



# Infrastructures et véhicules : les enjeux de maîtrise des risques accidentels

**B. TRUCHOT**

**INERIS**

*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*



# Quelques images bien connues

2014 – Incendie d'une TESLA Model S



2013 – Incendie d'une Bluecar Autolib



2010 – Incendie à bord du Peral of Scandinavia

Les batteries de voitures électriques plus dangereuses que les moteurs classiques ? Sud-Ouest 28/07/2011

→ Avec une liste de raisons montrant la dangerosité accrue

Et des incendies beaucoup plus dangereux

→ La combustion des cellules de la batterie pourrait provoquer l'**émanation de substances chimiques nocives** pour l'homme, dont le fluorure d'hydrogène (ou HF). L'article du *Monde* (29/06/2011) précise qu'une minute dans un lieu contaminé à 10 grammes de HF par mètre cube d'air provoque les premiers effets létaux. Aussi, pour une exposition de 20 minutes, **0,5g suffisent pour provoquer la mort.**



## Mais aussi des images oubliées

Série d'incendies sur les Lamborghini Gallardo à cause d'une conduite d'huile à haute pression susceptible de céder à proximité d'équipements électriques ! Et ces courts-circuits dus à des frottements sur une partie du faisceau électrique !



Et des dizaines de feu de VL causés par des échauffements sous capot, des fuites de produits inflammables, des courts-circuits, ...

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |

## Quel est le risque réel pour ces nouvelles technologies de véhicule

- La nature de l'incendie est t'elle différente ?
  - Notion de cinétique et de puissance de l'incendie
- La probabilité d'un incendie est elle plus grande ?
  - Utilisation du retour d'expérience
- Y a-t-il des infrastructures plus spécifiquement à risques ?
  - Parking souterrain, tunnels, ...

## Un réel besoin, ne pas perdre la confiance des utilisateurs

- Besoin de transparence : communication sur les résultats disponibles
- Besoin d'exemplarité : éviter un scénario tel que Vénissieux (01/99 : explosion d'un réservoir de GPL ayant blessés 6 pompiers)



## Pas de réel enjeu à l'air libre

- Gestion réglementaire du transport de batterie (ADR)
- Pas de restriction de circulation

## En tunnel

- Pas de réglementation spécifique, application de l'IT, annexe 2 de la circulaire 2000/63
- Pas de positionnement national spécifique sur le sujet des véhicules électriques
- Prise de conscience de certains exploitants de tunnel avec étude dédiée

## A l'origine

- 09/05/2006 : 3 véhicules électriques autorisés dans les PS

## Evolution de la réglementation (Mission PS, 1<sup>er</sup> Avril 2016)

- Grandes lignes pour la conception des zones de recharge
- Préconisations générales
  - Installation au 1<sup>er</sup> sous-sol, 20 points de charge par compartiment avec dérogation pour les parcs de stationnement largement ventilés ou munis d'un dispositif d'extinction automatique
  - IRVE isolée : 6 emplacements non dédiés à la charge ou 15 m de séparation
  - Station de charge : 10 points max. par station, séparation par des parois RE60 sauf en présence d'un système d'extinction



## 2 paramètres majeurs

- La nature du véhicule
  - VL
  - Bus
  - PL
- La localisation de l'incendie
  - A l'air libre
  - En milieu confiné

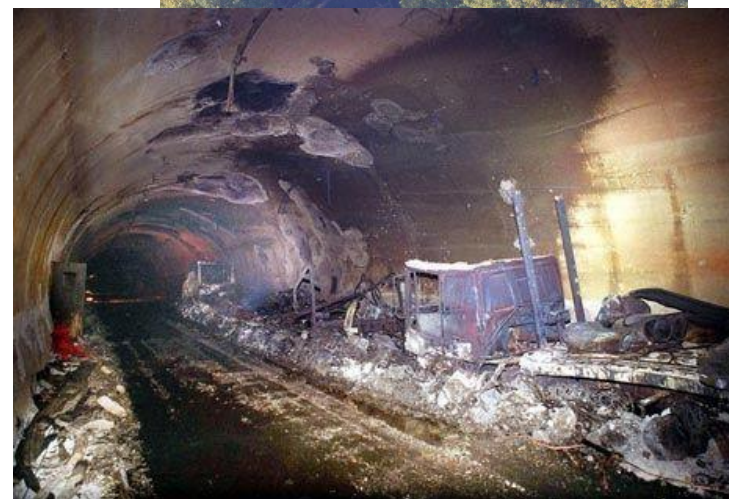


2016 - 17 morts en Chine dans l'incendie d'un bus

2012 - Incendie de parking souterrain place Vendôme



2015 - Collision car/PL : 43 morts (France)



1999 : Incendie du tunnel du Mont Blanc



## 2 objectifs

- Ne pas augmenter la probabilité d'occurrence d'un incendie
  - Ne pas modifier les caractéristiques de l'incendie
    - Puissance et cinétique
    - Taux de dégagement de toxique, le fameux « *risque HF* »
  - Une analyse en plusieurs phases
    - Analyse de risques
      - Etat de l'art des technologies
      - Retour d'expérience
      - Analyse des risques
    - Analyse des conséquences
      - Essais à grande échelle
- } Applicable à tous types de véhicules

## Un état de l'art en évolution permanente

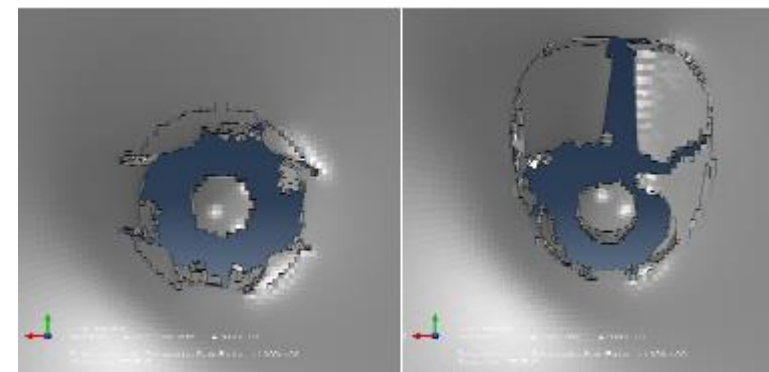
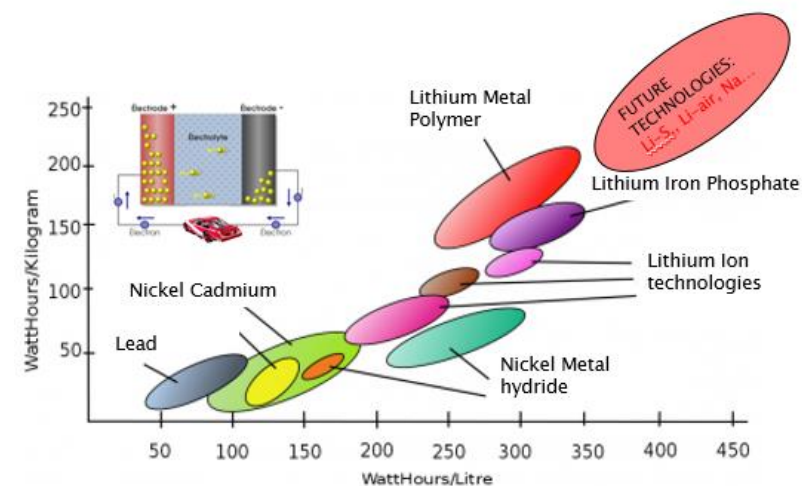
- Évolution des technologies pour améliorer les performances
- Augmentation de la densité d'énergie

## Un retour d'expérience limité

- Une nouvelle technologie → une couverture médiatique plus importante
- Peu de véhicule en service, statistiques non valables et des « erreurs de jeunesse »

## Une analyse de risques génériques

- Pour identifier les causes possibles de départ de feu spécifiques au VE
- En fonction des modes d'utilisation



Xia, Y. et al., «Towards reconstruction of Tesla Road Debris Accident (2014)»

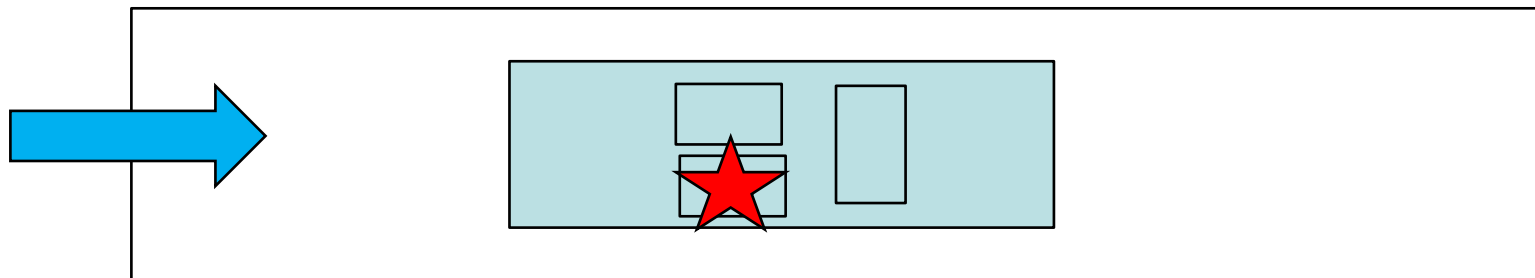


## Deux types de véhicules

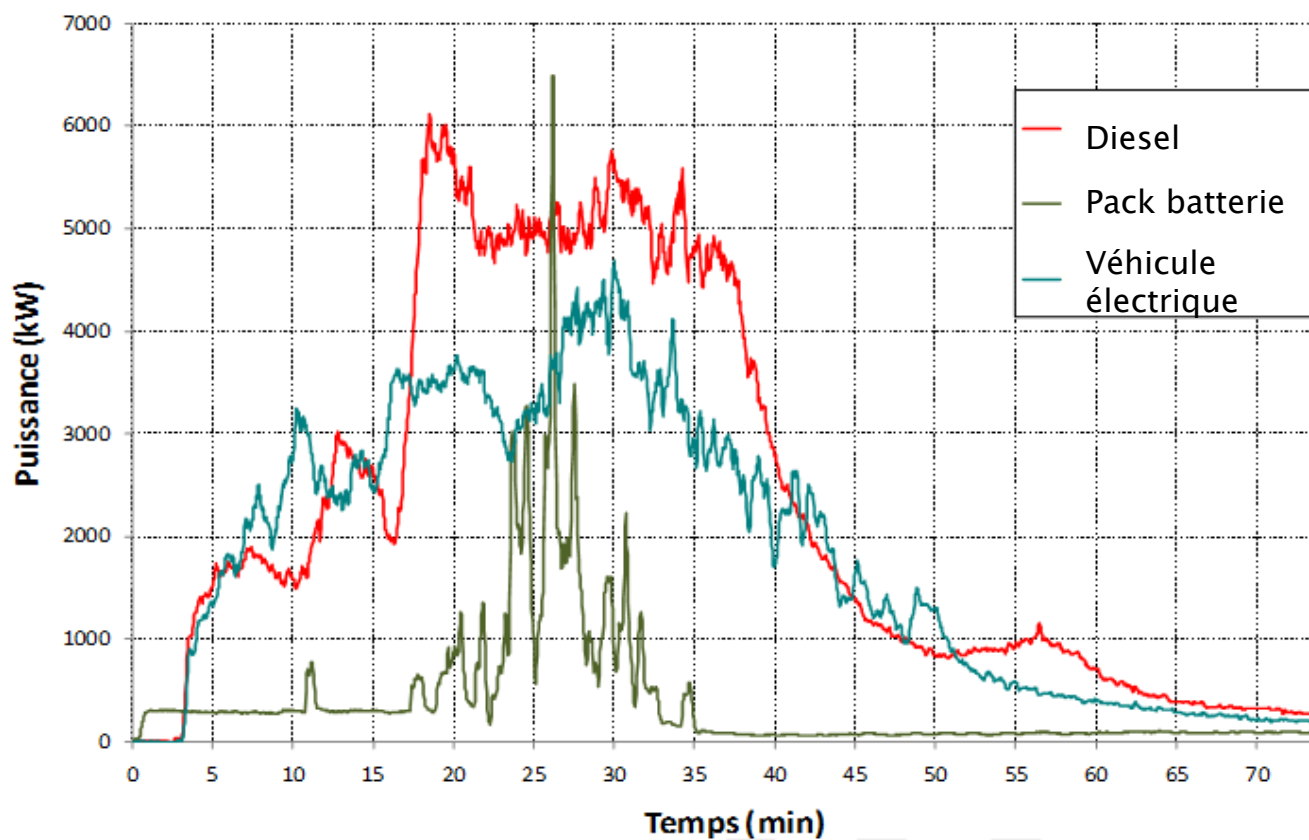
- VL type citadine, bat. 232 kg, 16,5 kWh
- VL type routière, bat. 280 kg, 23,5 kWh

## Les conditions d'essais

- Véhicule stationné dans le sens du courant d'air
- Allumage par bruleur propane au niveau du siège avant



# Le développement de l'incendie





# Et l'évaluation des gaz toxiques émis

## Un composé majoritaire

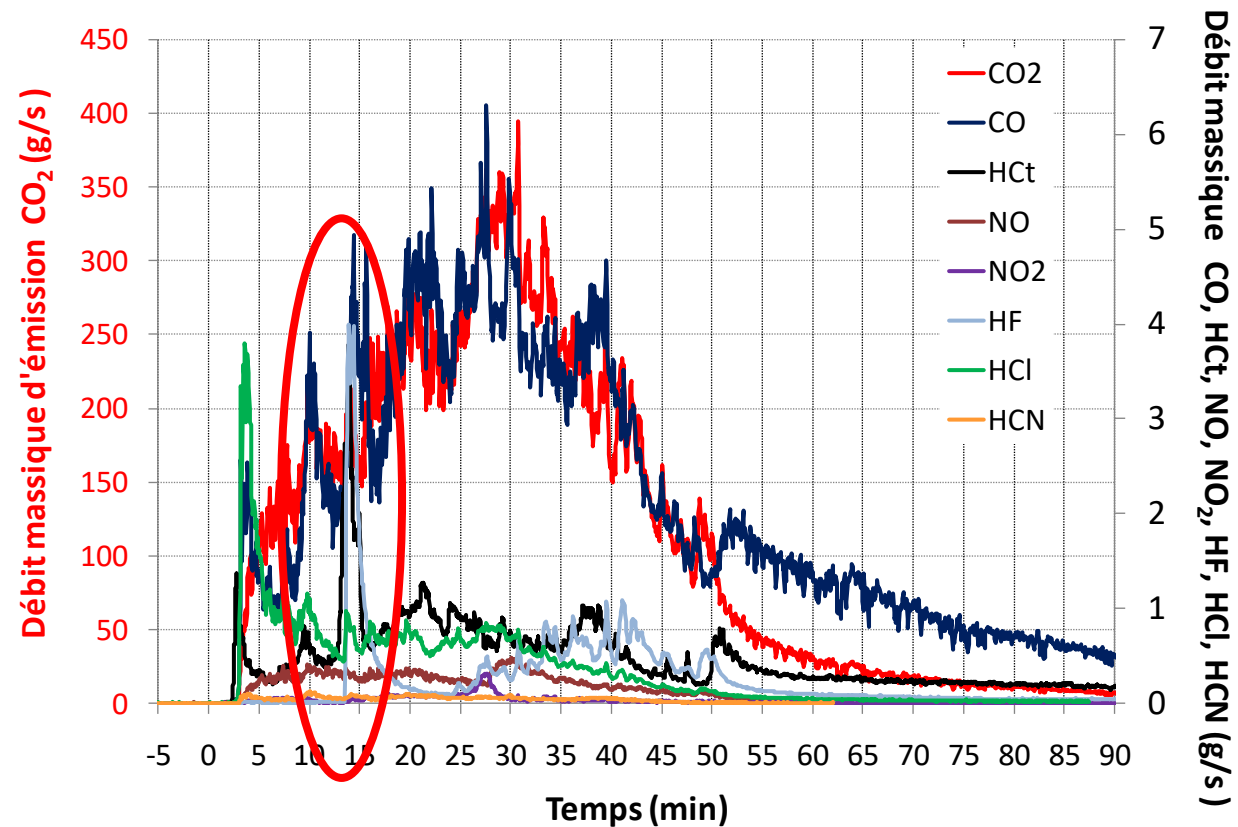
- Le CO

## Une quantité significative de HCl

- Sans lien avec la batterie

## Et du HF

- En provenance de la batterie
- Mais pas uniquement



## Contribution faible de la batterie à la toxicité des fumées

- Emission « tardive » de HF
- Emission sur une durée importante → faible taux d'émission

## En synthèse

- Pas d'influence de la batterie sur le pic de puissance ni la cinétique de développement de l'incendie
- Pas de contribution significative de la batterie à la toxicité des fumées
- Dans quelques cas, projections possibles de métal en fusion

## Pour les conditions d'essais, mais

- Si elle n'est pas la cause du départ de feu, durée nécessaire à l'inflammation d'une batterie
- Les essais ont favorisé un développement rapide de l'incendie du véhicule

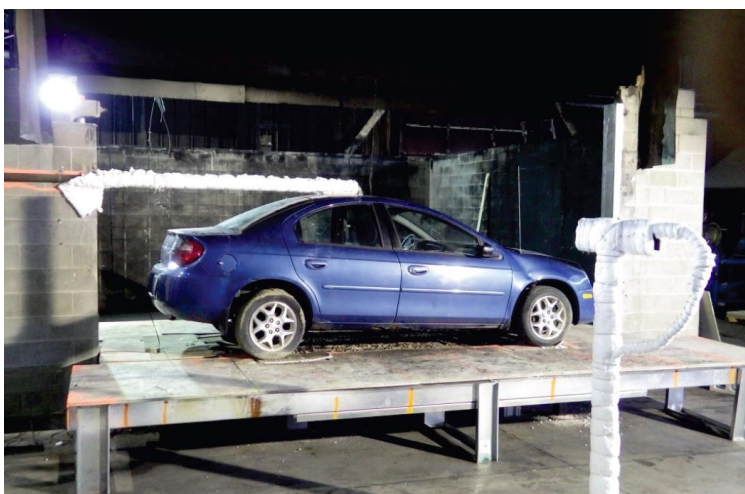
## L'objectif

- Conserver ces conclusions en développant les caractéristiques des batteries



## Depuis les essais INERIS, de nombreux essais comparatifs ont été réalisés

- Dont une étude récente avec 7 feux de véhicules “Lam, C. et al., “Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles”, FIVE, 2016 → une conclusion similaire



Vehicle	Peak HRR (MW)	Time of peak HRR (min)	Total heat release (MJ)
A-ICEV	7.1	6.0	3290
A-EV-100	6.0	7.0	--
A-EV-85	5.9	5.8	4910
B-ICEV	10.8	8.0	4950
B-EV	6.9	10.2	4660
C	6.0	7.5	4630
D	7.9 <sup>a</sup>	8.3	5850 <sup>a</sup>

- Il existe quelques papiers qui concluent différemment dont Watanabe, N. et al., “Comparison of fire behaviors of an electric-battery-powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real scale fire test”, FIVE 2012, mais sans mesure de calorimétrie

## Deux situations à distinguer

- Les PL électriques de transport de marchandises
- Le transport des batteries par des PL

## Pour les PL électriques

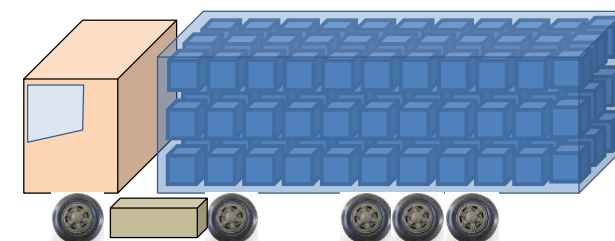
- Extrapolation des résultats VL
- Pas d'influence de la (des) batteries sur
  - Le développement de l'incendie
  - Le dégagement de toxique

## Pour le transport de batterie

- Réglementation ADR, rubriques 3090, 3480
- Est-on bien sur des « marchandises dangereuses »?

## Prise en compte d'un PL

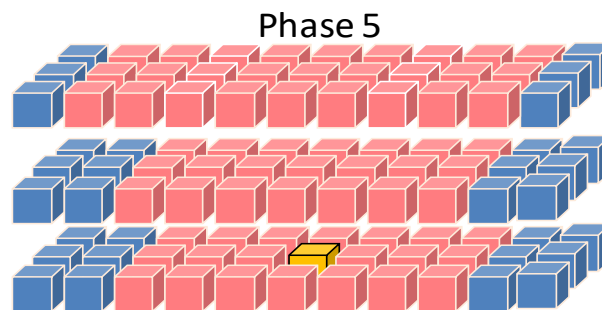
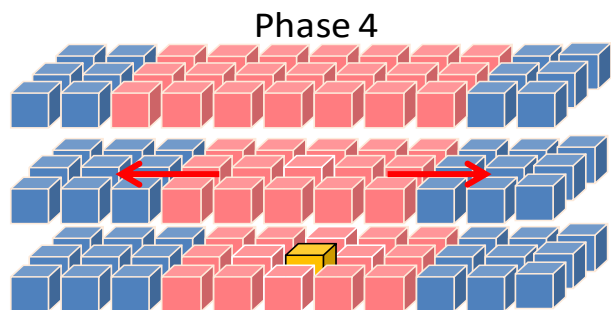
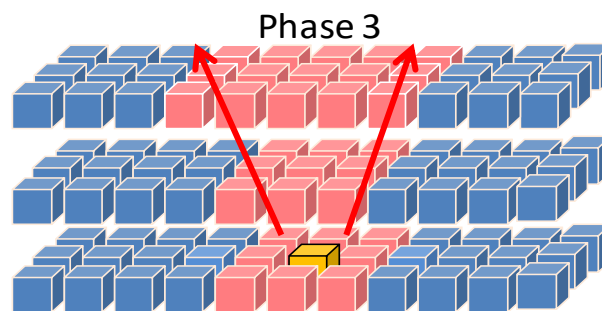
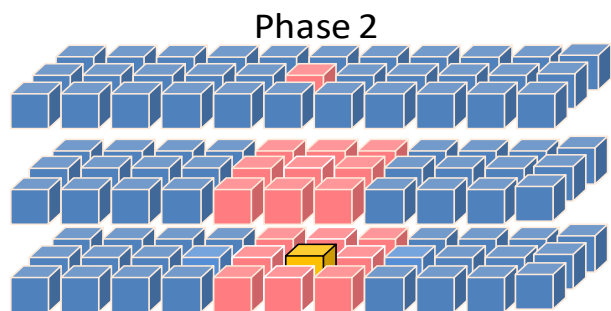
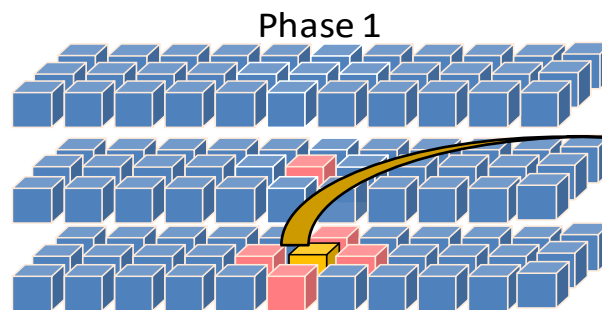
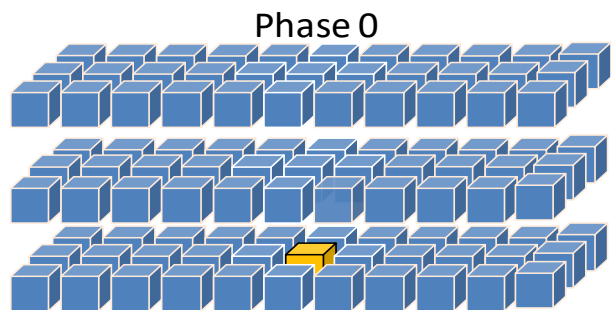
- Comparaison des caractéristiques de l'incendie
  - Pour un transport de produits alimentaires
  - Pour un transport de marchandises plastiques
  - Pour un transport d'aérosols
  - Pour un transport de pesticides
  - Pour un transport de matelas en mousse PU
- A celles d'un transport de batterie



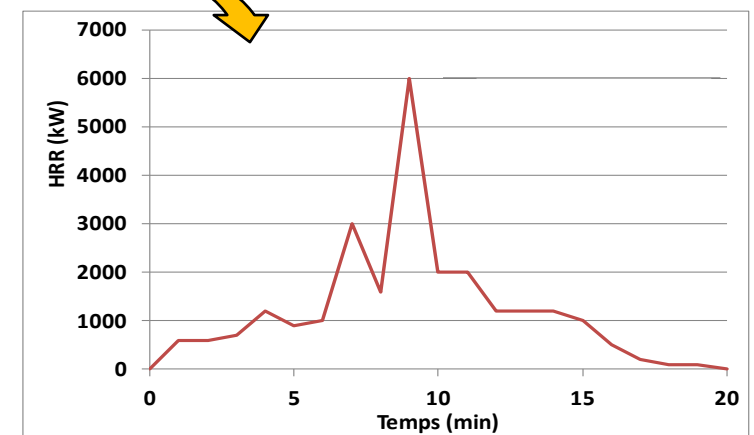
Masse maximale (Tonnes)	38
Masse du tracteur (Tonnes)	6
Masse de la remorque à vide (Tonnes)	7
Chargement (Tonnes)	25
Quantité de carburant (m <sup>3</sup> )	0,82



## Modèle de propagation de l'incendie



Puissance expérimentale



Batteries Li-Ion

# Modélisation de la courbe de puissance et de la toxicité

Des produits « standards » conduisent à un niveau de toxicité bien supérieur

- Le transport de produits plastiques
- Le transport de produits phytosanitaires

Loading type	Equivalent threshold at the source (ppm)
Pallet of 4 differents plastic barrels	554
<b>Pallet of plant protection products</b>	<b>989</b>
<b>Battery Pack N°2</b>	<b>4434</b>
Blocks of PU foam	5309
<b>Battery Pack N°1</b>	<b>5834</b>
<b>Pallet of aerosol cans</b>	<b>5850</b>
Pallet of salads	6520
Pallet of DVDs	14091

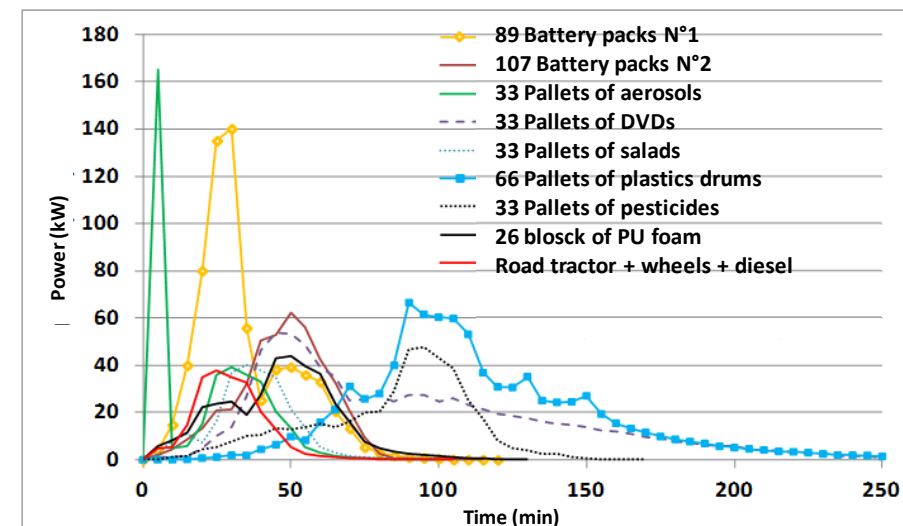
Higher Toxicity  
↓  
Lower Toxicity

La puissance d'un incendie de transport de batteries

- Reste inférieure aux valeurs des courbes normalisées pour les TMD (200 MW)

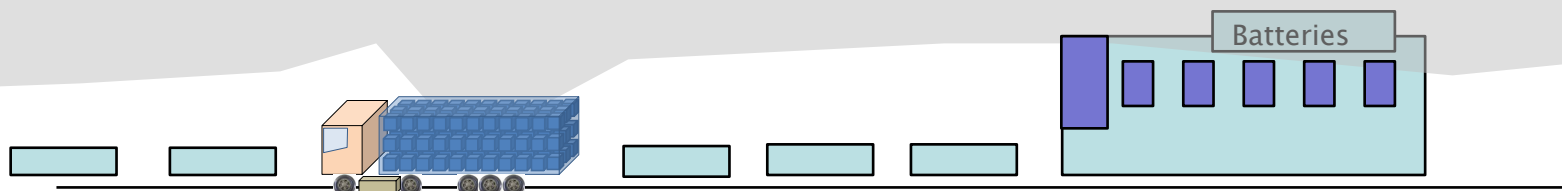
Dans tous les cas

- Un très forte dépendance aux caractéristiques des batteries



## Différentes situations à distinguer

- Les bus en charge
  - Pas de passager dans le bus
  - Risque de propagation de l'incendie au dépôt
- Les bus en circulation
  - Problématique de l'évacuation des passagers
  - En lien avec la cinétique de propagation de l'incendie
- Les bus circulant dans des infrastructures souterraines
  - Problématique de l'évacuation du bus puis du tunnel
  - Risque d'incendie sur les batteries causé par un incendie tiers





## Problématique identique au VL et PL pour la puissance

- Pas d'augmentation significative de la puissance de l'incendie du fait de la batterie
- Pas de modification des conséquences toxiques
- Conséquences identiques à l'incendie d'un bus Diesel
- La puissance est pilotée par les caractéristiques du bus (masse de plastique)

## Augmentation du risque de départ de feu

- Nombreux bus en charge dans un même espace
- Nécessité de prévenir les causes de départ de feu lié à la charge
- Un manque d'expérience trop limité aujourd'hui
- Risques électriques (surchauffe, court-circuit, surtension, surcharge, ...)

## Le cas du bus en circulation

### Nombreux feux de bus dans le retour d'expérience

- Accident de Puisseguin en 2015 : 43 morts (Collision car/PL)
- Accident d'Etagnac en 2015 : Aucun blessé, 39 enfants dans le bus (Départ de feu sous capot moteur)
- Accident de YizHan (Chine) en 2016 : 35 morts (fuite d'huile)
- Accident de Casablanca (Maroc) en 2016 : Aucune victime (dysfonctionnement freinage)

### Des phénomènes sont à prendre en compte

- La nature et la cinétique de développement de l'incendie
  - La batterie ne doit pas accélérer le dvp de l'incendie
  - C'est ce que semblent montrer les essais
- La capacité des personnes à évacuer



**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |

## A la problématique de l'évacuation du bus s'ajoute

- L'évacuation du tunnel
- Le risque d'inflammation par un incendie distant



## L'évacuation du tunnel

- Est un problème pour tous les usagers
- Accru pour le bus en raison du nombre de passagers

## L'inflammation par un incendie tiers

- La durée d'évacuation est généralement supérieure à la durée de résistance des batteries dans une ambiance chaude (capotage compris)
- Risque d'inflammation pendant l'intervention des secours, gestion de deux foyers



## Quel que soit le type de véhicule, pas de modification de la nature de l'incendie

- La puissance maximale est comparable à celle des véhicules thermiques
- Les incendies de VE ne dégagent pas plus de toxiques que les véhicules thermiques

## Quelques points d'attention

- L'évolution des technologies de batteries et l'augmentation de la densité d'énergie
- L'augmentation de la fréquence des départs de feu
- Le risque d'incendie lors des phases de charge

## Un réel besoin

- De transparence et de communication
- Ne pas reproduire « l'effet GPL »

Un réel enjeu : la maîtrise des risques pour le développement de la technologie

En l'état des connaissances

- Pas d'augmentation des conséquences des incendies
- Une incertitude sur la fréquences des départs de feu

Des difficultés à conserver à l'esprit

- Le développement des technologies ... et donc possiblement du risque
- Une intervention pouvant être plus difficile pour les services de secours