereuses)	1975	227	279	227	[CEPN 7,10]
	1976	240	265	240	[CEPN 23,25]
	1977	278	≥278	≥278	[CEPN 23]
	1980-1981	529	629	529	[CEPN 70,138]
	1987-88-89	592	741	601	[CEPN 181]
TOTAL	sur 10 ans	2287	≥2622	≥2068	

PL = Poids Lourds (PLMD compris)

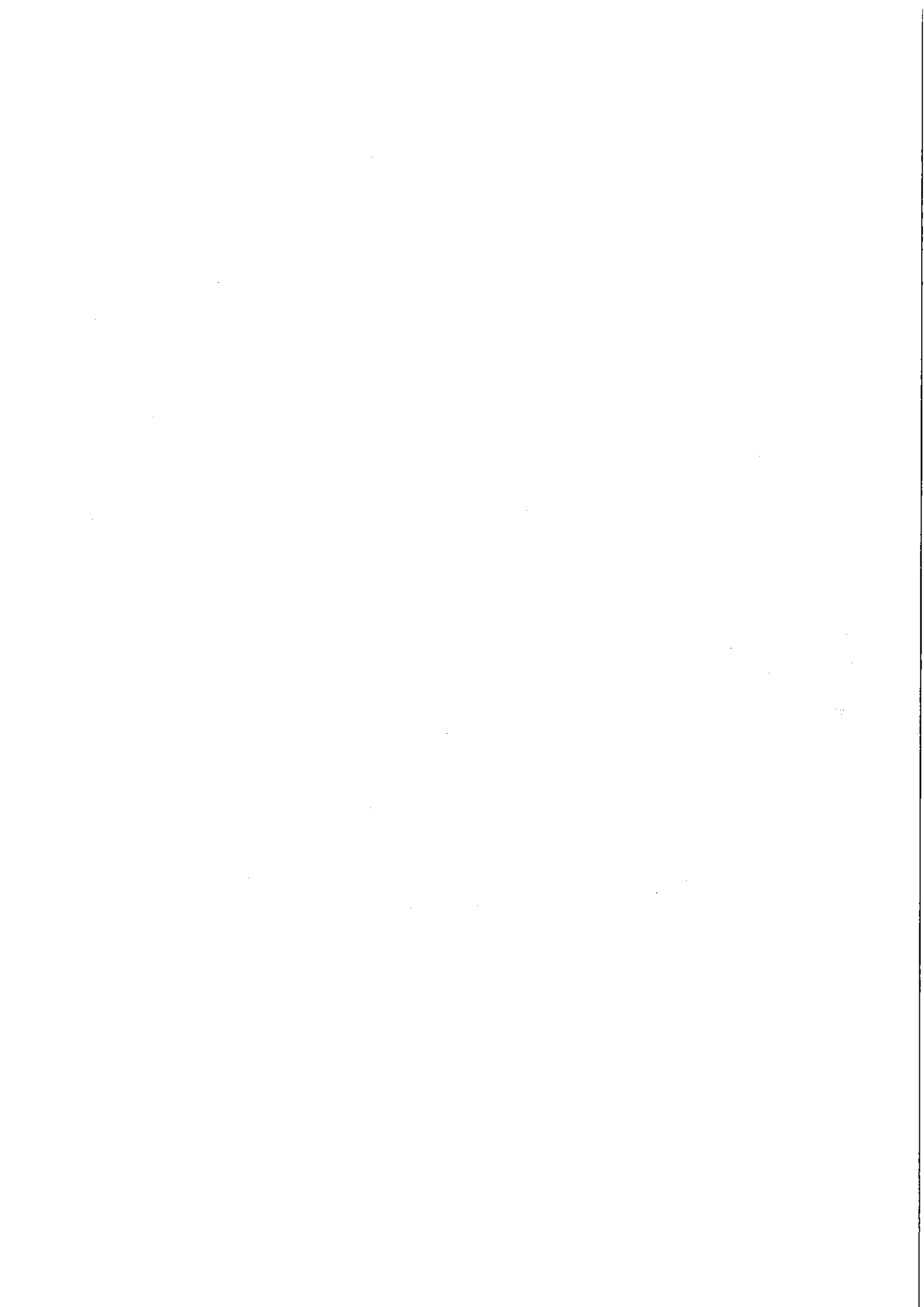
PLMD = Poids Lourds transportant des Matières Dangereuses

* Deux fichiers d'incendie de PL datant de 1974 ont été saisis et séparés l'un de l'autre, car l'un est relatif à des PL transportant des matières diverses et l'autre à des PLMD.

** Ont été inclus dans les PL accidentés les PL non MD impliqués.

Les trois fichiers de feux de PL contiennent des renseignements du type :

- date / lieu géographique (département, communes)
- environnement (urbanisation, zone industrielle, champs, bois, montagnes, ...)
- nature de la voie (autoroute, route, chemin, ...)
- nature du véhicule (silhouette, type de conteneur, nature du chargement)
- origine du feu et circonstances
- aliment du feu (principal et premier)
- type de propagation
- chronologie de l'incendie
- moyens de lutte
- conséquences sur le véhicule et le chargement.

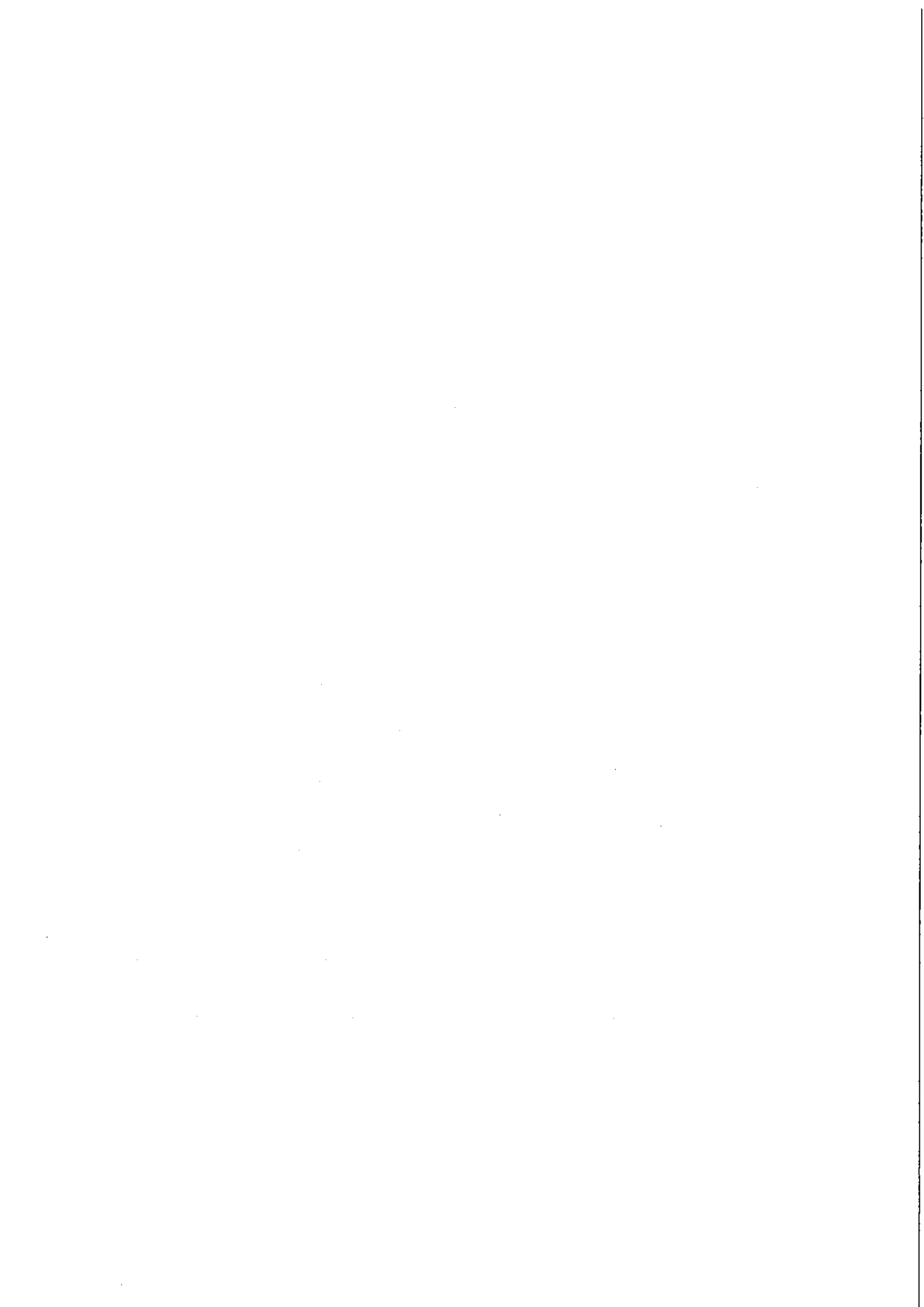


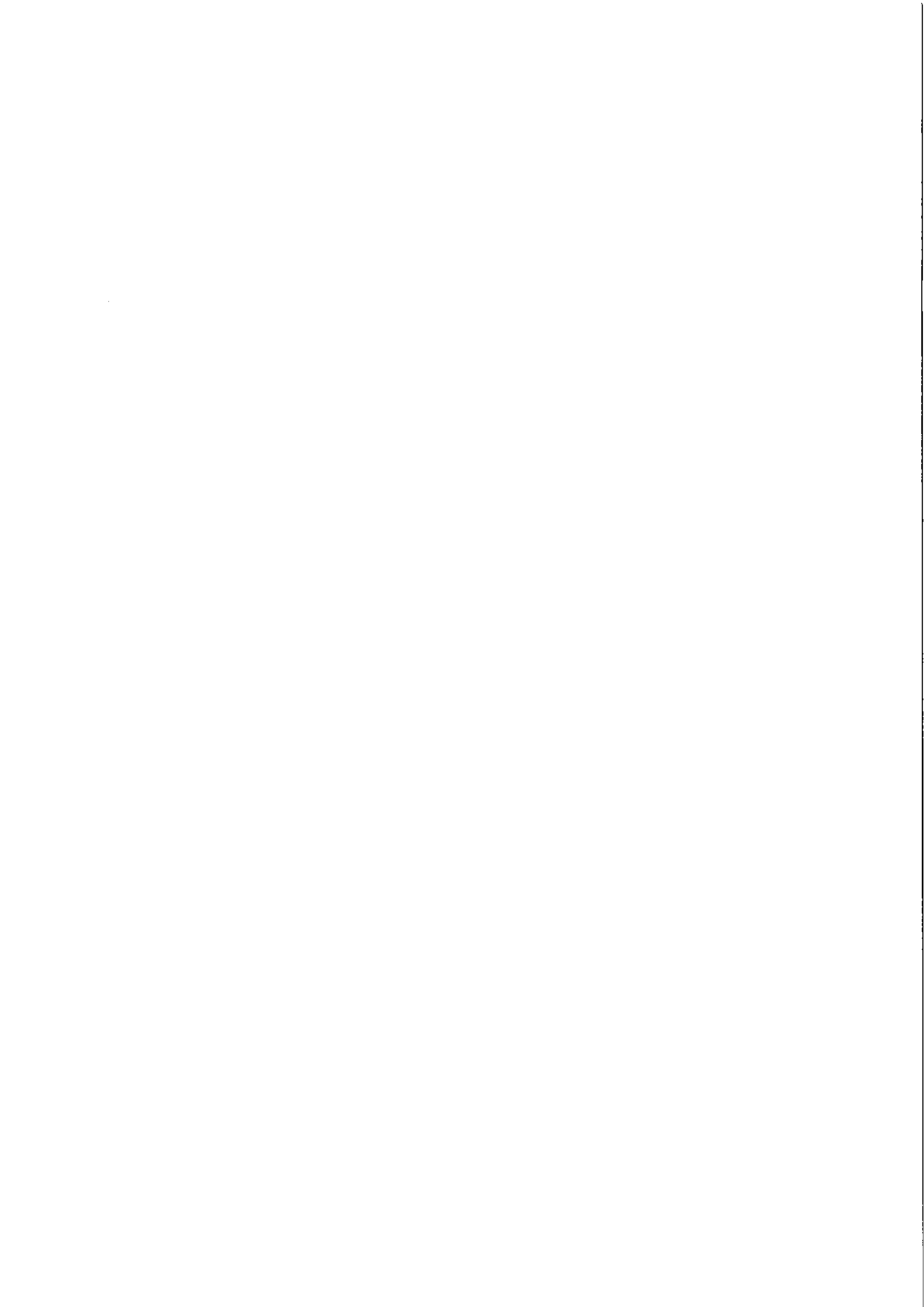
Les fichiers d'accidents de PL de 1975 à 1981 contiennent les variables suivantes :

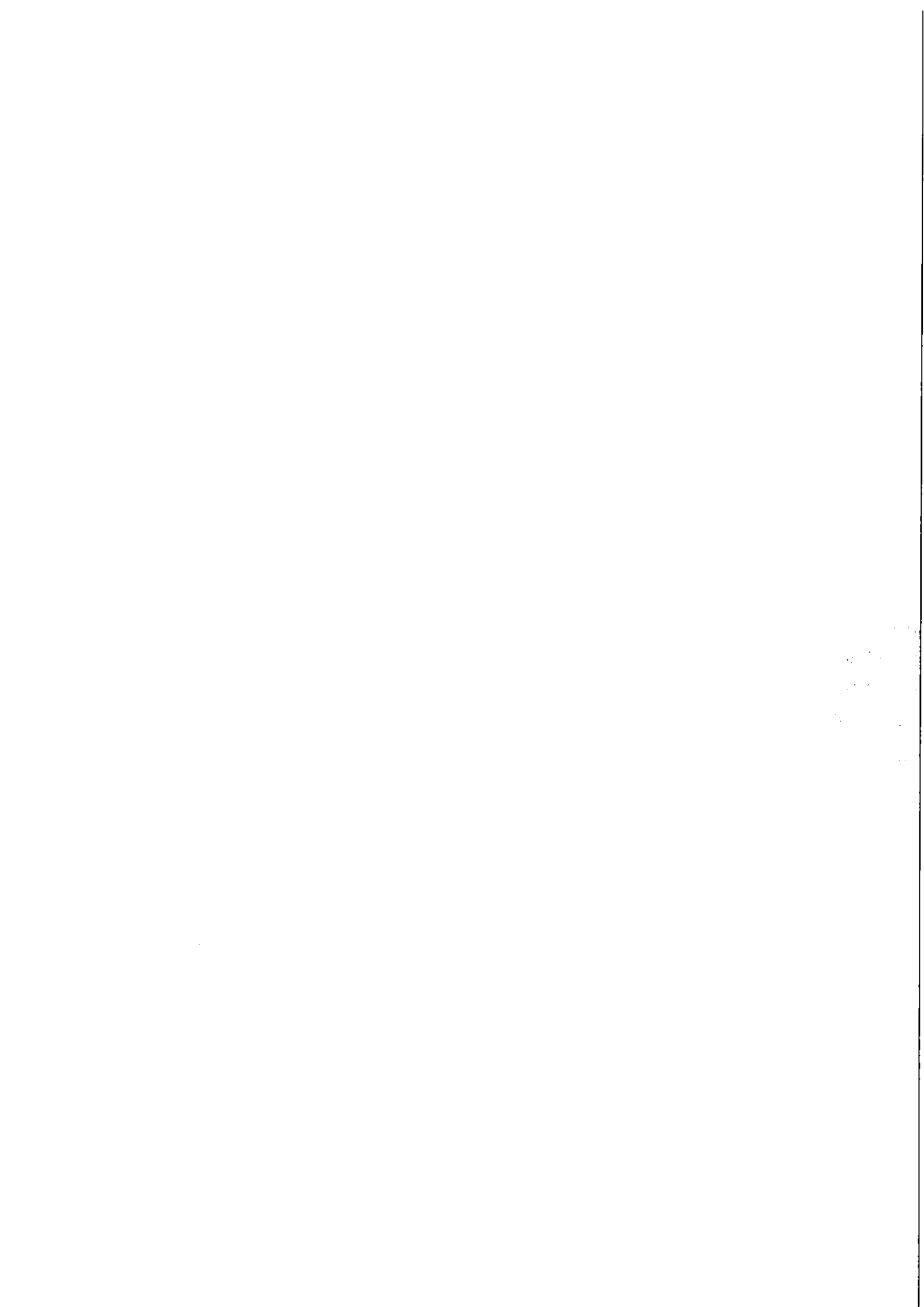
- date / lieu géographique (département, commune)
- environnement (urbanisation, zone industrielle, champs, bois, montagnes, ...)
- nature de la voie (autoroute, route, chemin, ..., pont, tunnel, ...)
- nature du véhicule (silhouette, poids, type d'emballage)
- nature du chargement / poids
- type d'accident, d'obstacle
- vitesse, angle d'impact
- dégâts au véhicule et au chargement.

Le fichier d'accidents de PL de 1987 à 1989 directement informatisé à la MTMD est plus riche en variables d'ordre général, il contient les mêmes variables que le fichier précédent sauf le poids du véhicule mais contient en plus les variables suivantes :

- caractéristique du jour (fête ou veille de fête,...)
- conditions atmosphériques / luminosité
- type de la première collision
- cause présumée de l'accident
- nombre et caractéristiques des autres véhicules impliqués
- nombre de blessés, tués imputables à la matière ou non
- nombre de personnes évacuées et durée de l'évacuation ou du détournement routier
- dégâts à l'environnement
- quantité de produit épanchée
- caractéristiques de la voie (largeur, nombre de voies, régime de circulation, profil vertical et horizontal, état de la surface, valeur de la limitation de vitesse)
- caractéristiques du véhicule (catégorie, âge, partie heurtée, éclairage, équipement de sécurité, type de dégâts à la citerne s'il s'agit d'un camion citerne)
- nature des blessures
- date de permis de conduire, attestation de formation en TMD, infraction à la réglementation
- qualité de l'intervenant, délai d'arrivée, durée d'intervention, moyens utilisés.







3. LES TRAFICS ET LES TAUX D'ACCIDENT

Les probabilités d'occurrence des accidents et les risques associés sont évalués par véhicule et par km. Ceci implique l'hypothèse naturelle que la fréquence de chaque type d'accident est proportionnelle au trafic exprimé en véhicule x km. Le taux d'accident s'obtient en effectuant le rapport du nombre de véhicules impliqués dans un accident pendant une période donnée (1 an) pour un type de véhicule donné, au parcours total effectué par l'ensemble des véhicules de ce type sur le réseau considéré. Pour maintenir la cohérence des évaluations, il est nécessaire d'avoir la même définition de l'accident, aussi bien dans l'estimation du taux que dans celle des paramètres tirés des fichiers analysés.

La démarche a été la suivante : une enquête auprès des Sociétés d'Autoroute a permis de connaître les taux d'accident (corporels et matériels) pour les poids lourds qu'elles ont relevés (tableau 2). Les chiffres sont assez stables, le taux moyen pondéré par les trafics était de l'ordre de 1.10^{-6} acci./véh. x km.

Tableau 2 : Evolution des probabilités d'accident P_0 par véhicule x kilomètre et par autoroute en fonction des années

$P_0 \times 10^{-6}$ [acci/véh. x km]	1973	1974	1975	1976	1977
Autoroute : A13	1,26	1,04	1,26	1,20	1
A1	2,4	1,8	1,9	1,8	1,7
A6	1,15	1,20	0,9	1,2	0,8

Source : Sociétés des autoroutes. Données Poids lourds [CEPN R.23]

Aujourd'hui, des chiffres plus récents (SANEF 1989) sur les autoroutes du Nord Est de la France conduisent à un taux d'accident moyen plus faible $0,38 \cdot 10^{-6}$ acci./véh. x km pour les PL (tableau 3). Par la suite, nous utiliserons ce taux comme représentatif de l'ensemble des autoroutes. Autre information extraite des relevés des sociétés d'autoroutes, les PL semblent avoir 1,2 fois plus d'accident au kilomètre parcouru que les VL sur les autoroutes A1, A2 et A26.

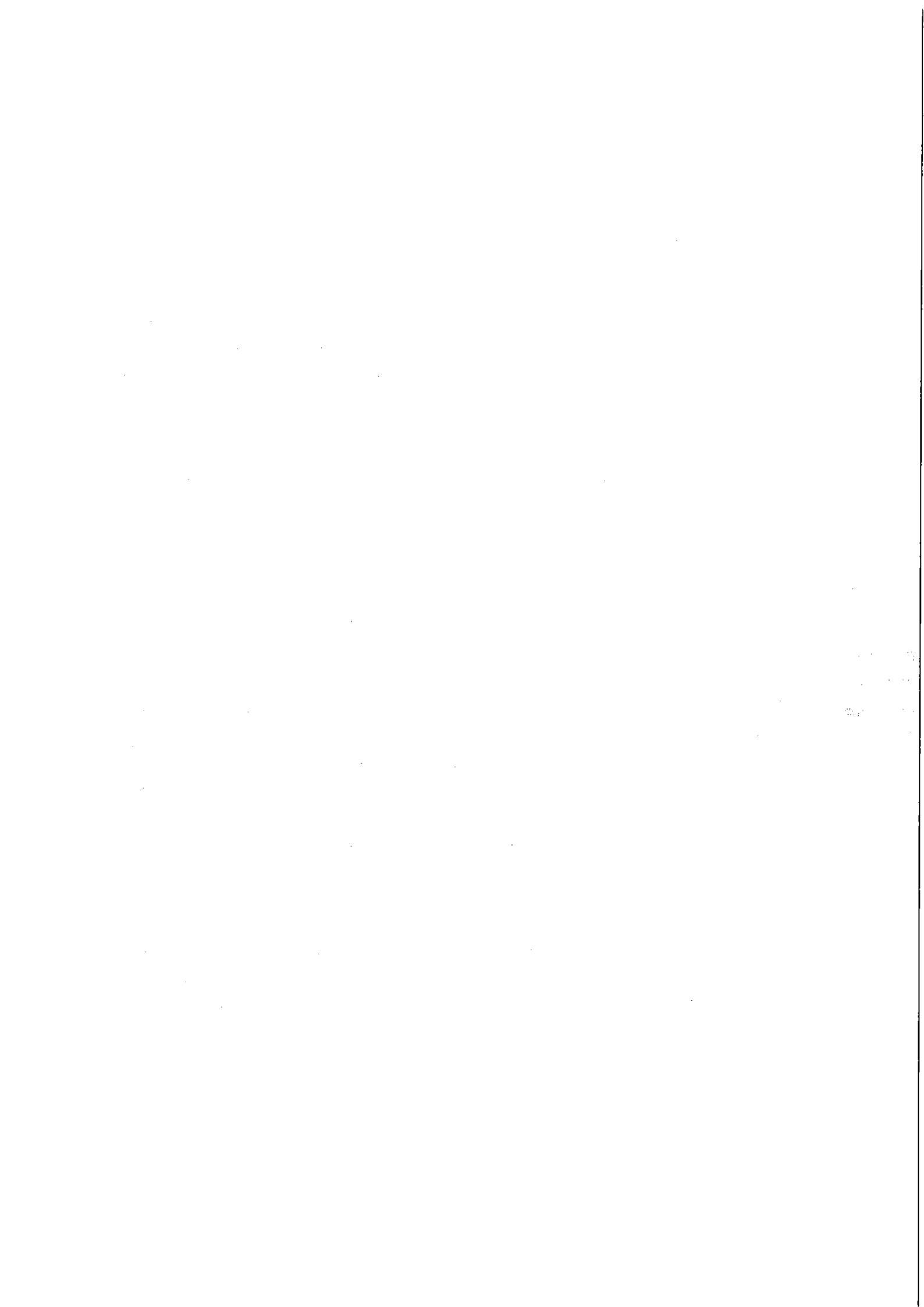


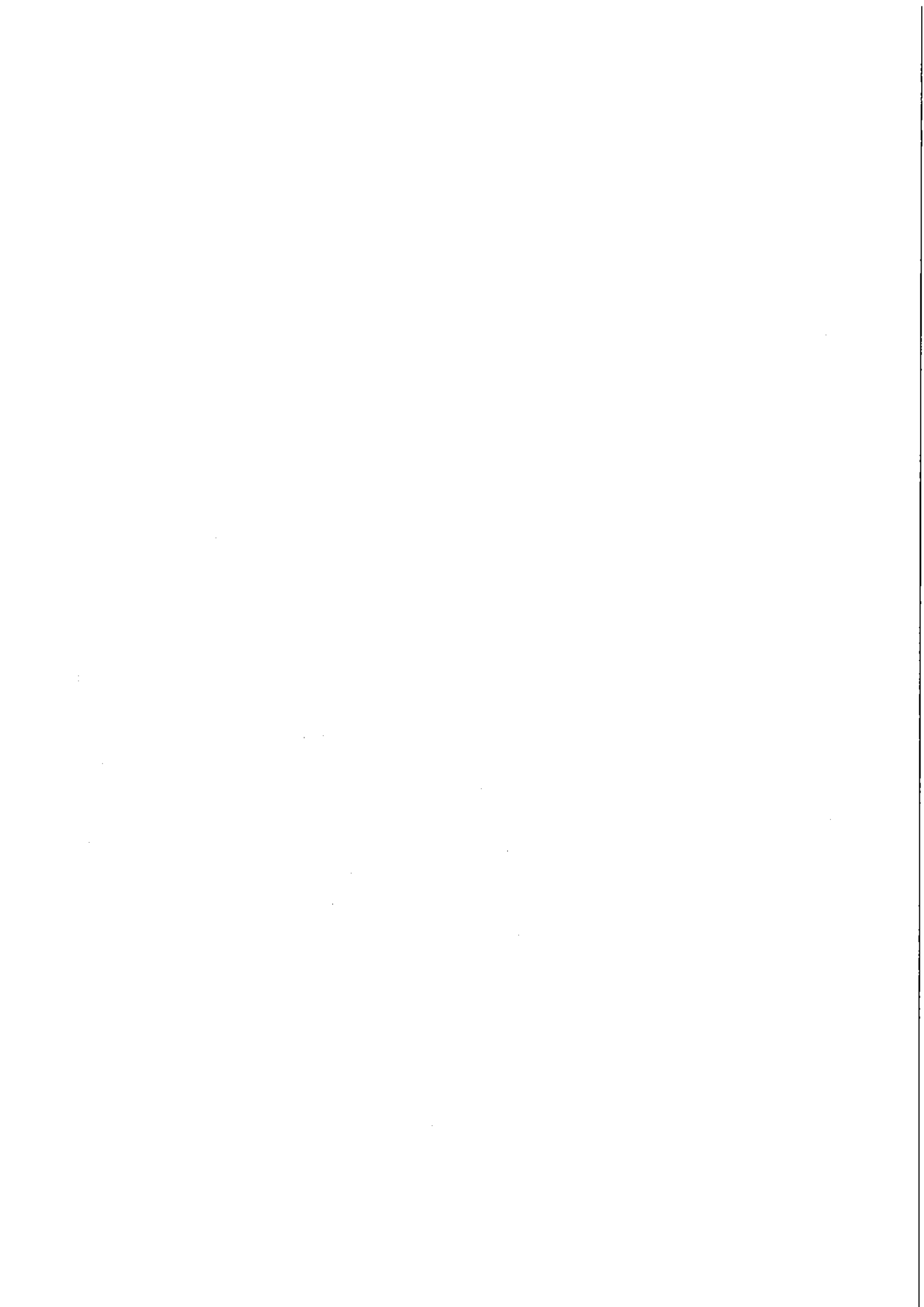
Tableau 3 : Probabilité d'accident des autoroutes du Nord Est de la France de 1987 à 1989

	Probabilité d'accident/véh x km		
	1989 [10 ⁻⁷	1988 acc/véh.x	1987 km]
Autoroute A1 :			
VL	3,3	3,3	3,8
PL	4,2	4,7	5,3
A2 :			
VL	2,3	3,6	4,2
PL	2,4	3,1	4,4
A26 :			
VL	4,0	3,4	3,2
PL	3,9	2,9	2,9
Taux d'accident moyens :			
VL	3,2	3,4	3,7
PL	4,0	3,9	4,5

(Source SANEF)

Les taux sur route nationale ont été déduits à partir du coefficient constaté pour les accidents corporels entre routes et autoroutes (un facteur 3). A titre d'information, 30 % des accidents impliquant des matières dangereuses se produisent sur autoroute. La question s'est ensuite posée de savoir si les transports de matières dangereuses avaient le même taux d'accident que les autres poids lourds. Certains exploitants estiment que leur taux est trois à quatre fois inférieur à la moyenne. Bien que les raisons n'en soient pas entièrement explicitées, il a semblé possible de retenir ce taux. En effet l'estimation du trafic de matières dangereuses le conforte. On observe environ 200 accidents de PLMD par an, alors que l'estimation de 1983 sur le trafic est de 12.10⁹ t.km environ [CEPN R 138]. Si l'on estime le tonnage unitaire à 10 tonnes, ce trafic correspond alors à 1,2.10⁹ véhicule x km et donc à un taux de 0,2.10⁻⁶ accident par véhicule x km correspondant à 240 accidents par an, chiffre qui conforte l'hypothèse d'un taux plus faible pour les transports de matières dangereuses.

Les statistiques des transporteurs de GPL répertoriées par le Comité Professionnel du Butane et du Propane (CPBP) indique un taux d'accident de 1,6.10⁻⁶ entre 1979 et 1987 sur l'ensemble du réseau routier et autoroutier. Le fait que les taux de sinistres des transporteurs en général soient sensiblement supérieurs n'est pas en contradiction avec les hypothèses précédentes ; en effet, le critère de sélection des accidents était l'intervention de la Force Publique, or celle-ci n'intervient pas toujours et les transporteurs ont une définition de l'accident en grande partie basée sur des considérations relatives aux dégâts matériels.

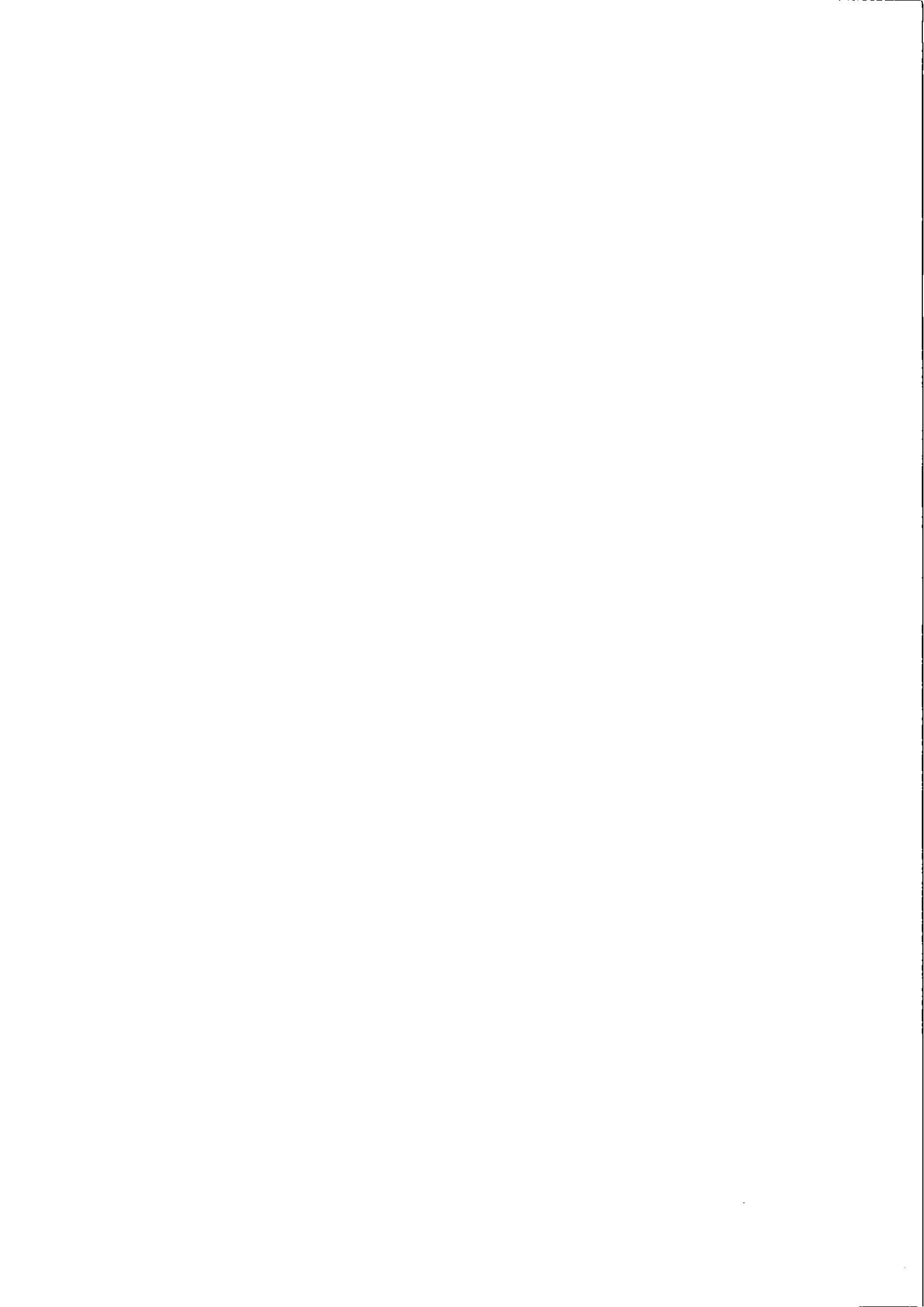


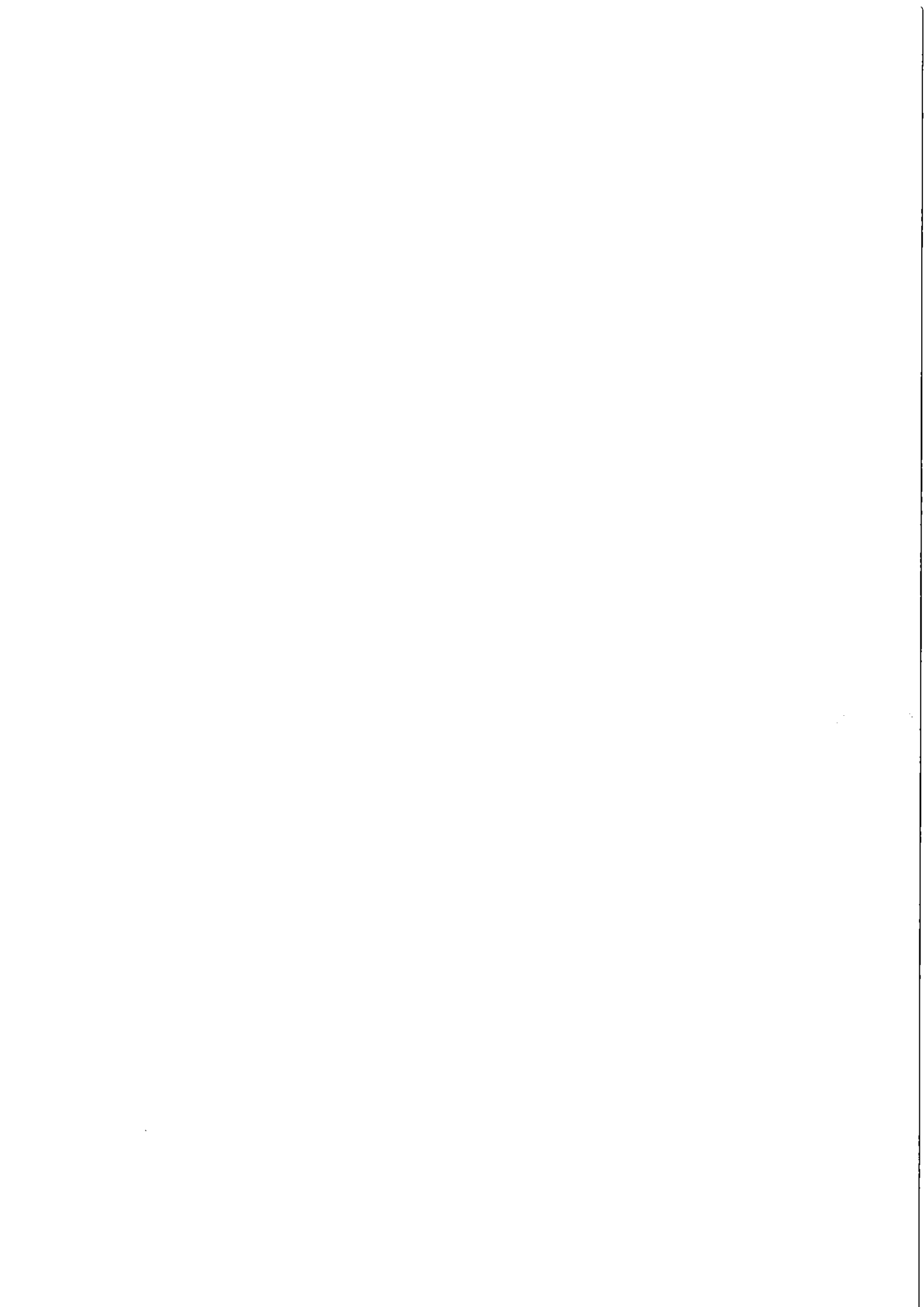
En résumé : Taux d'accident (corporel ou matériel)

- Taux Général de Poids Lourds sur autoroute : 4.10^{-7} acci./véh.km
- Taux Général de Poids Lourds sur route nationale : 11.10^{-7} acci./véh.km

- Taux P.L. Matière Dangereuse autoroute : 10^{-7} acci./véh.km
- Taux P.L. Matière Dangereuse route nationale : 3.10^{-7} acci./véh.km







4. ANALYSE STATISTIQUE DES SCENARIOS D'ACCIDENT

Cette analyse a déjà été réalisée séparément pour chacun des sept fichiers d'accidents dans des rapports antérieurs indiqués dans les références précisées sur le tableau 1. Le rapport CEPN n°181 compare les derniers chiffres aux anciens, donc pour plus de détails il est préférable de se reporter à cette référence. Nous allons rappeler ici les principaux résultats.

4.1. L'évolution du nombre d'accidents de PLMD au cours du temps

La figure 3 récapitule le nombre d'accidents de poids lourds transportant des matières dangereuses chaque année de 1976 à 1989. Le chiffre annuel oscille entre 265 et 192 accidents avec une moyenne à 216 accidents sur les dix dernières années. Il semble en légère régression au moins sur les 4 dernières années.

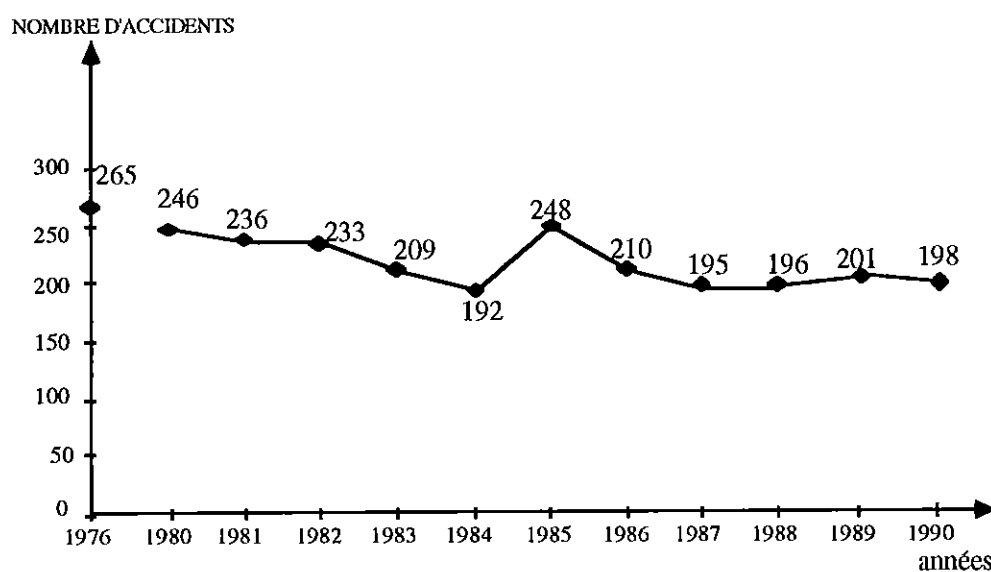


Figure 3 : Evolution du nombre d'accidents par année [MTMD]

4.2. Nombre de PLMD impliqués par accident

La répartition du nombre de PL impliqués par accident n'a pas varié entre les années 80 à 89. Dans 80 % des cas, il n'y a qu'un PLMD impliqué par accident. Dans 15 % des cas, 2 PLMD sont impliqués, dans 2 à 3 % des cas 3 PLMD sont impliqués. Durant les années 87 à 89, 9 accidents ont impliqué entre 4 et 9 PLMD.



4.3. Types de voie et d'urbanisation

Entre les années 1983 à 1989 la répartition des accidents selon le type de voie impliqué est presque uniforme entre les chemins départementaux (33 %), les routes nationales (29 %), et les autoroutes (26 %). Les accidents en zone urbaine ("boulevards ou rues") sont moins fréquents (9 %). On peut noter qu'entre 1983 et 1989, le nombre des accidents sur les chemins départementaux a tendance à diminuer (de 36 % en 1983 à 29 % en 1989) au profit des autoroutes (23 % en 1983 à 30 % en 1989). En 1976, seuls 11 % des accidents se produisaient sur autoroutes, 41 % sur routes nationales et 40 % sur chemins départementaux.

Le tableau 4 donne la répartition des accidents selon le type d'urbanisation. 20 % des accidents se produisent en agglomération, ce pourcentage a peu varié depuis 1976.

Tableau 4 : Répartition des accidents selon l'urbanisation

	.1976.		1980-1981		.1987.		.1988.		.1989.	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
En agglomération	51	19,6	138	26,5	42	22	36	18	35	17,6
Hors agglomération	210	80,4	383	73,5	153	78	160	82	164	82,4
Total	261	100	521	100	195	100	196	100	199	100

4.4. Les caractéristiques de la voie

Concernant le profil de la voie, on remarque que 12 % des accidents ont lieu en côte et 18 % en descente. Les accidents dans les virages à droite représentent 20 % des cas contre 14 % pour les virages à gauche. 30 % des accidents se sont produits sur routes mouillées et 5 % sur routes enneigées ou verglacées. Quant à la présence de point singulier, elle semble peu significative en pourcentage d'accident (tableau 5). Seuls trois accidents se sont produits sur des passages à niveau ce qui représente 0,6 % des cas. Et 6,7 % des accidents ont eu lieu sur des ponts ou échangeurs.

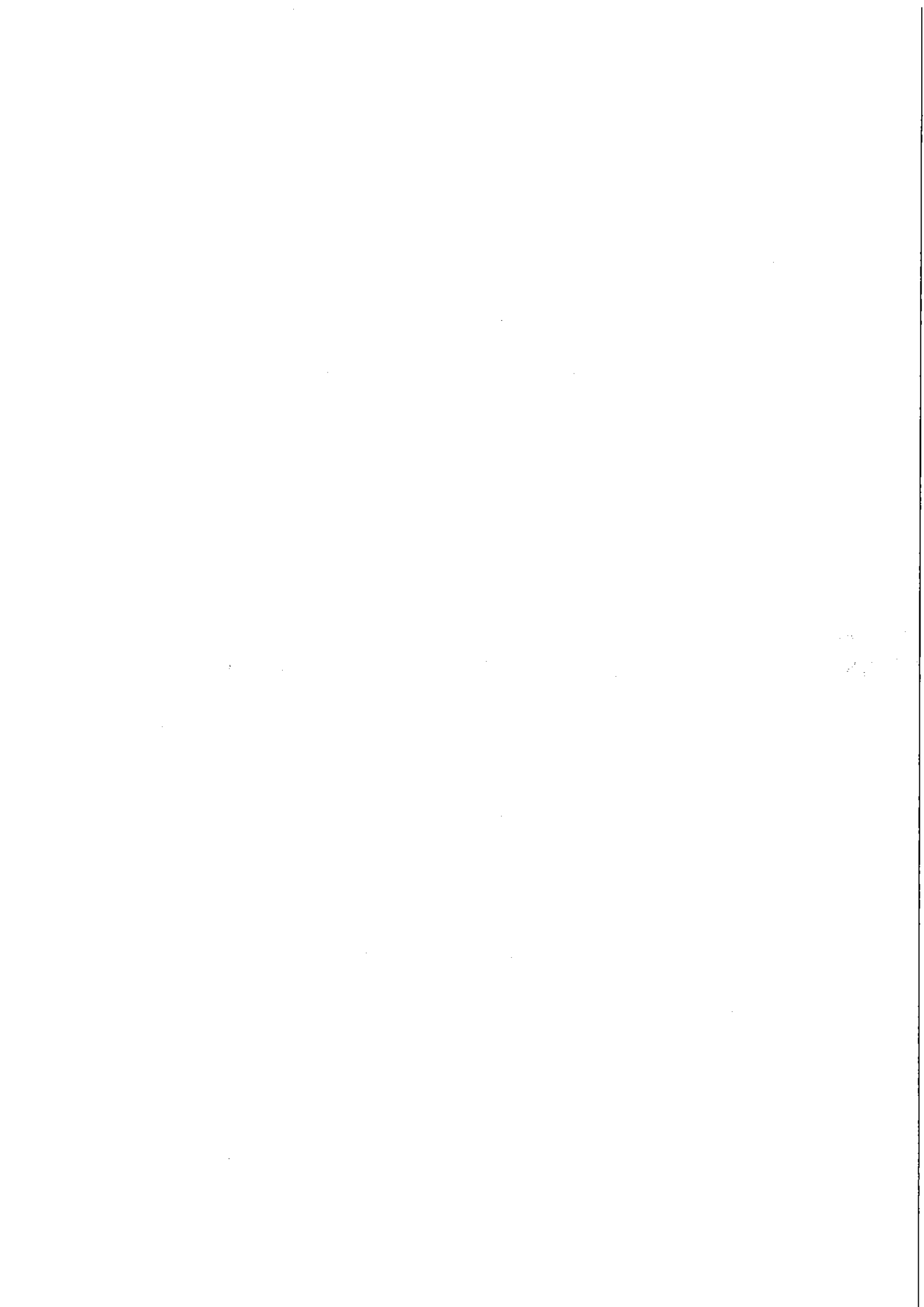


Tableau 5 : Répartition des accidents de 1987 à 1989 selon la présence de passage spécial

Point singulier ou passage spécial	Toutes routes		Sur autoroute	
	Effectif	%	Effectif	%
Non	477	89,7	154	88
Pont, Autopont	28	5,2	9	5,1
Passage à niveau	3	0,6	0	0
Echangeur	8	1,5	5	2,9
Parc de stationnement	9	1,7	4	2,3
Autre	7	1,3	3	1,7
TOTAL	532	100	175	100

Source MTMD [CEPN R 181].

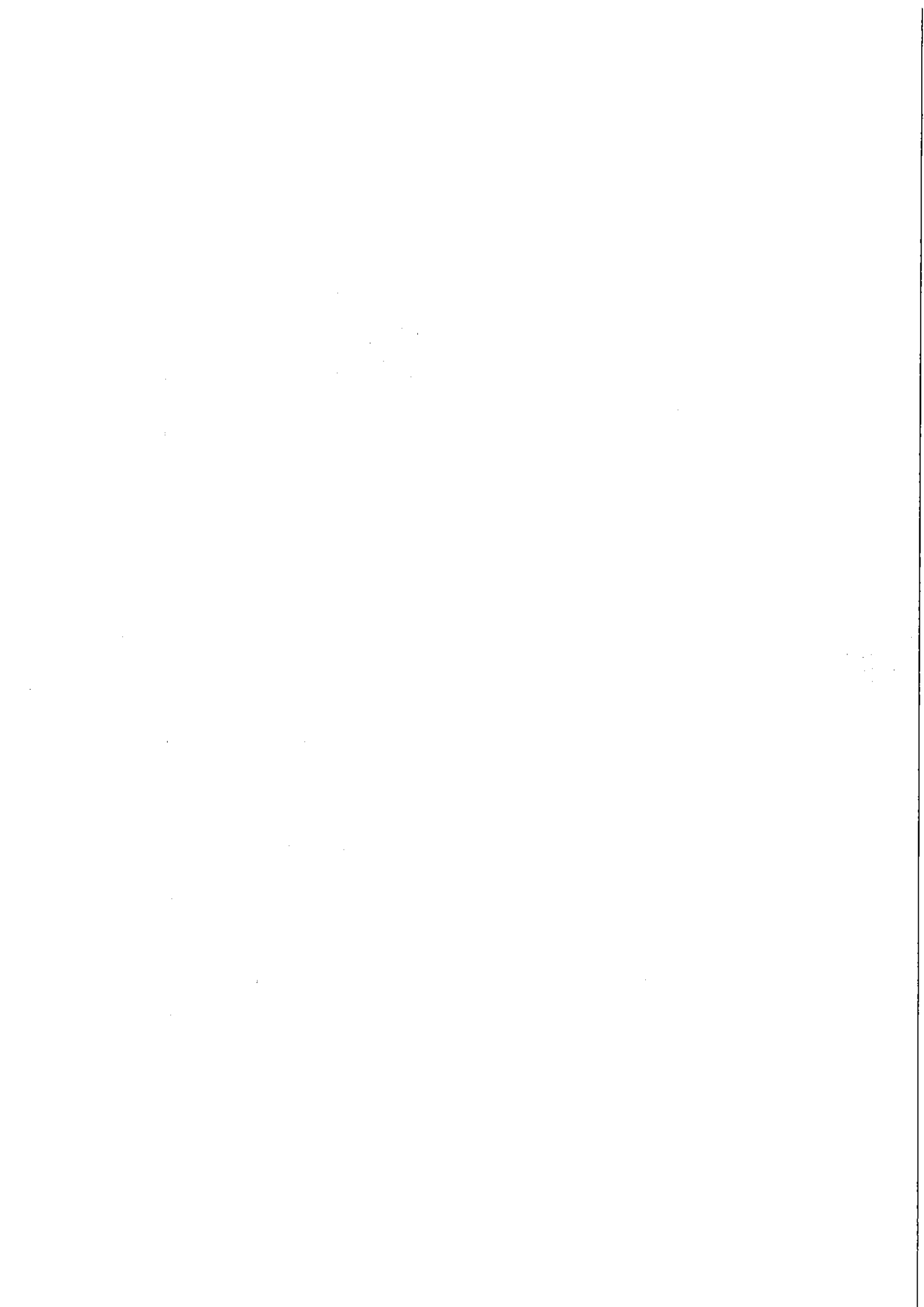
4.5. Les caractéristiques du véhicule

La caractéristique analysée est la silhouette (tableau 6). Les camions citernes représentent 74 % des accidents routiers de matières dangereuses, soit un total de 440 citernes sur les trois dernières années étudiées.

Tableau 6 : Répartition des accidents de 1987 à 1989 selon la silhouette du VTMD impliqué

	Nombre	%
Camion plateau ou fourgon	38	6,4
Camion citerne ou conteneur citerne	86	14,4
Camion + Remorque plateau ou fourgon	18	3
Camion citerne + Remorque citerne	6	1
Tracteur + Semi-remorque plateau ou fourgon	98	16,4
Tracteur + Semi-remorque citerne	348	58,2
Autre	4	0,7
Total	598	100

NB : "Autre" correspond à 1 VL, 2 camionnettes et 1 tracteur avec 2 remorques



4.6. Les caractéristiques du chargement

Les figures et tableaux suivants montrent la répartition des chargements des véhicules accidentés selon le type d'emballage (figure 4) ou le code danger du produit transporté (tableau 7). On remarque que les citernes apparaissent le plus souvent (71 %) dans les accidents impliquant des matières dangereuses. Les liquides inflammables représentent 62 % des chargements de matières dangereuses impliqués ; viennent ensuite à égalité (14 %) les matières corrosives et les gaz comprimés, liquéfiés ou dissous. Les matières toxiques représentent 7 % des chargements et les matières radioactives 0,4 %. Au total 72 % des matières dangereuses sont inflammables.

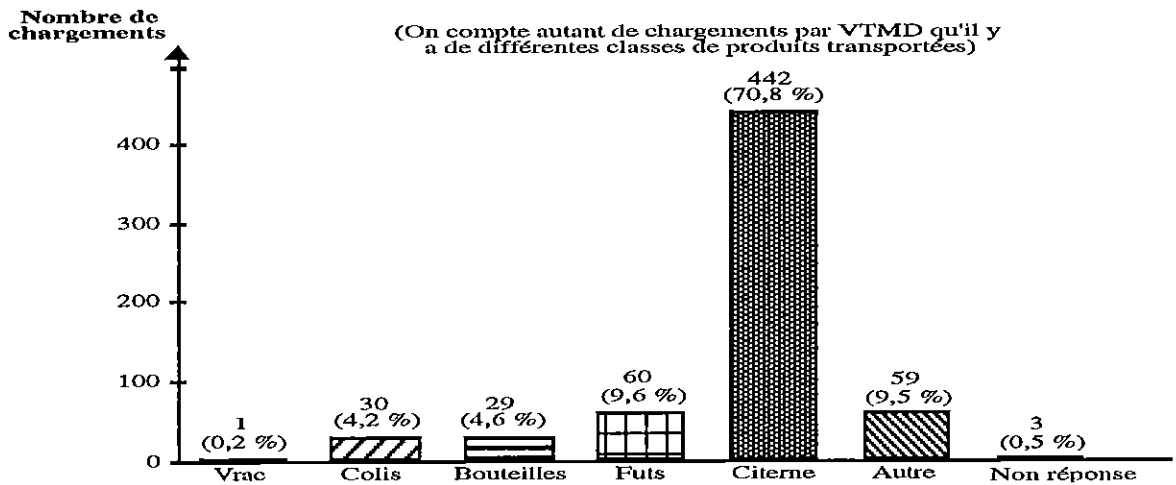
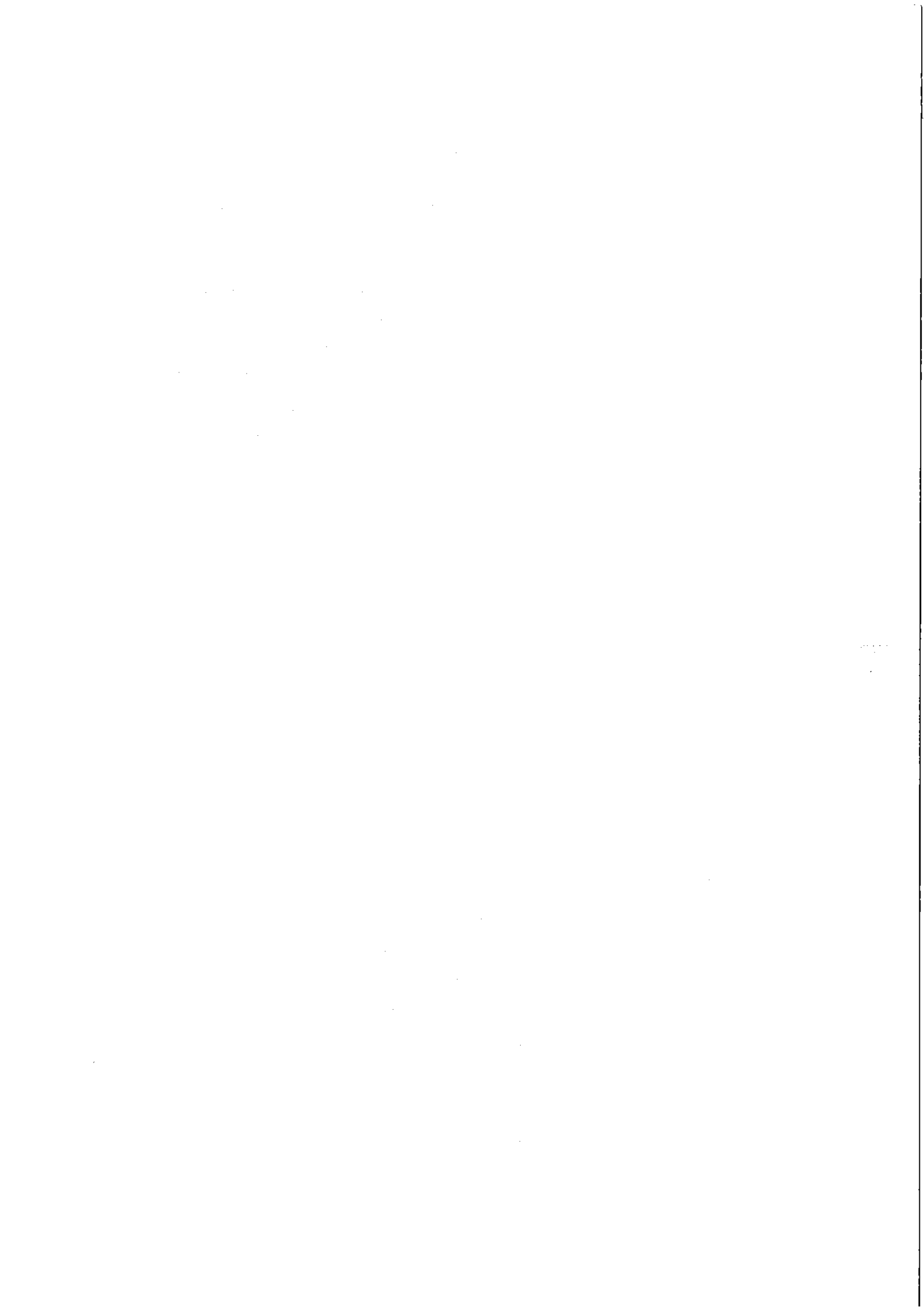


Figure 4 : Répartition des types d'emballages utilisés pour le chargement des VTMD impliqués dans les accidents (1987 à 1989)

Tableau 7 : Répartition des chargements selon la nature du danger du produit dans les accidents de 1987 à 1989 impliquant un VTMD

1 ^{er} numéro du code danger	Nombre de PL accidentés de 1987 à 1989 contenant de la matière				TOTAL	
	Inflammable		Ininflammable		Effectif	%
	Effectif	%	Effectif	%		
1	1	0,2 %	2	0,4 %	3	0,5 %
2	42	7,4 %	41	7,2 %	83	14,5 %
3	356	62,3 %	0	0,0 %	356	62,3 %
4	5	0,9 %	0	0,0 %	5	0,9 %
5	0	0,0 %	1	0,2 %	1	0,2 %
6	1	0,2 %	37	6,5 %	38	6,7 %
7	0	0,0 %	2	0,4 %	2	0,4 %
8	7	1,2 %	75	13,1 %	82	14,4 %
9	0	0,0 %	1	0,2 %	1	0,2 %
Total	412	72,2 %	159	27,8 %	571	100,0 %



Les numéros ONU des produits dangereux impliqués dans les 590 accidents du dernier fichier étudié représentent moins de 200 numéros distincts, car, sous un numéro ONU, il peut y avoir plusieurs produits. Les produits les plus fréquents sont le gazole (n° 1202 : 153 chargements), le super, l'essence ou le fuel (n° 1203 : 111 chargements) ; viennent ensuite les hydrocarbures gazeux liquéfiés (n° 1965 : 35 chargements), l'azote liquide réfrigéré (n° 1977 : 14 chargements), l'acide chlorhydrique en solution ou l'acide muriatique ou le chlorure d'hydrogène en solution (n° 1789 : 13 chargements), l'alcool, l'alcool dénaturé, l'alcool éthylique, l'alcool industriel, l'éthanol ou les solutions d'éthanol (n° 1170 : 11 chargements), ...

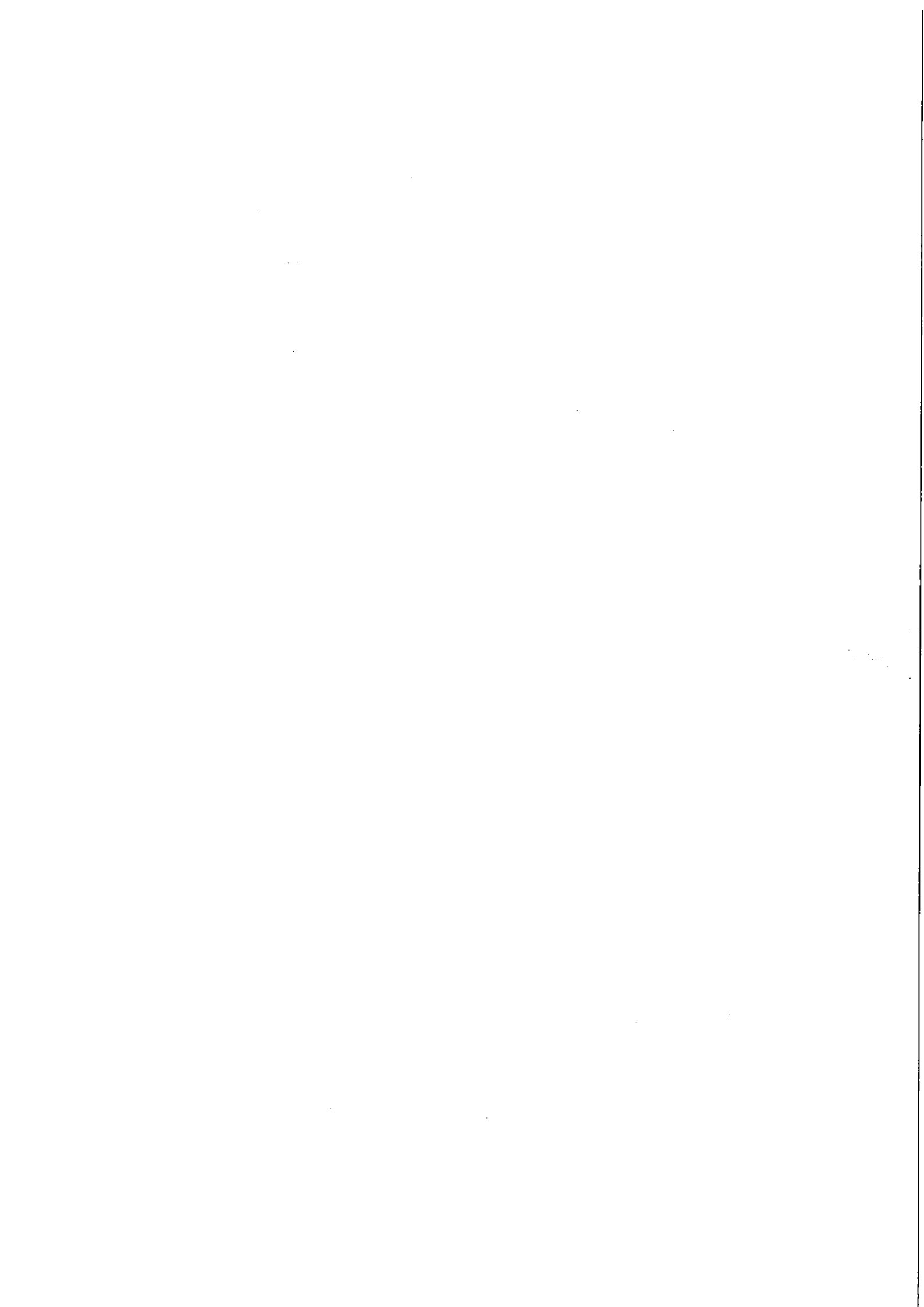
Le tableau 8 indique le nombre de chargements en fonction des quantités transportées, 30 à 40 % des PL ont un chargement complet lors des accidents.

Tableau 8 : Répartition des chargements en liquide en fonction du volume transporté (accidents de 1987 à 1989)

Quantité transportée en litre	Nombre de chargements	
< 1000	117	29 %
1000 - 5000	48	12 %
5000 - 10 000	27	7 %
10 000 - 15 000	27	7 %
15 000 - 20 000	22	5 %
20 000 - 25 000	34	8 %
25 000 - 30 000	67	16 %
30 000 - 35 000	54	13 %
> 35 000	11	3 %
TOTAL	407	100 %

4.7. Analyse particulière des citernes

16 % des 440 citernes accidentées entre 87 et 89 ont été perforées, 8,6 % des citernes ont eu leur couvercle de dôme arraché et 4 % des éléments (robinets ou tuyauterie arrachés). Au total 48 % des citernes accidentées ont été endommagées au moins partiellement lors des accidents. 40 % des citernes accidentées ont été endommagées à l'avant contre 18 % à l'arrière, 38 % ont été abîmées sur le côté et 4 % sont ressorties à l'état d'épave (source MTMD) [CEPN R 181].



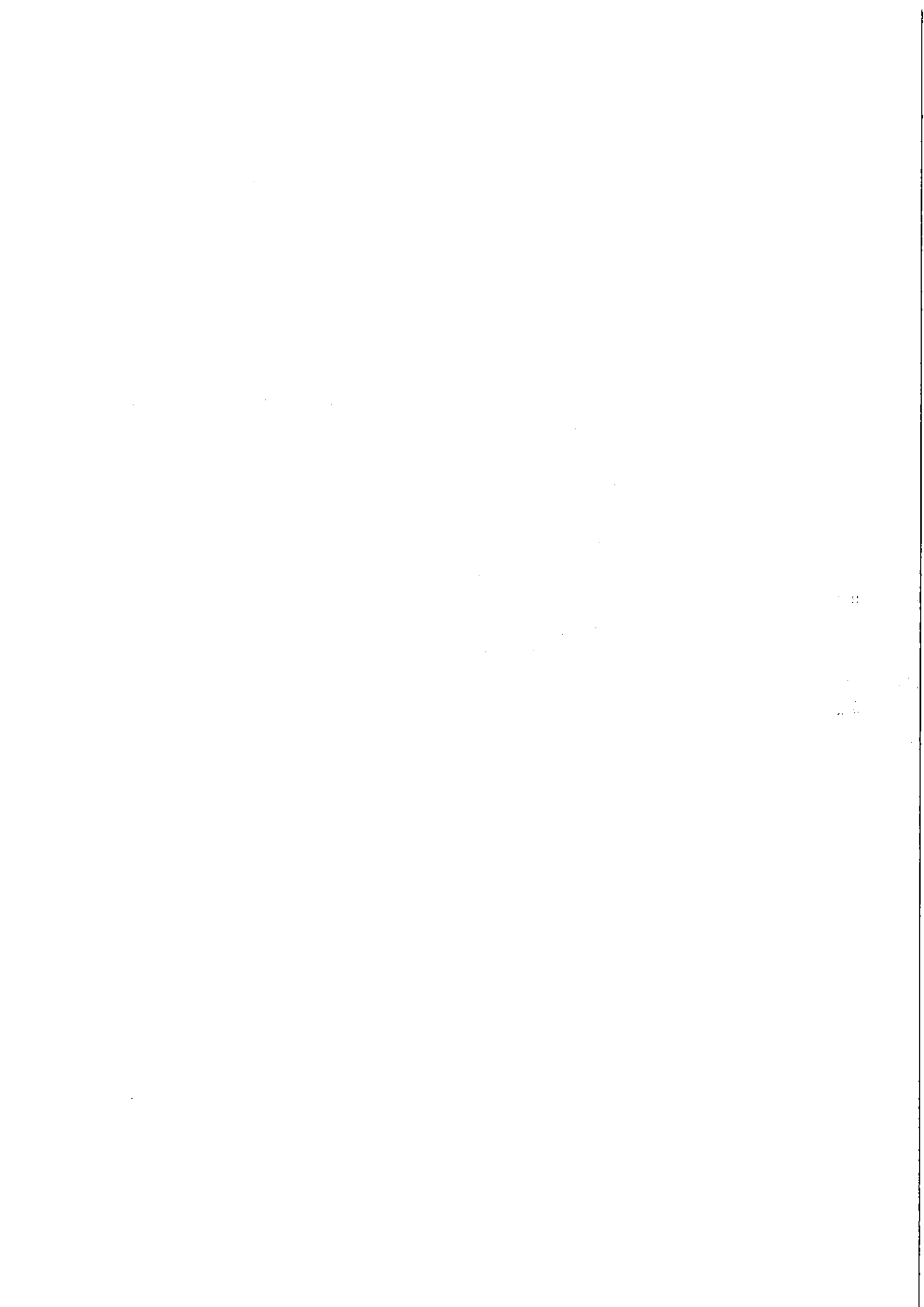
56 citernes utilisées pour le transport du gaz liquéfié ou dissout (produits appartenant à la classe 2) ont été accidentées sur les 3 années. Le taux d'ouverture observé pour ce type de citerne est de 13,2 % :

- 86,8 % des citernes n'ont rien perdu
- 3,8 % ont perdu moins de 50 % du chargement
- 1,9 % ont perdu 50 % du chargement
- 7,5 % ont perdu la totalité du chargement.

De même ont été accidentées 312 citernes utilisées pour le transport des liquides inflammables (produits appartenant à la classe 3). Le taux d'ouverture observé est cette fois de 44,4 % :

- 55,6 % des citernes n'ont rien perdu
- 29,6 % ont perdu moins de 50 % du chargement
- 7,0 % ont perdu au moins 50 % du chargement, mais pas la totalité,
- 7,8 % ont perdu la totalité du chargement.

On observe qu'en moyenne, sur les trois années, 51 % des PL citernes accidentés ont subi un renversement, 5 % des PL citernes ont été au moins partiellement incendiés, 1 % ont explosé.



5. ANALYSE DES CONTRAINTES SUBIES PAR LE COLIS

Un colis de transport peut être endommagé au cours d'un accident sous l'action de différentes contraintes qui dépendent du type d'énergie libérée par l'accident. Il peut s'agir d'énergie thermique ou mécanique. L'énergie mécanique peut être libérée au cours d'un choc contre un obstacle, d'un renversement, d'une chute ; le colis peut alors subir un écrasement ou une perforation.

5.1. Energie thermique

5.1.1. Le choix de l'indicateur

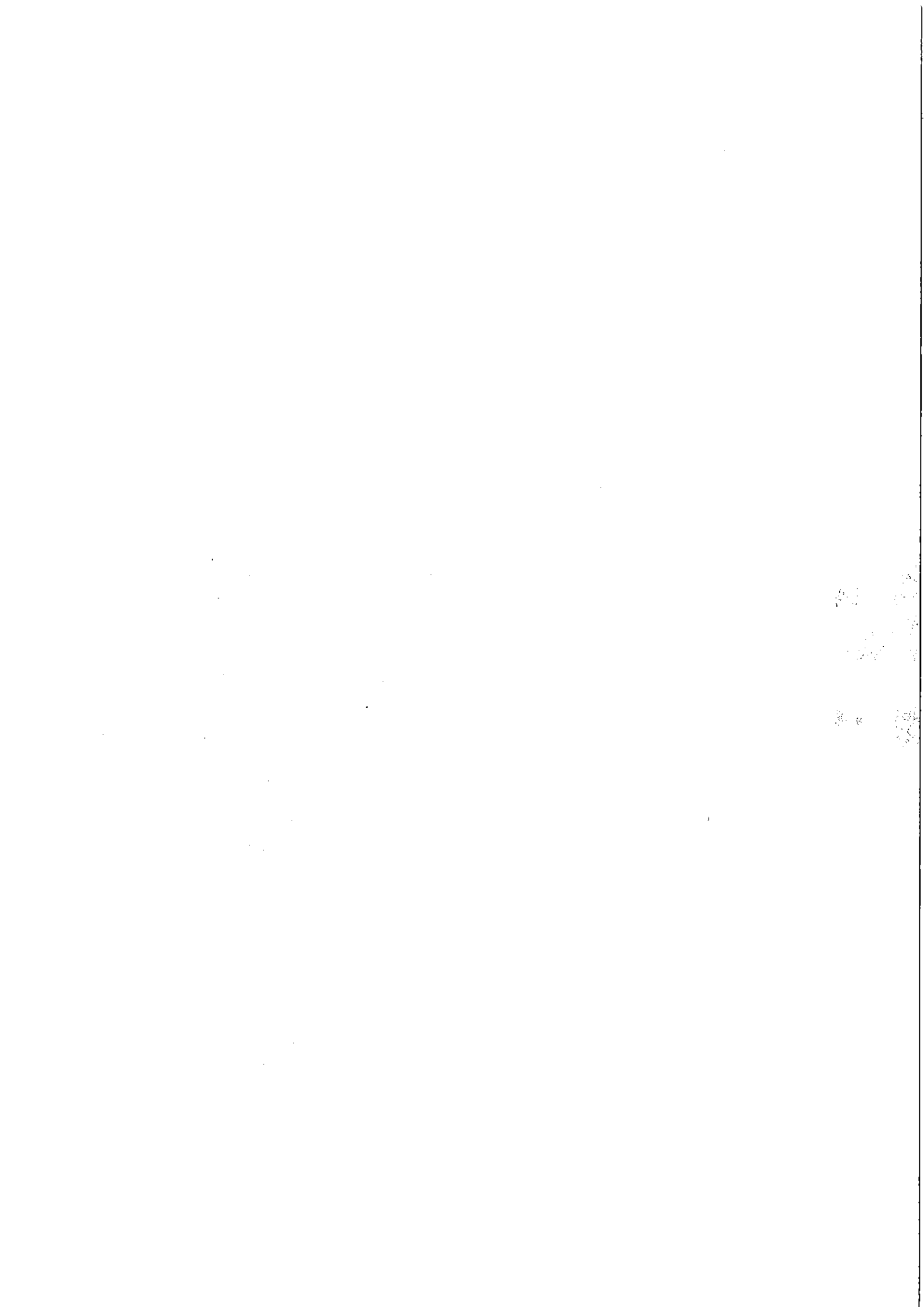
L'unité de mesure de l'énergie thermique est le joule ; si on fournit à un corps une énergie égale à ΔQ , le corps s'élèvera en température de ΔT° , telle que :

$$\Delta Q = c_v \times \Delta T$$

où c_v représente la chaleur massique propre du corps en question. Ainsi pour une même énergie thermique délivrée à deux colis de matériaux différents, l'effet ne sera pas le même. Mais ce qui nous intéresse plus est l'évaluation du ΔQ pour un incendie.

L'énergie délivrée par un incendie est fonction du pouvoir calorifique de l'aliment du feu. Le pouvoir calorifique d'un produit est la quantité de chaleur fournie par la combustion totale de 1 kg de ce produit. Il s'évalue en MJ/kg (1 cal = 4,18 J), et le potentiel calorifique d'un objet est la somme de tous les pouvoirs calorifiques de ces différents constituants par unité de surface, il s'exprime en MJ/m². Mais pour un même potentiel calorifique, la libération de l'énergie au cours du temps est pratiquement impossible à déterminer. En effet, de nombreux paramètres interviennent au cours d'un incendie : la nature de l'origine du feu, la disposition du combustible, les conditions météorologiques... Les figures 5 et 6 décomposent les différentes phases d'un incendie et montrent l'allure que peuvent prendre celles-ci pour des produits différents. Il apparaît clairement sur les figures que la durée du feu et la température associée permettent d'appréhender l'énergie délivrée lors d'un incendie.

La température des flammes n'est réellement connue que pour des matériaux homogènes, et en pratique, pour les hydrocarbures. Pour de grandes nappes de pétrole brut la température est de 1110 °C à la base des flammes, 1250 °C à 1 m, et elle décroît ensuite avec l'altitude, n'étant plus que de 450 °C à 15 m [Lannoy 83]. Une alternative possible dans le choix de l'indicateur à l'utilisation de la température des flammes est l'utilisation du flux thermique émis qui peut être associé à une température T de corps noir équivalente telle que $q = \sigma T^4$, formule de Stefan



Boltzmann où q est le flux thermique en $W.m^{-2}$, σ une constante égale à $5,68 \cdot 10^{-8}$ et T la température en $^{\circ}K$. Les valeurs fournies pour les hydrocarbures mesurées expérimentalement, varient entre 30 et 140 $kW.m^{-2}$, avec quelques mesures dépassant 200 $kW.m^{-2}$. Les températures de corps noirs équivalents sont alors de 580 $^{\circ}C$, 980 $^{\circ}C$ et 1080 $^{\circ}C$ pour respectivement 30 $kW.m^{-2}$, 140 $kW.m^{-2}$ et 200 $kW.m^{-2}$.

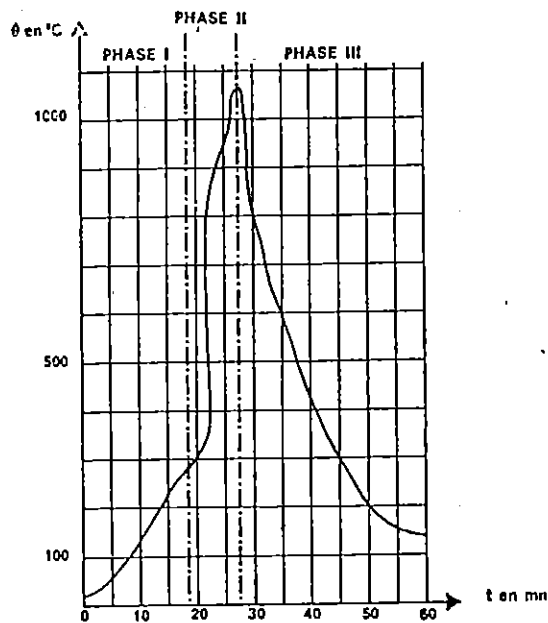


Figure 5 : Evolution des différentes phases d'un incendie [CNPP].
Phase I : Inflammation,
Phase II : Embrassement généralisé,
Phase III : Extinction.

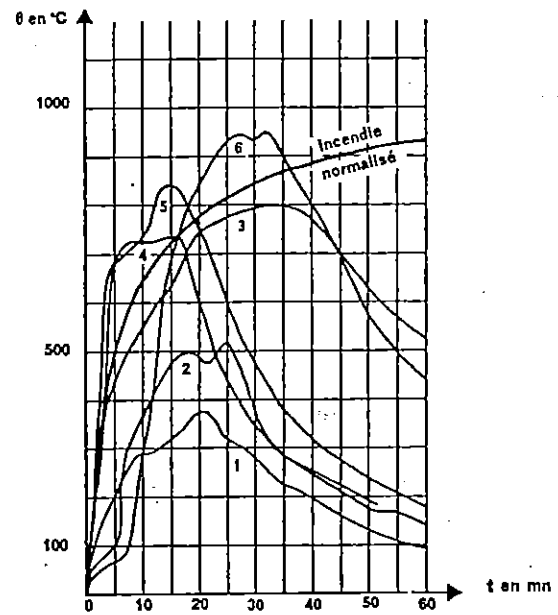
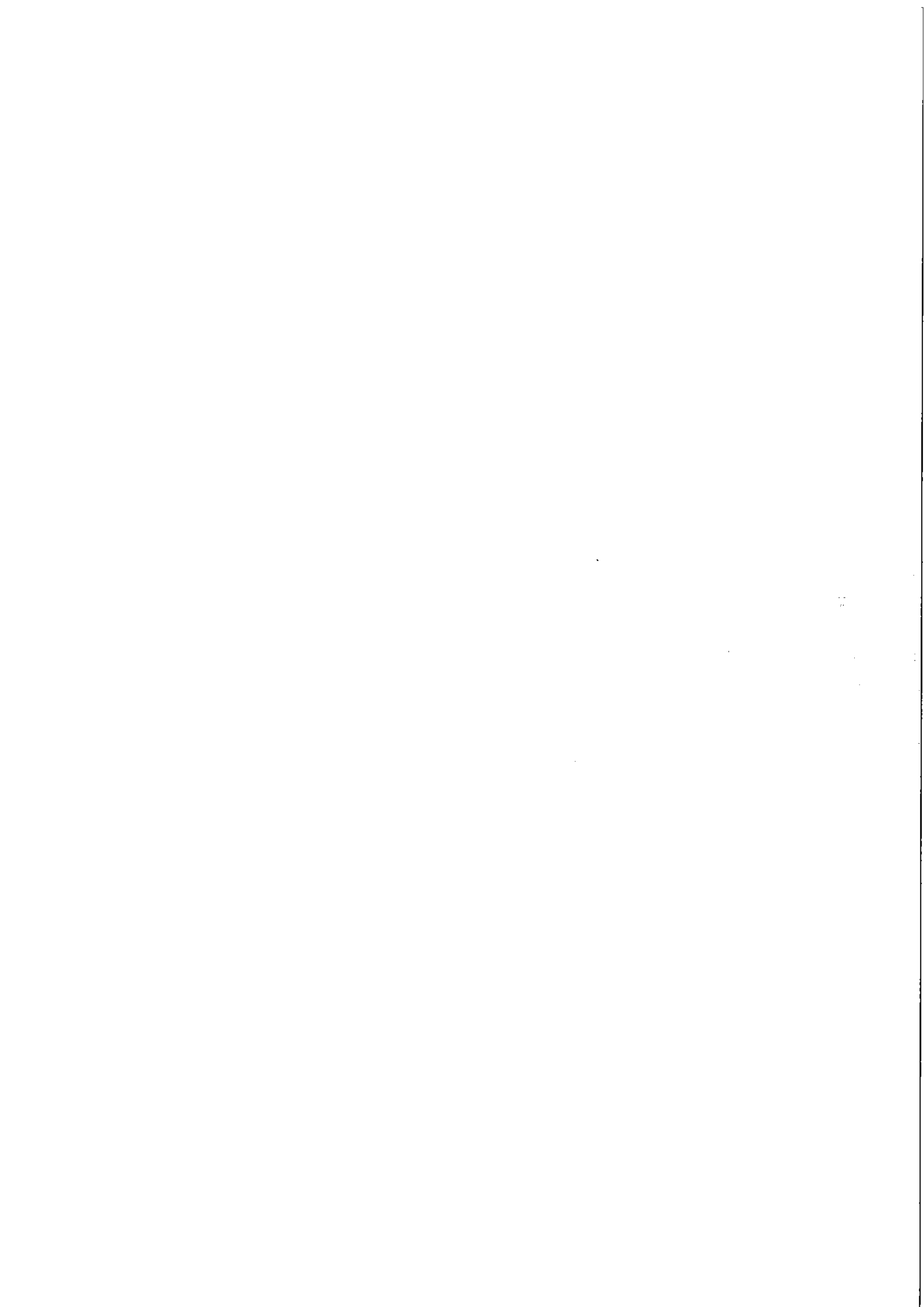


Figure 6 : Evolution de la température en fonction du temps pour 6 matériaux cellulosiques différents [CNPP].

Le tableau 9 récapitule les quelques températures des flammes publiées dans la littérature [CNPP, ENCYCLO]. Elles varient entre 1000 et 2100 $^{\circ}C$ suivant les produits. Ces températures ne sont pas connues pour tous les produits, c'est pourquoi il est indiqué également le pouvoir calorifique de ces produits. Plus celui-ci est important et plus la température des flammes a des chances d'être élevée. Le *point éclair*, qui est la température à laquelle ce corps émet suffisamment de vapeurs pour que le mélange dans l'air puisse prendre feu au contact d'une flamme ou d'un point chaud et la *température d'auto-inflammation* à partir de laquelle le corps s'enflamme spontanément à l'air, même en l'absence de flamme ou de point chaud indiquent la facilité avec laquelle les produits peuvent prendre feu.

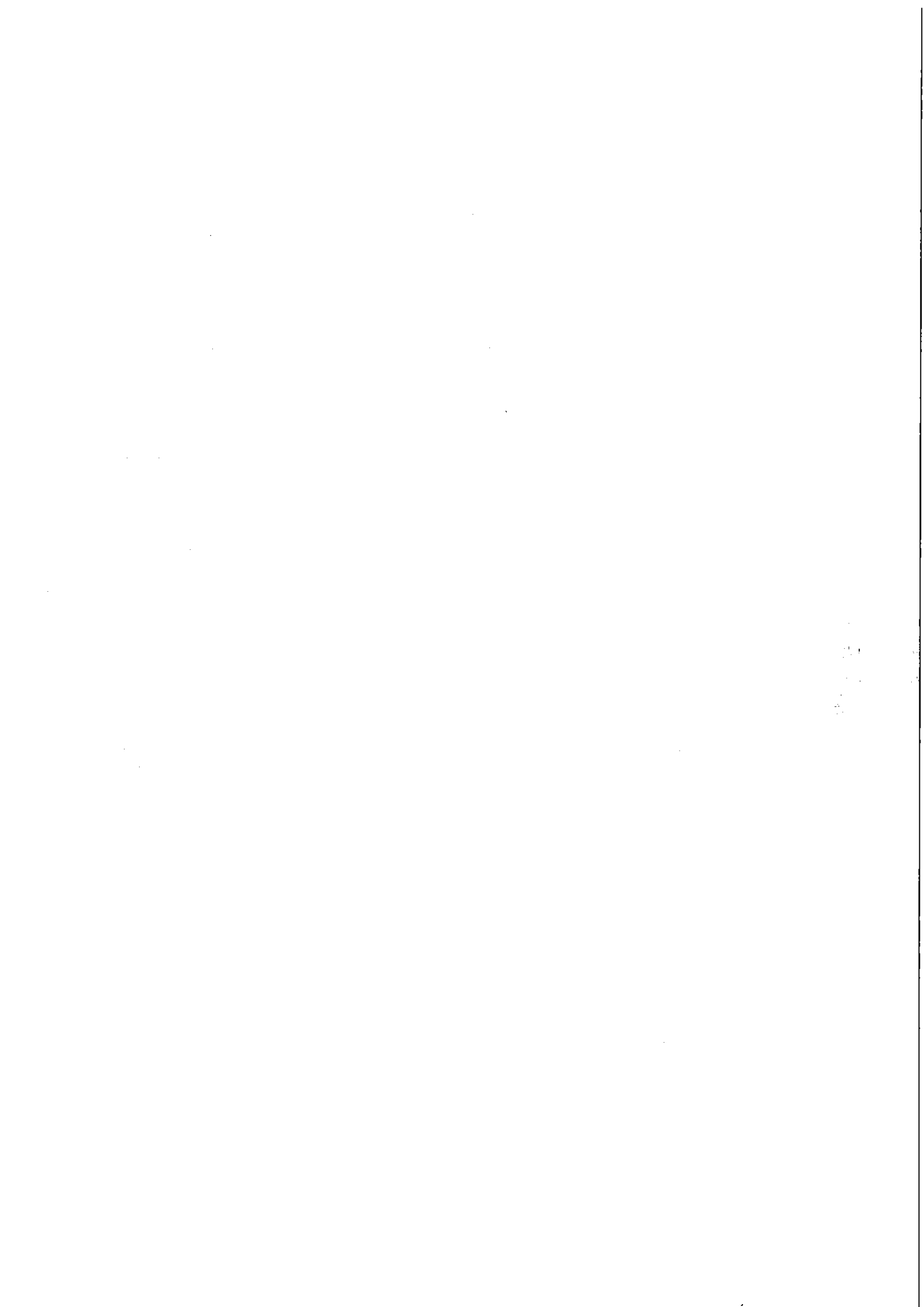


Ces valeurs de température des flammes ne sont réellement celles subies par le colis que si celui-ci est plongé dans les flammes, mais si le colis est un peu éloigné, de nombreux facteurs d'atténuation interviennent : émissivité, géométrie, atténuation de l'air et masquage de la flamme. La création de turbulences par un corps étranger modifie évidemment cette répartition, de même que les fumées qui diminuent la radiation.

Quelques données existent sur des scénarios assez extrêmes comme celui du feu dans le tunnel routier de Caldecott (1982) où la température de 1000 °C a été dépassée pendant plus de 20 mn [NUREG 4829].

Tableau 9 : Quelques caractéristiques thermiques de produits principalement rencontrés comme aliment de feu

	Température des flammes °C	Pouvoir calorifique MJ/kg	Point d'éclair °C	Température d'auto inflammation °C
Bois	1000° à 1300° (max : 1850°)	17		275°
Hydrocarbure	1250°			
Essence carburée		32 à 34	< 0°	371°
Autres		40 à 44	0° à 100°	
Liquides inflammables			- 90° à 280°	7° à 670°
Alcool et méthanol		23	11° à 96°	280° à 480°
Huiles et autres		37 à 43	- 90° à 280°	7° à 670°
Gaz inflammables	1900°			
Ammoniac		19 à 22	< 0°	651°
Propane	1980°	49,8	< 0°	535°
Hydrogène	2100°	120 à 138	< 0°	585°
Autres		45 à 55	< 0°	
Matières plastiques		15 à 37	130° à 240°	
Caoutchouc	1500° à 2000°	21 à 45		
Métal :				
Aluminium	>2000°	31		670°
Cuivre		2,5		
Fer		7,5		930°
Magnésium	>2000°	25		670°
Zinc		5,4		900°



Le test de résistance à l'incendie imposé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) correspond à un feu d'hydrocarbures d'une durée de 30 mn. Des expériences ont été menées sur cette base par des spécialistes dans le but, entre autres, de déterminer l'évolution des températures à la surface d'un conteneur de type B. Le tableau 10 ci-dessous provient des résultats expérimentaux obtenus.

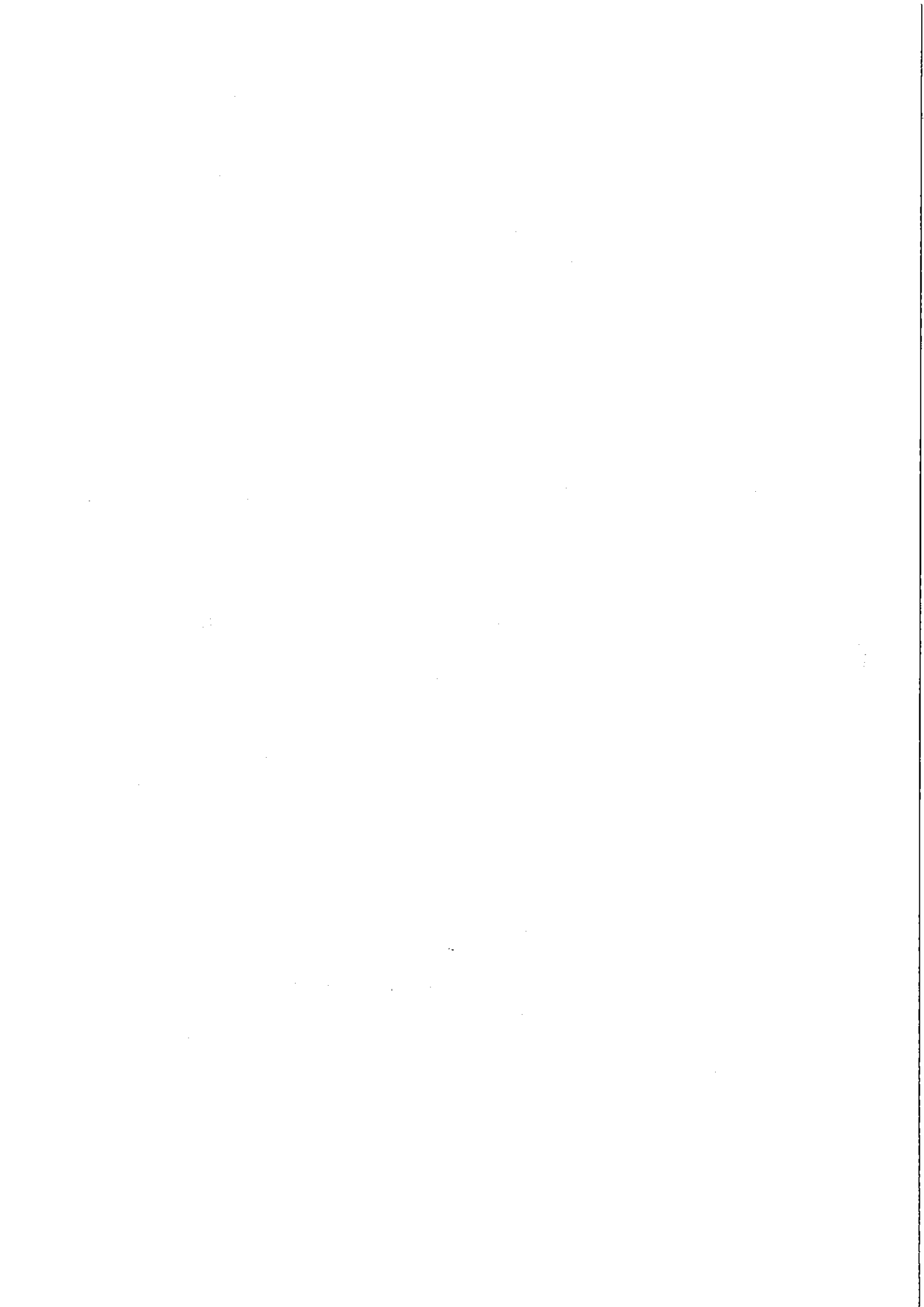
Tableau 10 : Evolution des températures (°C) enregistrées sur un conteneur lors d'un feu d'hydrocarbures (épreuve AIEA) [BARNETT 77]

	10 mn			20 mn			30 mn		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Dessus	164	296	221	282	415	339	362	501	430
Milieu	172	233	203	252	300	272	275	352	315
Dessous	215	259	234	280	314	301	324	359	339

Le consensus international autour de la durée du feu comme indicateur correspond au fait qu'il s'agit de la seule grandeur accessible statistiquement. La critique de la durée du feu repose surtout sur le fait que même si d'autres paramètres sont parfois accessibles (pouvoir calorifique, température des flammes ou de corps noirs équivalents), en pratique il faut aussi tenir compte de l'influence des conditions météorologiques, de la géométrie du lieu (tunnel), du système contenant le feu, ou de la nature du sol... Ici, l'indicateur retenu étant la durée du feu, l'intensité n'est plus estimée, mais on va chercher à la prendre en compte par des scénarios représentant des cas types.

5.1.2. Les probabilités de feu

L'analyse des fichiers a fourni les probabilités de feu, l'estimation aboutit à une probabilité de feu de 0,05 par accident sur une moyenne de 7 ans (voir tableau 11). Le feu peut constituer l'accident lui-même ou en découler, il peut aussi en être la cause, sans avoir en soi d'importance. Dans le fichier relatif aux accidents de 1980 et 1981, on s'aperçoit qu'une fois sur deux l'emballage a été soumis à une contrainte thermique sans que l'accident ait été codé comme un feu. Généralement ce problème de codage se rencontre quand le feu est consécutif à l'accident. En tout état de cause, un facteur deux reste acceptable comme incertitude sur la probabilité de feu par accident (fichier 1980-1981).



Ces feux ont été divisés en deux catégories, les feux seuls et les feux associés (comme cause ou comme conséquence) à un autre événement choc ou renversement (tableau 11 et figure 7). Dans 78 % des cas un incendie est associé à un choc ou un renversement.

Tableau 11 : Pourcentage de feux de PL

	Accidents de PL durant les périodes :				
	1975	1976	1980-1981	1987 à 1989	Moyenne
Feux / accident	4,3 %	5,7 %	4,6 %	5,4 %	5,0 %
Feu seul / feu	33 %	12 %	19 %	24 %	22 %
Feu + choc ou renversement / feu	67 %	88 %	81 %	76 %	78 %

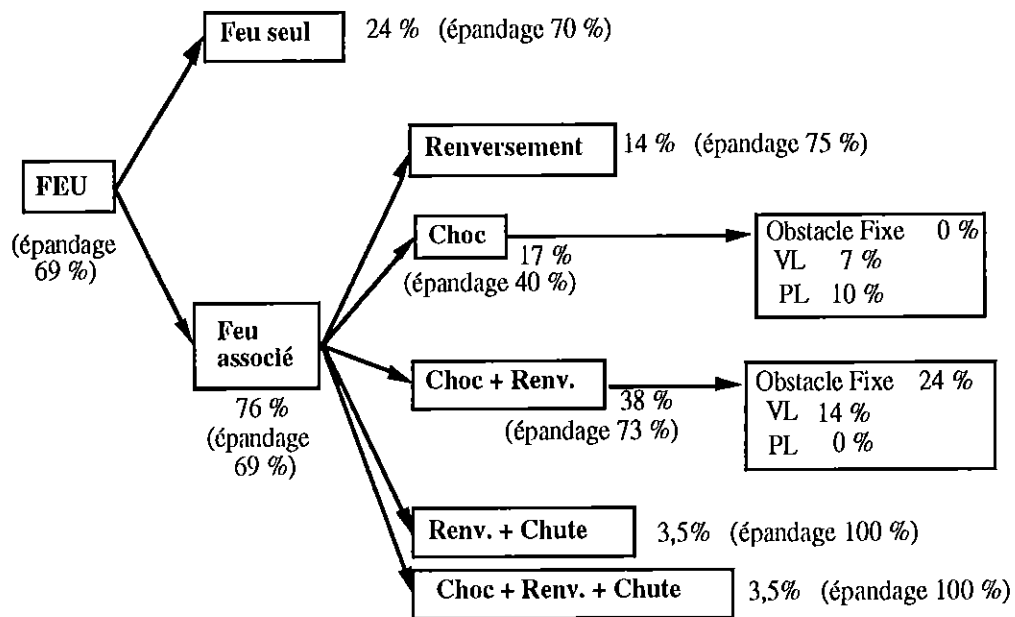


Figure 7 : Arbre des événements de feu de poids lourds (soit un effectif de 29 incendies) (Source des données : les 29 incendies du fichier de 1987-1988-1989)

Les deux causes principales de feux spontanés sont les roues (50 à 70 % des feux) ainsi que le moteur et les circuits électriques (15 à 30 %) ; le chargement ne représente que 10 % des causes qu'il s'agisse de PL non MD ou de PLMD (tableau 12).

100
100
100
100

Tableau 12 : Origine des feux spontanés de poids lourds

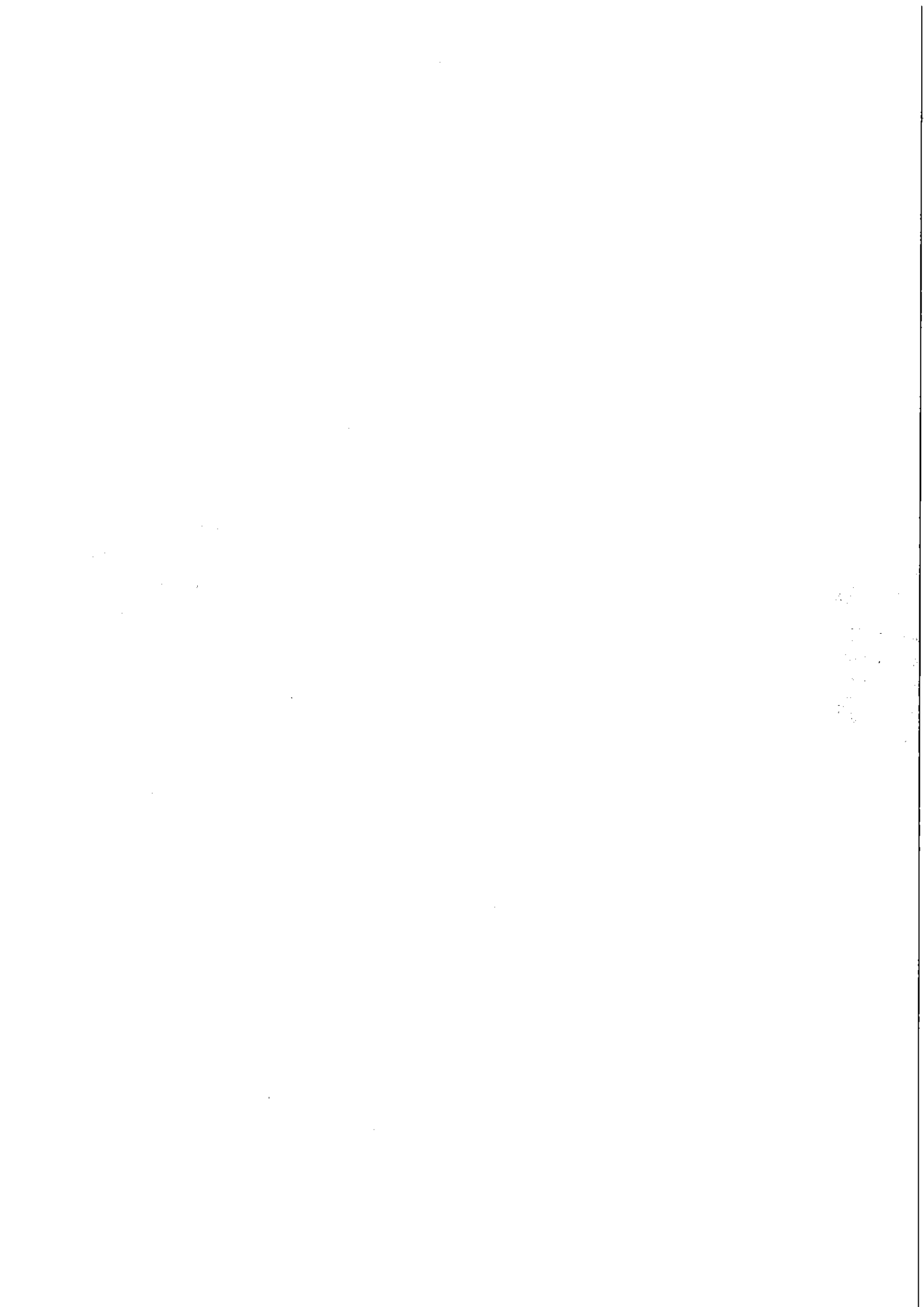
	Origine des feux de PL selon 3 fichiers :			Moyenne pondérée par le nombre de feux (359 feux)
	170 feux de PL en 1973	140 feux de PL en 1974	49 feux de PLMD en 1974	
Roues	50 %	48 %	69 %	52 %
Circuit électrique	16 %	17 %	14 %	17 %
Chargement	12 %	10 %	8 %	10 %
Moteur	9 %	15 %	4 %	10 %
Cabine	4 %	9 %	2 %	6 %
Autre	9 %	1 %	2 %	5 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %

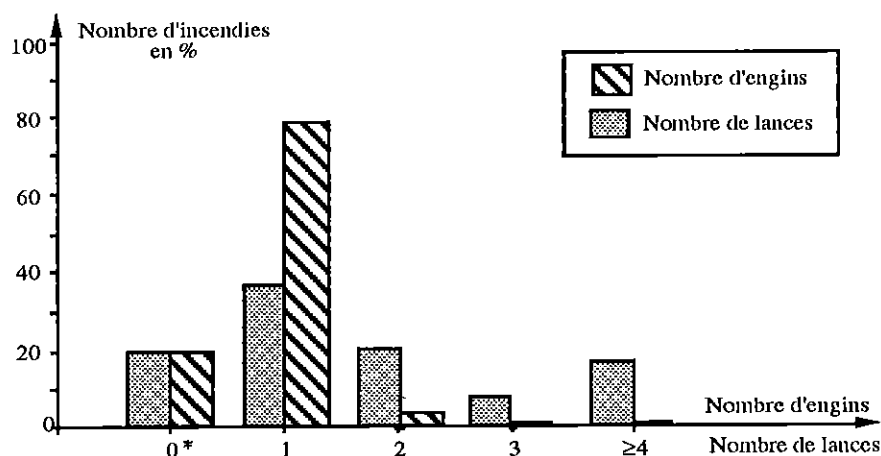
Il apparaît souvent que le premier aliment du feu est aussi l'aliment principal, il n'y a de fait pas de propagation du feu (90 fois sur 100 selon les statistiques des pompiers). Il s'agit, pour les poids lourds d'abord des pneus et freins (40 à 50 %) puis de garnitures et plastiques (15 à 30 %), les hydrocarbures (le réservoir ou autres véhicules) ne viennent qu'en troisième position (10 à 25 %) peu avant le bois. Curieusement les pneus restent plus souvent à la fois la cause et l'aliment principal du feu même dans les transports de matières dangereuses (tableau 13).

Tableau 13 : Les aliments du feu rencontrés dans les feux de poids lourds

	Aliment principal du feu sur un effectif de :			Premier aliment du feu sur un effectif de :	
	189 PL (1973)	165 PL (1974)	66 PLMD (1974)	165 PL (1974)	66 PLMD (1974)
Pneus, freins	49 %	39 %	50 %	39 %	50 %
Matières plastiques	24 %	27 %	14 %	32 %	15 %
Hydrocarbures	15 %	19 %	26 %	13 %	20 %
Bois	8 %	13 %	2 %	15 %	3 %
Liquides inflammables	2 %	1 %	9 %	2 %	12 %
Gaz inflammables	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Les moyens mis en œuvre ont été résumés par deux variables recueillies : le nombre d'engins amenés sur place et le nombre de lances (figure 8). Les moyens utilisés paraissent relativement peu importants : jamais plus de deux engins, rarement plus de deux lances. Cela peut être dû au fait que ces feux sont très localisés. Le souci principal est d'empêcher la propagation, quitte à renoncer à un sauvetage du véhicule souvent coûteux ou difficile.





* Il s'agit de feux éteints avant l'arrivée des pompiers ou éteints par eux avec d'autres moyens (aspersion de sable par exemple).

Figure 8 : Répartition selon les moyens mis en œuvre des feux de PL (Fichier de 1973 représentant 189 incendies)

Les dégâts au véhicule et au chargement ont été estimés au vu des commentaires figurant éventuellement dans les dossiers d'accident d'où l'aspect subjectif notable de cette variable. Cinq niveaux ont été retenus notés de 1 (véhicule ou chargement intact) à 5 (véhicule ou chargement détruit). On voit que dans 80 % des feux, les dégâts aux véhicules sont soit bénins (45 %) soit très graves (35 % de destructions complètes), voir [tableau 14](#). Le chargement est complètement détruit ou intact dans 90 % des incendies (60% intact, et 30 % détruit) voir [tableau 15](#). L'impression du tout ou rien se confirme. D'après cette analyse, il semble que, si dès le début de l'incendie il n'a pas été possible de maîtriser celui-ci, la destruction de tout le véhicule et de son chargement soit inévitable. La rapidité et la puissance de l'intervention semblent donc fondamentales.

Une estimation du nombre d'épandages rencontrés est indiquée sur la [figure 7](#). Ce nombre oscille entre 40 % (feu + choc) et 100 % (feu + chute) d'épandages selon le type d'accident. Il y a épandage pour une quantité de produit relâché supérieure à 100 l.

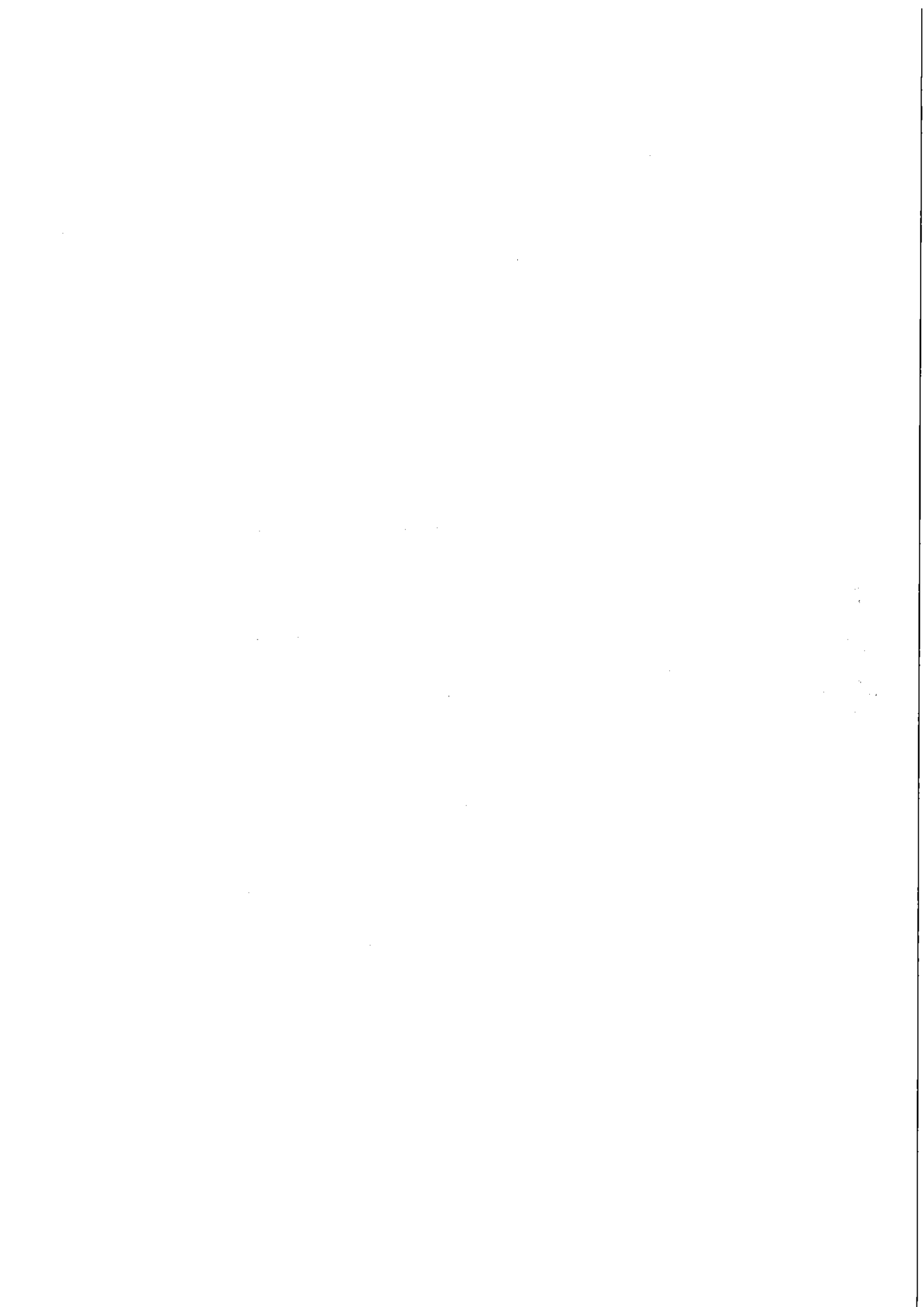


Tableau 14 : Dégâts aux poids lourds incendiés [CEPN R.10, et R.25]

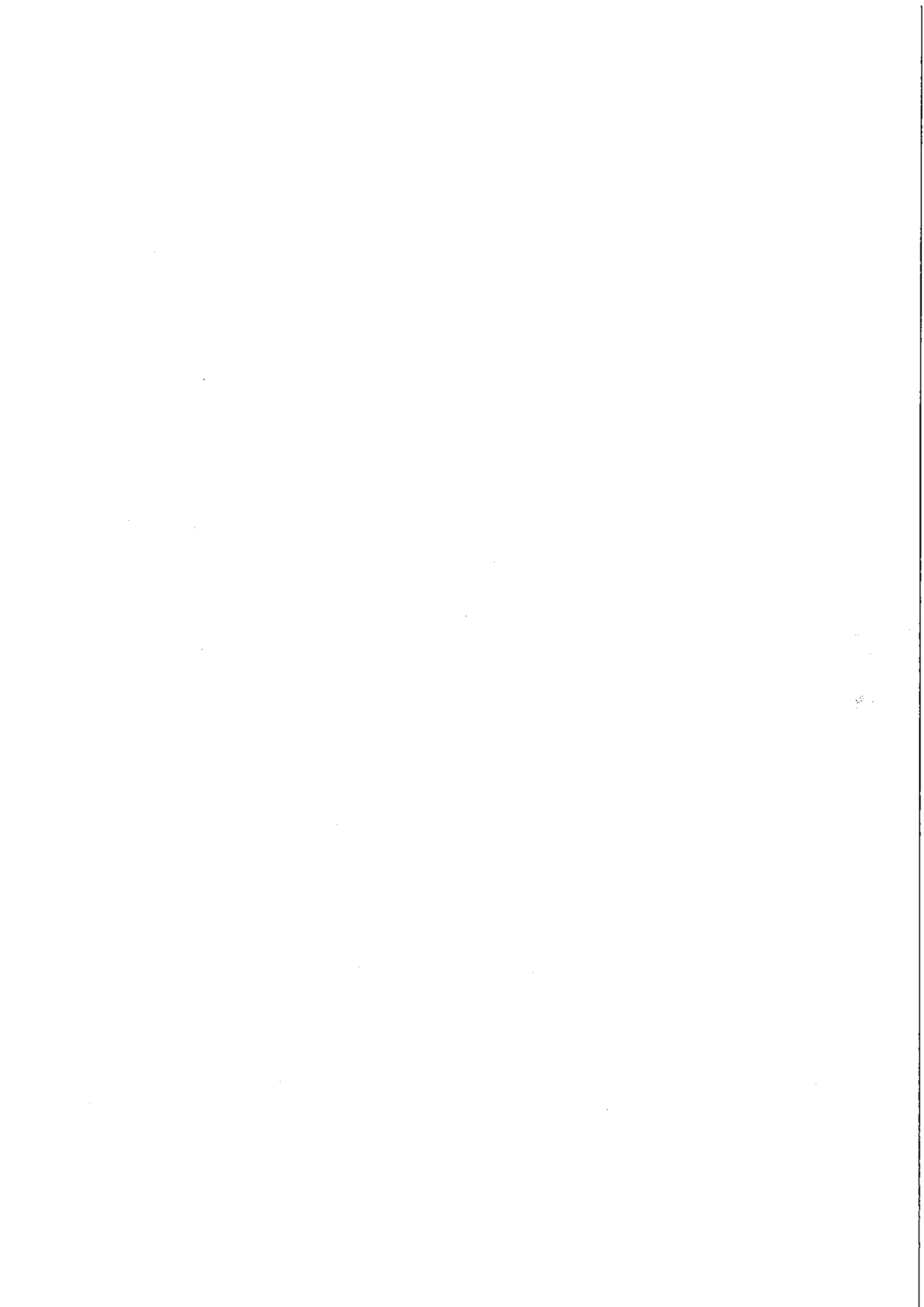
Dégâts au véhicule	Nombre de Poids Lourds endommagés		
	sur 106 PLMD (1973)	sur 70 PL (1974)	sur 33 PLMD (1974)
1 (Intact)	45 %	44 %	36 %
2	7 %	14 %	18 %
3	8 %	7 %	3 %
4	5 %	1 %	3 %
5 (Détruit)	35 %	33 %	40 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %

Tableau 15 : Conséquences sur le chargement des poids lourds incendiés [CEPN R.10, et R.25]

Dégâts au chargement	Nombre de chargements endommagés		
	sur 112 PLMD (1973)	sur 70 PL (1974)	sur 29 PLMD (1974)
1 (Intact)	56 %	59 %	42 %
2	1 %	1 %	7 %
3	6 %	6 %	3 %
4	1 %	1 %	3 %
5 (Détruit)	36 %	33 %	45 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %

Toutes ces données convergent pour montrer que le cas d'un feu englobant le chargement est relativement peu fréquent. La fréquence de dommages notables au chargement est d'un tiers des cas quand il ne s'agit pas de transport d'hydrocarbures, la moitié sinon, sachant que 72 % des PLMD incendiés transportaient des produits inflammables [CEPN R.10, et R.181].

A partir de ces chiffres, il avait été estimé qu'un feu pouvait avoir un caractère englobant pour un colis dans 1/3 des scénarios de feux associés à d'autres événements et dans 1/10 de feux seuls. Donc le feu est supposé global dans 28 % des incendies et dans 1 % des accidents. Le caractère englobant ne signifie cependant pas que l'on puisse retenir une température uniforme de 800 °C.



5.1.3. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte thermique

Les fichiers des pompiers ont permis de décrire deux distributions des durées de feu observées selon la nature du chargement. Elles sont données sur les figures 9 et 10 et traduisent la probabilité d'être en présence d'un incendie d'une durée inférieure à une valeur donnée. Les feux de PL transportant des matières diverses mais pas de matières dangereuses durent visiblement moins longtemps que les feux de PL transportant des hydrocarbures.

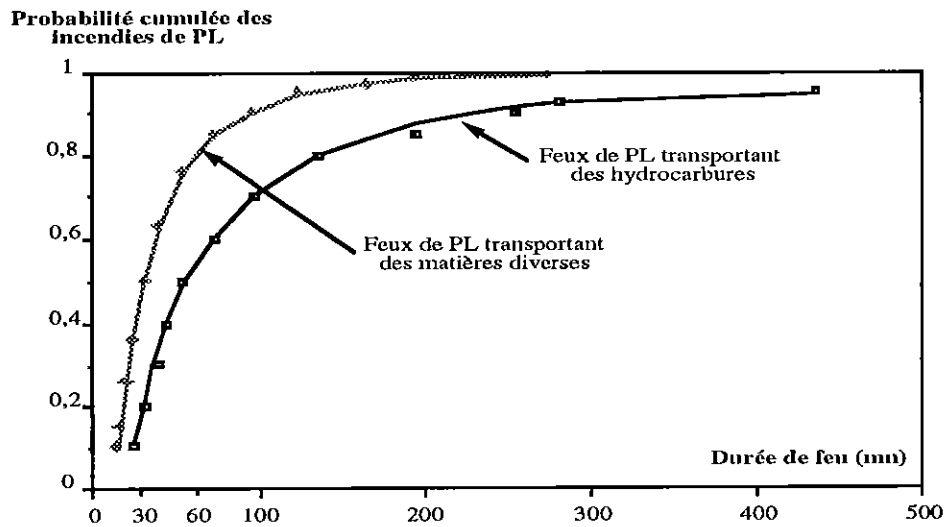


Figure 9 : Fonction de répartition des durées de feu selon les feux de PL de 1974

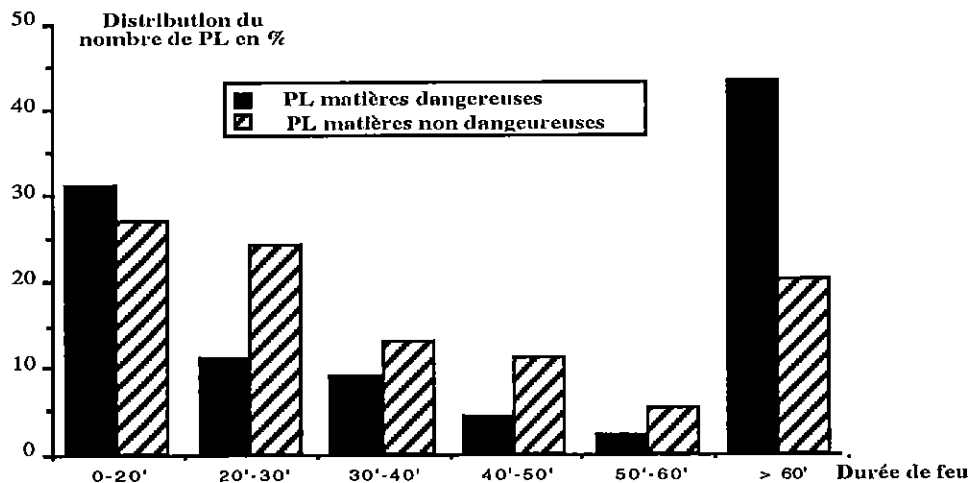


Figure 10 : Comparaison de la distribution des durées de feux entre des PLMD (fichier de 189 PL, 1973) et des PL transportant des marchandises diverses (fichier de 164 PL, 1974)

La distribution des feux "marchandises diverses" est représentative de ce qui peut arriver à un poids lourd transportant des colis radioactifs et ne contenant donc a priori pas de chargement inflammable.

Pour les feux de matière inflammable, on retiendra la distribution "hydrocarbures". Les valeurs sont élevées, mais elles sont effectivement observées. Certes, pour ces accidents, le feu s'étend sur une large surface et englobe parfois des bâtiments qui sont longs à éteindre. En revanche ces chiffres sont compatibles avec des calculs déterministes. 30 000 à 40 000 litres de carburant répandus sur une surface de 100 m² brûlent en principe à 1000°C pendant une heure et demie (avec une vitesse de régression⁽¹⁾ de la nappe de 3 mm par minute). Il ne semble donc pas possible de considérer cette distribution comme excessivement pessimiste. Tout au plus peut-on envisager de tenir compte d'une augmentation des grandes durées du feu due à sa propagation à d'autres zones (facteur 2 sur les durées).

Remarque sur la définition de la durée de feu introduite ici :

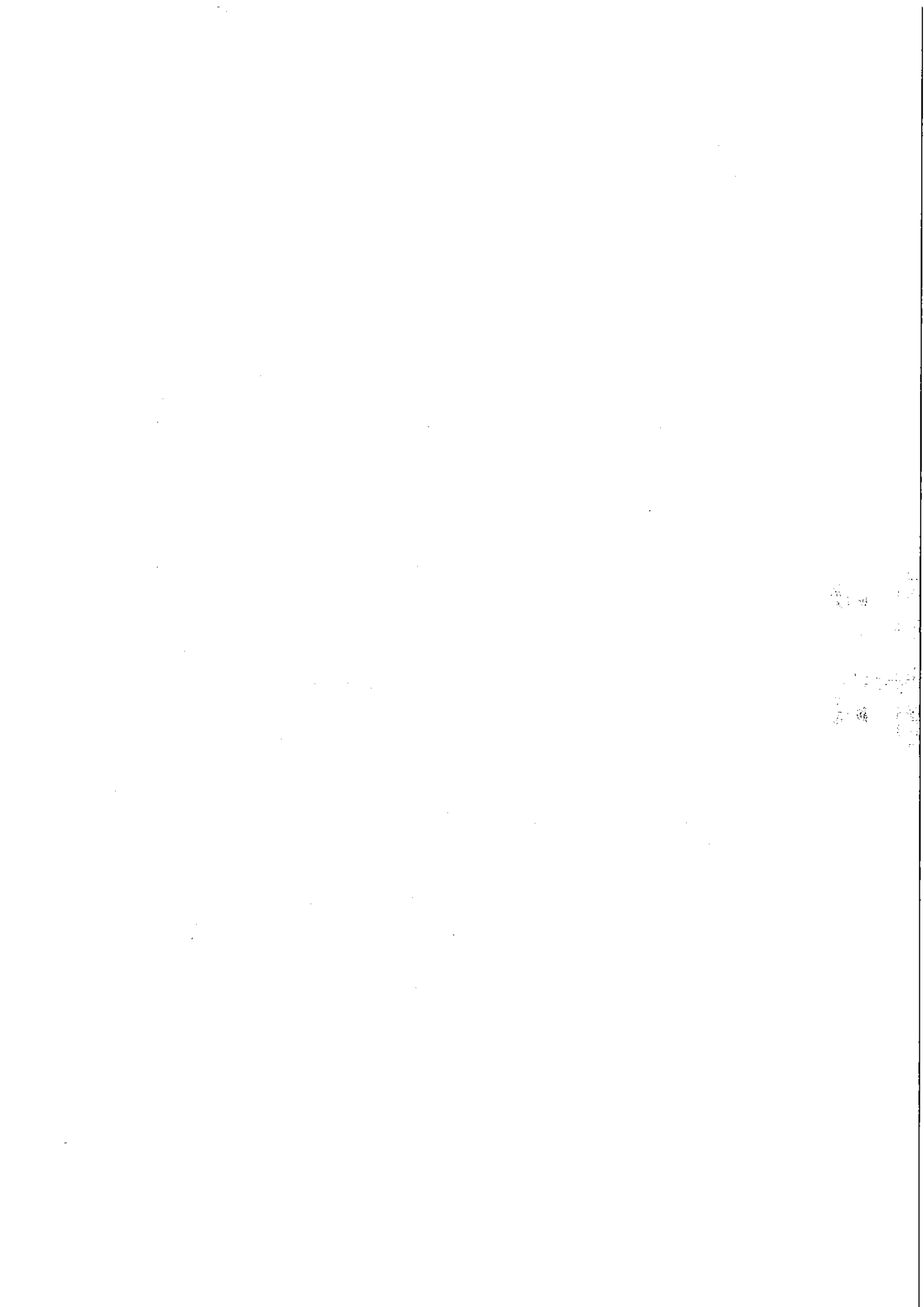
Il s'agit de durées notées par les pompiers rendant compte du moment où tout est éteint. La durée du feu telle qu'elle est recueillie dans les fichiers disponibles correspond au temps total qui s'écoule entre l'instant de réception de l'appel et l'extinction complète du sinistre. Il y a là une surestimation de la gravité puisque le feu diminue considérablement de vigueur après que les pompiers en soient passés maîtres. Rappelons que les pompiers se considèrent maîtres du feu dès que celui-ci ne s'étend plus. Il n'est pas aisé de situer cet instant dans la chronologie de l'incendie. En effet, certains feux sont très vite maîtrisés mais se prolongent après ; d'autres, assez longs à maîtriser, sont cependant éteints tout de suite après. Face à cette difficulté, nous avons préféré choisir la durée totale comme indicateur de gravité des feux. Cette notion de durée surestime donc le temps pendant lequel une charge thermique s'applique.

A titre indicatif, pour donner une idée de la température d'un feu, la figure 11 trace la courbe de température normalisée en fonction du temps établie par les autorités compétentes dans le but d'établir des réglementations [CNPP]. Cette courbe est définie par l'équation suivante :

$$\theta = \theta_0 + 345 \log_{10} (8t+1)$$

où θ la température du feu est exprimée en degré Celsius, de même pour θ_0 la température initiale. t représente le temps en minutes.

(1) *Vitesse de régression = vitesse à laquelle l'épaisseur de la nappe diminue.*



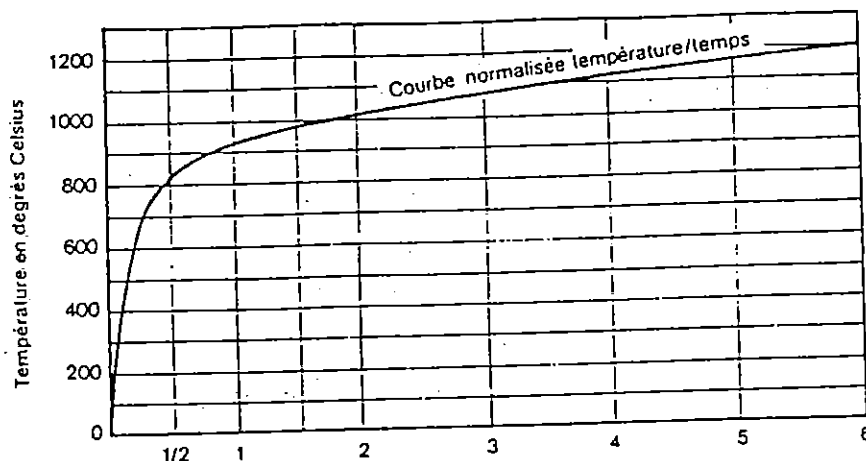


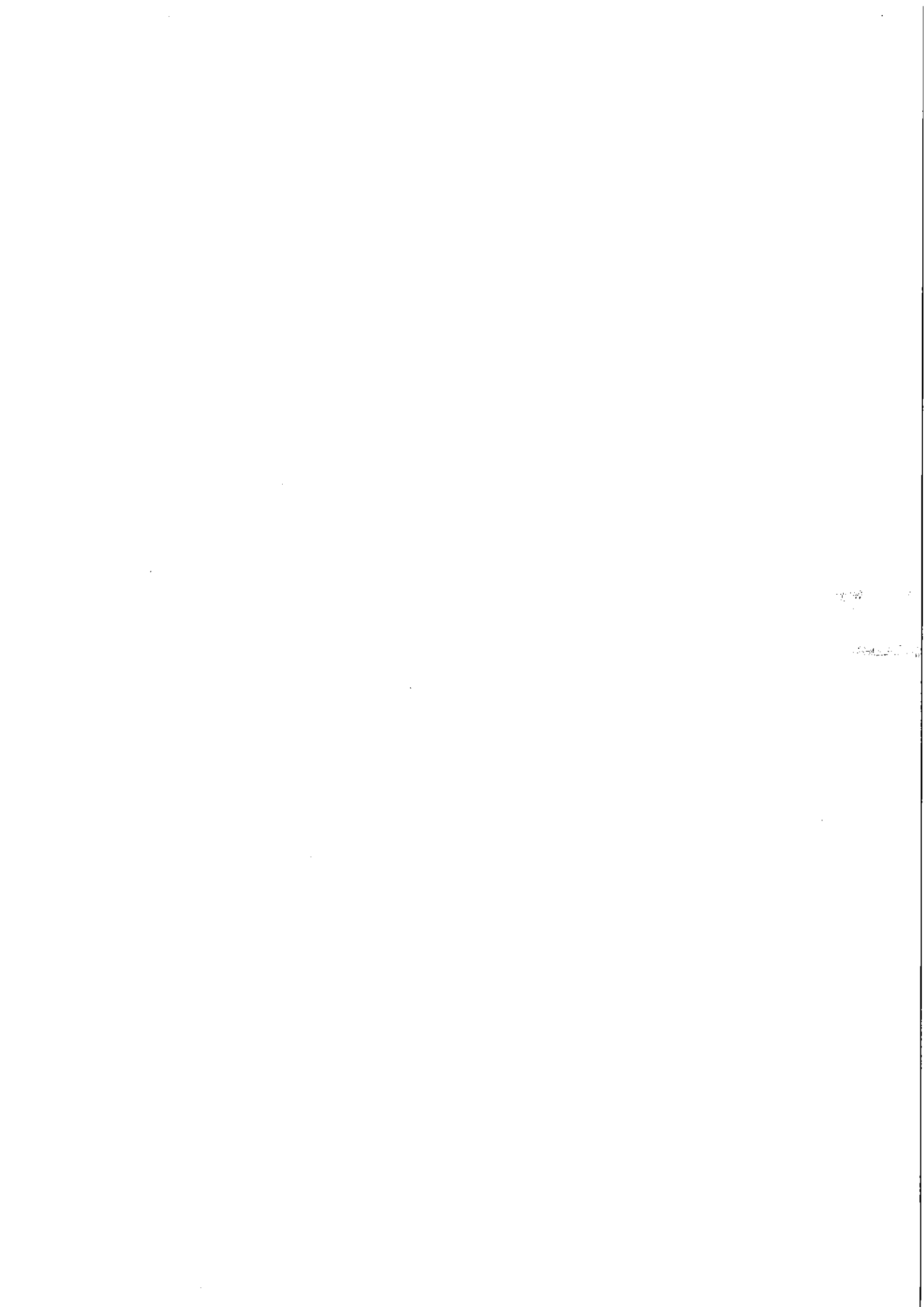
Figure 11 : Courbe ISO des températures en fonction de la durée d'un incendie (les temps en abscisses sont indiqués en heures) [CNPP]

On ne suggérera l'utilisation de la distribution des durées de feu observées qu'aux feux ayant un caractère global. En effet, un colis de matières dangereuses n'est pas nécessairement englobé dans le feu. La fraction des feux englobants est estimée à 28 % des feux (cf § 5.1.2). Ces valeurs sont tirées du nombre de chargements détruits par incendie.

Le tableau 16 résume les différentes probabilités de feu. La probabilité de dépasser une durée de 30 mn est de 50 % pour les PL de marchandises diverses et 80 % pour les PL transportant des hydrocarbures. Celle de dépasser 60 mn est de 20 % pour les PL non MD et de 45 % pour les PL transportant des hydrocarbures.

Tableau 16 : Probabilité d'incendie par accident et par durée de feu pour des chargements de matières inflammables ou ininflammables

Type de matière transportée	Probabilité d'occurrence d'incendie de PL par accident	Probabilité d'occurrence d'incendie de chargement par incendie de PL	Probabilité d'occurrence d'un feu de PL de durée supérieure à un seuil donné.			
			30 mn (soit 800°C durant 5 mn)	1 h (soit de 800° à 930° durant 1 h)	1h 30 (soit 800 à 980° durant 1 h)	2 h (soit 800° à 1000° pendant 1h 30)
Matières inflammables	0,05	0,5	0,8	0,45	0,32	0,22
Matières ininflammables	0,05	0,33	0,5	0,2	0,11	0,05
Moyennes des mat. dang. (72% de mat. inflammables)	0,05	0,45	0,72	0,38	0,26	0,17



5.2. Energie mécanique

5.2.1. Le choix de l'indicateur

Un colis peut subir une contrainte de type mécanique lors d'un choc contre un obstacle fixe ou mobile, lors d'une chute ou d'un renversement. Les efforts exercés sur le colis seront d'autant plus importants que la quantité d'énergie mécanique mise en jeu sera importante, et que le temps de transmission de cette énergie sera court. La décélération enregistrée au cours d'un accident rend compte de ce temps de transmission, malheureusement ce paramètre n'est pas accessible pour les accidents ; il ne peut être évalué qu'au cours des essais d'impact où les appareillages sont suffisants.

La valeur maximale de l'énergie disponible au moment de l'accident est l'énergie cinétique propre des véhicules en jeu au moment de l'accident. L'énergie cinétique d'un véhicule en mouvement s'exprime par : $E = 1/2 m_0 V_0^2$.

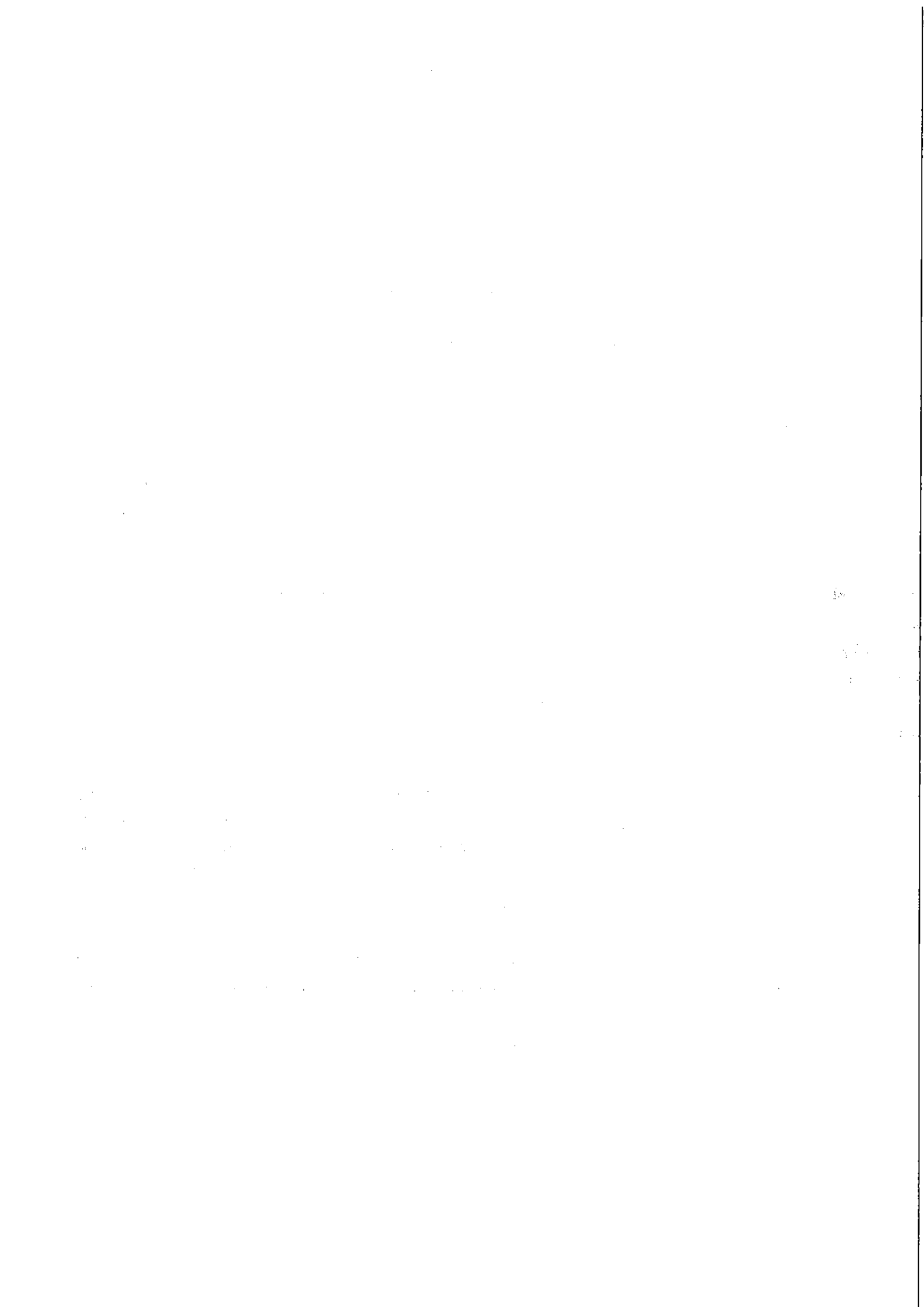
Il suffit donc de connaître la masse m_0 du véhicule et sa vitesse V_0 au moment du choc.

L'énergie disponible en cas de choc contre un obstacle mobile (m_1, V_1) s'exprimera par :

$$E_1 = \frac{1}{2} \frac{m_0 m_1}{m_0 + m_1} (\vec{V}_1 - \vec{V}_0)^2 \quad (1)$$

Dans le cas d'un obstacle fixe, l'équation (1) peut être utilisée en prenant une masse m_1 suffisamment élevée pour être assimilée à quelque chose d'infini, une valeur de 1 000 t convient tout à fait. De plus, des facteurs de pondération sont introduits en fonction de la rigidité de l'obstacle. La prise en compte de chocs multiples ou de l'encastrement ou non du véhicule dans l'obstacle sont détaillés dans les équations de l'annexe 1.

Dans le cas des renversements, il n'est pas aisé de faire une hypothèse simplificatrice. Ce type d'accident peut mettre en jeu des forces très différentes : un renversement en ville sur une bordure de trottoir, par exemple est très différent du même événement survenu dans un champ labouré. Conformément à l'étude du Bureau Véritas [Véritas], nous nous sommes orientés vers le choix d'un indicateur de gravité représenté par l'énergie cinétique disponible mise en jeu par le PL qui percuterait une masse infinie. La vitesse V du choc serait celle du PL (V_0). On peut considérer que cette hypothèse est plutôt majorante. L'énergie dissipée au cours du choc correspond à l'énergie cinétique du PL soit : $0,5 m_0 V_0^2$.



Dans le cas de chocs mécaniques avec perforation, un autre indicateur est également nécessaire. Plusieurs possibilités s'offrent à nous pour définir cet indicateur physique de perforation selon les paramètres que l'on fait intervenir, par exemple l'angle de choc entre le colis considéré et l'objet perforant, le matériau constitutif de celui-ci, ... Aller aussi loin dans la modélisation nous paraît illusoire compte tenu des incertitudes existant déjà par ailleurs. L'application des lois de la mécanique, confirmée par l'analyse des résultats, montre l'importance de la vitesse dans l'évaluation de la gravité d'un accident. Il est d'autre part nécessaire de tenir compte du rayon de l'objet éventuellement susceptible de perforer le conteneur. L'indicateur retenu pour exprimer l'effort de perforation est le rapport entre la vitesse V relative du colis par rapport à l'obstacle et le rayon caractéristique (R) de l'objet perforant soit : (V/R)

5.2.2. Les probabilités de subir une contrainte mécanique

La probabilité d'avoir un impact lors d'un accident est très importante, elle varie de 0,95 impact/accident en 1976 à 0,92 impact/accident en 1989. Les chocs contre les piétons et deux roues sont considérés comme triviaux du point de vue du colis de transport de matières dangereuses, aussi n'entrent-ils pas dans la catégorie des événements appelés impact ou choc. La typologie des impacts est établie en fonction de l'énergie disponible pour endommager le colis. C'est pourquoi il est nécessaire de considérer séparément les accidents associés à un seul événement et ceux associés à plusieurs événements à la fois (renversement, choc, feu, ...).

Le tableau 17 détaille les différents types d'accidents, les ordres de grandeurs sont relativement constants depuis 1976 : 1 % de feux seuls, 4 à 5 % de feux associés, 4 à 8 % d'accidents triviaux, 87 à 90 % de chocs ou renversements sans feu, 42 à 46 % de chocs seuls, 2 à 3 % de chutes, 39 à 45 % de renversements sans feu. Le partage entre le renversement seul ou associé semble varier un peu plus d'un fichier à l'autre, mais tout dépend du codage ou de la prise en compte séparée ou non des chutes qui très souvent sont associées à des renversements. Sur les 10 chutes observées entre 1980 et 1981, 4 sont associées à un renversement.

Un renversement se produira dans 48 % des accidents. Il surviendra seul dans 18 % des accidents et sera associé à un choc ou un feu dans 30 % des accidents (figure 12). De même un choc surviendra dans 72 % des accidents et sera seul dans 42 % des accidents et associé à un renversement ou un feu dans 30 % des cas.

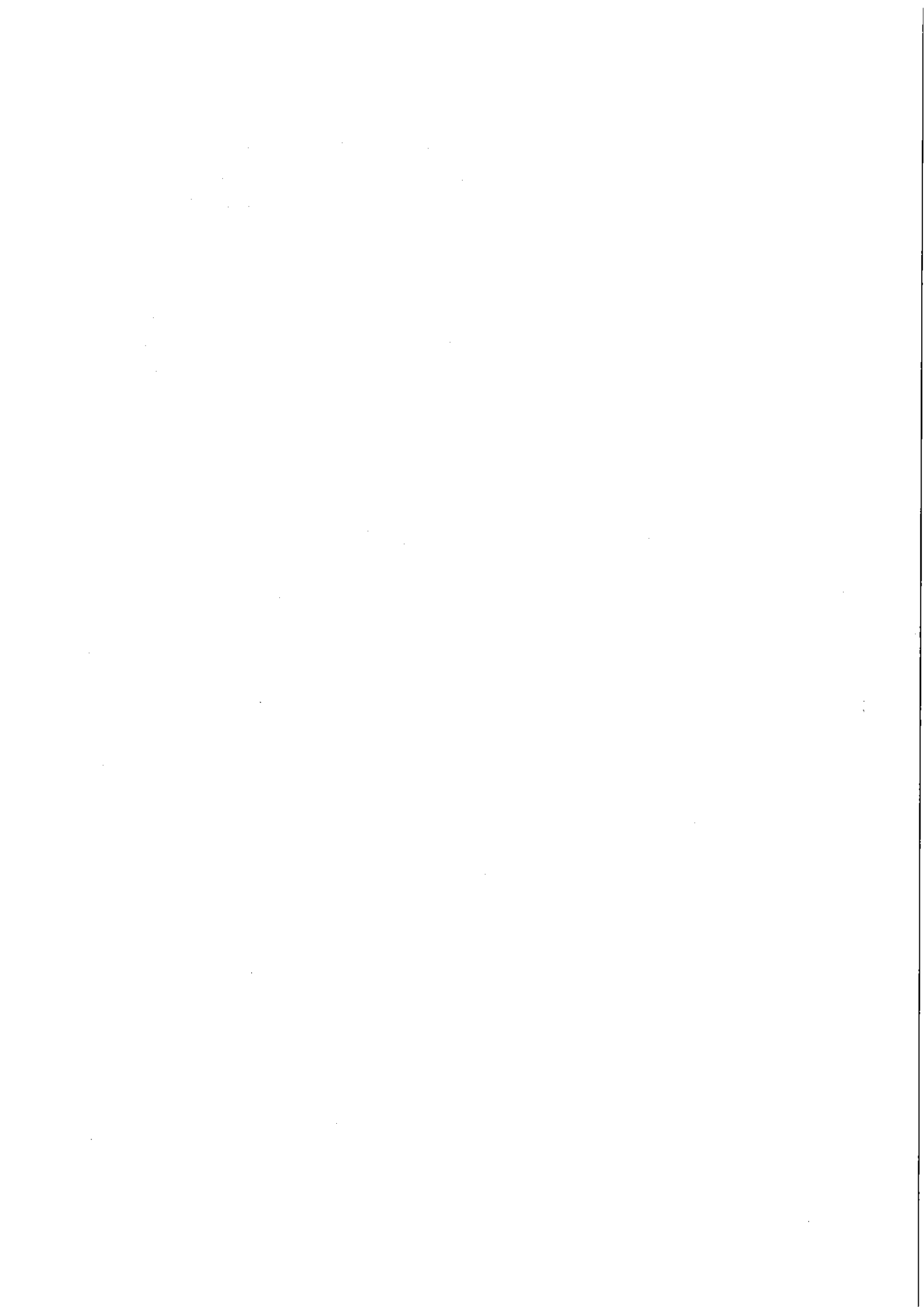


Tableau 17 : Pourcentage des différents types d'accident de PLMD observés

Événement par accident	Accidents de PLMD selon les périodes :		
	1976	1980-1981	1987 à 1989
renversement (seul)	32 %	21 %	18,5 %
choc (seul)	45 %	46 %	42,2 %
choc + renversement	10 %	18 %	27,1 %
chute associée sans feu	3 %	2 %	?
Total	90 %	87 %	87,8 %
feu (seul)	0,7 %	0,6 %	1,3 %
feu associé	5 %	4 %	4,1 %
Total	5,7 %	4,6 %	5,4 %
trivial	4,3 %	8,4 %	6,8 %
Total	100 %	100 %	100 %
Effectif	265	529	592

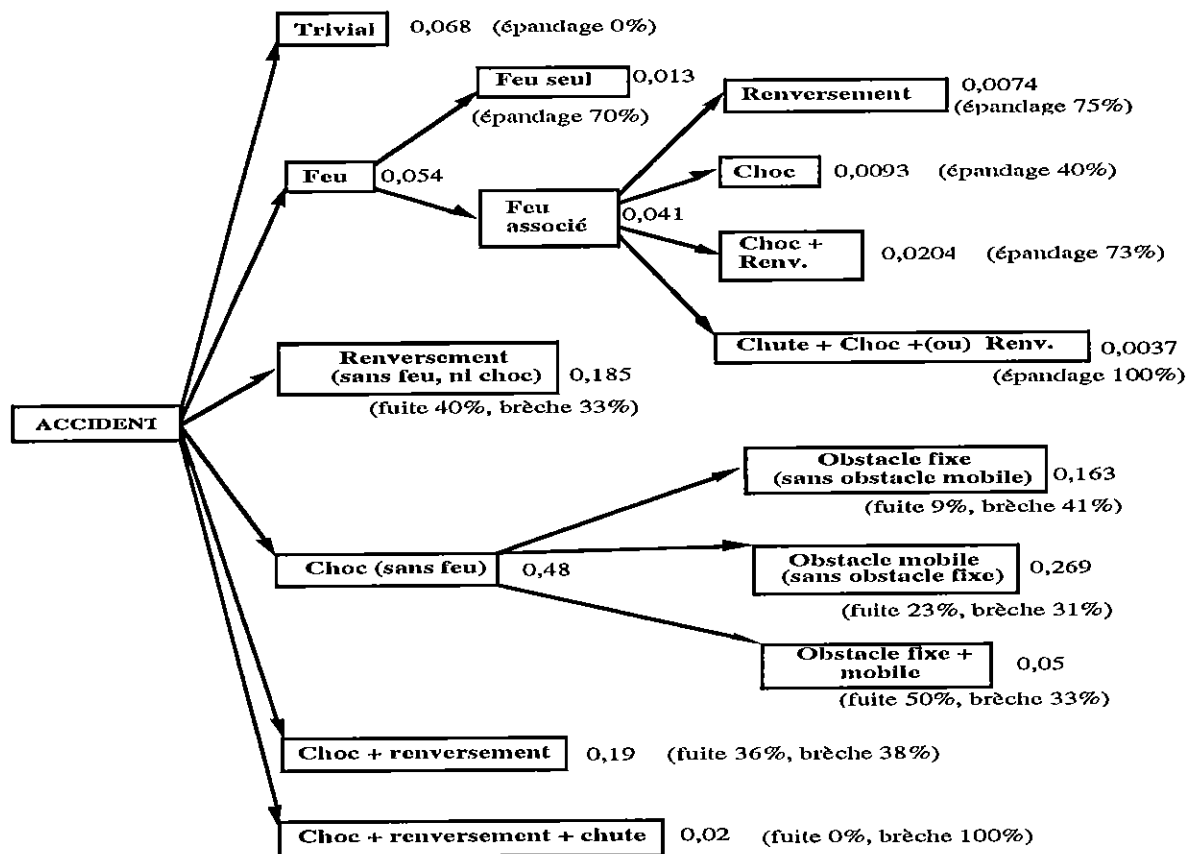
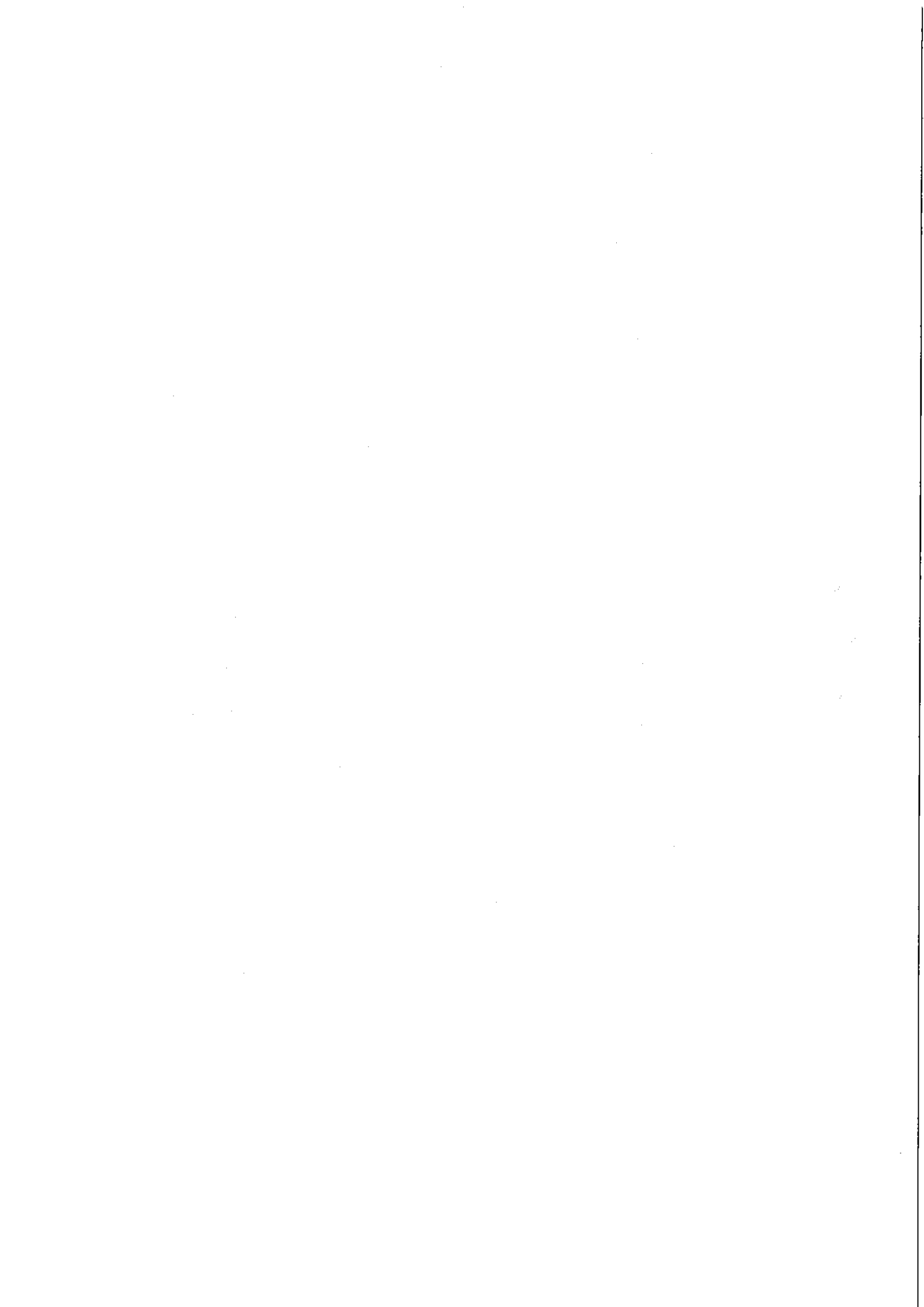


Figure 12 : Arbre des événements probabilisés d'un accident de PLMD (accidents de 1987 à 1989 pour les incendies et de 1980 à 1981 pour la répartition des chocs)



L'arbre des événements d'un accident de poids lourd relatif aux années 87-89 est présenté sur la figure 12. Sont considérés comme *accidents triviaux* les défaillances mécaniques, les sorties de route sans choc, et les chocs contre des piétons ou des deux roues, car ce type de choc n'implique pas de conséquence au niveau de la cargaison. La répartition des chocs et les pourcentages de fuites et de brèches sont tirés des accidents de 1980-81. Du fait de la structure du fichier 87-89, il n'a pas été possible de croiser les variables types d'accident avec l'épandage. C'est pourquoi les résultats antérieurs ont été conservés. Les épandages indiqués pour les incendies correspondent à des fuites ou des brèches entraînant une perte de produit supérieure à 100 l. Selon la nature du poids lourd, il est bien évident que ces probabilités peuvent varier. Les semi-remorques comme les camions citernes semblent se renverser plus facilement en cas d'accident que les autres types de poids lourds (tableau 18).

**Tableau 18 : Répartition des types d'accident selon le genre de PLMD
(fichier de 189 accidents-1973) [CEPN 10]**

Type d'accident	Camion	Semi remorque	Plateau	Citerne
renversement (seul)	20	24	15	28
choc (seul)	59	41	62	40
choc + renversement	12	22	10	21
chute associée sans feu	1	1	0	2
Total	92 %	88 %	87 %	91 %
feu (seul)	3	2	4	2
feu associé	1	4	6	3
Total	4	6	10	5
trivial	4	6	13	4
Total	100	100	100	100
<i>Effectif</i>	76	186	47	201

La nature de l'obstacle importe et dépend de sa capacité à absorber l'énergie du choc (obstacle mou ou rigide) ou à fournir de l'énergie dans le cas des obstacles mobiles tels que VL, PL ou train. 56 % des chocs ont lieu contre des obstacles mobiles et 34 % contre des obstacles fixes, les autres chocs 10 % cumulés obstacles mobile et fixe (figure 12).

La trajectoire du PL par rapport à l'obstacle importe également. En cas de choc contre un obstacle mobile, la violence du choc dépend de l'angle formé par la trajectoire de deux véhicules. Les résultats sont regroupés sur le tableau 19.

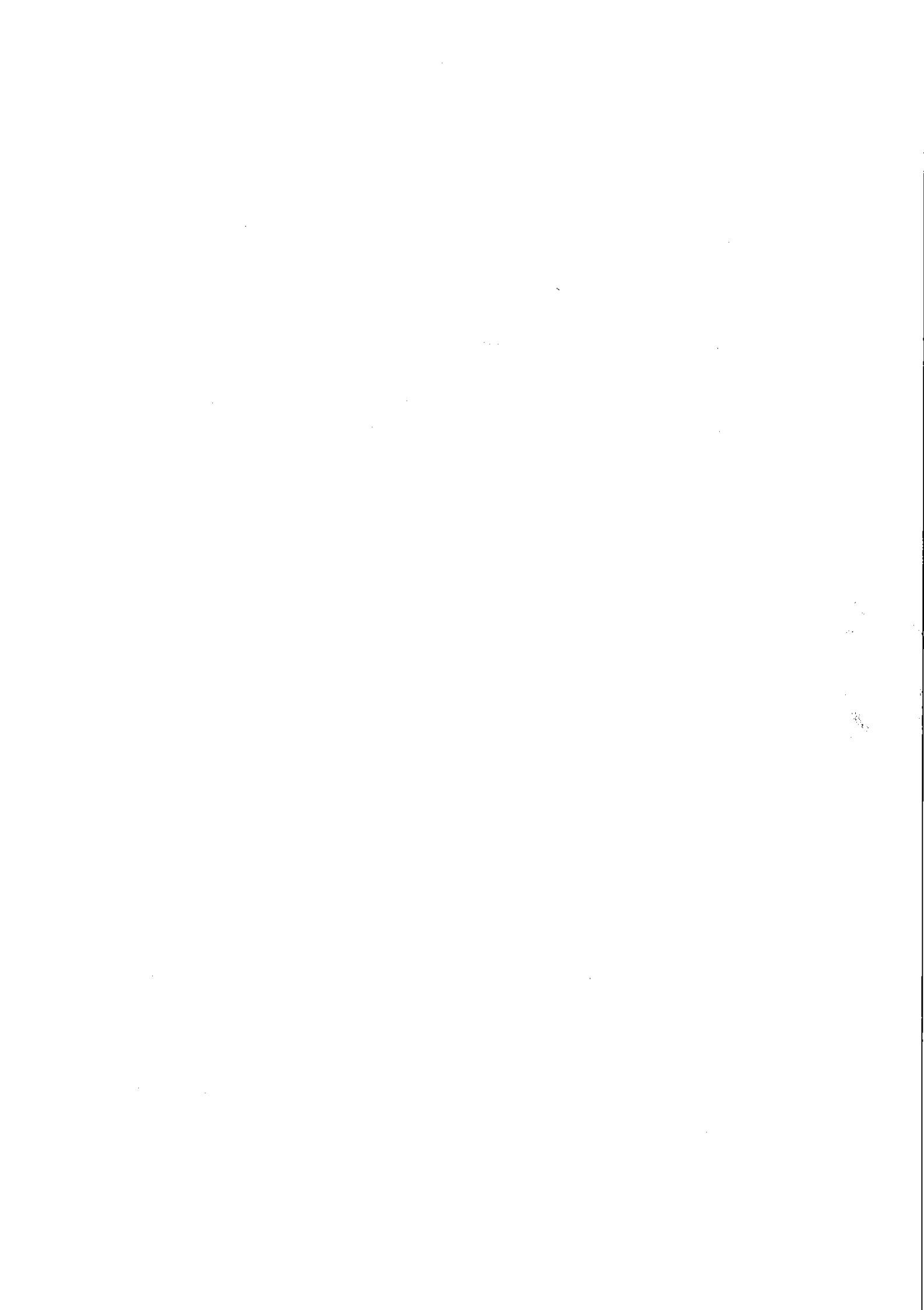


Tableau 19 : Répartition de l'angle d'impact lors d'une collision PL avec un obstacle mobile (accidents de PL de 1980 - 1981) [CEPN 138].

Type de choc	Partie du PLMD heurtée	Angle de choc	Proportion de chocs observés avec un Obstacle Mobile	
			tout OM	OM = PL
Face à face	avant	180°	31 %	36 %
PL heurte le coté de l'OM	avant	90°	7 %	11 %
PL heurté sur le coté par l'OM	coté	90°	16 %	6 %
PL heurte l'arrière de l'OM	avant	0°	17 %	22 %
PL heurté à l'arrière par l'OM	arrière	0°	29 %	25 %
Total			100 %	100 %
Nombre d'accident			217	76

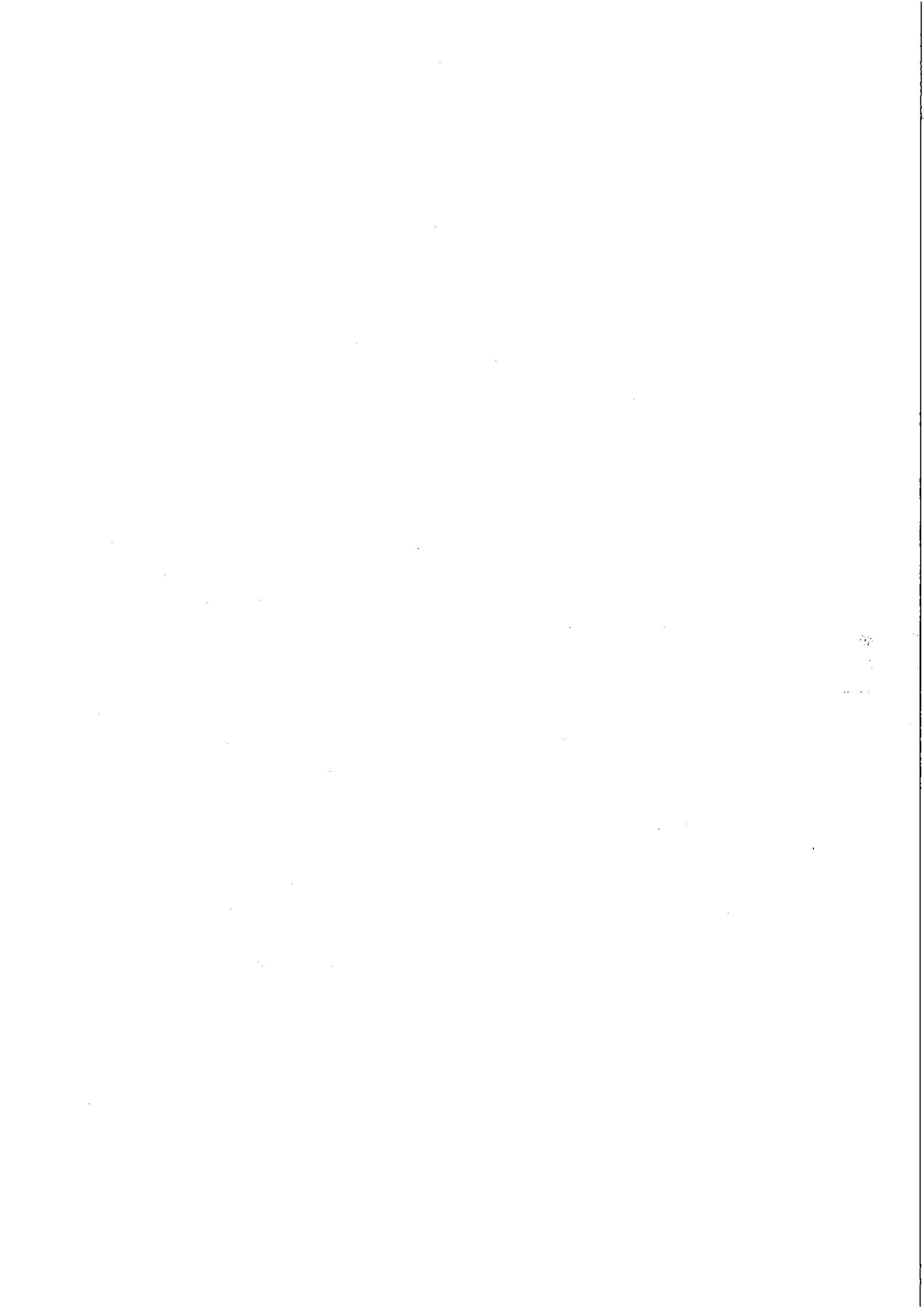
OM = Obstacle Mobile

Les plus pénalisants sont les chocs face à face qui représentent 31 % des cas de choc (soit 14 % des accidents de PL) ce qui est très important. Les chocs latéraux représentent 23 % des cas de choc. Les chocs se produiront à l'avant du PL dans 55 % des chocs contre un autre véhicule, à l'arrière du PL dans 29 % des cas et sur le côté dans 16 % des cas.

L'évaluation des dégâts au véhicule suite à un impact seul (sans incendie) a été réalisée sur la base des données des accidents de PL des années 1980 et 1981, car la variable "importance des dégâts au véhicule" n'existe que pour les camions citernes dans le dernier fichier des accidents de PL des années 1987-1989. Il en ressort qu'en cas d'impact (choc ou renversement), le dégât au PL est supérieur ou égal à 50% de destruction du PL dans 44 % des cas, dont 13 % de destructions totales.

Les accidents les plus pénalisants pour le PL sont les renversements ou les chutes (tableau 20). Il apparaît qu'un choc contre un obstacle fixe est plus destructeur pour le PL qu'un choc contre un obstacle mobile. En effet, une voiture même si elle arrive avec une énergie cinétique non nulle sortira d'un choc contre un PL plus froissée que le PL et absorbe le plus souvent elle-même sa propre énergie cinétique.

Les dégâts à l'emballage contenant la matière dangereuse indiquent que 66 % des impacts mécaniques sont suivis d'un épandage de matière y compris les fuites légères (tableau 21). En cas de renversement, l'épandage est plus fréquent, de l'ordre de 70 %. Il en est de même pour les cas de choc contre au moins un obstacle fixe et un obstacle mobile.

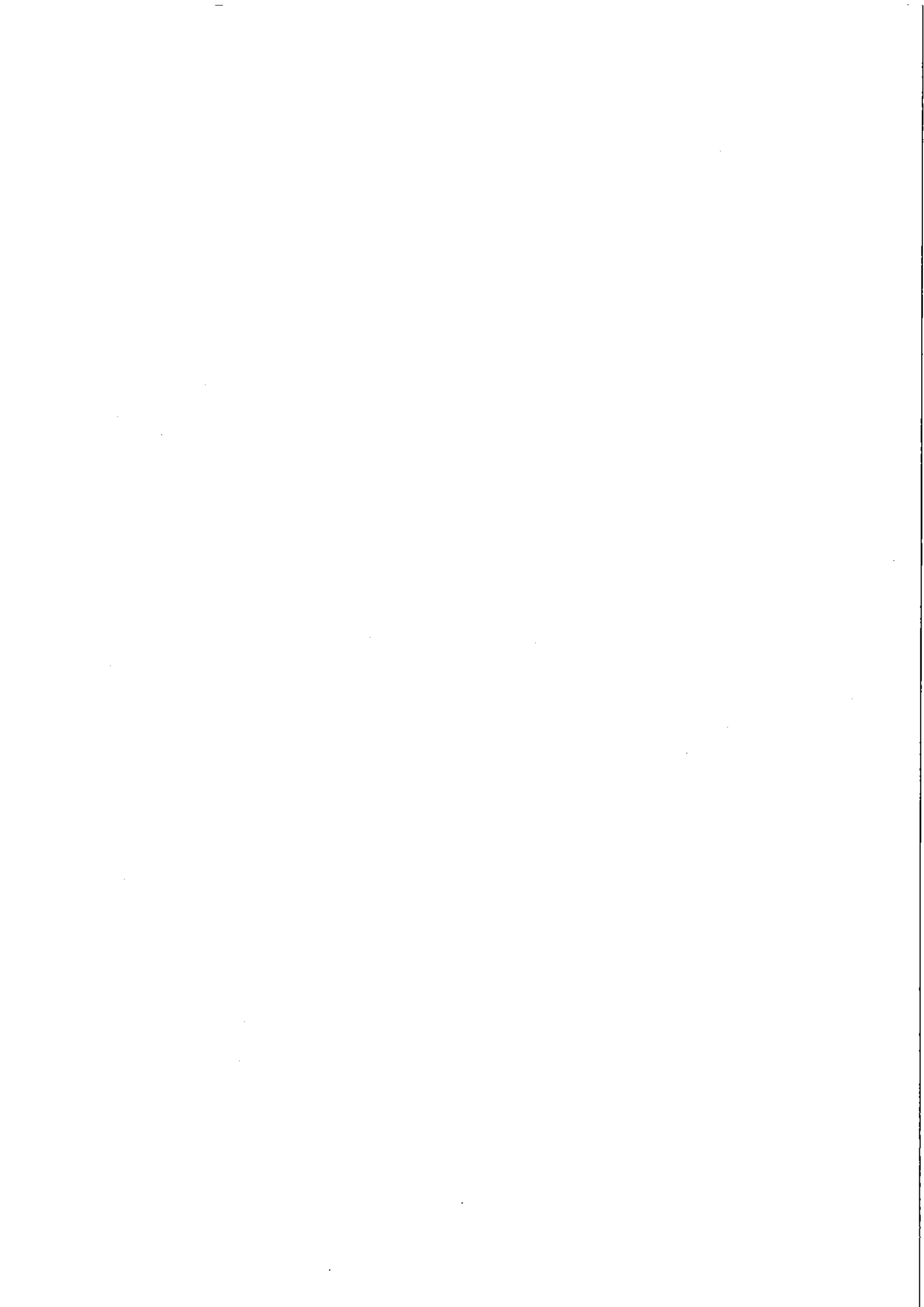


**Tableau 20 : Dégâts occasionnés au PLMD pour différents types d'accidents
(accidents de PL de 1980 - 1981)**

Type d'accident	Dégâts au poids lourd par type d'accident			Total	
	intact ou négligeable	partiel <50 %	≥50 %		
Renversement (sans choc)	9 %	23 %	69 %	100 %	
Choc contre un obstacle (sans renversement)	fixe	23 %	34 %	43 %	100 %
	mobile	57 %	24 %	19 %	100 %
	fixe + mobile	65 %	12 %	23 %	100 %
Choc + renversement	4 %	21 %	75 %	100 %	
Choc + renversement + chute	0 %	25 %	75 %	100 %	
Total (choc et/ou renversement)	32 %	24 %	44 %	100 %	

Tableau 21 : Dégâts occasionnés au colis transporté par le PLMD pour différents types d'accidents (accidents de PL de 1980 - 1981)

Type d'accident	Dégâts à l'emballage par type d'accident			Epanchage de matière dangereuse (colonne 3 + 4)	
	abîmé sans fuite, ni brèche	fuite par vanne ou orifice normalement fermé	brèche		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Renversement	25 %	37 %	33 %	(70 %)	
Choc contre un obstacle	fixe	38 %	15 %	38 %	(53 %)
	mobile	45 %	21 %	32 %	(53 %)
	fixe + mobile	12 %	37 %	37 %	(74 %)
Choc + renversement	24 %	32 %	41 %	(73 %)	
Choc + renversement + chute	0 %	0 %	100 %	(100 %)	
Total (choc et/ou renv.)	29 %	30 %	36 %	(66 %)	



Ce même travail a été réalisé pour les camions citernes, mais de fait 83 % des PLMD accidentés sont des camions citernes ou conteneurs citernes si bien que la répartition des dégâts aux PL citerne ou à la citerne est presque identique à celle de tous les PLMD. Le tableau 22 montre simplement que les fuites aux vannes (ou orifices naturels) suite à un choc double contre un obstacle fixe et un obstacle mobile sont nettement plus fréquentes que pour l'ensemble des PLMD.

Tableau 22 : Fréquence des dégâts occasionnés à la citerne d'un PLMD pour différents types d'accidents (accidents de PL de 1980-1981)

Type d'accident (1)	Dégâts à l'emballage par type d'accident			Rejet de matière (colonne 3 + 4) (5)
	abîmé sans fuite, ni brèche (2)	fuite par vanne ou orifice normalement fermé (3)	brèche (4)	
Renversement	26 %	40 %	33 %	(73 %)
Choc contre un obstacle				
fixe	45 %	9 %	41 %	(50 %)
mobile	46 %	23 %	31 %	(54 %)
fixe + mobile	17 %	50 %	33 %	(83 %)
Choc + renversement	26 %	36 %	38 %	(74 %)
Choc + renversement + chute	0 %	0 %	100 %	(100 %)

Les pourcentages sont exprimés pour un accident de type donné

En conclusion, plus de 90 % des accidents sont des impacts, les 10 % d'accidents restant sont des accidents triviaux ou des incendies. Parmi les impacts, 36 % présentent des dommages notables au chargement (brèches) et 66 % des fuites. Les impacts les plus sévères du point de vue du chargement sont les chocs associés aux chutes ou aux renversements ou simplement aux impacts contre un obstacle fixe.

5.2.3. Les probabilités de perforation

Les paramètres accessibles caractérisant un effort de perforation peuvent se ramener au rayon de l'objet perforant et à la vitesse relative du colis par rapport à cet objet perforant.

Les sources de perforation peuvent être classifiées en une dizaine d'objets détaillés sur le

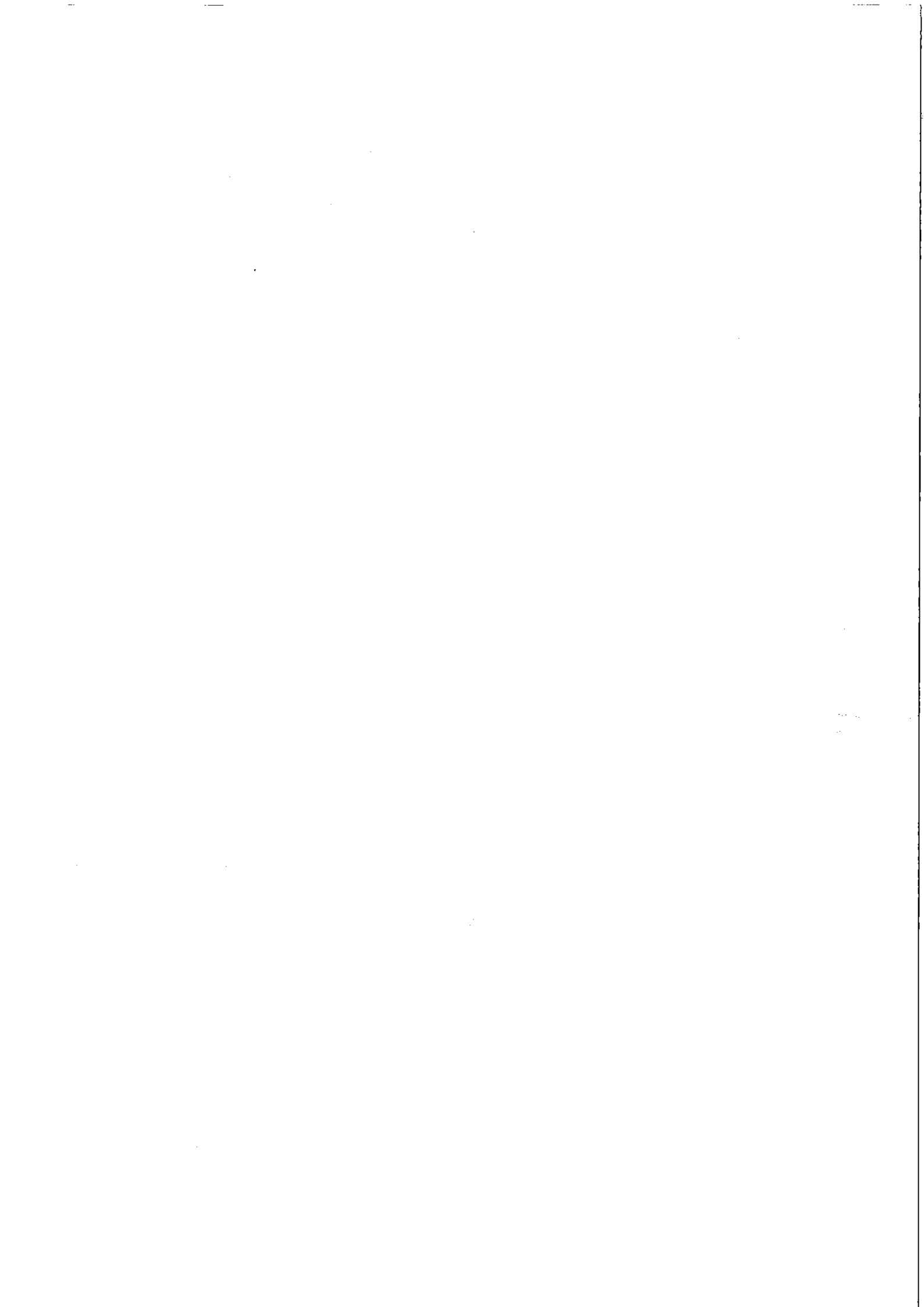


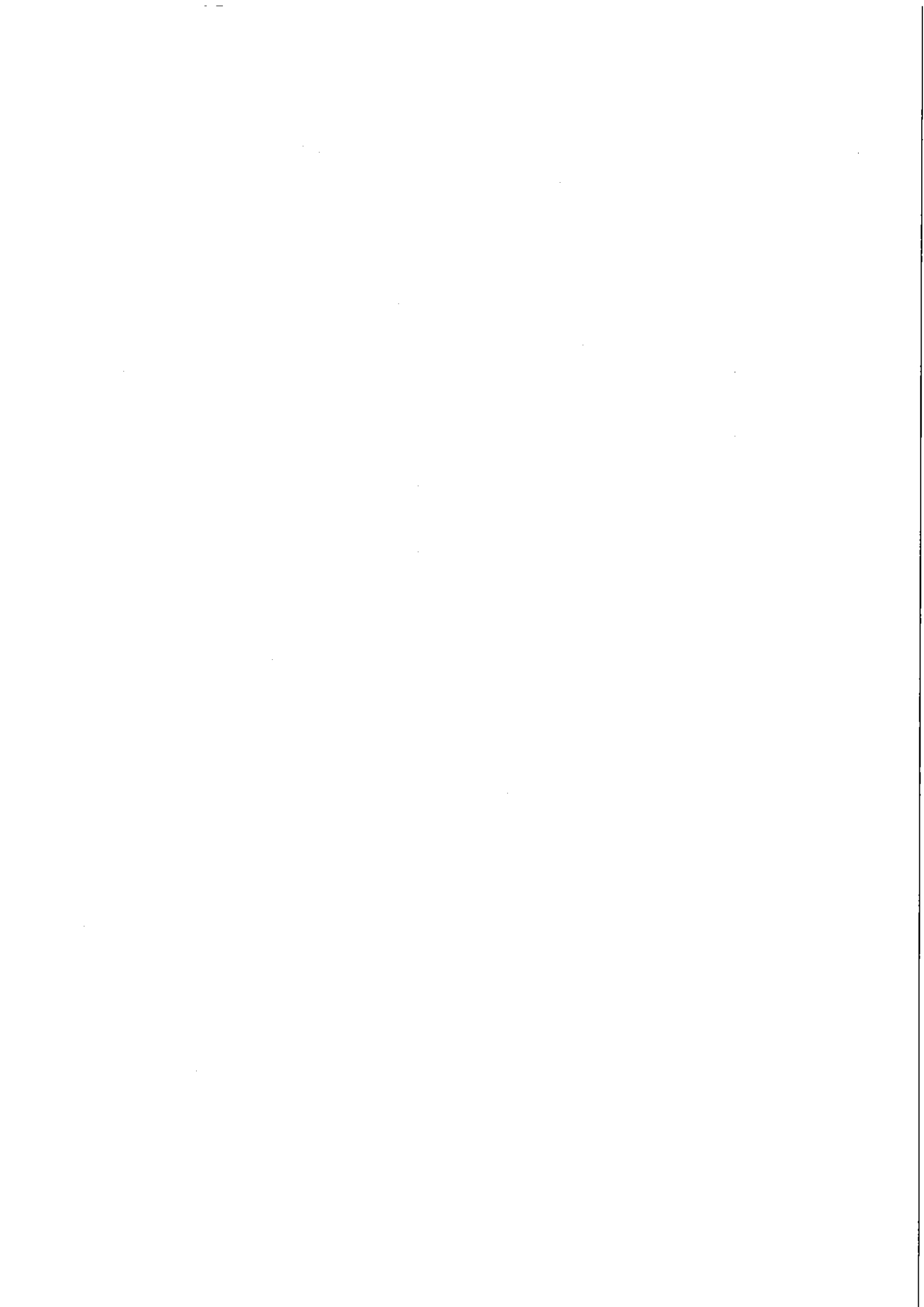
tableau 23 qui indique également une fourchette de valeurs pour le rayon d'un objet cylindrique perforant équivalent. Les objets perforants les plus rencontrés au cours des accidents sont associés aux autres véhicules, aux pierres, aux murs, aux poteaux.

Tableau 23 : Répartition des différentes sources de perforation (accidents de 1975) [CEPN 7]

Source	Effectif	Probabilité	Rayon [cm]
Rocher	4	0.07	5 - 10
Pont	2	0.03	0 - 5
Mur	10	0.17	0 - 5
Autre véhicule	17	0.28	5 - 15
Arbre	4	0.07	> 15
Poteau (EDF...)	6	0.10	10 - 15
Pierres (sols divers)	12	0.20	0 - 10
Trottoir	4	0.07	0 - 5
Bornes (supports glissières ...)	1	0.02	5 - 10
Total	60	1.00	

Chacune de ces catégories appelle un commentaire :

- En ce qui concerne les rochers, ce sont essentiellement des aspérités qui causent les perforations, et les diamètres sont variables mais plutôt faibles et inférieurs à 10 cm. Avec les ponts, on indique plutôt les piliers de pont, qu'ils s'agissent d'arêtes tranchantes ou d'assises. Dans ce cas, ainsi que dans celui des murs ou des bordures de trottoirs, on n'a pas à proprement parler affaire à un rayon de perforation mais plutôt à une arête coupante. On fait donc l'hypothèse d'un rayon très faible, inférieur à 5 cm.
- Les "autres véhicules" sont toujours des poids lourds ou des trains. Dans le premier cas, on a affaire à des longerons, ridelles ou éléments de châssis en forme de cornières qui s'apparentent assez bien à l'éperon en acier du test. Dans le second cas, ce sont les tampons des wagons du train qui causent la perforation.



- Avec les arbres et les poteaux, on est un peu dans le même cas. Deux situations peuvent se présenter : dans la première, on assiste à une déchirure sur une souche ou sur une base de pylône en béton ; dans le second cas, on assiste à une déchirure sur l'arbre ou le poteau après qu'il soit cassé ou plié.
- Les bornes kilométriques et les supports de glissières constituent des sources de perforation peu fréquentes mais assez meurtrières vu leur faible rayon.

L'estimation des rayons des différentes sources de perforations possibles conduit à la classification précisée sur le tableau 24.

Tableau 24 : Distribution du rayon des sources de perforation (accidents de 1975 et 1977) [CEPN 7 et 23]

Rayon (cm)	Effectif 1975	Effectif 1977	Probabilité
0 - 5	25	17	0.41
5 - 10	18	13	0.3
10 - 15	13	7	0.19
> 15	4	6	0.1
Total	60	43	1

Pour le paramètre vitesse, la grandeur prise en compte est la vitesse relative d'impact du véhicule sur l'obstacle. Nous faisons de plus l'hypothèse simplificatrice suivante (imposée par l'absence de données) : l'angle avec lequel le colis et l'objet perforant sont susceptibles de se rencontrer n'intervient pas. Cette hypothèse peut être considérée comme associée à celle de l'indépendance entre l'angle de perforation et les autres variables (V, R). L'hypothèse de base qui suppose que le conteneur entre en collision avec son obstacle à la vitesse du véhicule, constitue une approximation plutôt pessimiste, mais suffisamment proche de la réalité. Les vitesses ainsi obtenues ont été réparties en 11 classes selon le tableau 25.

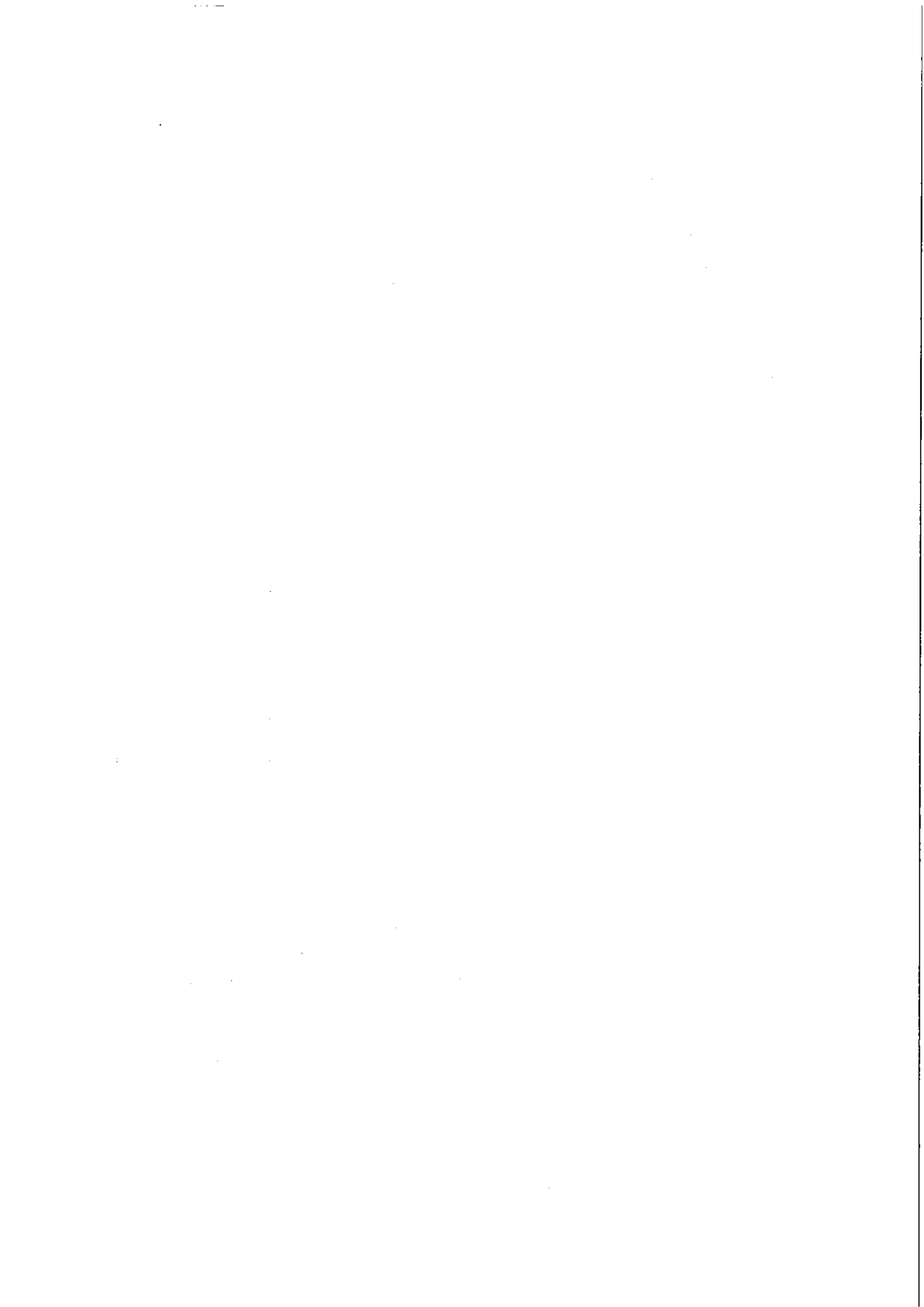


Tableau 25 : Répartition des vitesses lors de la perforation [CEPN 23 et 181].

Vitesse (km/h)	Effectif 1977	Probabilité	Effectif 1987-89
0 - 10	0	0,000	0
10 - 20	3	0,070	0
20 - 30	6	0,140	2
30 - 40	5	0,120	
40 - 50	6	0,140	10
50 - 60	7	0,162	
60 - 70	6	0,140	10
70 - 80	4	0,090	
80 - 90	2	0,046	6
90 - 100	2	0,046	
> 100	2	0,046	0
Total	43	1	28

L'indicateur de gravité retenu est le rapport de la vitesse sur le rayon. Avec les 4 valeurs de rayon retenues (tableau 24) et 11 classes de vitesses (tableau 25), on obtient en tout 44 combinaisons des deux paramètres dont les valeurs du rapport V/R sont indiquées sur le tableau 26. Le même croisement peut être fait pour évaluer non plus la valeur de V/R mais la distribution, indiquée sur le tableau 27. L'ensemble de ces données conduit au tracé de la courbe figure 15 permettant de relier de façon plus "conviviale" la valeur de l'indicateur V/R à la probabilité d'occurrence d'accident ayant lieu en présence d'objet perforant.

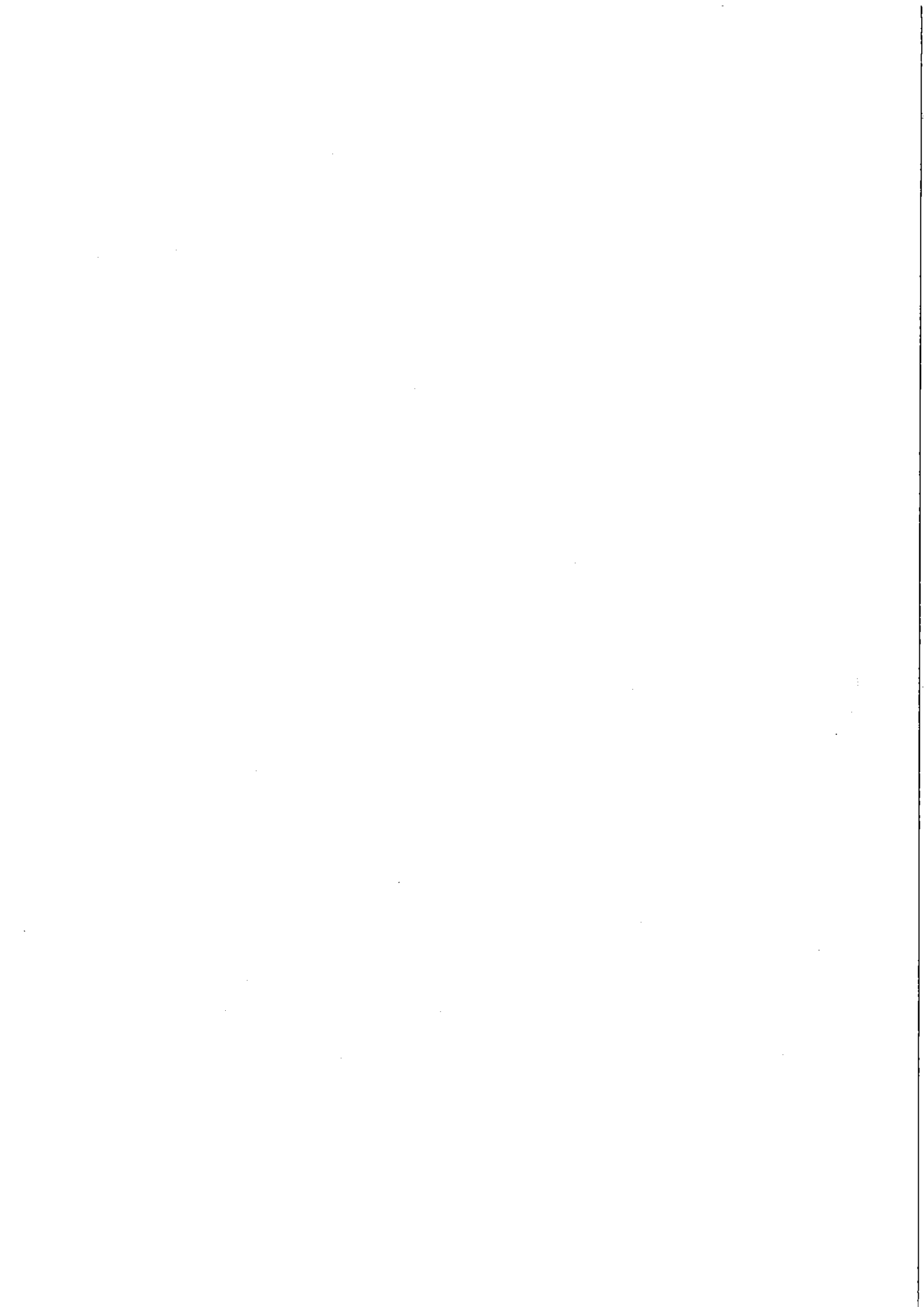
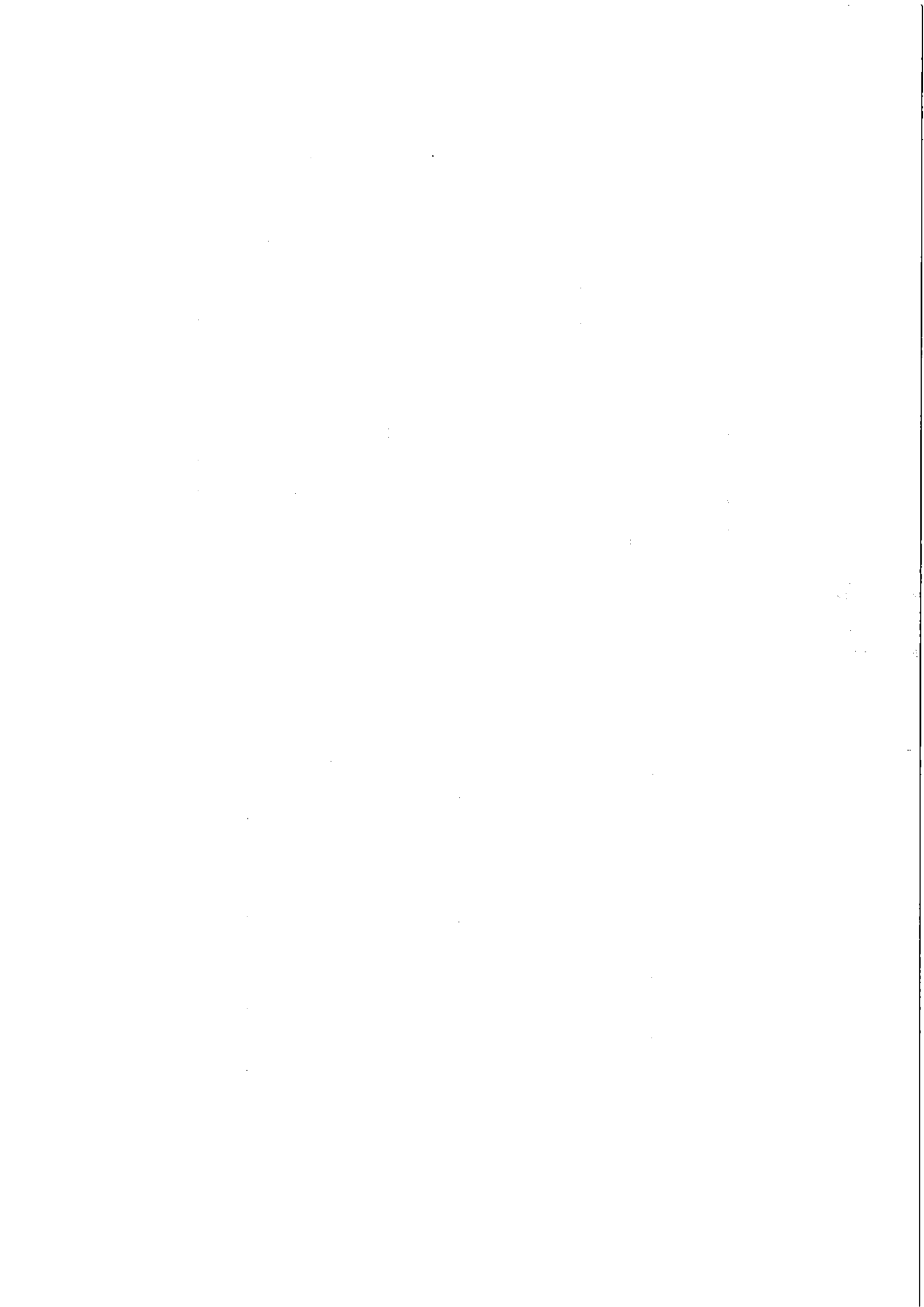


Tableau 26 : Ensemble des valeurs prises par l'indicateur V/R[(km/h)/mm].

Vitesse (km/h)	V/R en fonction du rayon (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	> 15
0 - 10	0,20	0,10	0,07	0,05
10 - 20	0,40	0,20	0,13	0,10
20 - 30	0,60	0,30	0,20	0,15
30 - 40	0,80	0,40	0,27	0,20
40 - 50	1,00	0,50	0,33	0,25
50 - 60	1,20	0,60	0,40	0,30
60 - 70	1,40	0,70	0,47	0,35
70 - 80	1,60	0,80	0,53	0,40
80 - 90	1,80	0,90	0,60	0,45
90 - 100	2,00	1,00	0,67	0,50
> 100	2,40	1,20	0,80	0,60

Tableau 27 : Distribution de l'indicateur de perforation

V/R	Distribution de l'indicateur de perforation
0,05 - 0,2	0,10
0,25 - 0,4	0,24
0,45 - 0,6	0,21
0,65 - 0,8	0,14
0,9 - 1	0,09
1,2	0,08
1,4	0,05
1,6	0,03
1,8	0,02
2,0	0,02
2,4	0,02
Total	1,00



5.2.4. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte mécanique

Pour le calcul des énergies disponibles lors d'un choc, il est nécessaire de connaître la masse du poids lourd et celle de son chargement. Nous avons donc réalisé les calculs pour un PL de 35 t transportant un colis de 2 t correspondant au poids d'un FS47 utilisé pour le transport du plutonium. Les calculs consistent à appliquer au colis toutes les conditions de choc de tous les accidents rencontrés dans le fichier des accidents de 1980-1981. La distribution des énergies de la figure 13 est donc liée aux 350 accidents du fichier ayant impliqué des chocs. La figure 13 présente deux courbes, l'une (colis de 2 t épargné par le PL.) représente la répartition de l'énergie pouvant être encaissée par le colis transporté si celui-ci n'est pas agressé par le PL, l'autre (colis agressé par un PL de 35 t) représente aussi la répartition de l'énergie pouvant être encaissée par le colis mais cette fois dans le cas où il serait agressé par le PL. (Dans ce cas, la masse du PL n'intervient pas). Les hypothèses retenues sont acceptables entre $5 \cdot 10^4$ et 10^6 joules. En-deçà, il faudrait affiner les chocs avec les véhicules légers, car l'approche permet de retrouver les énergies quoiqu'en les majorant souvent, en négligeant le rôle protecteur du camion pour le colis. Au-delà, il faut considérer la possibilité que la masse du camion ou du chargement réel puisse s'appliquer au colis. Si l'on suppose, par exemple, que la totalité de l'énergie d'un véhicule de 35 t peut s'appliquer au colis dans 1 accident sur 100, ceci laisse pratiquement inchangée la probabilité de dépasser 0,5 MJ, mais celle de dépasser 10 MJ cesse d'être nulle.

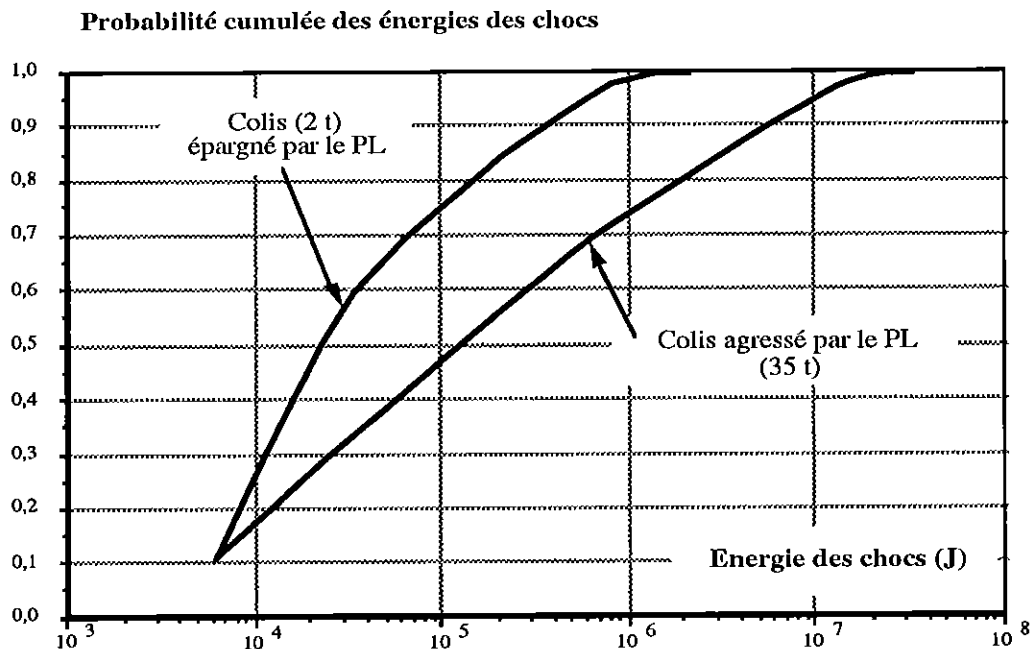
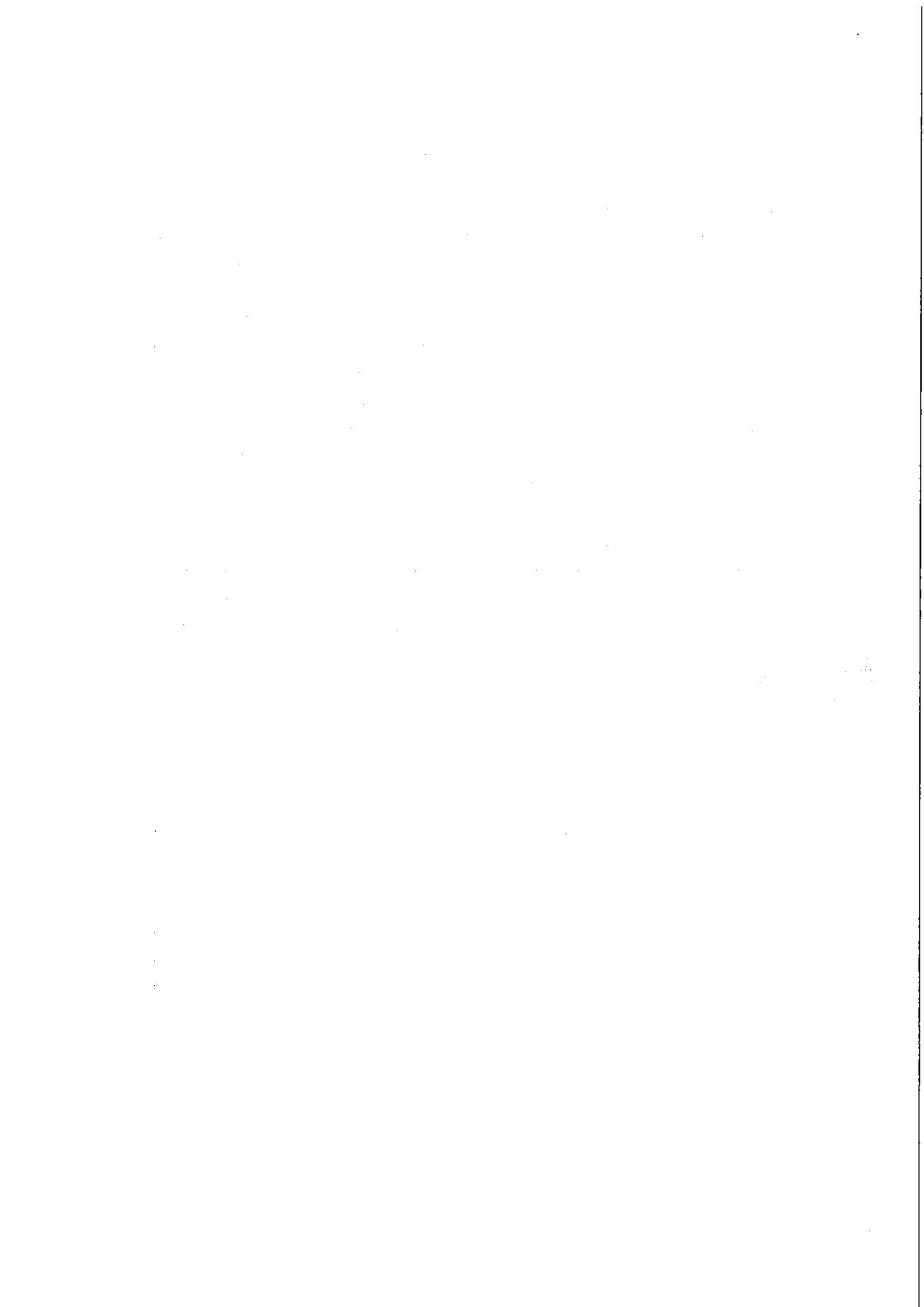


Figure 13 : Probabilité cumulée par choc pour que l'énergie du choc soit inférieure à l'énergie indiquée



Dans la plage d'énergie évoquée ci-dessus, la courbe figurée pour un colis de 2 t représente donc une estimation jugée réaliste. La courbe relative au véhicule entier (35 t, colis agrégé par le PL) fournit une estimation par excès. Si maintenant, le colis transporté a un poids différent de 2 t, ces courbes permettent tout de même d'avoir l'allure générale de la répartition des énergies ainsi qu'une fourchette de valeurs entre 2 et 35 t.

Les valeurs des énergies ne sont pas toujours très explicites, aussi nous avons calculé, dans le cas d'une chute libre d'un colis de 2 t sur une surface rigide, les énergies libérées pour différentes hauteurs de chute et la vitesse correspondante du colis au moment de l'impact au sol (tableau 28). Ainsi, le test de chute libre (9 m) pour l'agrément des colis B⁽¹⁾, libère une énergie de $1,76 \cdot 10^5$ J. 82 % des impacts seraient couverts par des colis de type B.

Tableau 28 : Energie libérée lors d'une chute libre d'un colis de 2 t sur une surface rigide (vitesse d'impact et hauteur de chute correspondant aux énergies).

Energie [J]	Pour un colis de 2 t		Hauteur de chute [m]	Proba. de choc libérant une énergie inférieure aux valeurs indiquées par choc
	Vitesse d'impact [m/s]	[km/h]		
10^4	3	11	0,5	0,26
10^5	10	36	5	0,74
$1,76 \cdot 10^5$	13	48	9	0,82
10^6	32	114	51	0,98
$2 \cdot 10^6$	45	161	102	0,99
10^7	100	360	510	1

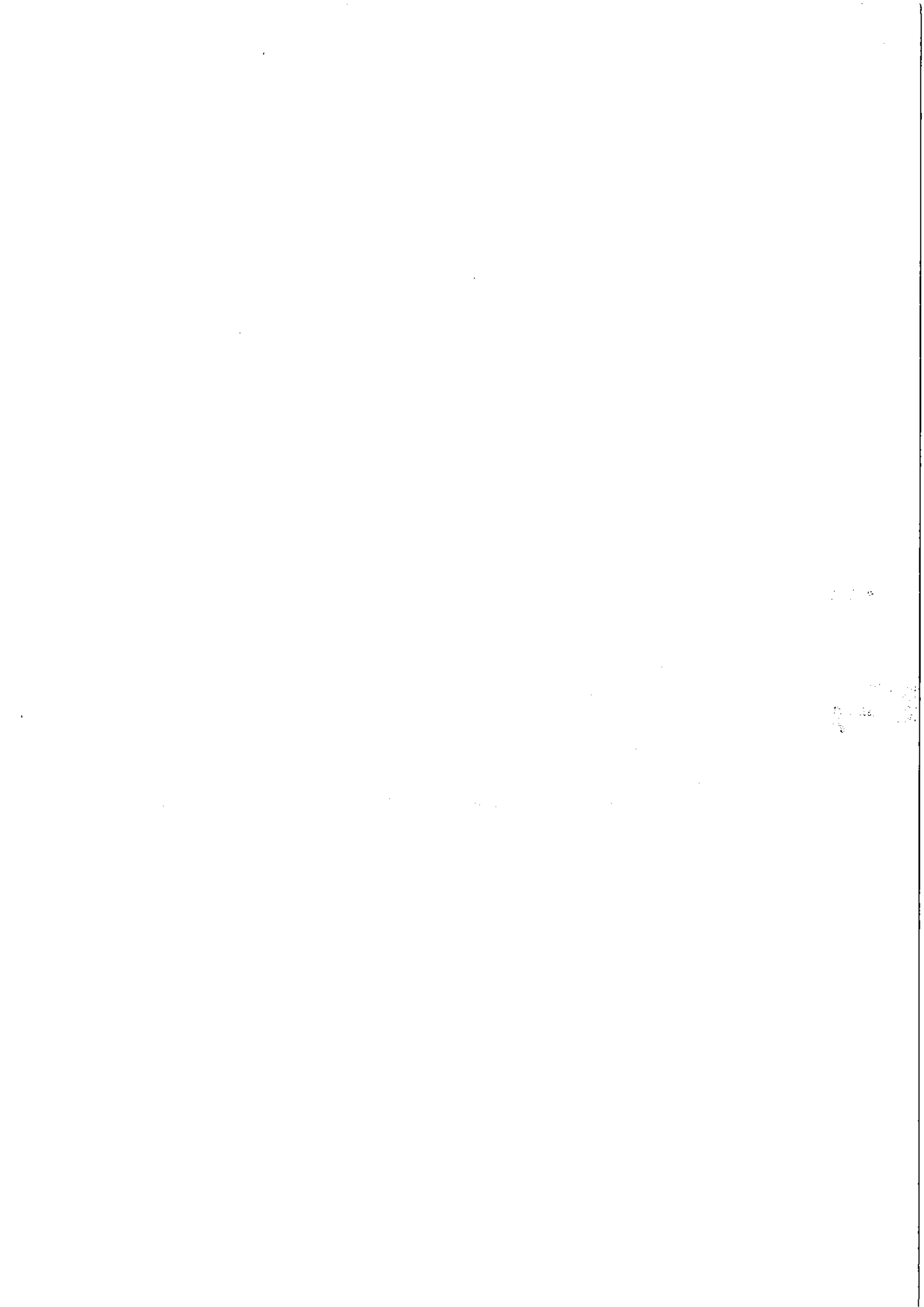
En conclusion, le tableau 29 récapitule les probabilités d'épandage des divers types d'impact mécanique et les probabilités d'occurrence d'un choc libérant une quantité d'énergie donnée. Le taux de brèche varie peu de 32 à 41 % selon les différents types d'accident. Le taux de fuite par les orifices naturels du colis (trou d'homme, vanne,...) est plus dépendant du type d'accident ; en cas de renversement ou de choc contre deux obstacles fixe et mobile, il est nettement plus important.

(1) Un colis de type B est un colis utilisé pour transporter certaines matières radioactives. Ces colis sont particulièrement solides. Ils doivent résister à une chute de 9 m sur cible rigide, à une chute de 1 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre, à une épreuve d'écrasement par une masse de 500 kg chutant de 9 m sur le colis, à un feu de 800°C durant 30 minutes et à une immersion dans l'eau durant au moins 8 h à 15 m de profondeur.

Tableau 29 : Probabilité d'épandage des divers types d'impact mécanique et probabilité d'occurrence d'un choc libérant une quantité d'énergie donnée.

Type d'événement accidentel sans feu	Proba. d'occurrence par accident	Proba. d'épandage par événement		Proba. de brèche par accident	Proba. de choc libérant une énergie supérieure aux valeurs indiquées par choc				
		toutes fuites	brèches		10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	
Choc contre obstacle :									
Fixe	0,16	0,53	0,38	0,06)				
mobile	0,27	0,53	0,32	0,08)				
Fixe + mobile	0,05	0,74	0,37	0,01)	0,74	0,26	0,02	0
Renversement seul	0,18	0,7	0,33	0,05)				
Renversement associé	0,19	0,73	0,41	0,08)				

Autre type de résultat, la [figure 14](#) présente les résultats de l'ajustement d'une loi exponentielle sur les ruptures des citernes à hydrocarbure. Elles correspondent aux fuites supérieures à 1% du contenu, observées en cas de choc. Les scénarios d'arrachage de vannes et de défaillances des pièces d'étanchéité sont donc inclus dans la définition de la rupture considérée ici. On note que l'ajustement n'est pas excellent, dans la mesure où la fréquence observée croît très lentement avec l'intensité des chocs. A 10⁴ joules on observe déjà 10% de rupture, entre 5.10⁴ et 5.10⁶, le taux reste autour de 50% pour passer à 100% au-delà. Plus "raide" que la distribution observée, mais évidemment moins raide qu'une loi à seuil, la loi exponentielle nous a semblé assez réaliste.



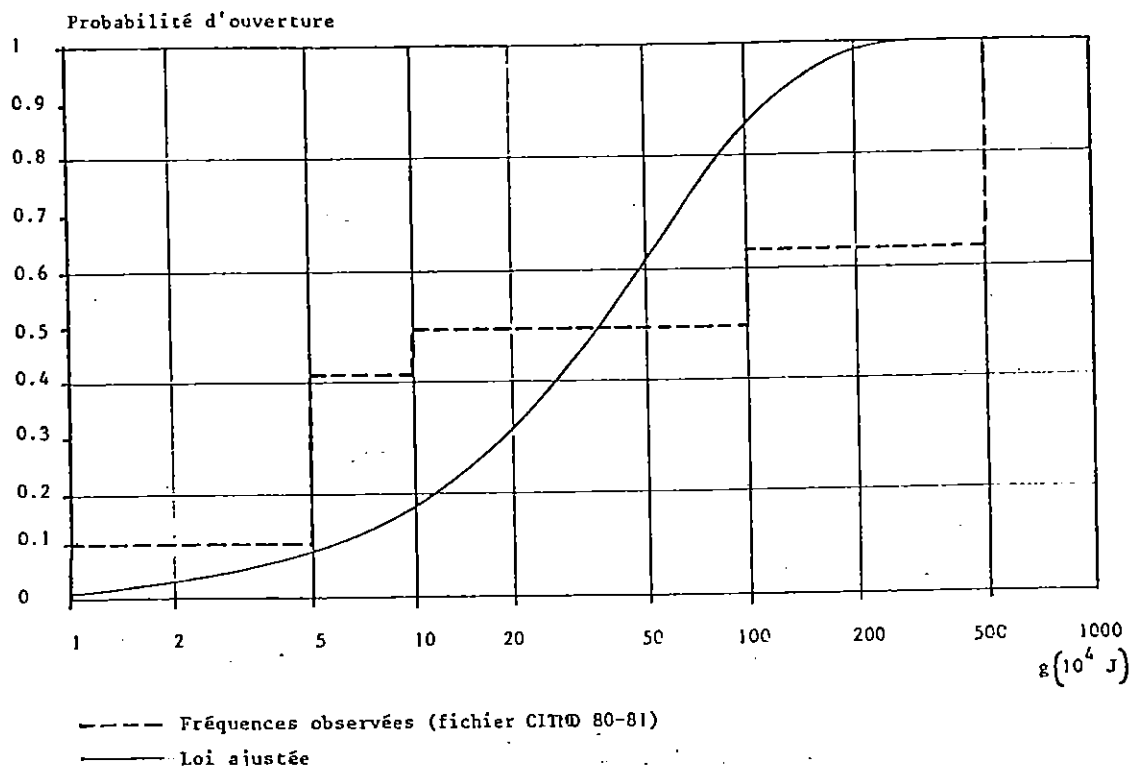
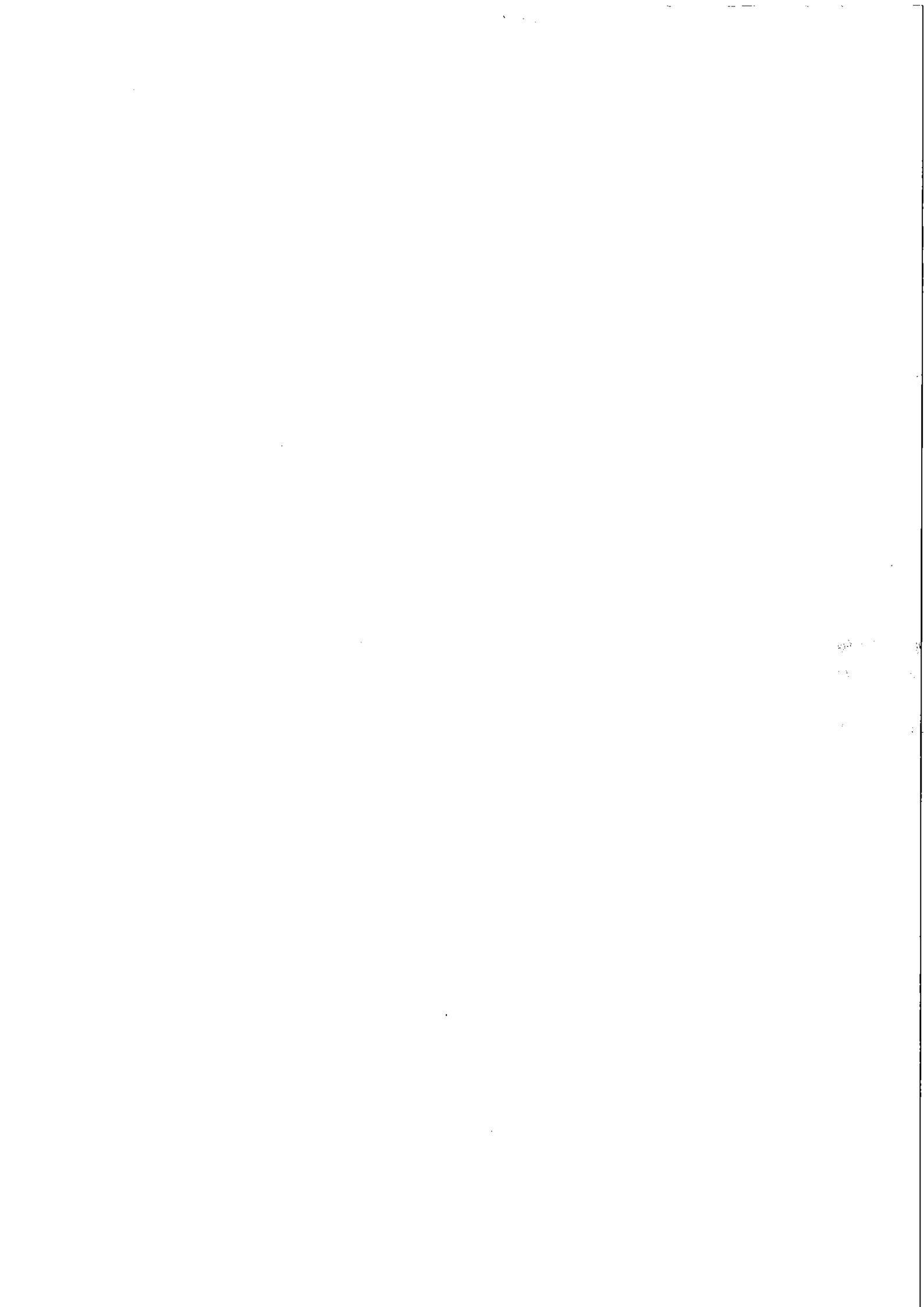


Figure 14 : Ajustement d'une loi de défaillance exponentielle sur les taux de fuite de citernes à hydrocarbure liquide

5.2.5. Répartition de la gravité des accidents selon le niveau de contrainte de perforation

Dans 25 % des accidents environ, les PL subissent une perforation. Le tracé de la répartition de la gravité des perforations est représenté sur la figure 15. Le test de perforation nécessaire à l'agrément d'un colis de type B est une chute de 1 m (soit 16 km/h de vitesse à l'impact) sur un poinçon de 15 cm de diamètre, soit un rapport V/R de 0,21 km/h.mm. Les colis de type B soumis à une perforation en situation accidentelle seront donc épargnés dans au moins 20 % des cas. Il faudrait un colis résistant à une chute de 5,5 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre pour couvrir au moins 50 % des accidents associés à des perforations.



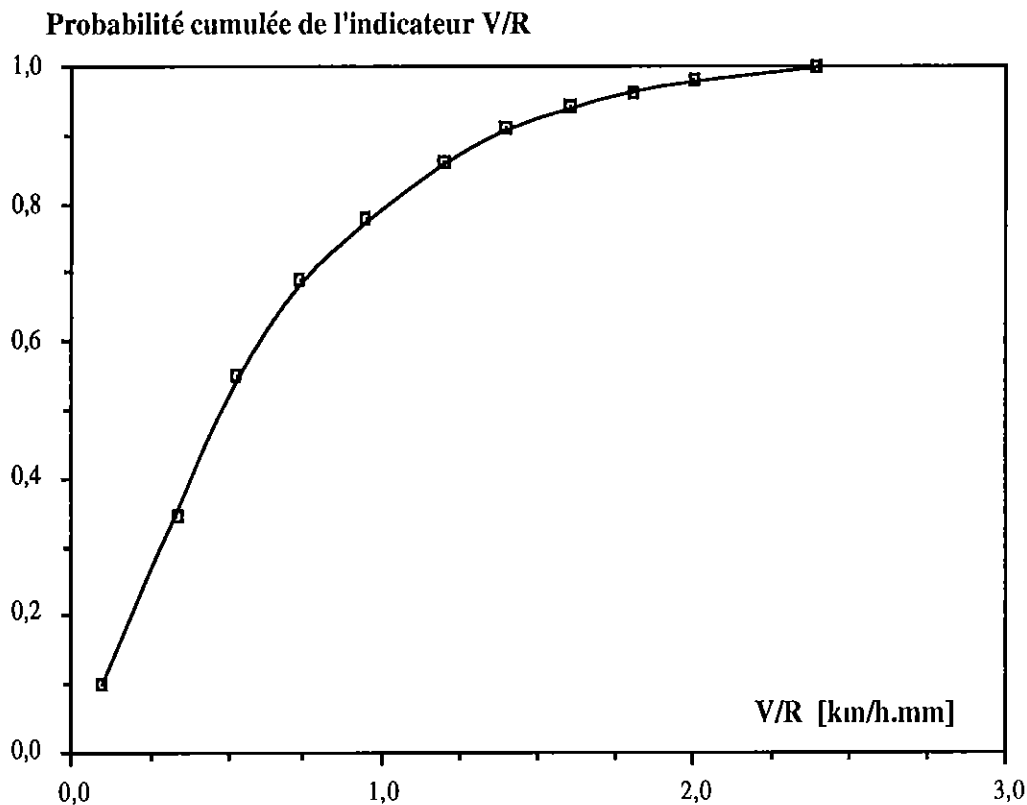
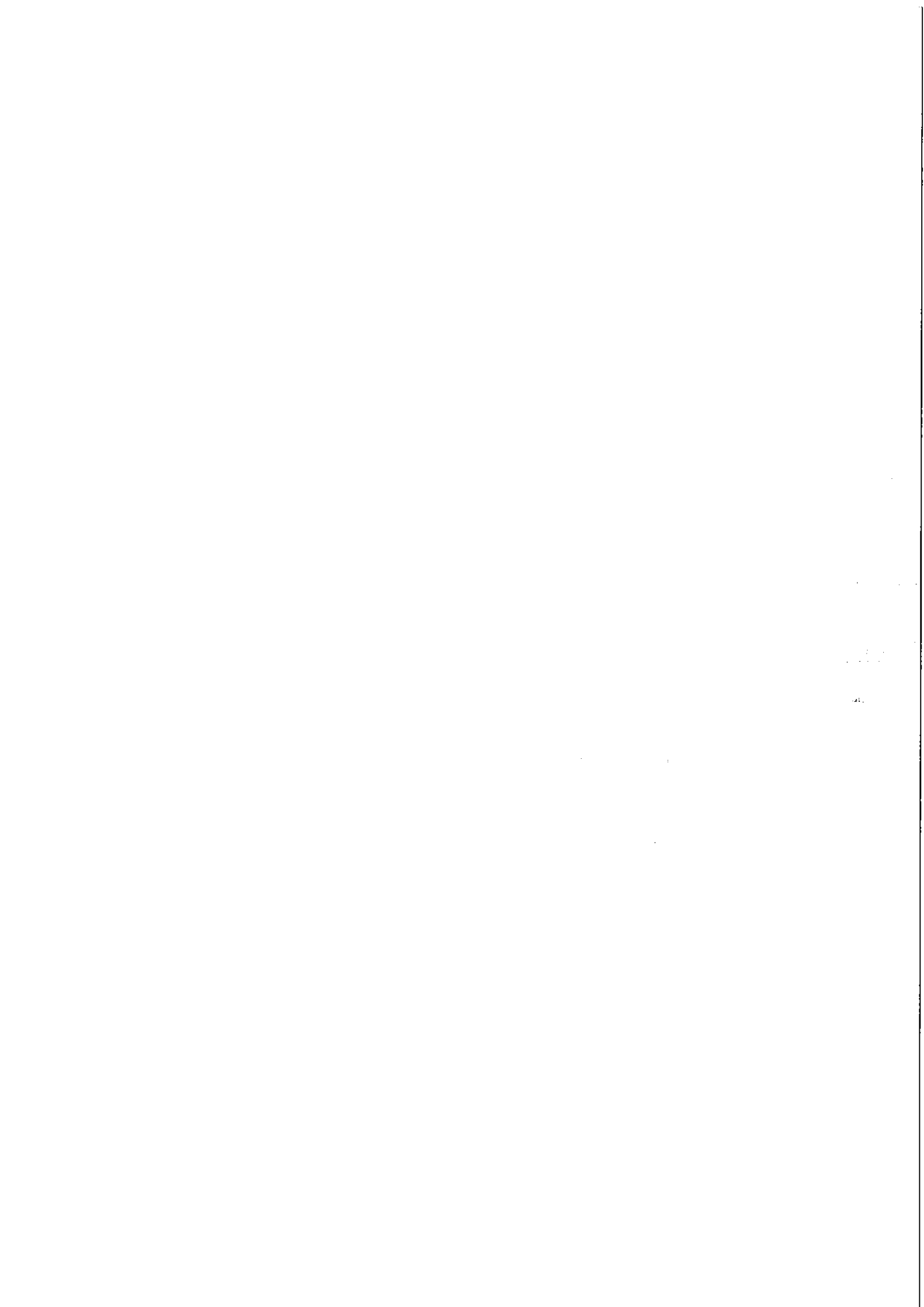
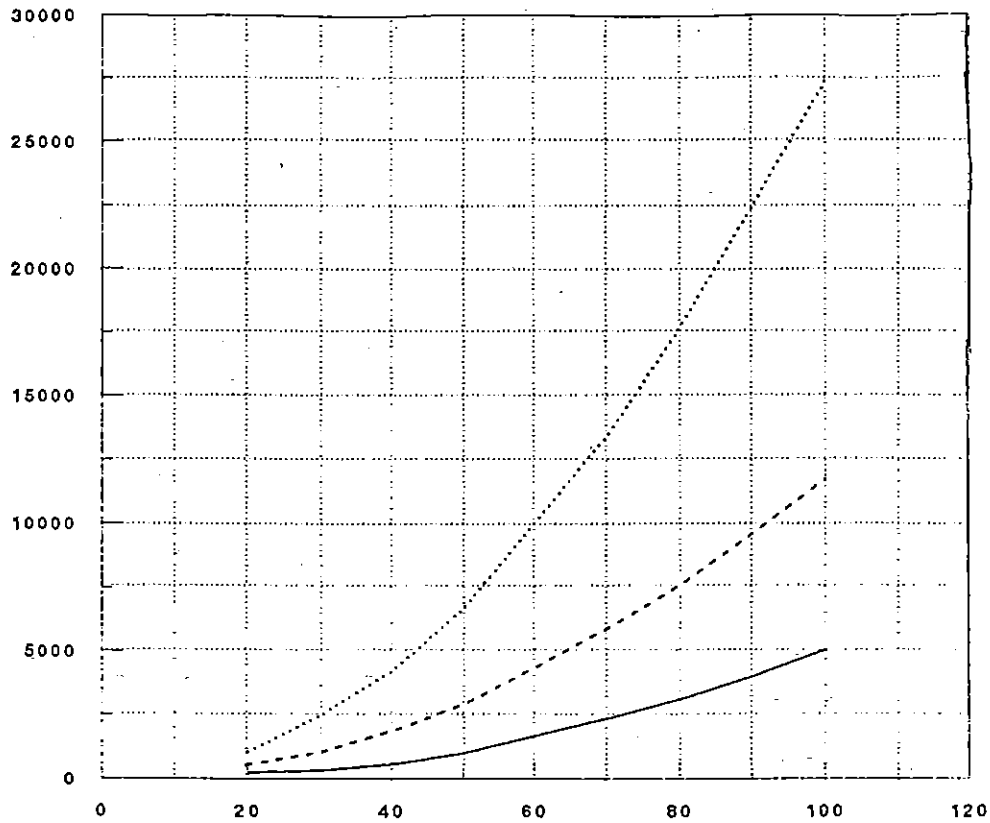


Figure 15 : Probabilité cumulée d'occurrence d'accident avec perforation associée à la valeur de l'indicateur V/R (en km/h.mm).

Une étude du Bureau Veritas [VERITAS] sur le poinçonnement des citernes a montré expérimentalement qu'en appuyant sur la paroi d'une citerne en acier inoxydable de 3 mm d'épaisseur avec une bille de 100 mm de diamètre, il faut fournir une énergie de 275 kJ pour entraîner une rupture de la citerne (figure 14). Cette énergie correspond à celle que pourrait avoir un PL de 35 t percutant un poinçon à 14 km/h. Vu le poids d'un camion, il apparaît que les citernes ne sont pas très résistantes au poinçonnement.



Energie (Joules)



Matériaux constituant la cuve

Diamètre de la bille (mm)

- Acier au carbone 3 mm ép.
- - - Alliage d'aluminium 4 mm ép.
- Acier inoxydable 3 mm ép.

Figure 14 : Evolution du travail des forces de déplacement au moment de la rupture en fonction du poinçon [VERITAS].

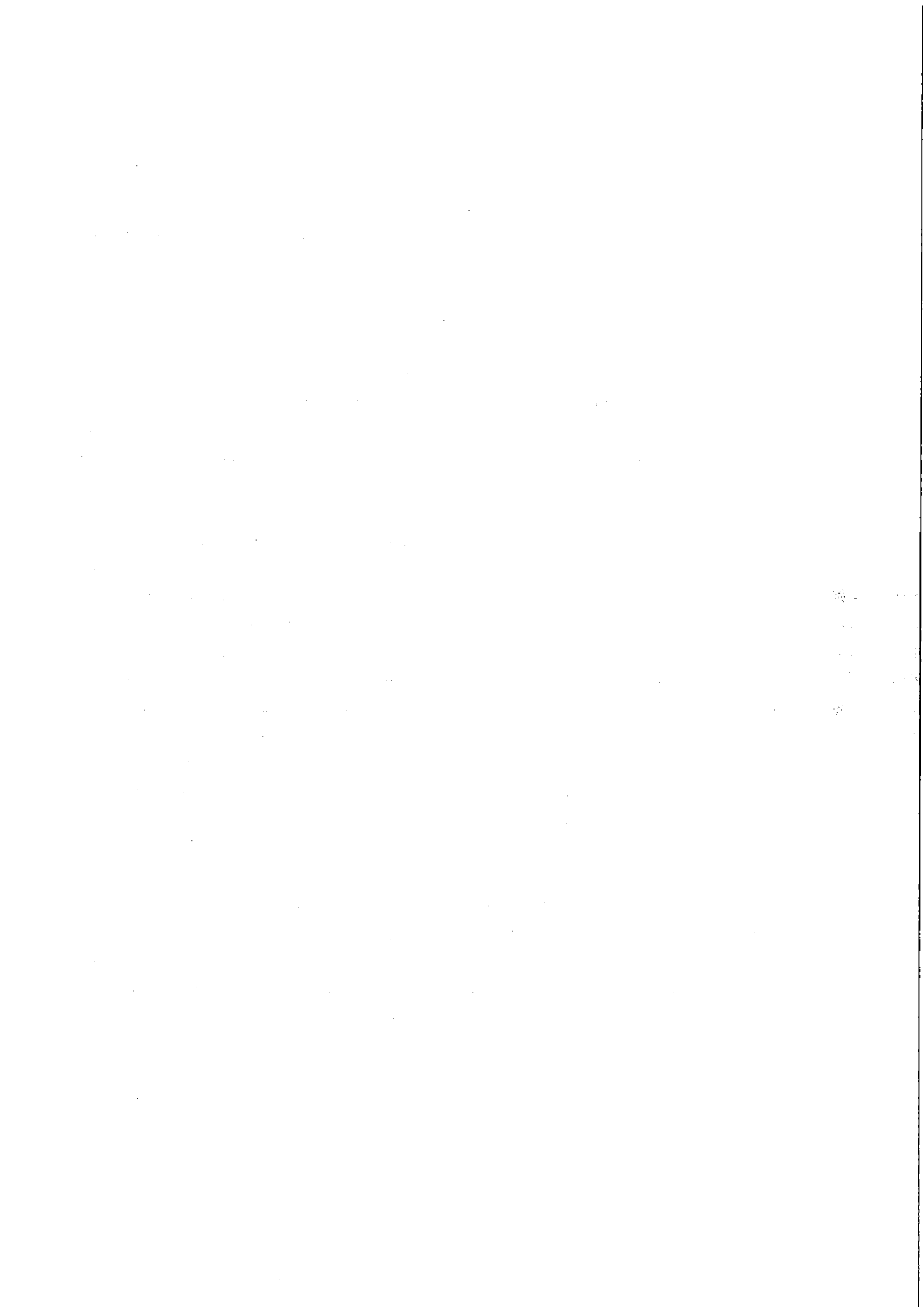
6. CONCLUSION

La recherche d'une description statistique des environnements accidentels associés aux transports routiers a été entreprise ici. De même, la distribution de la gravité des accidents par type d'événement a été estimée. Cette étude synthétise toutes les données relatives aux accidents de la route accumulées au CEPN depuis 15 ans. L'introduction du dernier fichier des accidents de 1987 à 1989 a permis de mesurer l'évolution temporelle de certains paramètres.

Les types d'accidents peuvent se résumer en trois catégories : les accidents triviaux, les incendies et les chocs ou les renversements. Sont considérés comme *accidents triviaux* les défaillances mécaniques, les sorties de route sans choc, et les chocs contre des piétons ou des deux roues, car ce type de choc n'implique pas de conséquence au niveau de la cargaison. Les accidents triviaux représentent environ 7 % des accidents de PLMD.

La probabilité d'*incendie* est stable depuis 1975 et représente 5 % des accidents. 30 à 40 % des incendies impliquent la destruction totale du chargement et l'épandage de matière s'observe en moyenne dans 70 % des incendies mais varie entre 40 et 75 % des cas selon le type d'accident, voire 100 % en cas de chute. Au vu de ces résultats et sous les hypothèses d'une exposition systématique du colis en cas de feu et d'une absence de marge de sécurité dans la réalisation d'une protection thermique, on voit que réaliser un colis capable de résister à un incendie pendant 1 heure éviterait à 60 % des incendies d'avoir des conséquences sur la matière dangereuse (80 % en cas de matière dangereuse ininflammable). La fonction de répartition de la durée de feu en fonction de la probabilité d'occurrence a une pente assez raide (*figure 7*) ce qui signifie qu'augmenter la résistance au feu d'un colis de transport permet d'augmenter rapidement le nombre d'accidents couverts.

Le dernier type d'accident concerne les *impacts mécaniques* qui représentent la grande majorité des accidents. La probabilité d'avoir un impact est de 0,92 par accident si on inclut également les impacts associés à un incendie. Si on ne considère que les impacts sans feu, ils se répartissent en renversement (20 % des accidents), en choc contre obstacle fixe ou mobile (45 % des accidents), en choc associé à un renversement (20 % des accidents) et en chute presque toujours associée à un choc ou à un renversement (2 % des accidents). Parmi les impacts, 36 % présentent des dommages notables au chargement (brèches) et 66 % des fuites même légères liées aux déformations des orifices naturels du colis. Les impacts les plus sévères du point de vue du chargement sont les chocs associés aux chutes, aux renversements ou simplement contre un obstacle fixe.



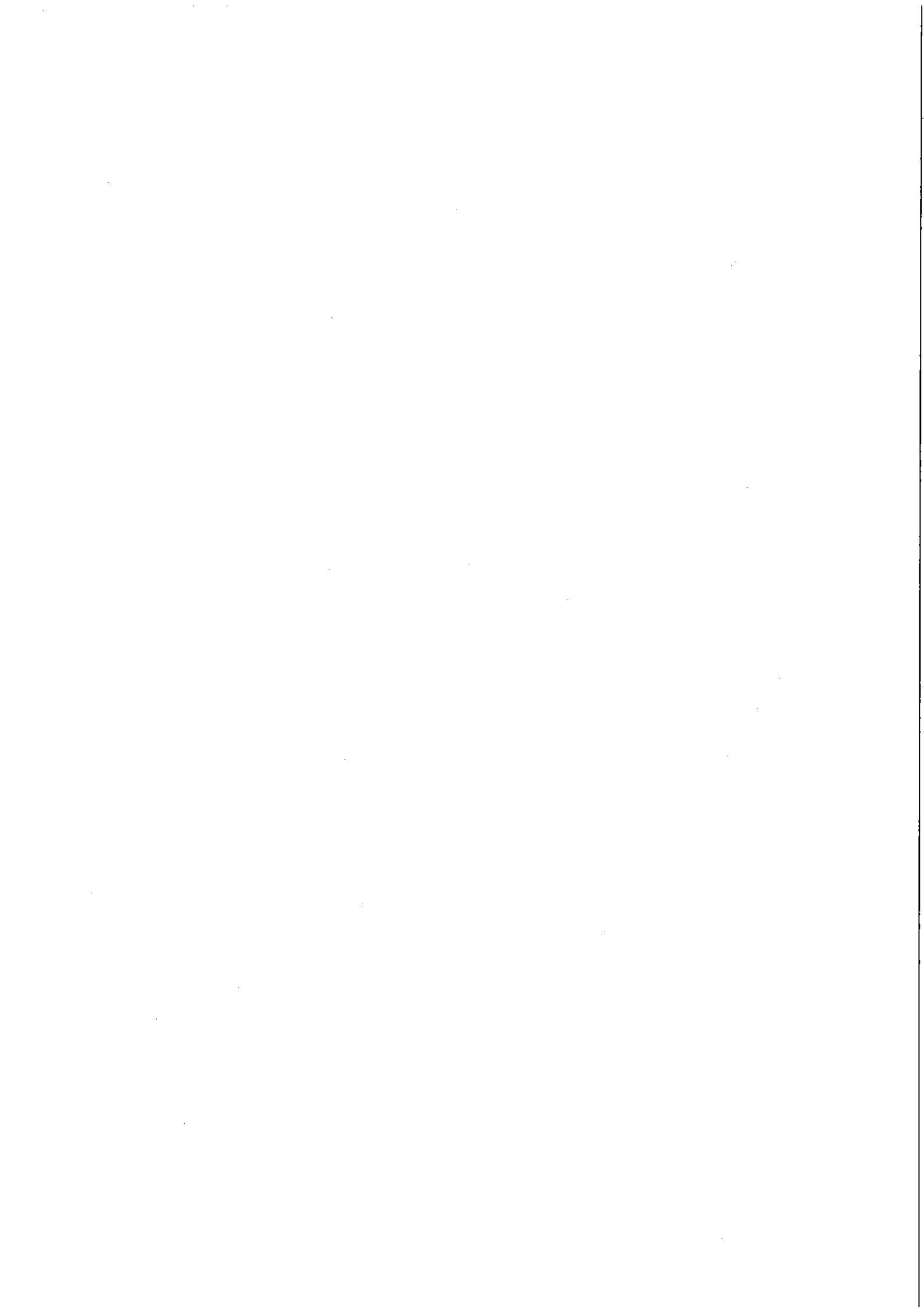
L'indicateur retenu pour évaluer la sévérité des impacts est la valeur de l'énergie mécanique libérée par l'accident en supposant que cette énergie soit entièrement utilisée pour endommager le colis. Dire qu'un colis résiste à une énergie de $1,8 \cdot 10^5$ J revient à dire que ce colis résiste à un impact à 50 km/h sur un mur rigide. Actuellement, 80 % des accidents de type impact libèrent des énergies inférieures ou égales à $1,8 \cdot 10^5$ J. Ces 80 % n'intègrent pas le fait que le colis puisse être protégé par le poids lourd ou écrasé par celui-ci, les deux effets pouvant d'ailleurs se compenser. D'autre part, des calculs ont été faits pour un colis moyen de 2 t, dans le cas d'un camion citerne de 35 t, ces 80 % se réduiraient à 55 % d'accidents couverts.

La pente de la fonction de répartition de l'énergie mécanique est moins sensible aux variations que celle de la durée de feu dans la mesure où l'effort nécessaire pour augmenter la résistance aux chocs d'un colis doit être nettement plus important pour obtenir le même gain en pourcentage d'accident couvert.

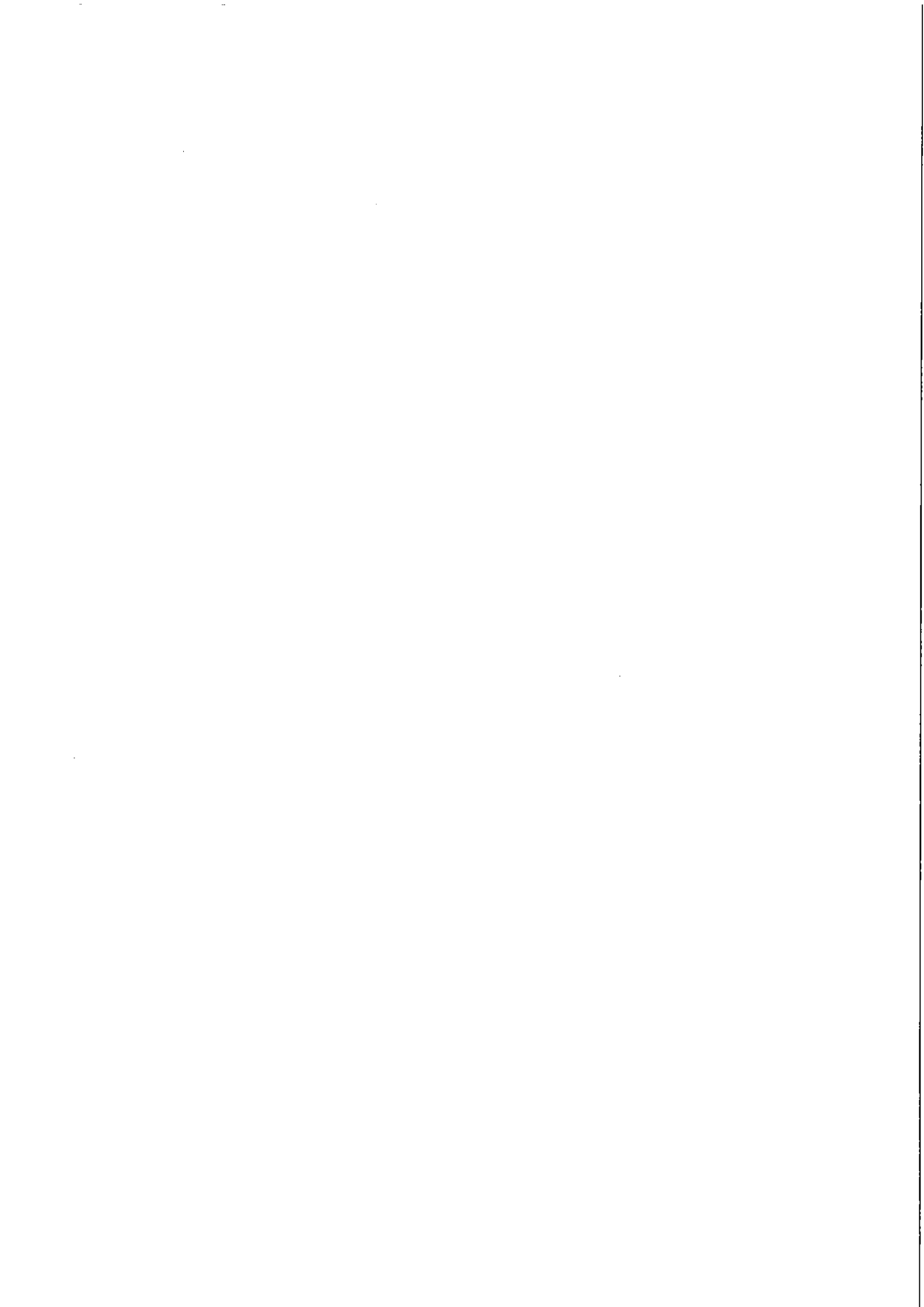
De plus, un colis peut être soumis à un autre type de contrainte, il s'agit d'une *contrainte de perforation* plutôt rencontrée dans le cas des renversements mais pas uniquement. 25 % des PL accidentés subissent une perforation liée à la présence d'un objet dit "perforant" qui peut être des pierres, des poteaux, des supports de glissières, des trottoirs, des arbres, ou d'autres véhicules. La gravité de ces perforations est quantifiée par le rapport de la vitesse du PL sur le rayon de l'objet perforant. Actuellement les colis dont l'agrément est le plus sévère sont les colis de type B utilisés pour le transport de certains produits radioactifs. Le test réglementaire demande qu'un tel colis résiste à une chute de 1 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre. D'après les statistiques, ces colis seraient épargnés dans au moins 20 % des cas de perforation liée à un accident routier. Il faudrait un colis résistant à une chute de 5,5 m sur un poinçon de 15 cm de diamètre pour que ce colis résiste dans au moins 50 % des accidents entraînant des perforations.

Cette étude a permis également de faire le point sur les taux d'accident de PLMD au kilomètre parcouru qui est en 1989 de 10^{-7} acci./véh.km sur autoroutes françaises. Il était de 10^{-6} acci./véh.km sur autoroutes en 1979. Le taux d'accident sur autoroute est 3 ou 4 fois plus faible que sur routes nationales. Nous constatons entre les différents fichiers d'accident de PLMD, un nombre croissant d'accidents de PLMD survenant sur autoroute 30 % en 1989 contre 23 % en 1983 et 11 % en 1976. Les autoroutes sont plus nombreuses et donc plus fréquentées par les PLMD.

Une telle étude permet de caractériser les accidents, d'évaluer les types de contraintes que subissent les PL ou les colis de transport et de voir dans quel domaine il est possible de faire des efforts pour augmenter la sûreté du transport des matières dangereuses. Aujourd'hui encore, la



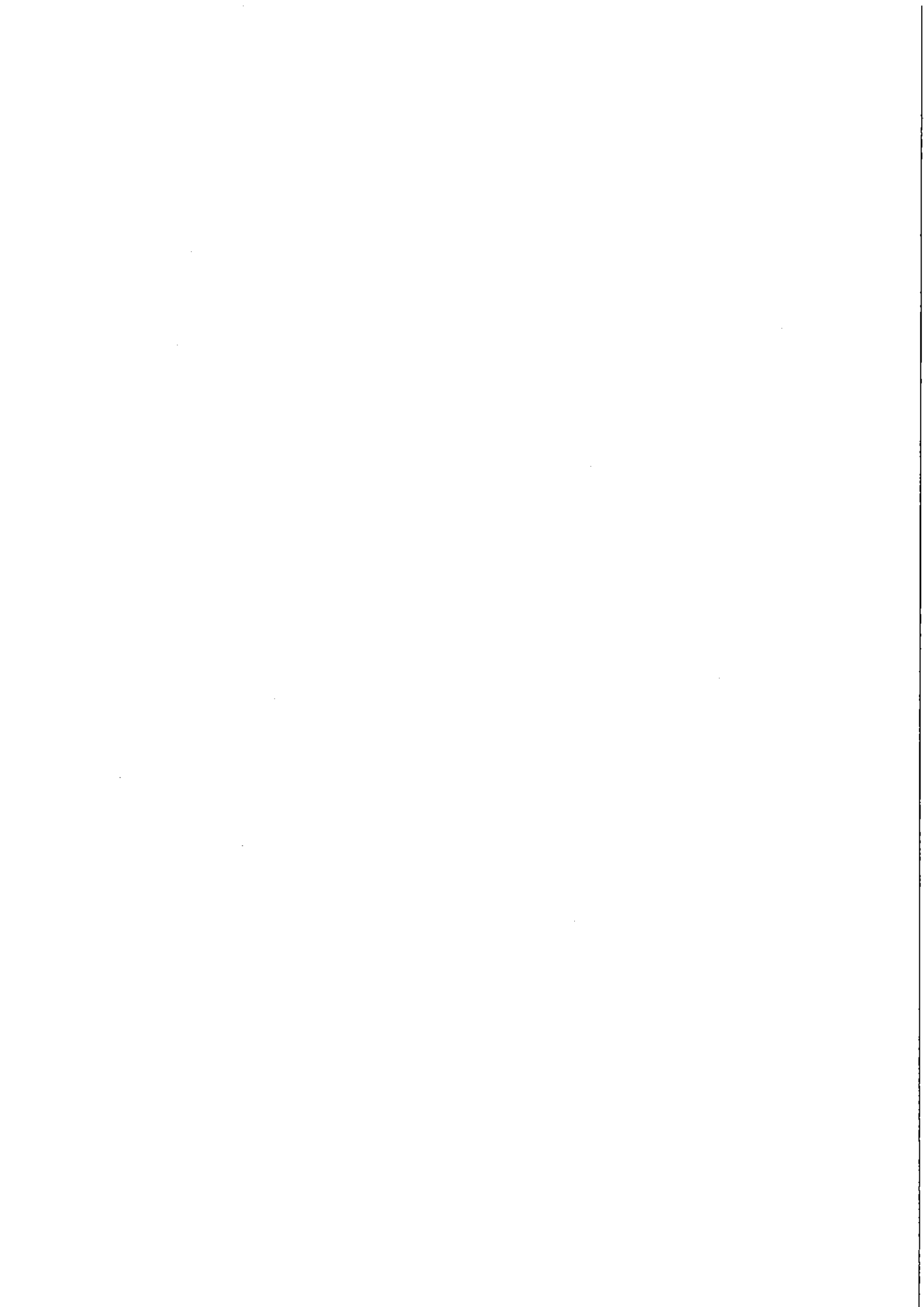
collecte des rapports d'accidents reste un élément indispensable au suivi de l'accidentologie. Cette collecte est assurée par le Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de l'Espace qui centralise et informatise l'ensemble des accidents routiers français impliquant des camions transportant des matières dangereuses.



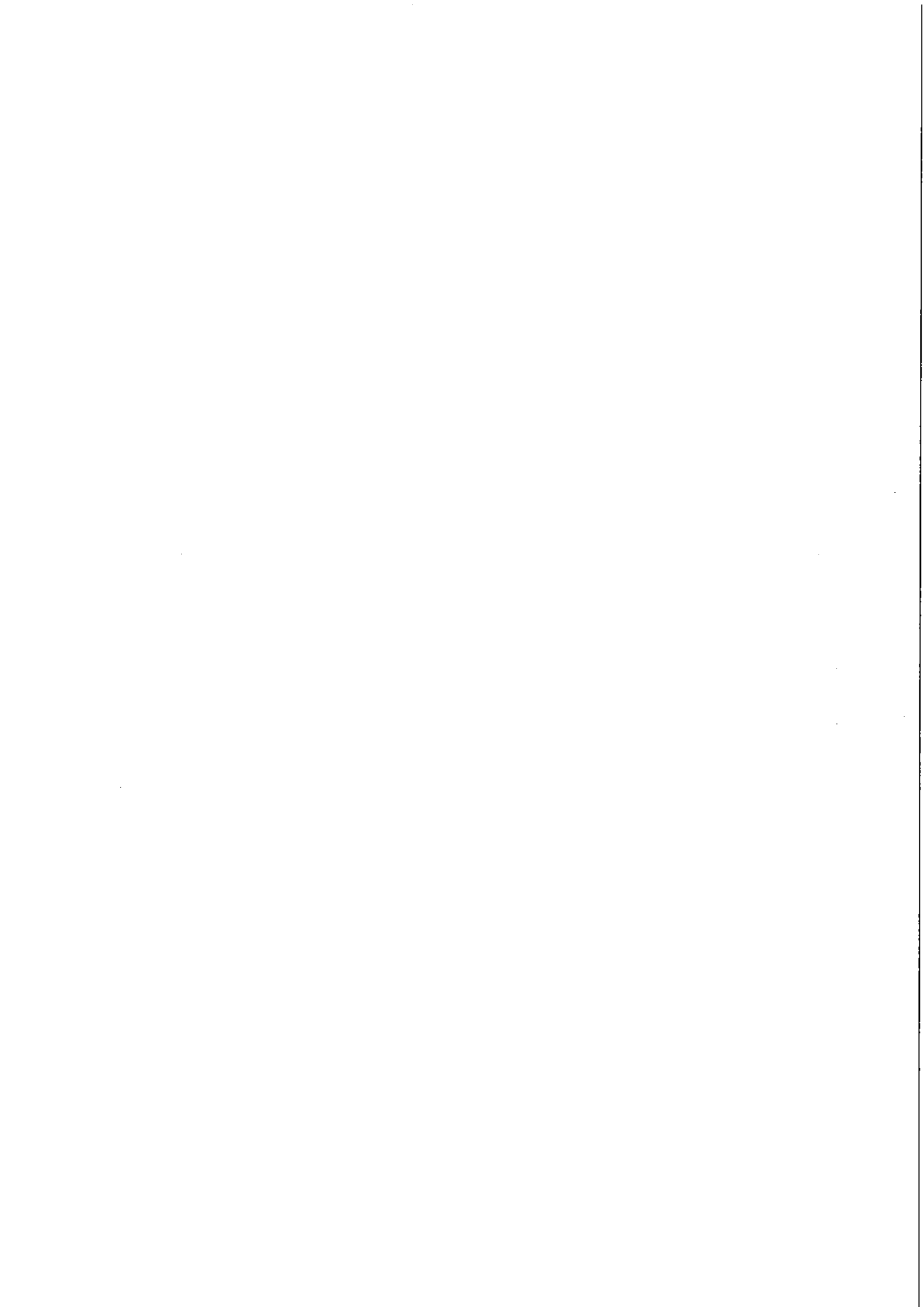


REFERENCES

- [BARNETT 77] P.G. Barnett, A.J. Brook, H. Lacheteau, H. Lucas : A comparison between three different methods for thermal testing a transport flask. U.K., AEA, RG 2993W, Avril 1977.
- [CEPN 7] T. Meslin, P. Pagès : L'évaluation de la sûreté des transports de matières radioactives : approche méthodologique et applications - 2ème partie. Avril 1978. Rapport CEPN n° 7.
- [CEPN 10] T. Meslin, P. Pagès : L'évaluation de la sûreté des transports de matières radioactives. Approche méthodologique et application. Annexe I : analyse du fichier "accidents de la route". Septembre 1978. Rapport CEPN n° 10.
- [CEPN 23] T. Meslin, P. Pagès : L'évaluation de la sûreté des transports de matières radioactives. Le cas des grands colis (phase II). Deuxième partie. Analyse du risque. Octobre 1979. Rapport CEPN n° 23.
- [CEPN 25] T. Meslin, P. Pagès : L'évaluation de la sûreté des transports de matières radioactives. Le cas des grands colis (phase II). Annexe I et II. Octobre 1979. Rapport CEPN n° 25.
- [CEPN 70] P. Hubert, P. Pagès : Etudes des risques associés aux accidents dans les transports terrestres d'hexafluorure d'uranium. Mai 1984. Rapport CEPN n° 70.
- [CEPN 138] JP. Degrange, P. Hubert, P. Pagès : Transport du plutonium sous forme oxyde. Accidentologie aérienne et routière. Septembre 1988. Rapport CEPN n° 138.
- [CEPN 181] F. Rancillac, P. Pagès : Description et analyse des accidents de poids lourds transportant des matières dangereuses (Années 1987-1989). Janvier 1991. Rapport CEPN n° 181.
- [CNPP 81] Centre National de Prévention et de Protection : Index 1981, 5 rue Daunou, 75002 Paris.
- [CNPP 86] Centre National de Prévention et de Protection : Traité pratique de sécurité incendie 1983 et 1986.
- [LANNOY 83] A. Lannoy : Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre. Etudes déterministe et probabiliste du scénario d'accident. Préviation des effets de surpression. Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches. EDF 1984.
- [NUREG 4829] L.E. Fischer et al. : Shipping container response to severe highway and railway accident conditions. Rapport LLNL pour NRC : NUREG/CR 4829. Washington 1987.
- [TNO] Ministry of Housing : Physical Planning and the Environment. TNO Holland. LPG study. TNO General Report (00) - Main report on LPG (10) - Main Report on Motor Spirit (20). Mai 1983.



- [MTMD] Statistiques sur les matières dangereuses. Rapports annuels de 1984 à 1989 du Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer, Direction des transports terrestres, Mission du transport des matières dangereuses.
- [VERITAS] G. BOURGOIS : Recherche sur la résistance aux chocs des véhicules citernes et des conteneurs citernes aptes au transport de matières dangereuses. Rapport n°4. Bureau Véritas, Branche Industrie, 22 août 1991.



ANNEXE 1

CALCUL DE L'ENERGIE ABSORBEE LORS D'UN CHOC

Energie mise en jeux lors du choc

On calcule l'énergie des chocs en séquence. Premier choc : on considère un choc mou avec conservation de la quantité de mouvement. L'énergie absorbée dans le choc (déformation des véhicules et des colis) est alors égale à la différence des énergies cinétiques initiales et finales. Elle est donnée par la formule (1) introduisant un terme de masse réduite.

$$E_1 = \frac{1}{2} \frac{m_0 m_1}{m_0 + m_1} (\vec{V}_1 - \vec{V}_0)^2 \quad (1)$$

Avec : m_0 = Masse du véhicule concerné
 V_0 = Vitesse initiale du véhicule concerné
 m_1 = Masse de l'obstacle 1
 V_1 = Vitesse initiale de l'obstacle 1

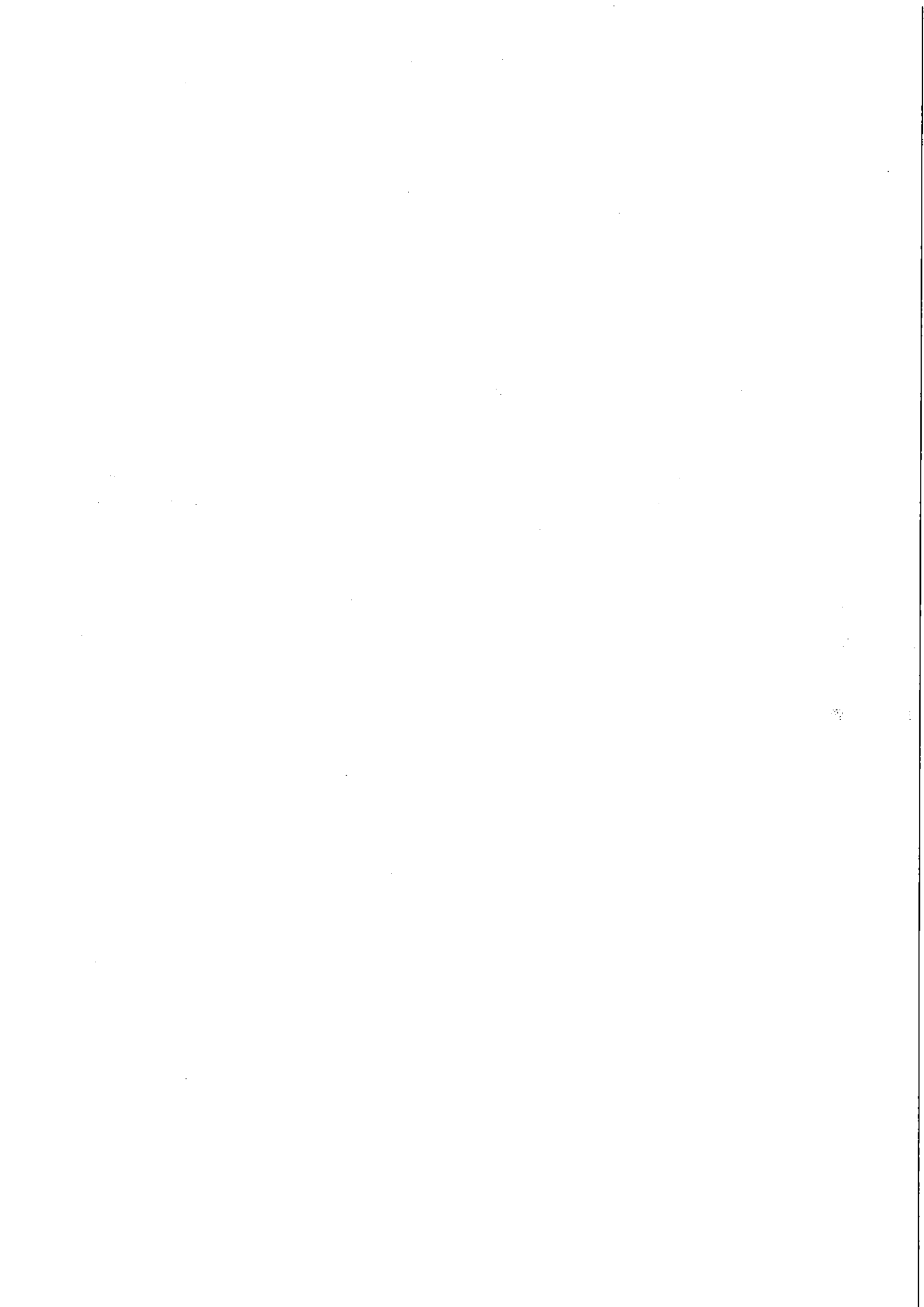
Les deux véhicules repartent ensuite avec la vitesse résultant du centre de masse (2) :

$$\vec{V}_{CG1} = \frac{m_0 \vec{V}_0 + m_1 \vec{V}_1}{m_0 + m_1} \quad (2)$$

L'expression vectorielle de la vitesse est intégrée dans les calculs par l'angle de choc qui est formé par les vitesses initiales des obstacles par rapport au vecteur vitesse initiale du véhicule.

Pour simplifier, nous avons considéré cinq chocs possibles :

- | | | |
|--------------------------|-------|---|
| - face à face | alors | $\vec{V}_{CG1} = \vec{V}_0 + \vec{V}_1$ |
| - choc latéral agresseur | alors | $\vec{V}_{CG1} = \vec{V}_0$ |
| - choc latéral agressé | alors | $\vec{V}_{CG1} = \vec{V}_1$ |
| - choc arrière agresseur | alors | $\vec{V}_{CG1} = \vec{V}_0 - \vec{V}_1$ |
| - choc arrière agressé | alors | $\vec{V}_{CG1} = \vec{V}_1 - \vec{V}_0$ |



Dans la mesure où la masse de l'obstacle mobile n'est pas toujours connue, il a été pris :

- deux roues (moto) : $m_1 = 0,5 \text{ t}$
- automobile : $m_1 = 1 \text{ t}$
- poids lourd : $m_1 = \text{poids à vide} + \text{poids du chargement}$
- train : $m_1 = 500 \text{ t}$

Cette formule convient aussi pour un obstacle fixe, en prenant une masse infinie. Une masse finie de 1000 t donne un résultat satisfaisant.

Deuxième choc : On applique le principe précédent à un véhicule de masse $m_0 + l_1 m_1$. Le paramètre l_1 représente, après un choc, la cohésion entre 2 véhicules, supposés répartis avec la même vitesse que celle du centre de masse (hypothèse du choc mou). Pour le choc suivant, il importe en effet de savoir si l'on doit considérer un ou deux véhicules rentrant dans le second obstacle, si bien que le paramètre l_1 représente la fraction de la masse m_1 d'un obstacle à prendre en compte pour le calcul suivant d'énergie. Si les véhicules sont liés (par exemple, cas d'un choc "en sandwich") l_1 vaut 1, s'ils se séparent l_1 vaut 0.

Alors :

$$E_2 = \frac{1}{2} \frac{(m_0 + l_1 m_1) m_2}{m_0 + l_1 m_1 + m_2} (\vec{V}_2 - \vec{V}_{CG1})^2$$

et l'ensemble repart avec une vitesse V_{CG2} :

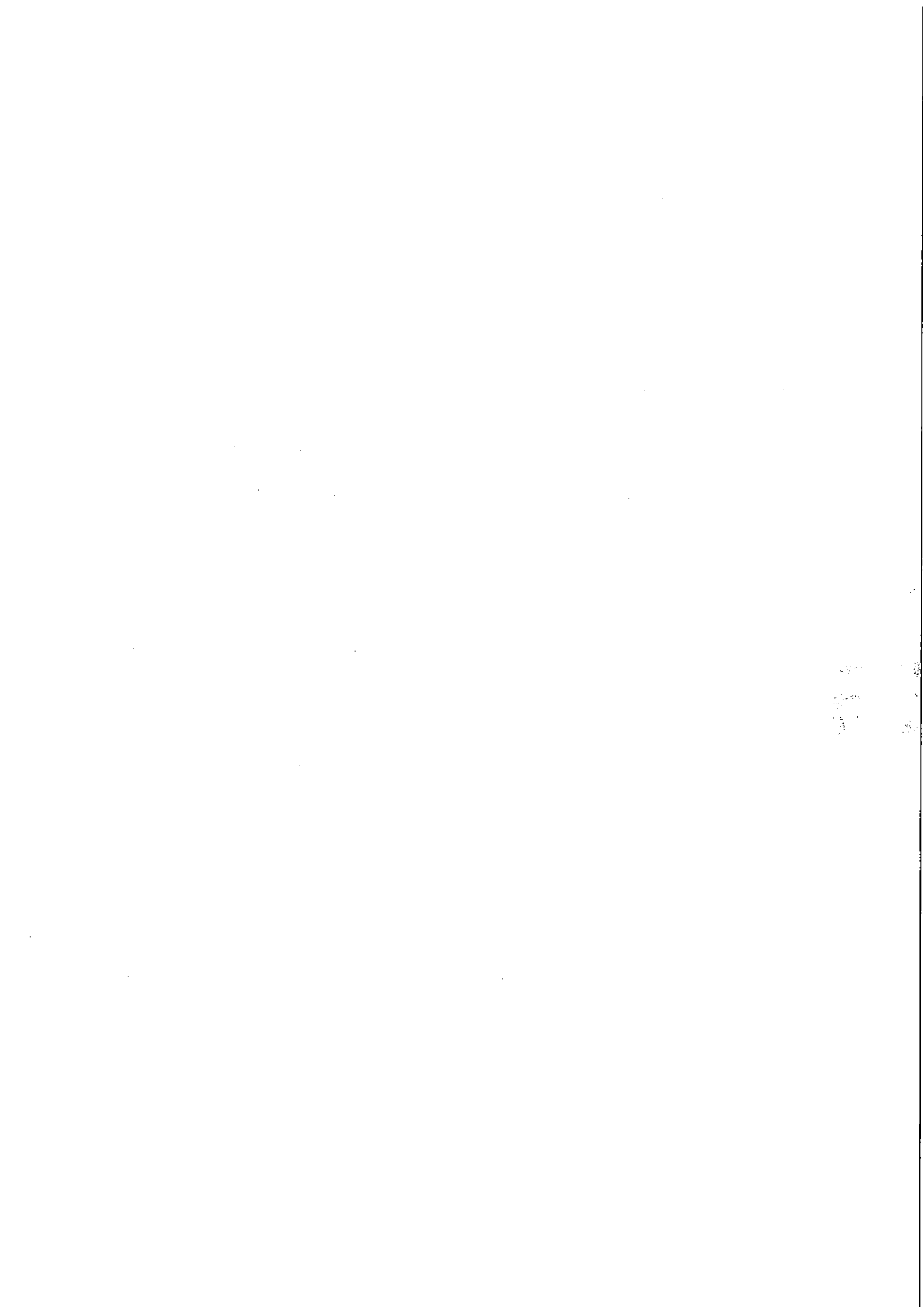
$$\vec{V}_{CG2} = \frac{(m_0 + m_1 l_1) \vec{V}_{CG1} + m_2 \vec{V}_2}{m_0 + m_1 l_1 + m_2}$$

Le troisième choc se traite de façon similaire avec une masse "impactante" : $m_0 + m_1 l_1 + m_2 l_2$ et une vitesse V_{CG3} .

L'énergie résultante totale est alors :

$$E_{\text{choc}} = E_1 + E_2 + E_3. \quad (3)$$

Les formulations précédentes sont assez souples et permettent de décrire tous les cas de figure : obstacle fixe ou mobile, camion qui rencontre successivement plusieurs obstacles, prise en étai dans un carambolage ou impact simultané.



Energie disponible pour la déformation du véhicule

Une première distinction est à faire entre l'énergie dissipée dans le choc et celle qui est disponible pour endommager le véhicule. Des jeux de coefficients assez empiriques ont été utilisés. Ces coefficients f sont fonctions de la nature de l'obstacle, tel qu'il est codé dans le fichier.

On pose alors :
$$E_{\text{disp}} = f E \quad (4)$$

Les valeurs suivantes de f ont été retenues :

Train	:	$f = 1$
P.L.	:	$f = 1/2$
Véhicule léger	:	$f = 1/16$
2 roues	:	$f = 1/32$
Piétons	:	$f = 0$
Obstacle rigide	:	$f = 1$
Obstacle déformable	:	$f = 1/16$
Obstacle mou	:	$f = 1/32$

Ces fractions peuvent être discutées et des analyses de sensibilité ont été effectuées. Ainsi, la valeur $1/16$ pour les véhicules légers est peut être un peu élevée, mais elle porte sur des énergies faibles de peu d'intérêt dans l'analyse effectuée ici.

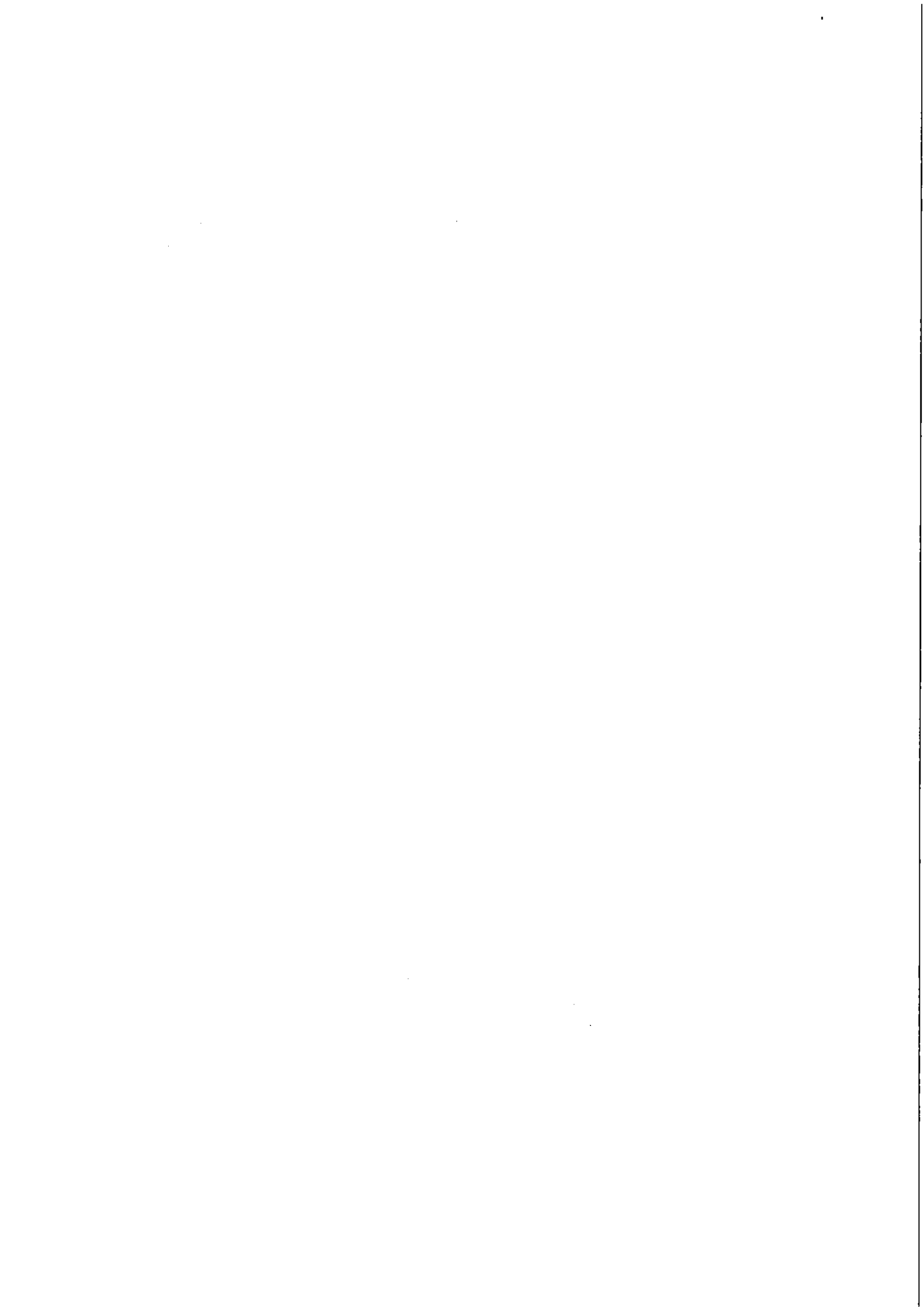
La formule de l'énergie disponible pour le véhicule suite à trois chocs s'écrit :

$$E_{\text{véhicule}} = f_1 E_1 + f_2 E_2 + f_3 E_3 \quad (3)'$$

Energie disponible pour le chargement

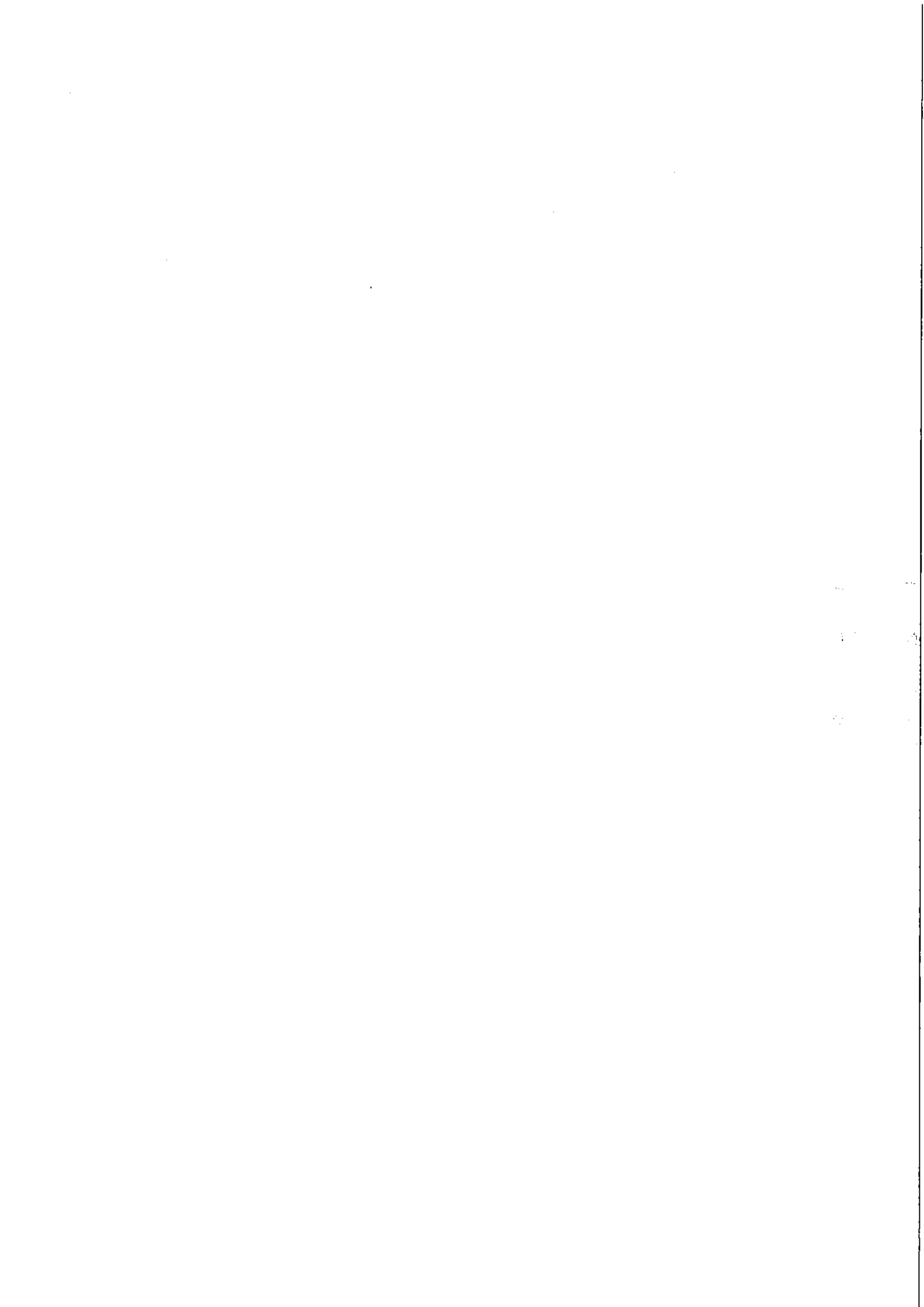
Le véhicule lui-même absorbe une certaine partie de l'énergie du choc. Ceci est surtout vrai quand il contient un petit colis. Une nouvelle fraction e est à prendre en compte, qui dépend du point d'impact du choc, du type d'arrimage, des possibilités de coincement, etc... Ces valeurs ont été fixées au coup par coup après une décomposition très fine de l'arbre d'événements. On obtient alors l'énergie disponible pour le colis.

$$E_{\text{colis}} = f_1 e_1 E_1 + f_2 e_2 E_2 + f_3 e_3 E_3 \quad (3'')$$



A1.4

Eventuellement, les facteurs e_i peuvent encore être décomposés pour distinguer colis et chargement. En effet, dans beaucoup de transports, l'ensemble constitué par les colis, leur râtelier et leur conteneur ISO constitue une structure autonome. En supposant que toute l'énergie est disponible pour le colis, on pose $e_i = 1$.

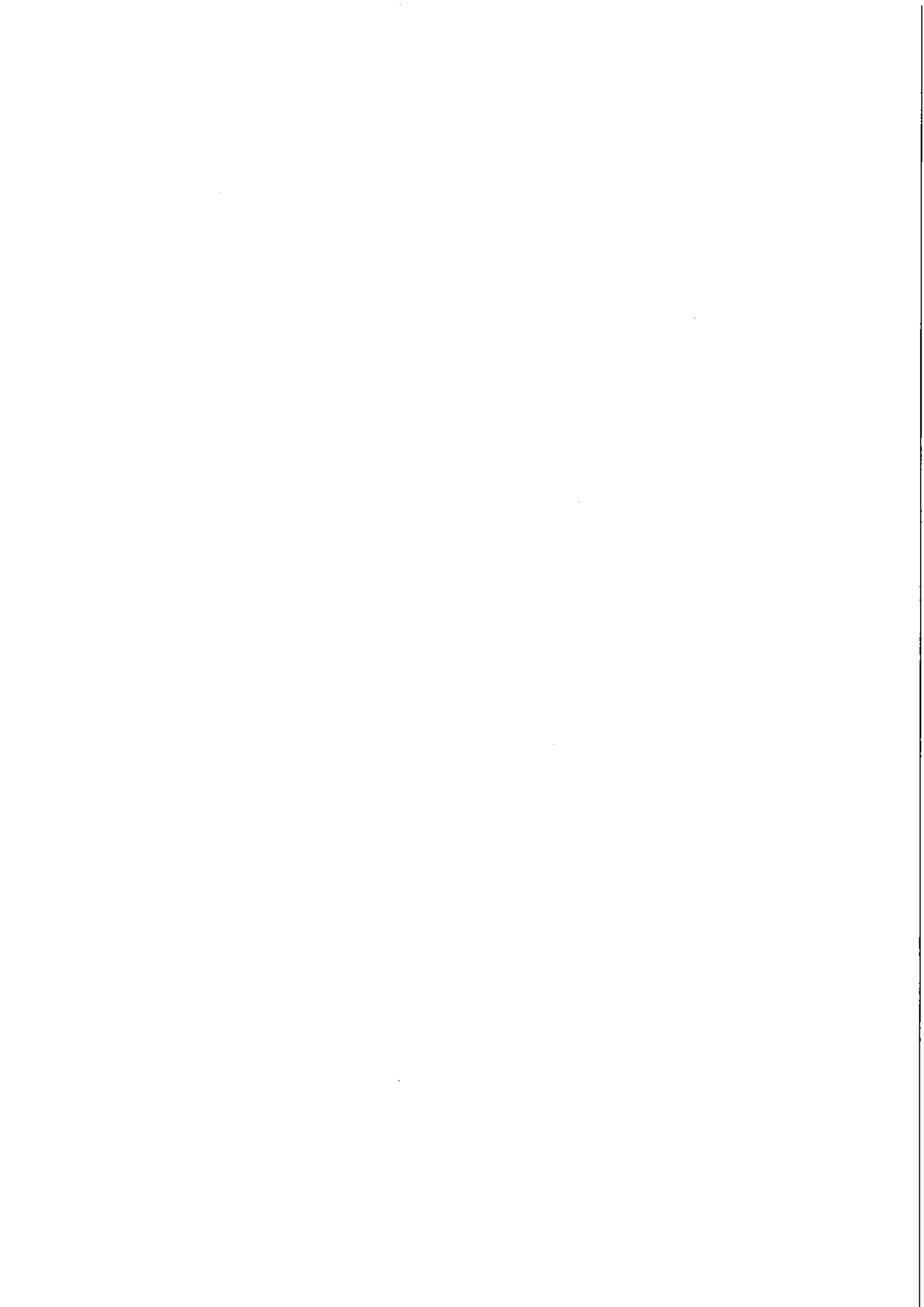


ANNEXE 2

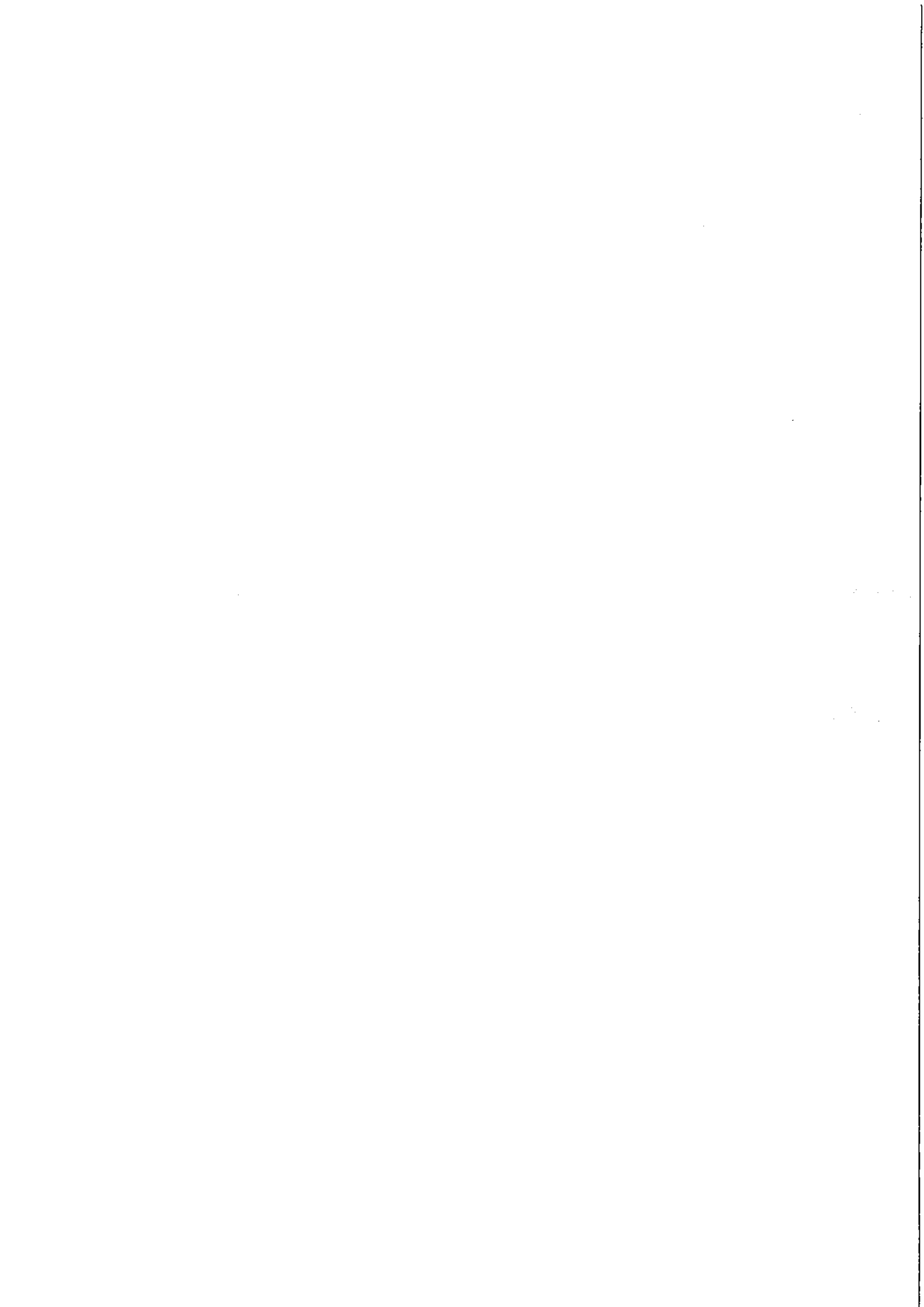
FICHER DES FEUX DE POIDS LOURDS DE 1974

Identification des variables en correspondance avec les titres de colonnes du fichier :

- 1 - DEP : Localisation de l'accident département
- 2 - IDENT : Identification numéro interne à la sécurité civile
- 3 - COM : Localisation de l'accident numéro INSEE de la commune
- 4 - DATE : Date (jour / mois / année)
- 5 - AGG : 1=agglomération, 2=hors agglomération, 0=inconnu
- 6 - ENV : Environnement (1=maison, 2=Z.I., 3=champs, 4=bois, 5=eau, 6=montagne, 0=inconnu)
- 7 - TVOIE : Type de voie (1=autoroute, 2=RN, 3=RD, 4=VO, 5=rue, 6=autre, 0=inconnu)
- 8 - NVOIE : Numéro de la voie
- 9 - SILH : Silhouette du véhicule
- 10 - VEH : Type de véhicule (1=plateau, 2=pl.b, 3=fourgon, 4=benne, 5=citerne, 0=inconnu)
- 11 - EMB : Emballage (1=caisse, 2=bouteille, 3=fut, 4=citerne, 5=vrac, 0=inconnu)
- 12 - CONT : Contenu (1=hydrocarbure A, 2= hydrocarbure B, 3= hydrocarbure C, 4= hydrocarbure D, 5=matière dangereuse, 6=divers, 9=rien, 0=inconnu)
- 13 - SPON : 1=feu spontané, 2=feu associé à un choc, 0=inconnu
- 14 - CHOC : Type de choc (1=obstacle fixe (OF), 2= obstacle mobile (OM), 3= renversement, 4= spontané, 11=OF mou, 12= OF déformable, 13=OF rigide, 21=OM VL, 22=OM PL, 23=OM PLMD, 24=OM TR, 0=inconnu)
- 15 - ORIG : Origine du feu (1=frein, 2=chargement, 3=moteur, 4=électricité, 5=cabine, 6=divers, 7=choc, 0=inconnu)
- 16 - ALI1 : Premier aliment du feu (1=bois, 2=hydrocarbure, 3=liquide, 4=gaz, 5=plastique, 6=pneus, 0=inconnu)
- 17 - ALIP : Aliment principal du feu
- 18 - PRO : Propagation
- 19 - APP : Heure d'appel (heure / minute)



- 20 - ATT : Heure d'attaque (heure / minute)
- 21 - MAIT : Heure de maîtrise (heure / minute)
- 22 - ETEI : Heure d'extinction (heure / minute)
- 23 - ENG : Nombre d'engins
- 24 - LAN : Nombre de lances
- 25 - CVEH : Conséquence au véhicule
- 26 - CCHA : Conséquence au chargement
- 27 - DURE : Durée de l'incendie en minute (APP - ETEI)



A2.3

FEUPLMD74(150)(11)

DEP	IDENT	COM	DATE	AGG	ENV	TUOIZ	NUOIE	SILH	VEH	ZMS
2	74	33	60274	2	3	2	44	0	5	4
3	135	392	40472	1	1	5	0	0	5	4
7	35	276	230174	2	3	0	0	0	5	4
8	15	263	140174	1	1	2	0	0	5	4
12	115	145	200674	1	1	5	0	4	5	4
13	1163	78	10374	0	0	3	35	4	5	4
17	5	24	10174	0	0	0	0	0	5	4
18	110	160	171274	1	1	5	0	1	1	2
6	234	198	150674	1	1	5	0	4	5	4
7	55	580	211074	0	0	2	0	0	5	4
27	562	150	90974	2	3	1	13	4	5	4
33	375	104	230474	2	4	3	5	4	5	4
36	112	112	10474	2	1	3	9	1	5	4
44	1052	104	120874	2	13	0	0	4	5	4
45	463	116	160874	2	0	1	6	4	5	4
49	1147	162	51274	0	0	0	0	0	5	4
49	1128	209	311274	0	0	0	0	4	5	4
50	345	97	150774	0	0	3	15	0	5	4
51	1272	56	60574	2	3	2	51	2	5	4
56	658	199	131174	0	0	3	47	4	5	4
56	107	262	230374	2	13	0	0	1	5	4
57	338	39	110474	2	3	1	31	4	5	4
59	305	215	280374	2	3	2	25	4	4	5
59	2332	183	50874	1	13	5	0	0	5	4
61	43	6	130374	2	13	2	24	4	5	4
69	956	243	250674	0	0	0	0	0	5	4
70	6028	240	301174	0	0	2	54	4	5	4
71	45	384	300174	2	3	1	6	4	2	5
71	53	73	50274	2	3	2	6	4	5	4
73	454	121	111274	0	0	2	90	4	5	4
76	947	157	180674	1	14	2	13	0	1	4
77	106	186	130274	0	0	2	5	0	5	4
77	127	239	190274	2	13	2	4	3	5	4
80	107	310	190374	2	3	2	25	0	5	4
80	234	759	150574	0	0	1	1	0	5	4
79	955	79	181174	0	0	2	148	0	5	4
79	948	170	131174	0	0	0	0	1	5	4
78	225	310	120674	0	0	2	183	0	5	4
95	1293	18	311274	1	1	5	0	0	5	4
88	5	367	100174	0	0	0	0	4	5	4
83	661	7	190774	0	0	2	7	4	5	4
95	1025	539	270574	2	0	2	1	4	1	5
89	60	162	260274	2	0	2	5	4	5	4
84	201	141	0	0	0	0	0	4	5	4
84	1182	87	200974	2	3	1	9	0	0	0
80	491	533	21074	2	0	1	71	0	0	0
77	961	309	310874	2	0	2	330	4	5	4
76	1542	319	171074	0	0	0	0	0	0	0
76	603	592	60374	2	3	0	0	4	5	4
76	590	462	240474	1	1	5	0	4	5	4

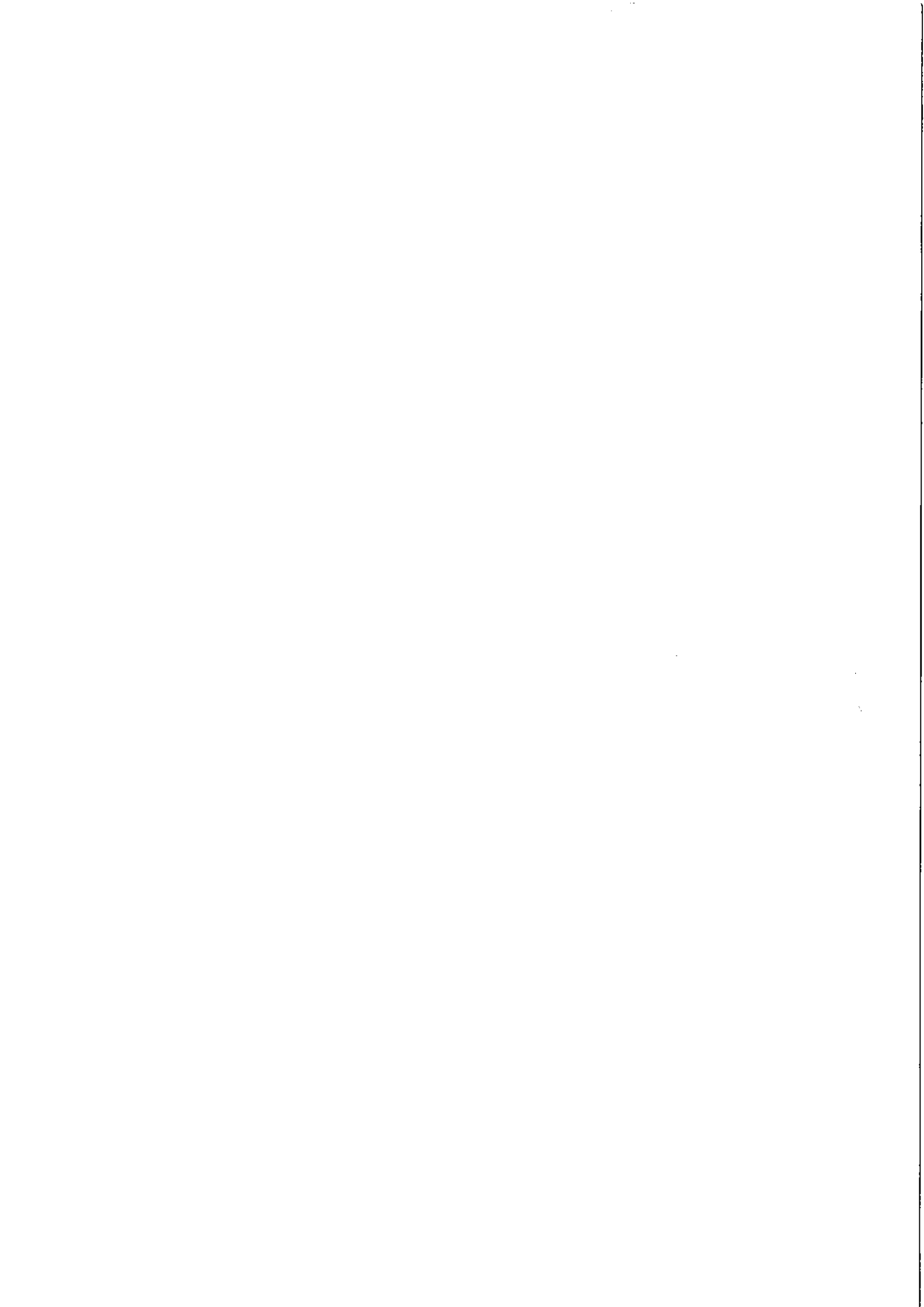
A2.4

IDENTI:501,FEUPLMD74(150;(12a24))

IDENT	CONT	SPON	CHOC	ORIG	ALII	ALIP	PRO	APP	ATT	MAIT	ETEI	ENG	LAN
74	3	1	4	5	2	5	1	1859	1907	1909	1915	1	1
135	0	1	4	1	6	6	1	820	835	900	940	1	2
35	3	2	3	7	2	2	1	845	910	1000	1600	3	1
15	0	1	4	4	5	5	1	547	603	610	620	1	1
115	3	1	4	1	6	6	1	1539	1544	1550	1620	1	1
1163	3	1	4	1	6	6	1	1840	1850	1915	2005	3	3
5	3	1	4	1	36	36	1	0	0	0	0	4	2
110	1	1	4	3	5	5	1	700	705	720	840	2	2
234	2	2	213	7	2	2	2	326	336	450	740	6	6
55	4	1	4	6	2	6	1	1530	1545	1550	1700	1	2
562	4	2	3	7	2	2	1	1419	1438	1441	1449	4	2
375	4	1	4	2	2	3	1	1305	1312	1400	1710	4	3
112	3	2	3	7	6	6	1	1118	1136	1140	1142	3	2
1052	3	1	4	1	3	3	1	955	1008	1013	1032	2	1
463	4	1	4	2	2	2	1	2330	2337	0	130	1	1
1147	4	1	4	1	6	6	1	730	742	812	842	2	2
1128	2	2	3	7	2	2	1	2100	2114	0	15	4	3
345	2	2	0	7	2	2	1	1528	1538	1930	2010	4	2
1272	2	1	4	4	2	2	1	1000	1030	1035	1045	1	2
658	3	1	4	1	6	6	1	1005	1020	1030	1050	1	1
107	2	2	0	7	2	2	1	915	928	1100	1130	5	6
338	2	2	22	7	2	2	2	1325	1341	0	1355	5	2
305	4	1	4	0	2	2	1	945	1005	1010	1015	4	2
2332	1	1	4	1	6	6	1	808	817	820	840	1	1
43	3	1	4	1	6	6	1	1450	1506	0	1548	1	1
956	3	1	4	1	6	6	1	1255	1258	0	1315	1	1
6028	3	1	4	1	6	6	1	750	800	815	850	1	1
45	6	1	4	1	1	1	1	1912	1931	1934	2006	1	2
53	3	2	23	7	2	1	2	1030	1034	1036	2340	3	3
454	4	1	4	0	6	6	1	206	216	0	230	1	1
947	3	1	4	4	5	5	1	652	704	724	734	4	2
106	3	1	4	1	6	6	1	827	830	835	910	1	1
127	2	2	23	7	2	2	3	645	655	930	945	10	3
107	3	1	4	1	6	6	1	1545	1558	1615	1638	2	3
234	3	1	4	1	6	6	1	1128	1139	1230	1240	2	2
955	2	1	4	1	6	6	1	1030	1040	0	1130	100	100
948	3	1	4	4	5	5	1	1703	1714	1725	1840	1	1
225	2	1	4	1	6	6	1	2115	2124	2115	2150	1	1
1293	3	1	4	4	5	5	1	1826	1843	0	2030	3	3
5	2	1	4	1	6	6	1	1605	1612	0	1622	1	1
661	1	1	4	1	6	6	1	1011	1015	1020	100	1	2
1025	5	1	4	1	6	6	1	1609	1617	0	1651	100	100
60	5	1	4	1	6	6	1	510	520	530	540	1	1
201	5	1	4	2	5	5	1	2007	2015	0	2140	1	2
1182	5	1	4	2	5	5	1	1910	1920	1930	2030	1	1
491	5	1	4	1	6	6	1	1928	1949	2030	2045	100	100
961	5	1	4	1	6	6	1	1314	1325	1330	1345	1	1
1542	5	1	4	1	6	6	1	1951	2001	2003	2015	100	100
603	5	2	23	7	3	3	1	1012	1032	1330	1445	1	9
590	5	1	4	1	6	6	1	105	111	115	130	1	1

IDENTI\501, FEUPLMD74C\50,25 26 273

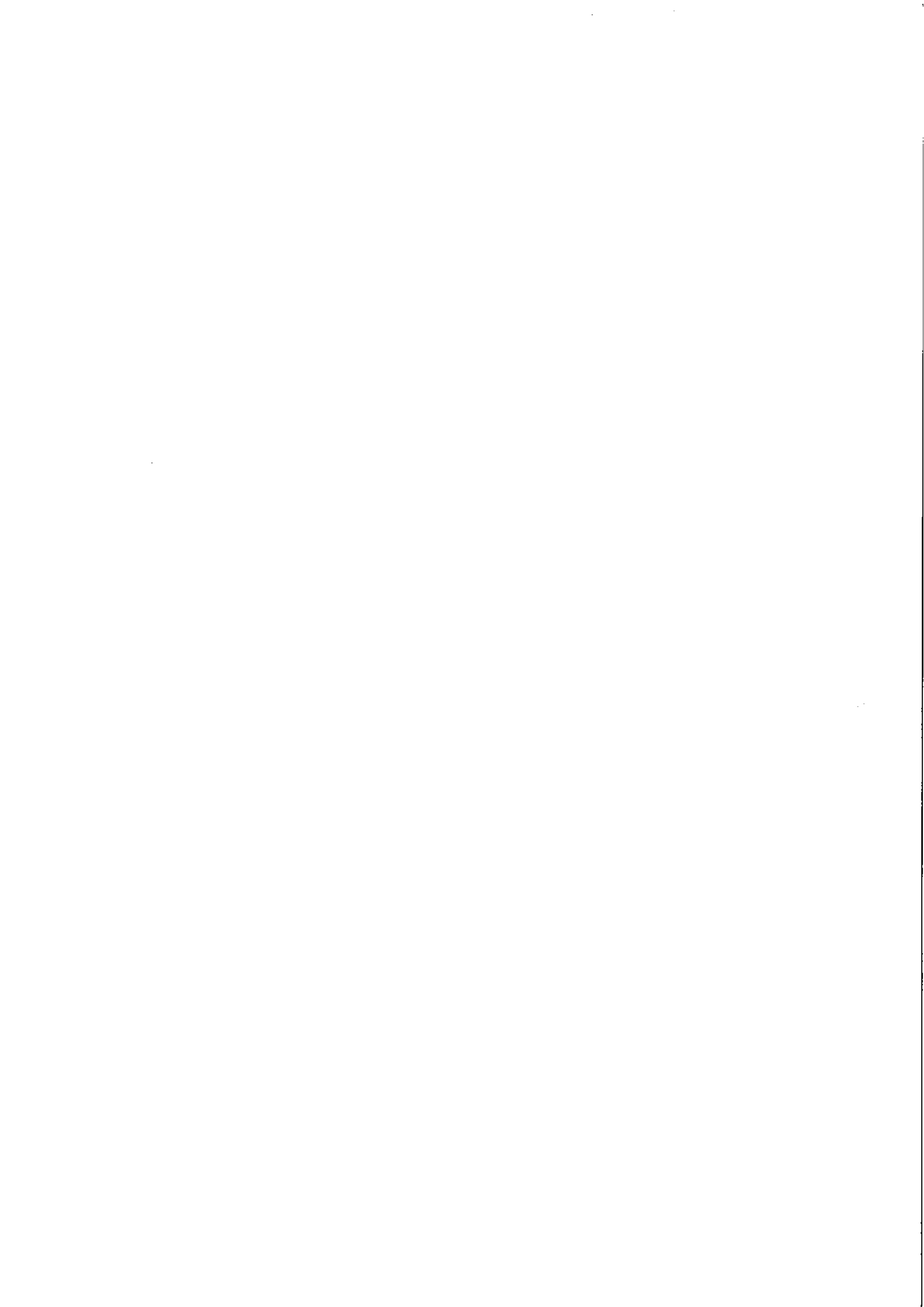
IDENT	COEH	CCHA	DURE
74	101	101	26
135	101	101	80
35	100	100	435
15	101	101	33
115	101	101	41
1163	101	101	85
5	100	100	0
110	101	101	100
234	100	100	254
55	101	101	90
562	100	100	30
375	100	100	245
112	100	100	24
1052	101	101	37
463	101	101	120
1147	101	101	72
1128	100	100	195
345	100	100	282
1272	101	101	45
658	101	101	45
107	101	101	135
338	100	90	30
305	101	101	30
2332	30	30	32
43	10	101	58
956	101	101	20
6028	30	0	40
45	101	101	54
53	100	100	790
454	20	101	24
947	100	100	42
106	101	101	43
127	100	100	180
107	20	0	53
234	101	101	72
955	101	101	60
948	30	0	97
225	5	0	35
1293	101	101	124
5	5	0	17
661	5	0	889
1025	101	101	42
60	101	101	30
201	101	101	93
1182	101	101	80
491	101	101	77
961	101	101	31
1542	5	0	24
603	50	50	273
590	101	101	25



A2.6

FEUPLMD74C(51a67):v111

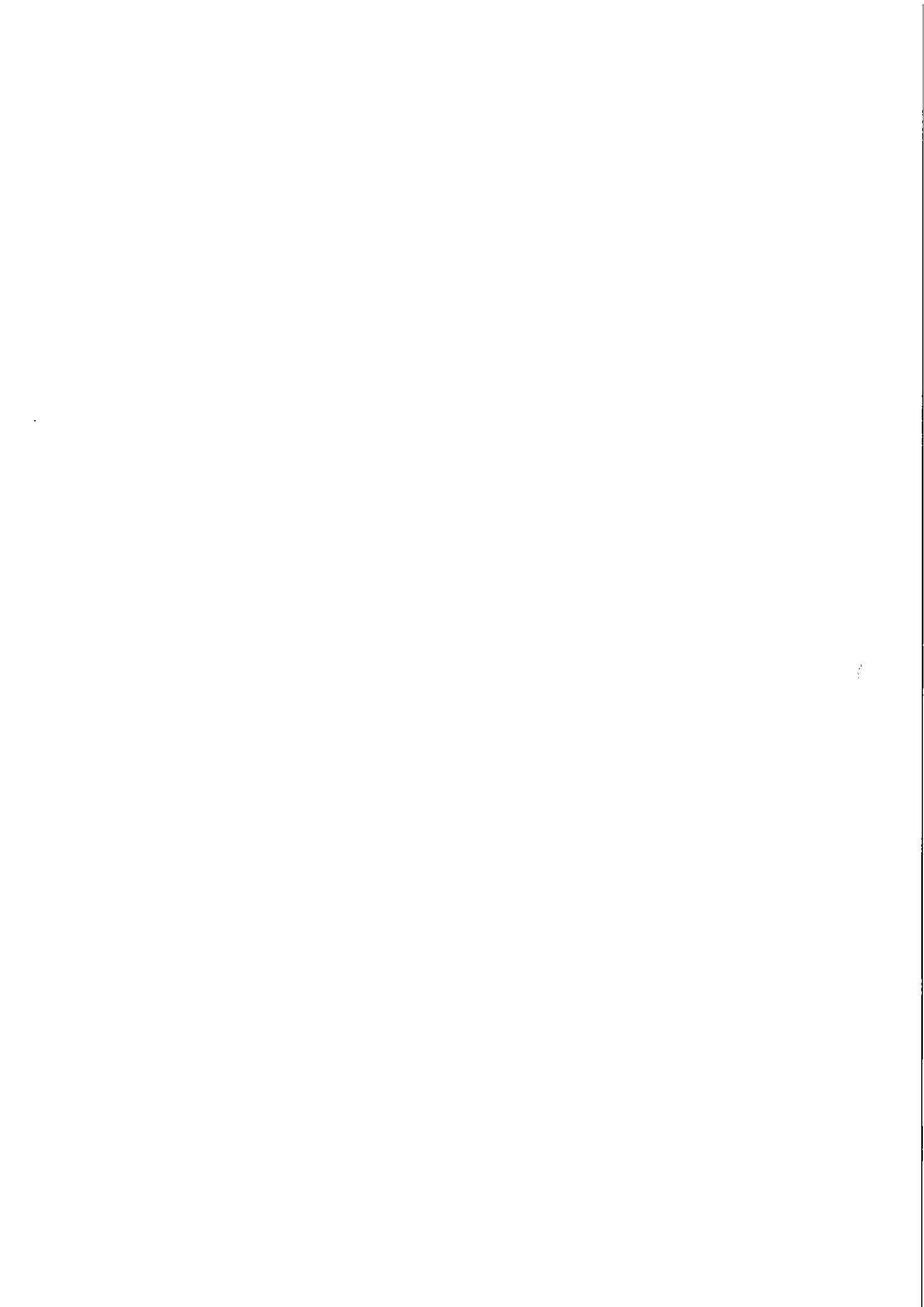
DEP	IDENT	COM	DATE	AGG	ENV	TUOIE	NOOIE	SILH	VEH	EMB
71	746	522	181074	1	1	0	0	4	5	4
71	39	0	290174	2	0	2	6	4	5	4
69	438	116	220374	2	0	2	6	0	0	0
68	524	154	60874	1	0	0	0	0	0	0
62	1165	72	80774	0	0	0	0	4	5	4
62	58	0	80174	1	0	0	0	1	5	4
59	177	512	0	1	0	0	0	0	0	0
56	725	140	160874	0	0	0	0	0	5	4
28	491	68	190974	0	0	0	0	4	5	4
26	786	337	41274	2	0	1	7	4	5	4
26	502	362	240874	0	0	1	7	4	5	4
26	157	85	160474	2	13	2	7	0	0	0
26	10	106	90174	2	3	1	7	4	5	4
21	172	638	160474	0	0	2	74	4	5	4
19	194	275	210174	0	0	0	0	4	5	4
6	400	83	20574	0	0	0	0	6	1	3
1	165	274	211074	2	0	0	0	0	0	0



A2.7

IDENT((51a67))J, FEUPLMD74((51a67));(12a24)J

IDENT	CONT	SPON	CHOC	ORIG	AL11	ALIP	PRO	APP	ATT	MAIT	ETE1	ENG	LAN
746	5	2	13	7	3	3	2	945	0	0	1130	100	100
39	5	2	22	7	3	3	3	540	543	600	620	1	3
438	5	1	4	3	2	3	1	642	650	655	730	1	2
524	5	1	4	4	5	5	1	216	222	228	243	1	5
1165	5	1	4	1	6	6	1	2125	2134	2135	2144	1	1
58	5	1	4	1	6	6	1	910	915	930	940	1	1
177	5	1	4	4	5	5	1	849	0	0	853	0	0
725	1	1	4	0	2	2	1	1308	1316	1320	1400	1	1
491	5	1	4	1	6	6	1	1900	0	0	1920	100	100
786	5	1	4	1	6	6	1	1951	0	0	2010	0	0
502	5	2	3	7	3	3	1	1837	1900	1903	1905	1	1
157	5	2	13	7	3	3	1	36	44	230	400	2	5
10	5	1	4	1	6	6	1	210	242	323	330	1	1
172	5	1	4	1	6	6	1	1930	1946	2010	2025	1	3
194	5	1	4	1	6	6	1	2020	2024	2028	2029	100	100
400	5	1	4	1	6	3	1	103	114	119	132	1	1
165	5	1	4	1	6	6	1	955	910	0	925	1	1



IDENTH(51a67)J,FEUPLMD74I(51a67),25 26 27J

IDENT	CVEN	CCHA	DURE
746	80	80	105
39	100	100	40
438	101	101	48
524	101	101	27
1165	101	101	19
58	101	101	30
177	0	0	4
725	101	101	52
491	101	101	30
788	1	0	19
502	101	101	28
157	101	101	204
10	10	0	80
172	5	0	55
194	1	0	9
400	25	25	29
165	101	101	30

1000

ANNEXE 3

**ANALYSE CRITIQUE DU FICHIER RELATIF AUX ACCIDENTS
DE POIDS LOURDS**

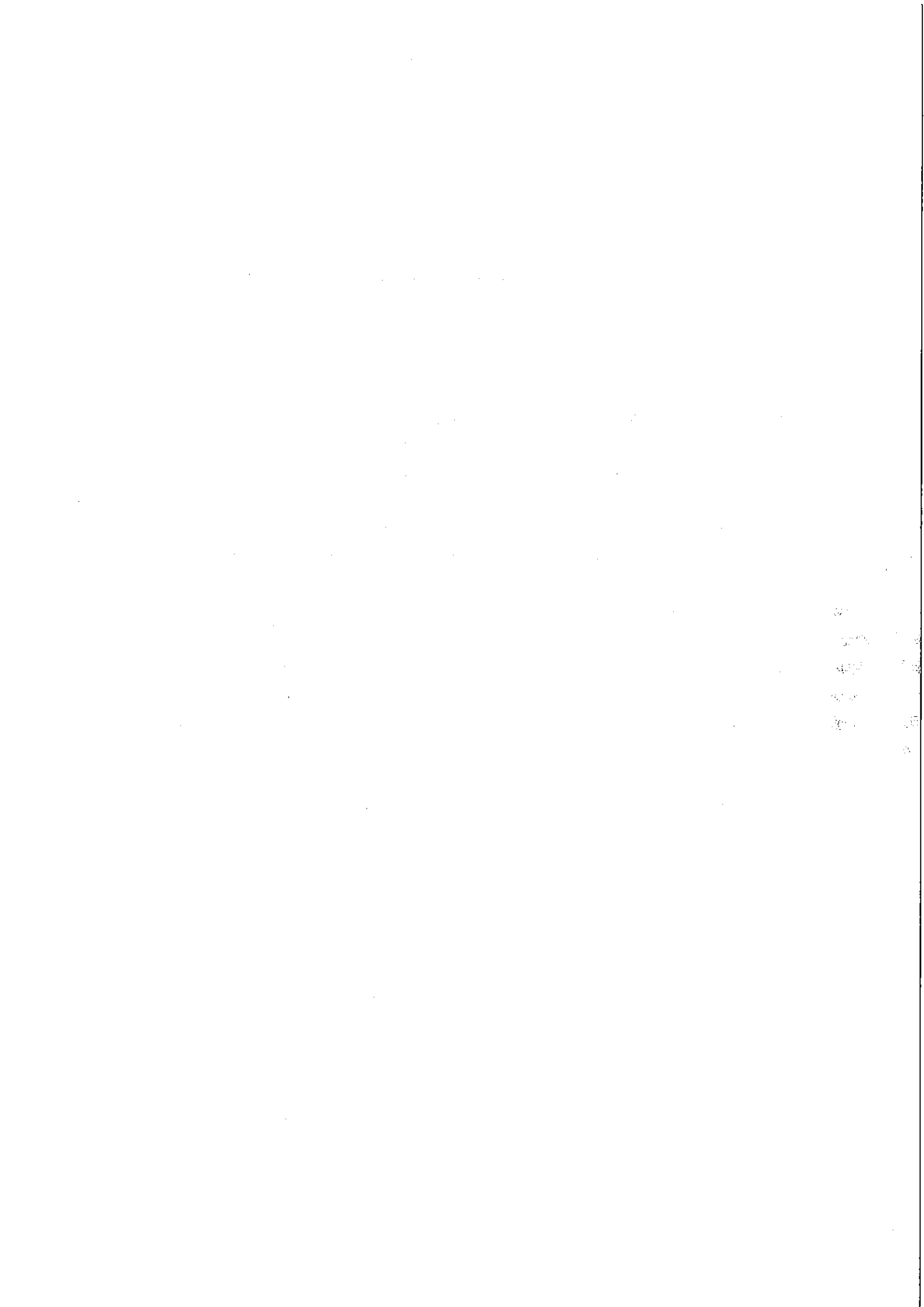
Une base de données des accidents de PL transportant des matières dangereuses est informatisée (à l'aide du logiciel dBASE III) à la MTMD (Mission des transports de matières dangereuses). Cette base recense tous les accidents depuis 1987 ayant impliqué un PL transportant des matières dangereuses, elle est constamment mise à jour. Le but de cette annexe est de faire un bilan de cette base, de noter les manques qui sont apparus au cours de cette analyse sur l'accidentologie. Cette base est constituée de six fichiers indépendants traitant de généralités relatives : caractéristiques générales aux véhicules impliqués, à l'infrastructure routière, aux produits transportés, à l'intervention des secours, aux usagers.

Pour chacun de ces fichiers, sauf celui relatif aux usagers qui n'a pas été utilisé, le tableau A3.1 indique les variables utilisées dans cette étude. La dernière colonne du tableau précise les variables indispensables à une étude d'accidentologie orientée vers l'analyse des défaillances du confinement.

Pour définir *la typologie des accidents* et *l'arbre des événements d'un accident*, les fichiers sont satisfaisants. Néanmoins, pour les améliorer, il faudrait :

- ajouter une variable dans le fichier "véhicule" précisant si le véhicule a subi une chute, et
- répéter dans le fichier "véhicule", la variable (de type oui-non) précisant la présence d'épandage de produit, présente déjà dans le fichier "généralité".

En effet, un inconvénient majeur réside dans le fait que cette base est divisée en six fichiers indépendants rendant le croisement de certaines variables impossible à moins d'effectuer une nouvelle saisie. Cette séparation est cependant nécessaire ; en effet si pour le fichier des "généralités" le nombre d'enregistrements correspond au nombre d'accidents, il n'en est pas de même pour le fichier "véhicule" qui aura autant d'enregistrements que de véhicules impliqués. Une solution simple consiste alors à introduire les mêmes variables dans des fichiers différents, ce qui est déjà réalisé pour certaines variables.



L'étude de *la gravité des accidents* ne peut pas dans les conditions actuelles être réalisée avec cette base. En effet ce rapport montre que la gravité d'un accident s'évalue soit par une durée de feu en cas d'incendie, soit par l'énergie libérée par l'accident s'il s'agit d'un impact mécanique.

L'analyse portait sur trois années 1987, 1988 et 1989, ces trois années ne recensaient que 29 incendies dont seules 7 durées de feu étaient indiquées, les questionnaires sont apparemment mal remplis et les incendies trop peu nombreux pour effectuer une analyse statistique. Le cumul des années pourra pallier cet inconvénient.

Par contre, l'évaluation de la gravité d'un impact mécanique ne pourra se faire que si une variable est ajoutée. Il s'agit du poids du PL, c'est-à-dire du poids réel du camion égal au poids à vide du PL plus le poids du chargement. D'autre part, il faudrait ajouter une autre modalité à la variable vitesse. En effet, les vitesses inconnues sont codées comme des vitesses nulles, ce qui efface toute l'information sur les vitesses nulles. Sur les trois années 1987 à 1989, 53 % des PL ont une vitesse nulle, alors que sur la base de données antérieures et relatives aux années 1980 et 1981, seuls 7 % des PL avaient une vitesse nulle au moment de l'accident.

L'avantage majeur d'un tel fichier réside dans la centralisation et l'informatisation des paramètres décrivant les accidents. Il y a un minimum de 220 variables pour chaque accident. Cette base de données est très riche et il est clair que nous n'avons regardé que les variables qui nous intéressaient. Les variables sont en général bien renseignées, c'est-à-dire que si une variable a trois modalités de réponse (oui, non, inconnue), la modalité inconnue apparaîtra peu souvent, sauf dans le fichier intervention secours où les délais et les durées d'interventions ne sont pas toujours indiqués. De même, les vitesses des véhicules ne sont pas toujours bien renseignées.

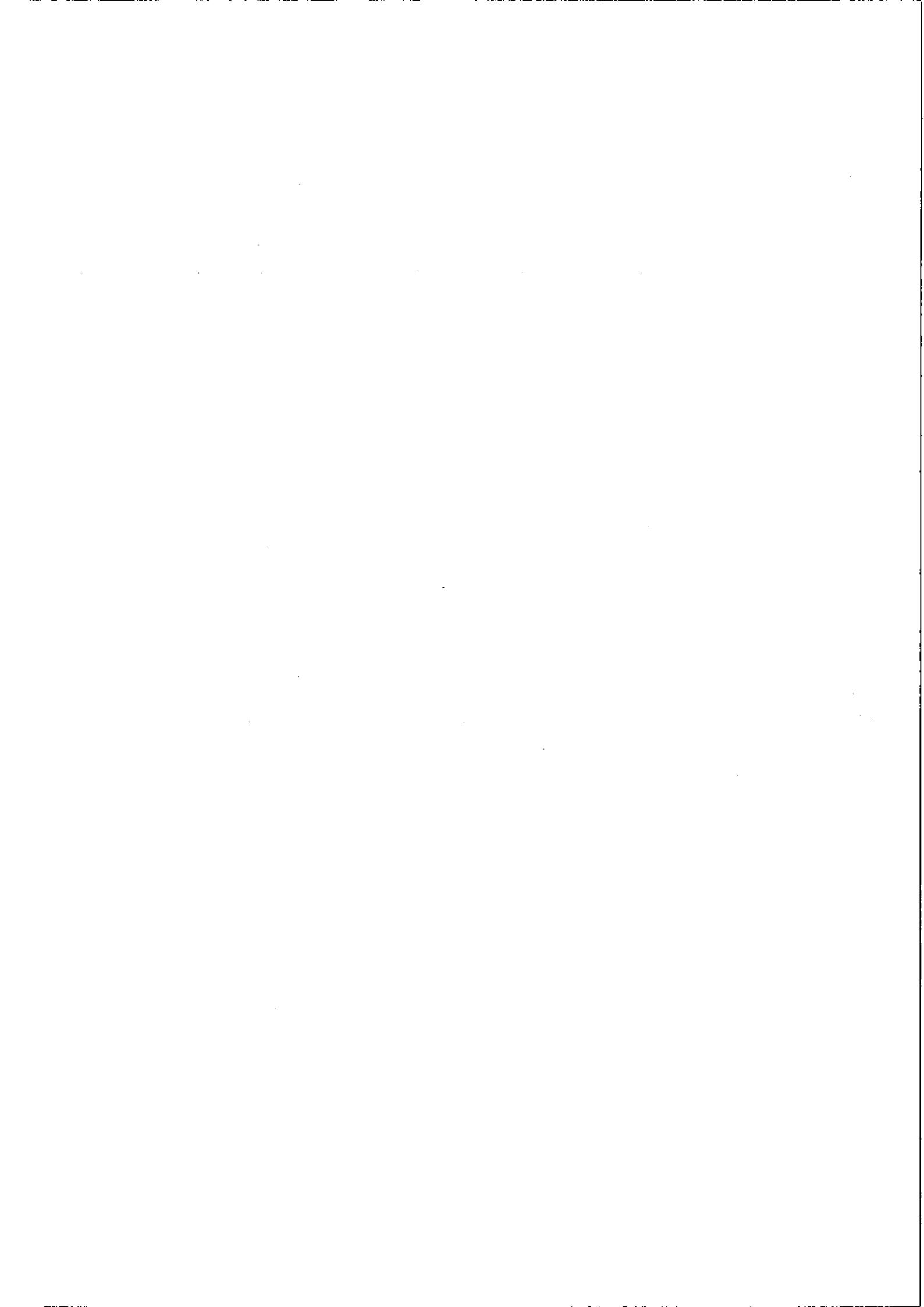


Tableau A3.1 : Variables de la base de données MTMD utilisées dans cette étude

Fichiers	Variables utilisées pour l'étude	Variables qui seraient indispensables pour l'accidentologie
Généralités	Collision multiple Nb de VL, VU impliqués Type d'agglomération Incendie de véhicule Perte de chargement Epan dage Quantité de produit épan due	Collision multiple Nb de VL, VU impliqués
Véhicules	Silhouette du PLMD Véhicule transportant de la MD Vitesse Partie heurtée Obstacle mobile heurté Obstacle fixe heurté Renversement Incendie Explosion Défaillance matérielle Chargement combinés Nb. de prod. dangereux transportés Transport en citerne ou non Dégâts à la citerne (type de défaillance) Perforation	Silhouette du PLMD Véhicule transportant de la MD Vitesse Masse du véhicule Partie heurtée Obstacle mobile heurté Obstacle fixe heurté Renversement Incendie Explosion Chute Si incendie : heure d'alerte et durée d'intervention Nb. de prod. dang. transportés Transport en citerne ou non Perforation Epan dage de produit Quantité transportée Quantité épan due
Infrastructure routière	Type de voie Profil de la voie Courbure de la voie Etat de la surface Présence d'ouvrage d'art	
Produit transporté	Conditionnement N° d'ONU Code danger Quantité transportée Quantité épan due	Conditionnement N° d'ONU Code danger Quantité transportée Quantité épan due
Intervention secours	Qualité de l'intervenant Heure d'alerte Durée d'intervention	

