



Température d'une structure en acier dans un parking en cas d'incendie impliquant des véhicules à motorisations alternatives

➤ *Construire en métal, un art, notre métier*

Jean-Baptiste Tramoni- CTICM

Christophe Thauvoye – CTICM

François Hanus - ArcelorMittal Global R&D

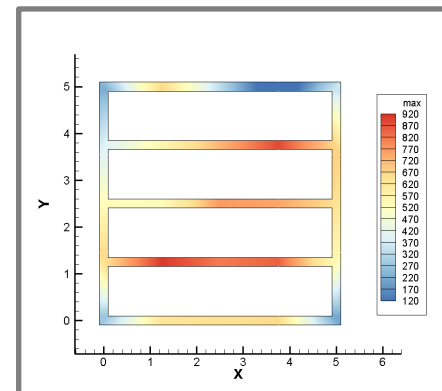
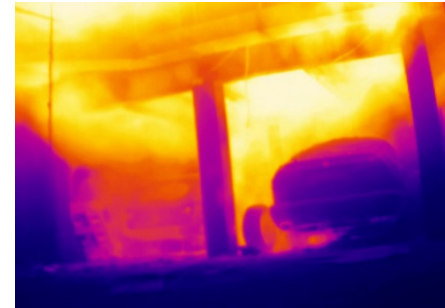
Bruno Poutrain - BSPP

Mathieu Suzanne - Central Police Laboratory

Aurélien Thiry - Central Police Laboratory



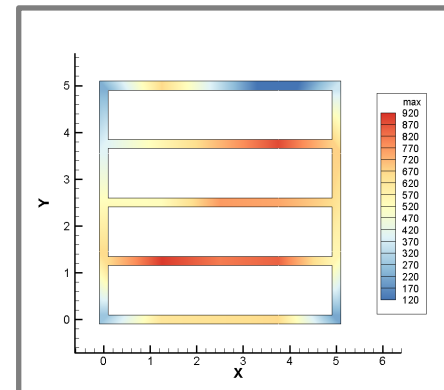
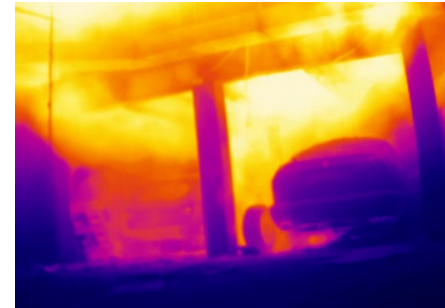
- Contexte
- Matériel et méthode
- Dynamiques de chauffe
- Cas du véhicule électrique
- Températures maximales
- Conclusion



- Véhicules à motorisations alternatives de plus en plus courants
- Interrogation des services de secours
 - ✓ Comment se comportent-ils en cas d'incendie ?
- Intervention du LCPP pour répondre à ces problématiques par la mise en place d'une campagne d'essais avec la BSPP au sein du parking souterrain du hangar H6N6 à Orly, voué à la démolition et mis à disposition par Aéroports de Paris.

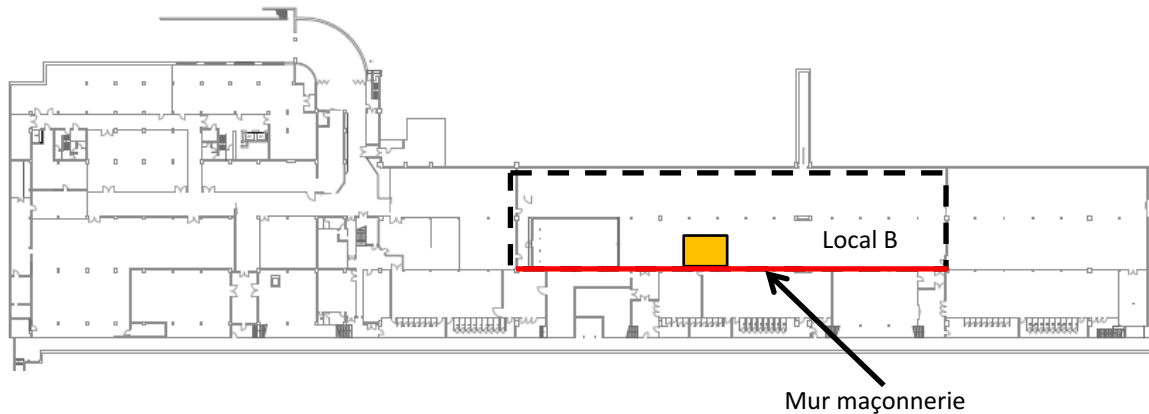
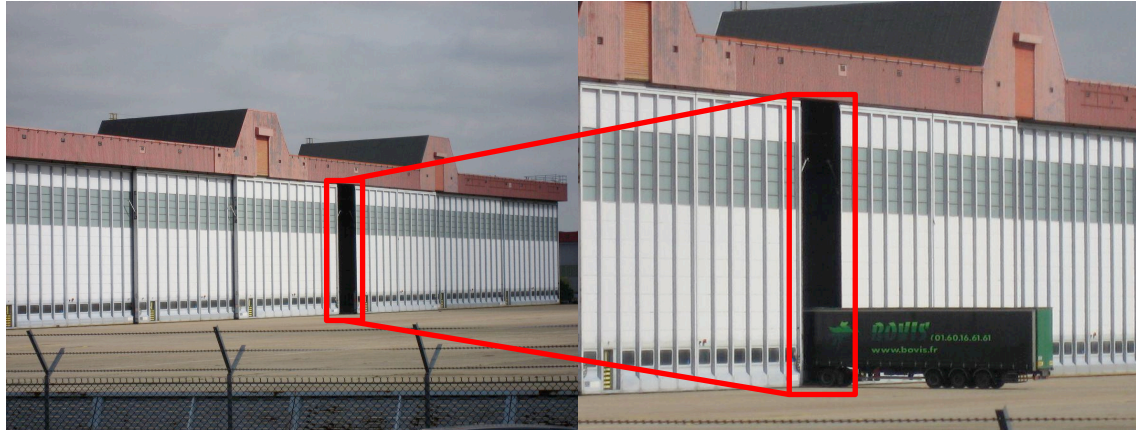
- Intérêt du secteur de la construction métallique
 - ✓ Quels sont les actions thermiques générées par les feux de véhicules ?
- Implantation d'une structure acier conjointement par le CTICM et ArcelorMittal avec l'aide de Castel&Fromaget afin de mesurer les échauffements lors des essais
- Mesures par le LCPP, le CSTB et le BfB de la température des gaz chauds, de la pression, des flux thermiques

- Contexte
- Matériel et méthode
- Dynamiques de chauffe
- Cas du véhicule électrique
- Températures maximales
- Conclusion



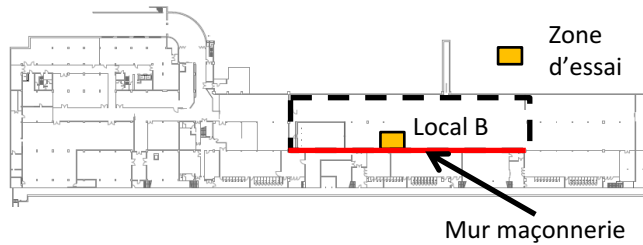
MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Tests réalisés dans le parking souterrain d'un hangar voué à la destruction

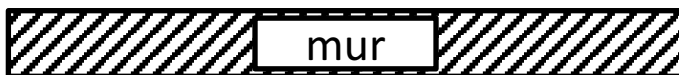
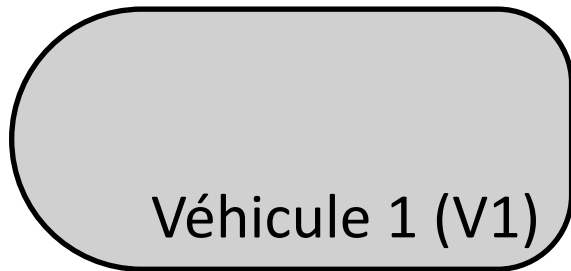
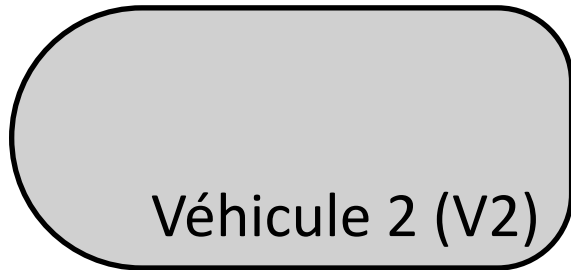


Zone d'essai

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES

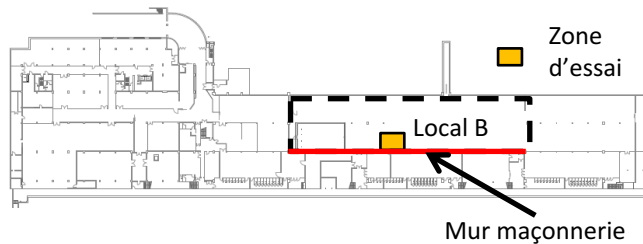


- Présence d'un mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - ✓ Favorise l'emballement thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1
- 5 essais réalisés:



Vue du dessus

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES



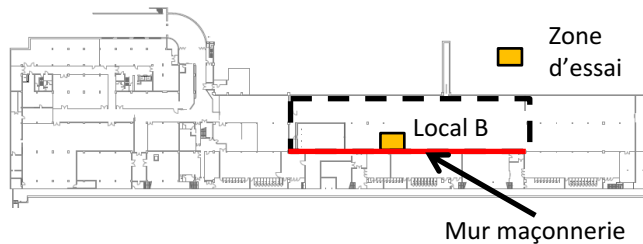
- Présence d'un mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - Favorise l'emballage thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1
- 5 essais réalisés:
 - ✓ Deux véhicules thermiques (référence)



20L de gasoil
Entièrement
clos

60L de gasoil
Vitres et lunette
arrière manquantes

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES



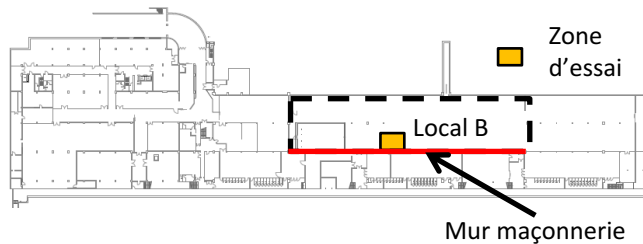
- Présence d'un mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - Favorise l'emballement thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1
- 5 essais réalisés:
 - ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène



20L de gasoil
Entièrement
clos

74L de H₂ à 700 bars
Vitres ouvertes

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES



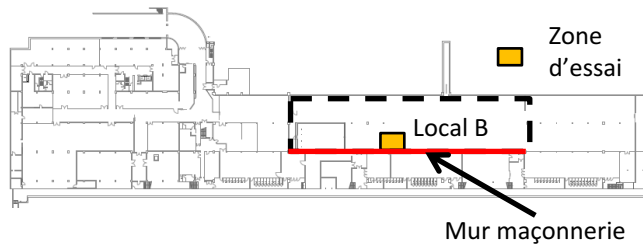
- Présence d'un mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - Favorise l'emballement thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1
- 5 essais réalisés:
 - ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)



20L de gasoil
Entièrement
clos

56L de GNV à 300
bars
Vitres ouvertes

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES



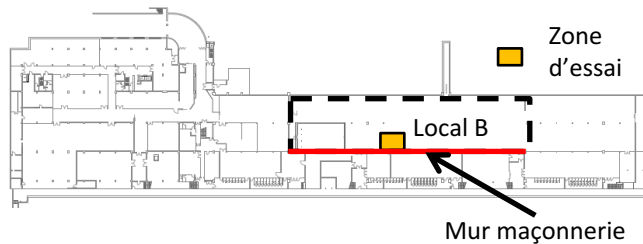
- Présence d'un mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - Favorise l'emballement thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1
- 5 essais réalisés:
 - ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
 - ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)



20L de gasoil
Vitres ouvertes

Electrique à 100 %
de charge
Vitres ouvertes

MATÉRIEL ET MÉTHODE : VÉHICULES



- Présence dur mur et d'un véhicule thermique (V2)
 - Favorise l'emballement thermique de la batterie
- Allumage dans l'habitacle de V1

➤ 5 essais réalisés:

- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)



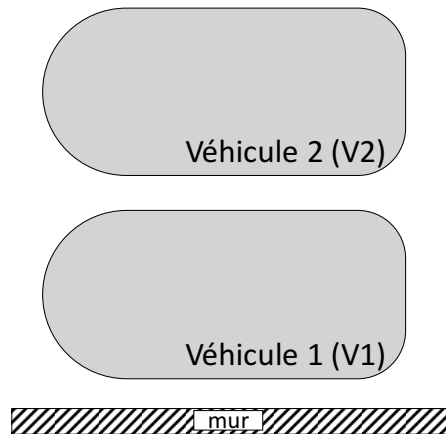
20L de gasoil
Entièrement
clos

36L de GPL
20L de gasoil
Lunette arrière et
Vitres ouvertes

MATÉRIEL ET MÉTHODE : STRUCTURE

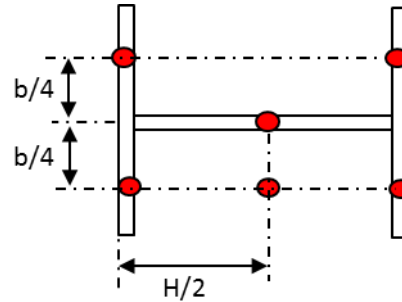


- 200 Thermocouples répartis sur :

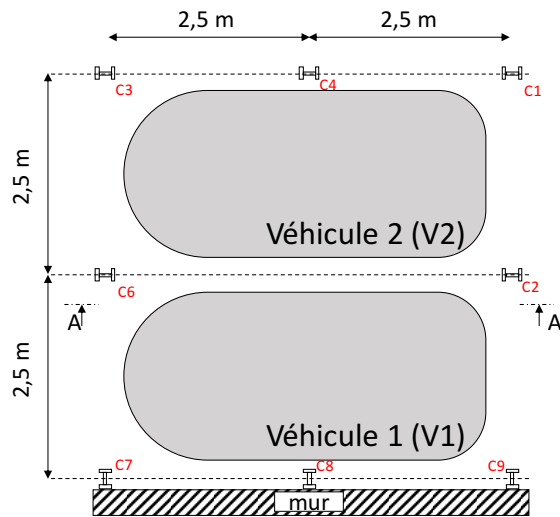


Vue du dessus

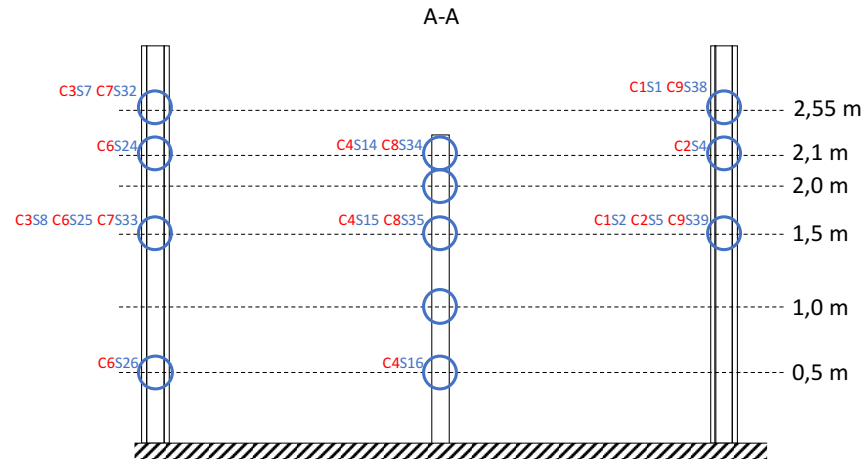
MATÉRIEL ET MÉTHODE : STRUCTURE



- 200 Thermocouples répartis sur :
 - ✓ 8 poteaux HEA 300

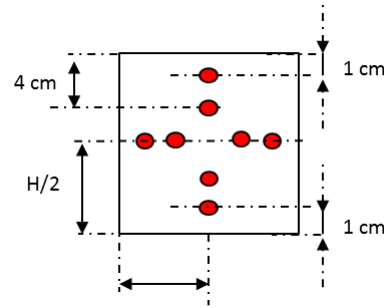


Vue du dessus

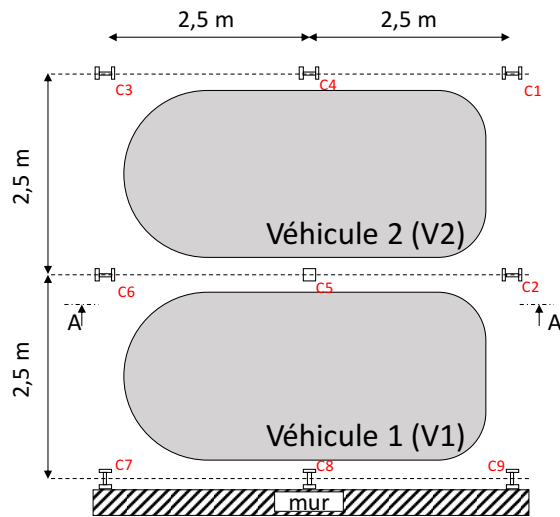


Vue en coupe

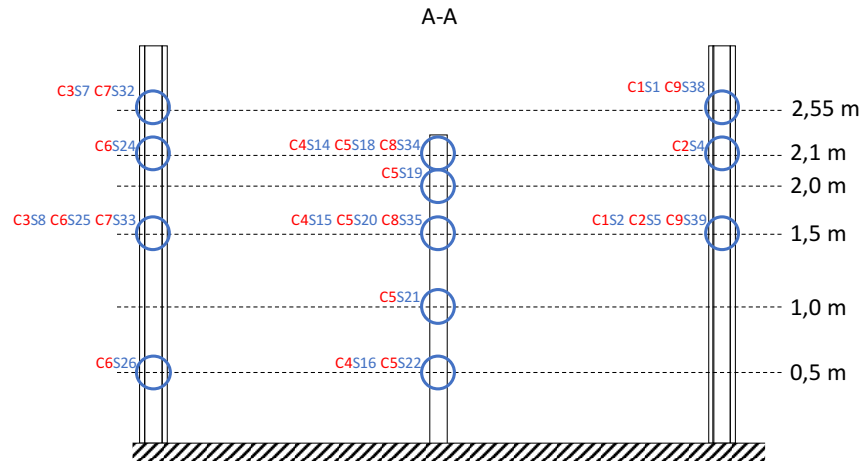
MATÉRIEL ET MÉTHODE : STRUCTURE



- 200 Thermocouples répartis sur :
- ✓ 8 poteaux HEA 300
 - ✓ 1 poteau carré plein 160x160

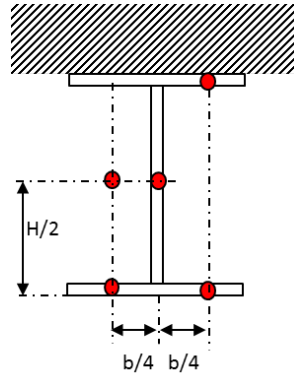


Vue du dessus

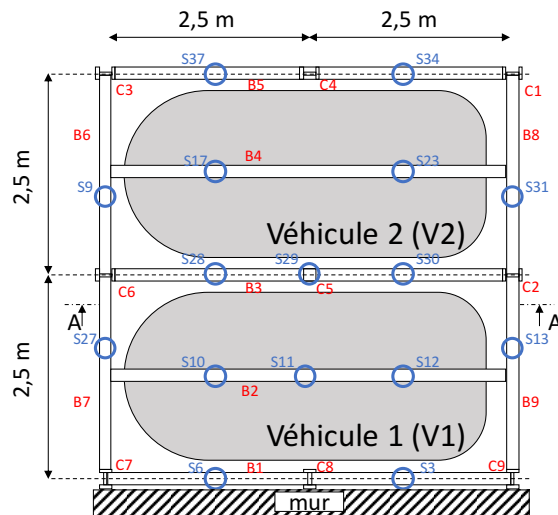


Vue en coupe

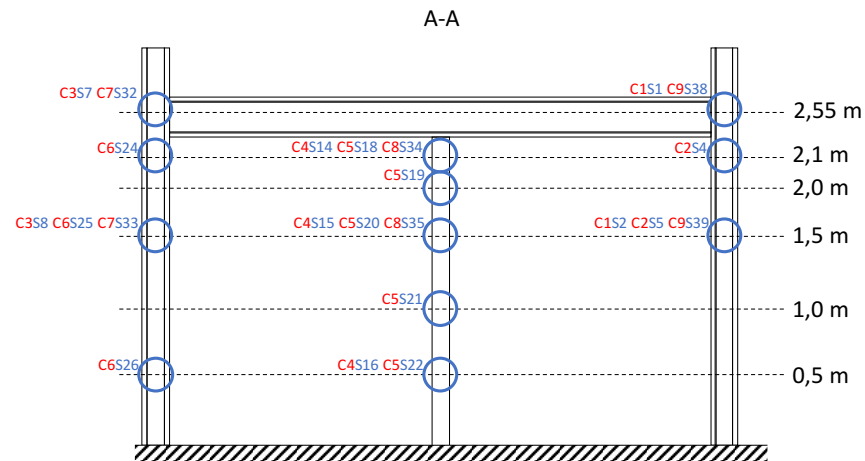
MATÉRIEL ET MÉTHODE : STRUCTURE



- 200 Thermocouples répartis sur :
 - ✓ 8 poteaux HEA 300
 - ✓ 1 poteau carré plein 160x160
 - ✓ 7 poutres IPE450

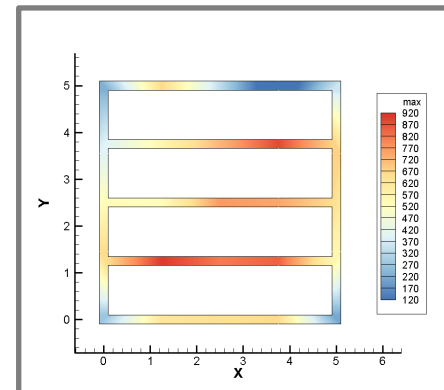
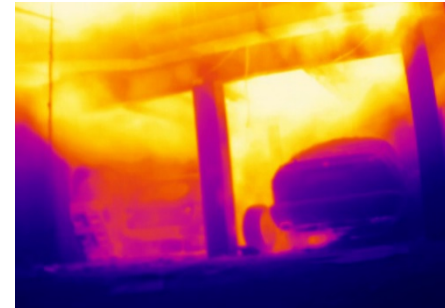


Vue du dessus



Vue en coupe

- Contexte
- Matériel et méthode
- **Dynamiques de chauffe**
- Cas du véhicule électrique
- Températures maximales
- Conclusion



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI DE RÉFÉRENCE

➤ 5 essais réalisés:

- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)

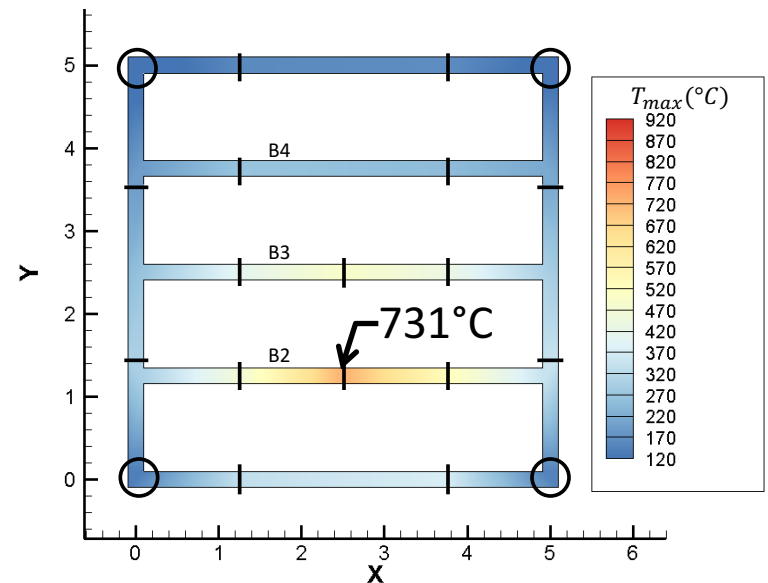
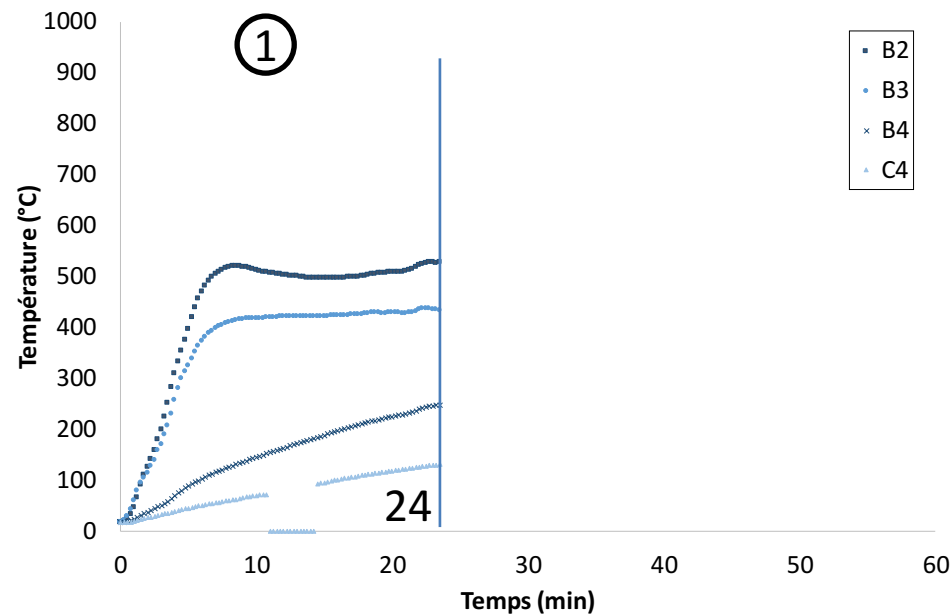


20L de gasoil
Entièrement
clos

60L de gasoil
Vitres et lunette
arrière manquantes

DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI DE RÉFÉRENCE

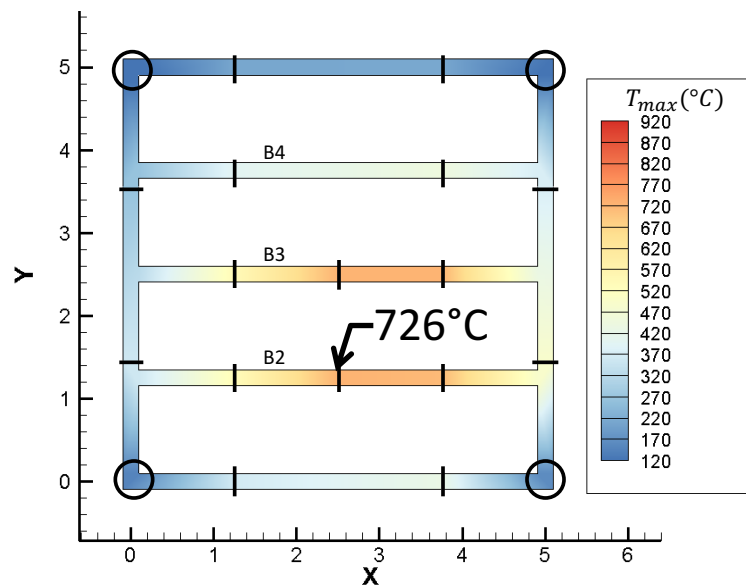
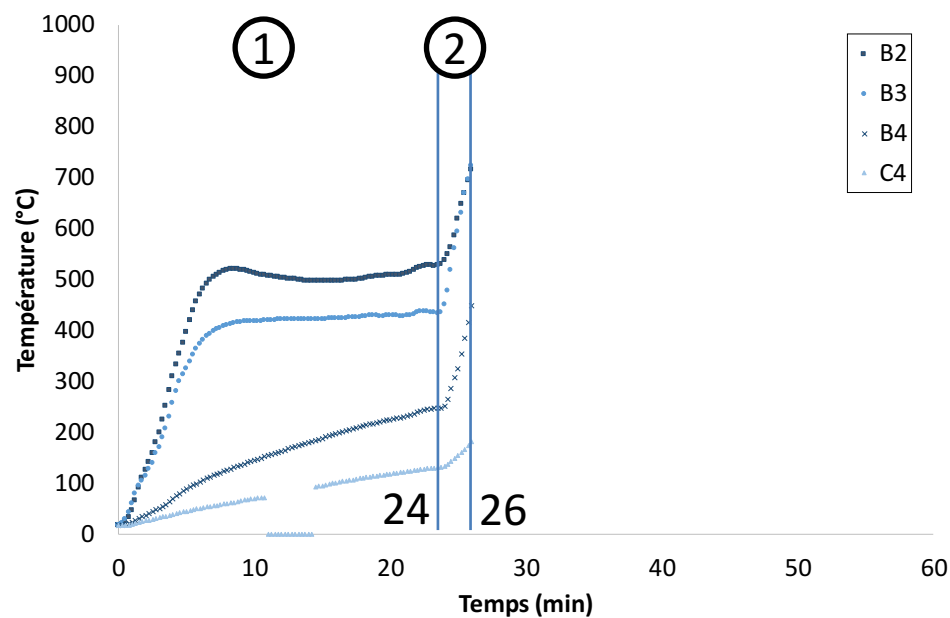
Développement



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI DE RÉFÉRENCE

Développement

Combustion gasoil V1

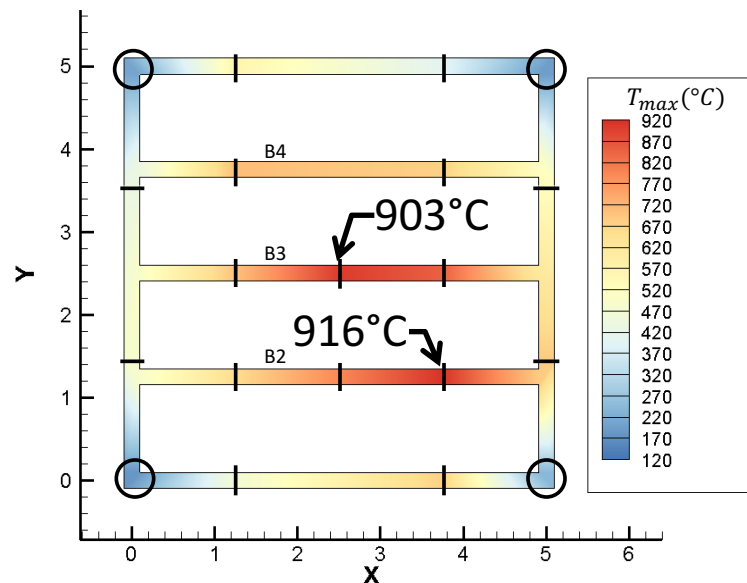
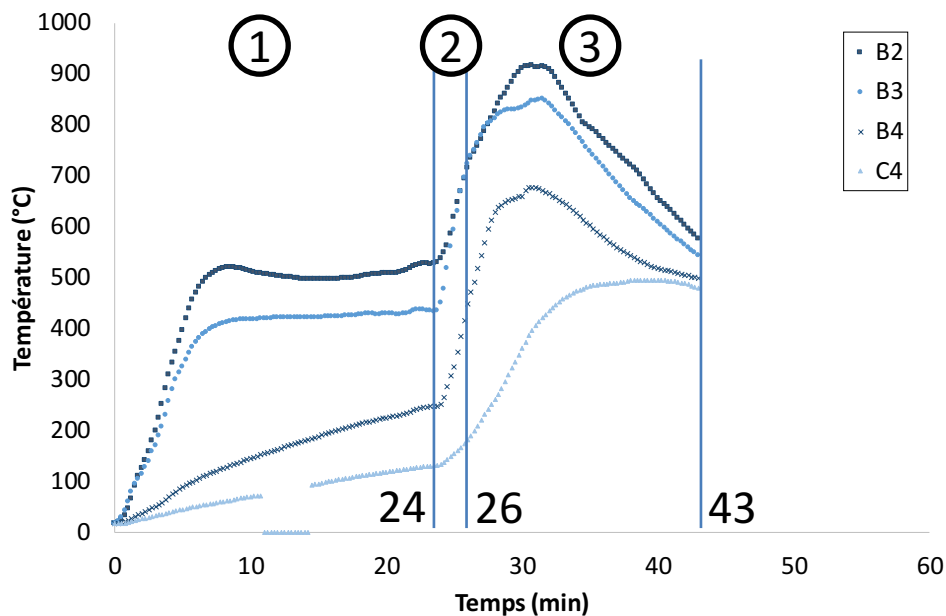


DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI DE RÉFÉRENCE

Développement

Combustion gasoil V1

Propagation à V2



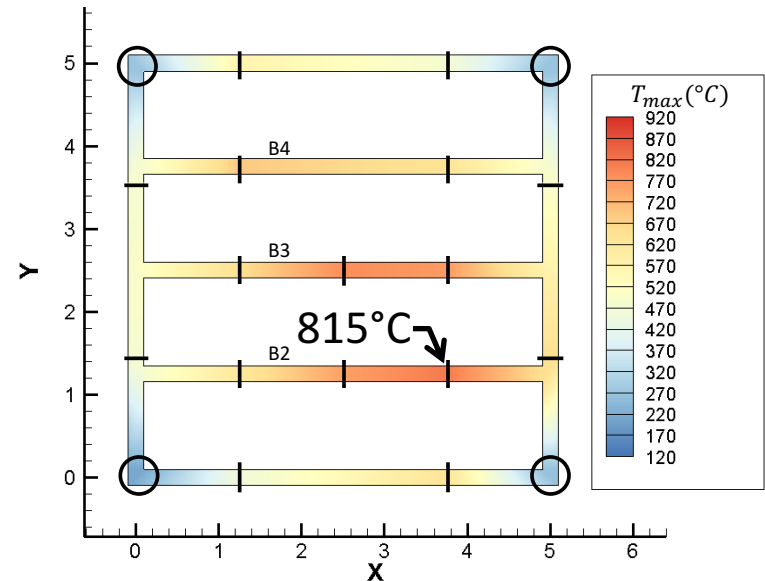
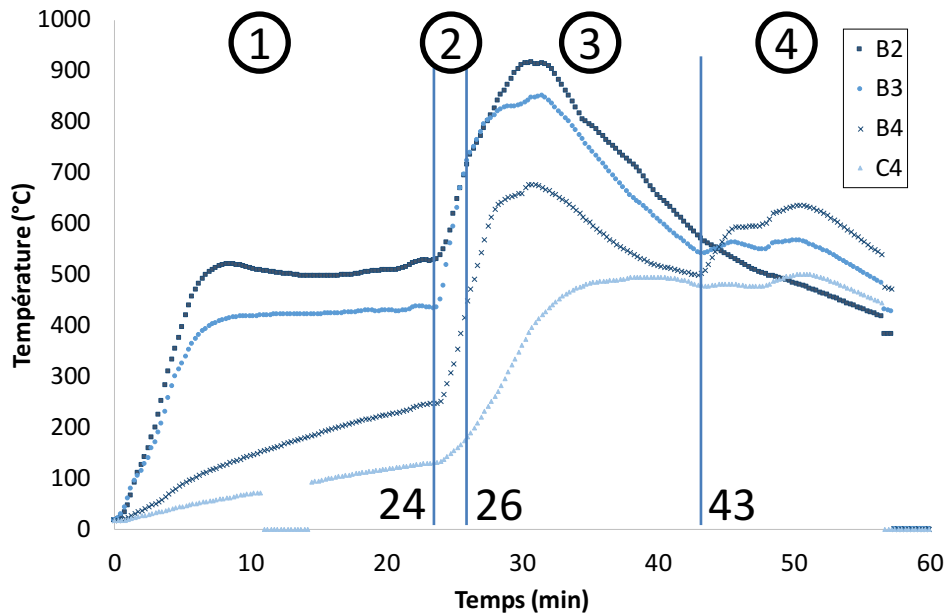
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI DE RÉFÉRENCE

Développement

Combustion gasoil V1

Propagation à V2

Combustion gasoil V2



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

➤ 5 essais réalisés:

- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)



20L de gasoil
Entièrement
clos

74L de H₂ à 700 bars
Vitres ouvertes

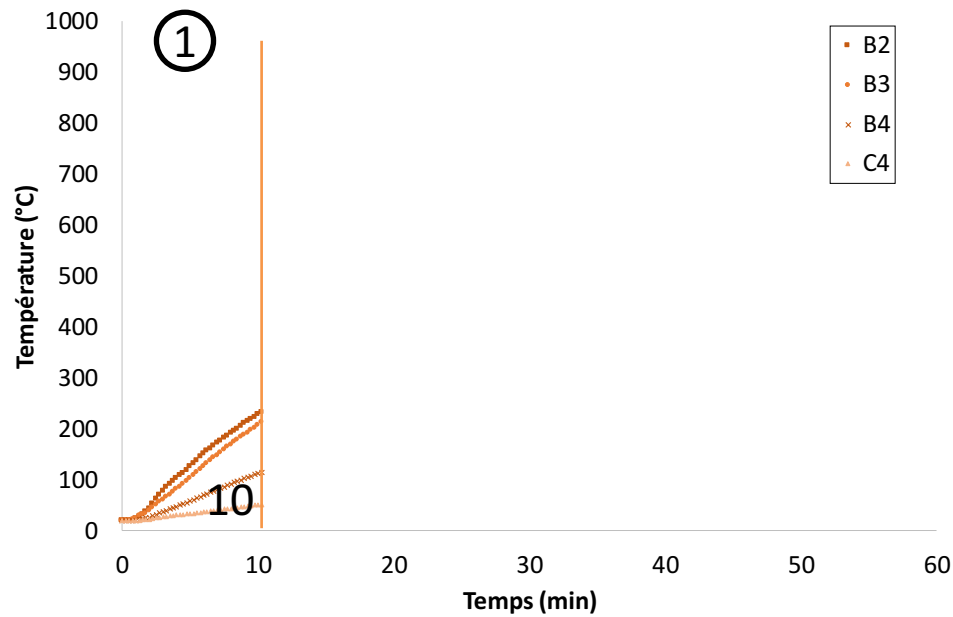
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

- Réservoir déporté dans le local au dessus
- Rupteur thermique dans le coffre de V1
- Sortie de purge sous V1



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

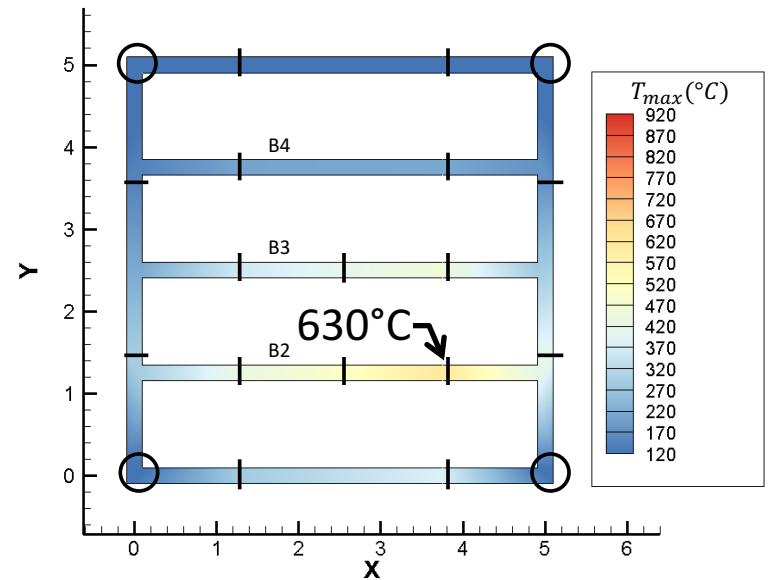
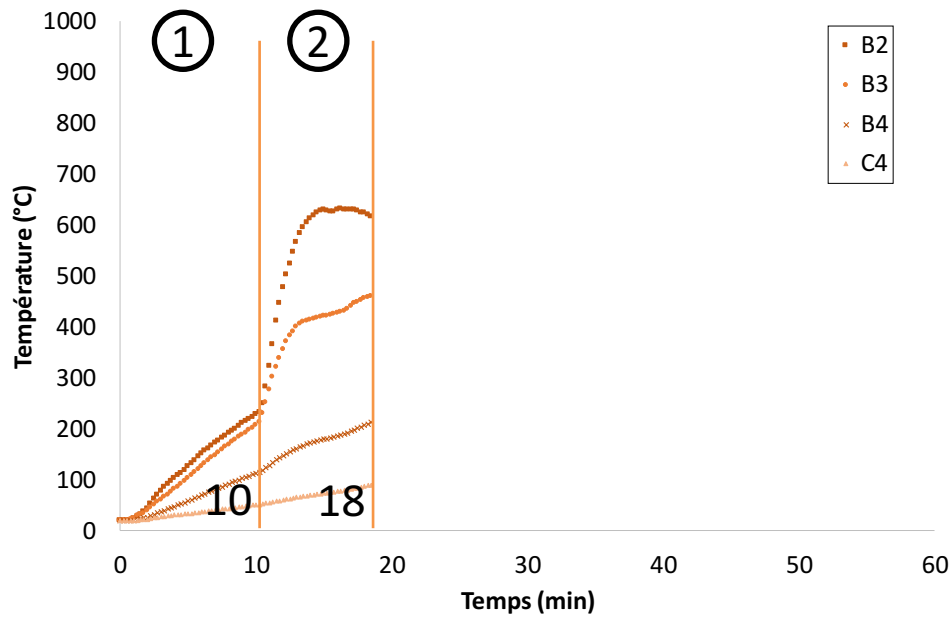
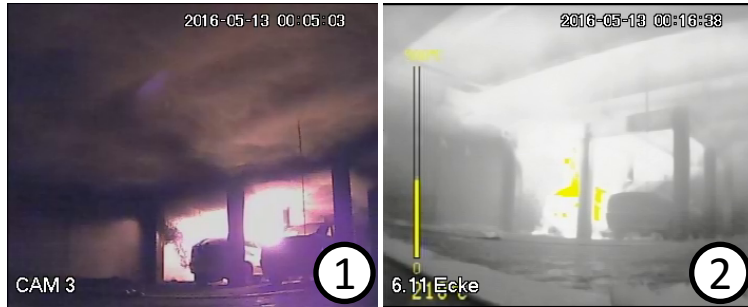
Développement



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

Développement

Bris lunette
arrière V1

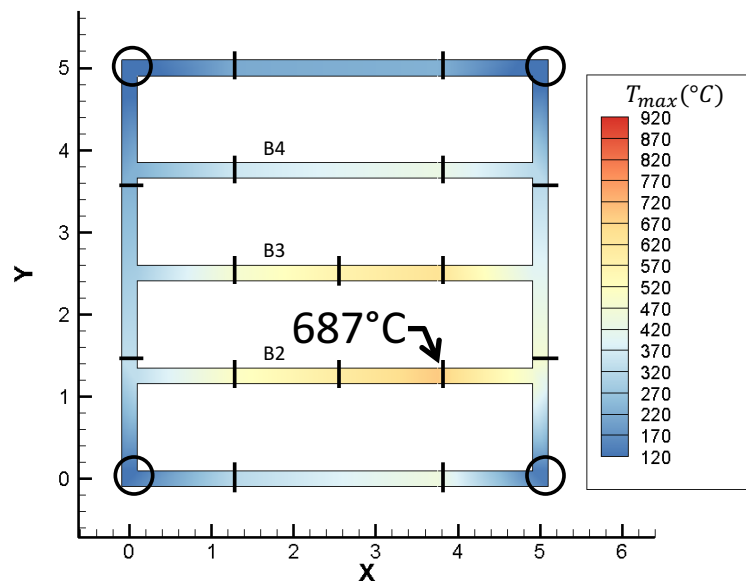
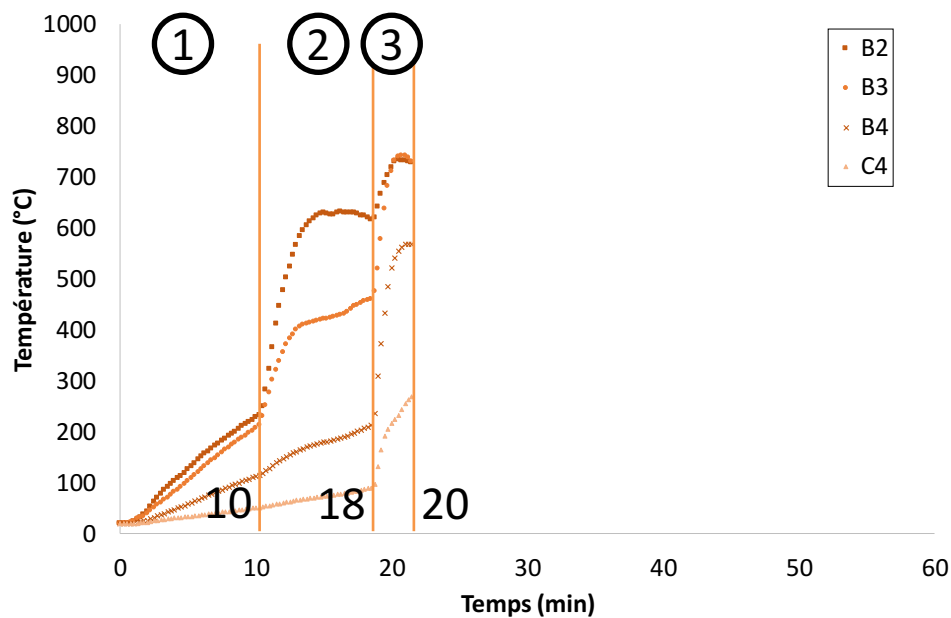


DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

Développement

Bris lunette
arrière V1

Purge



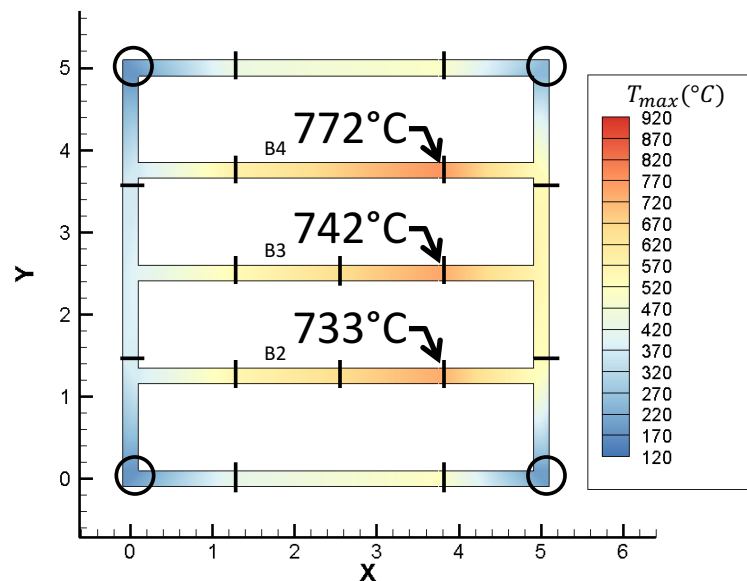
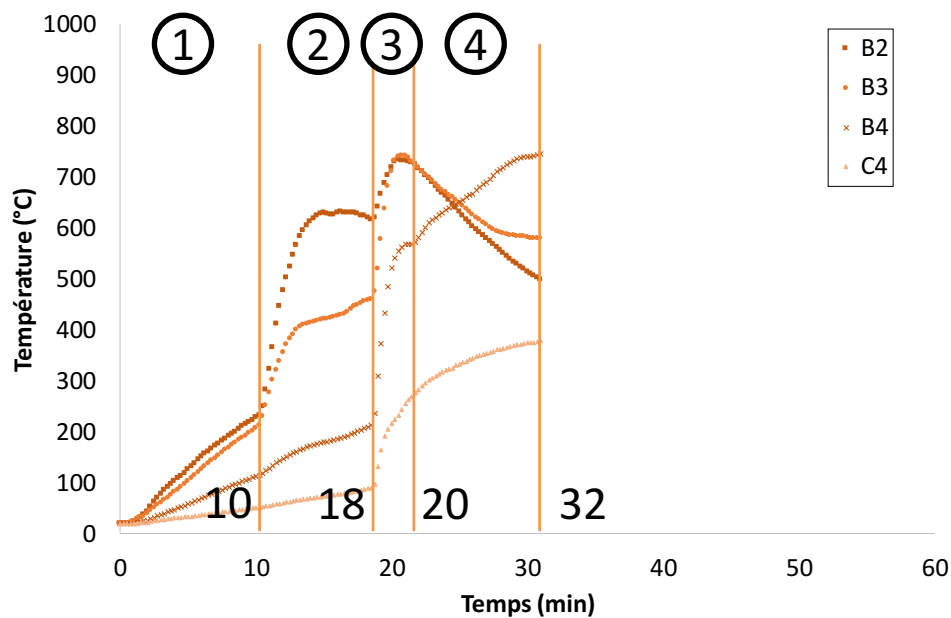
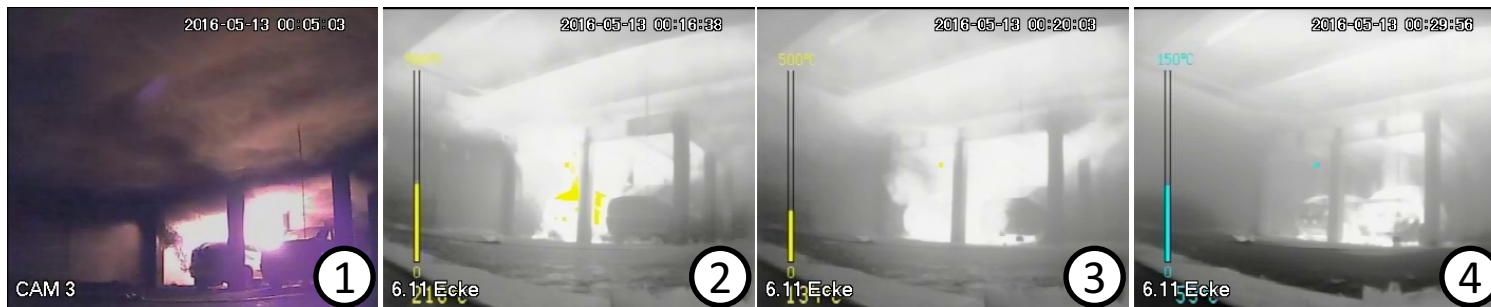
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

Développement

Bris lunette
arrière V1

Purge

Combustion de
V2



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI HYDROGÈNE

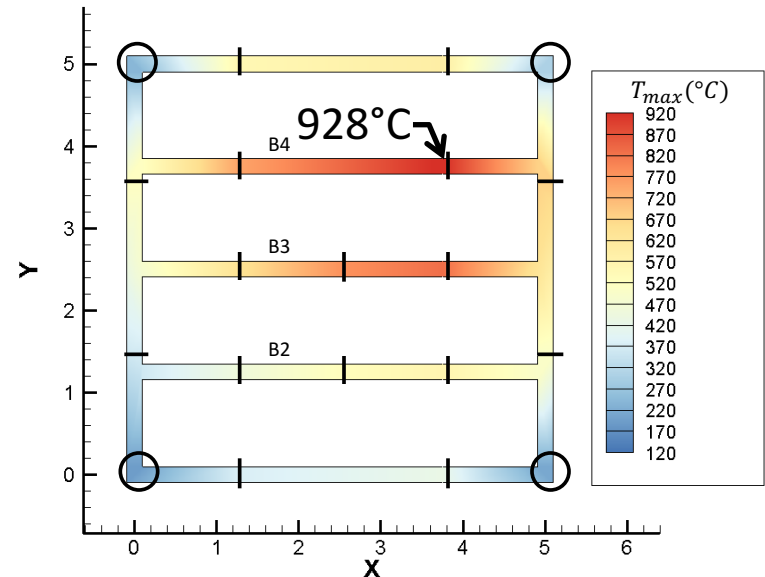
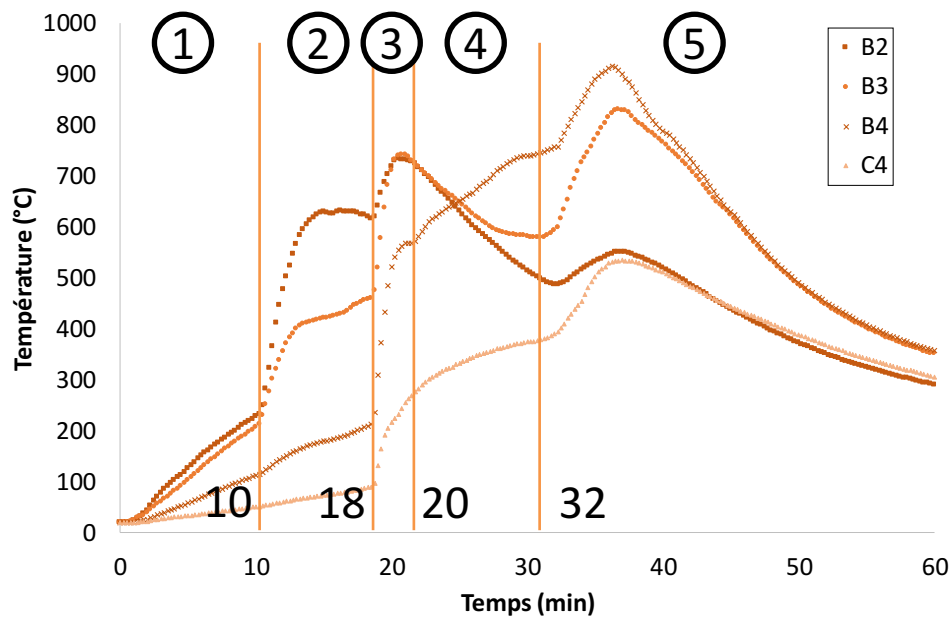
Développement

Bris lunette
arrière V1

Purge

Combustion de
V2

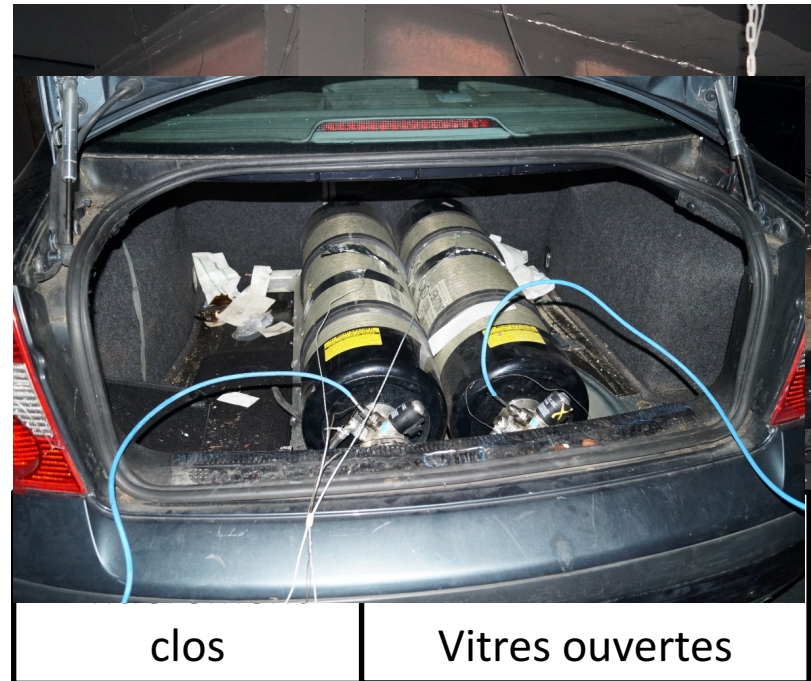
Combustion
gasoil V2



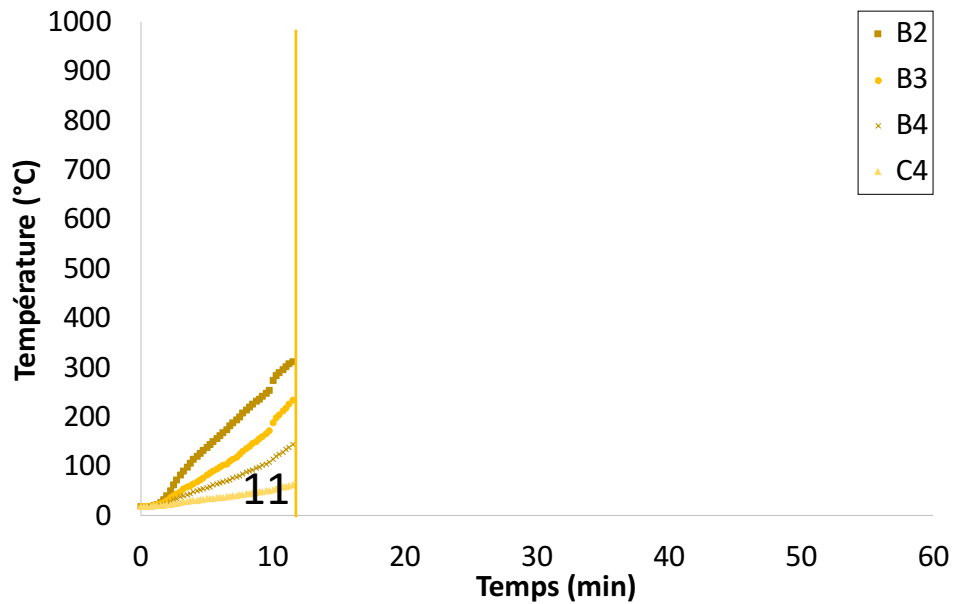
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV

➤ 5 essais réalisés:

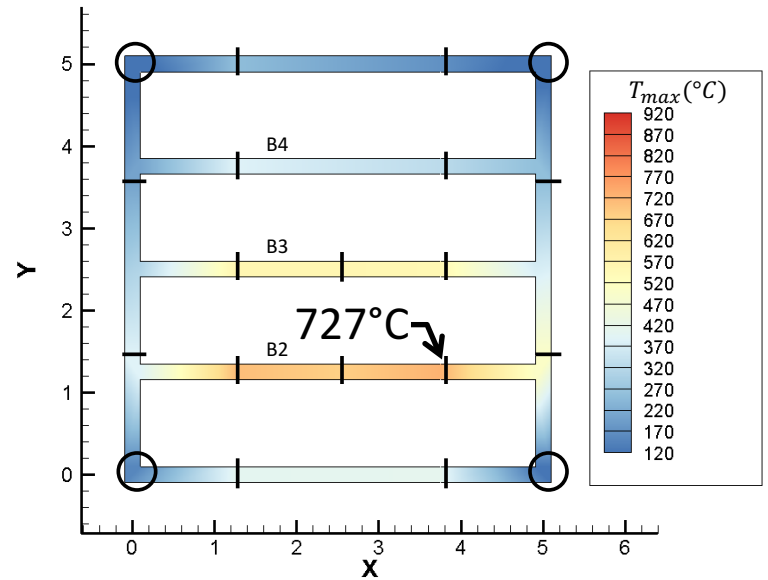
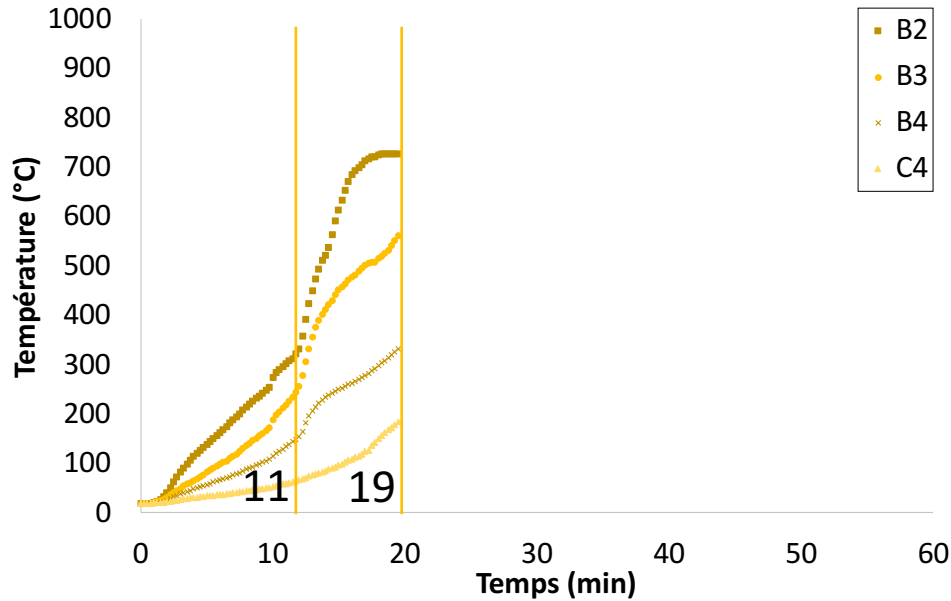
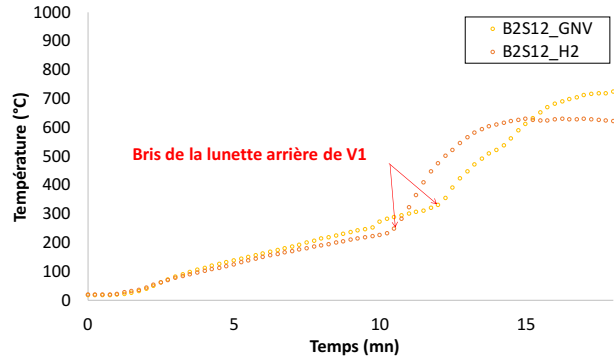
- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)



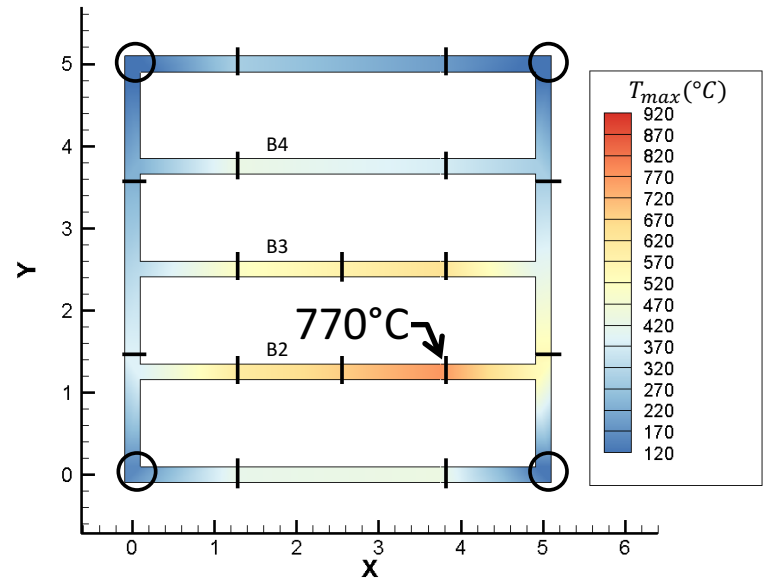
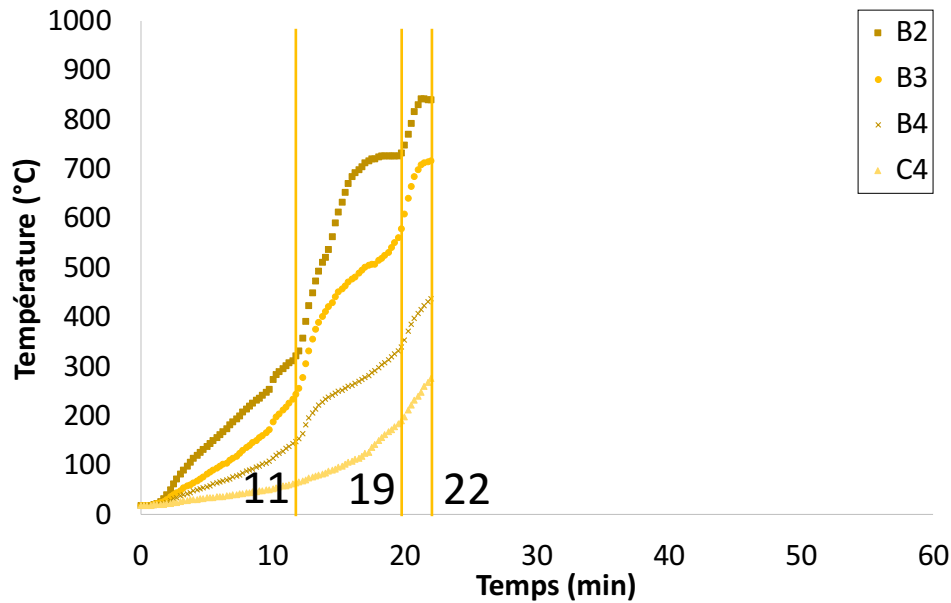
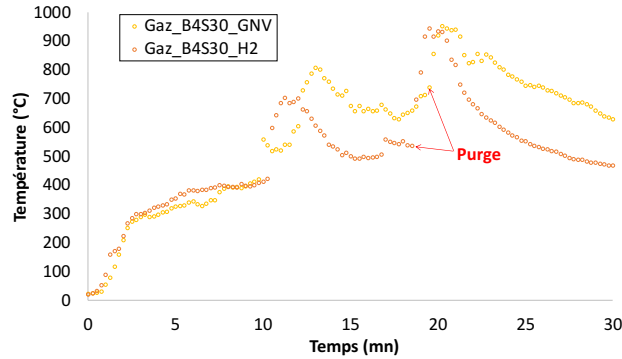
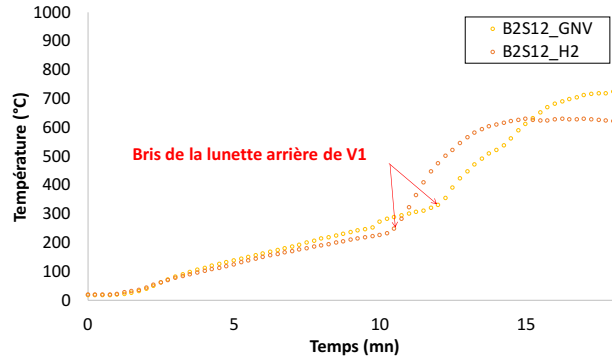
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV



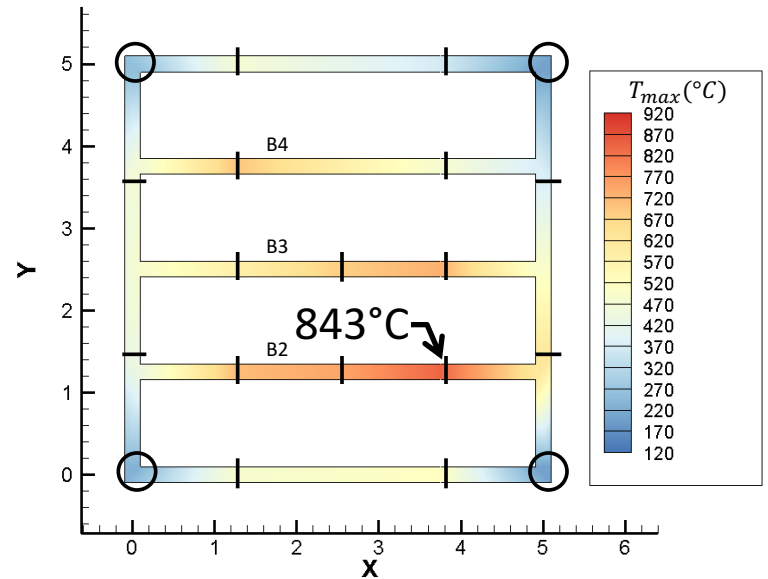
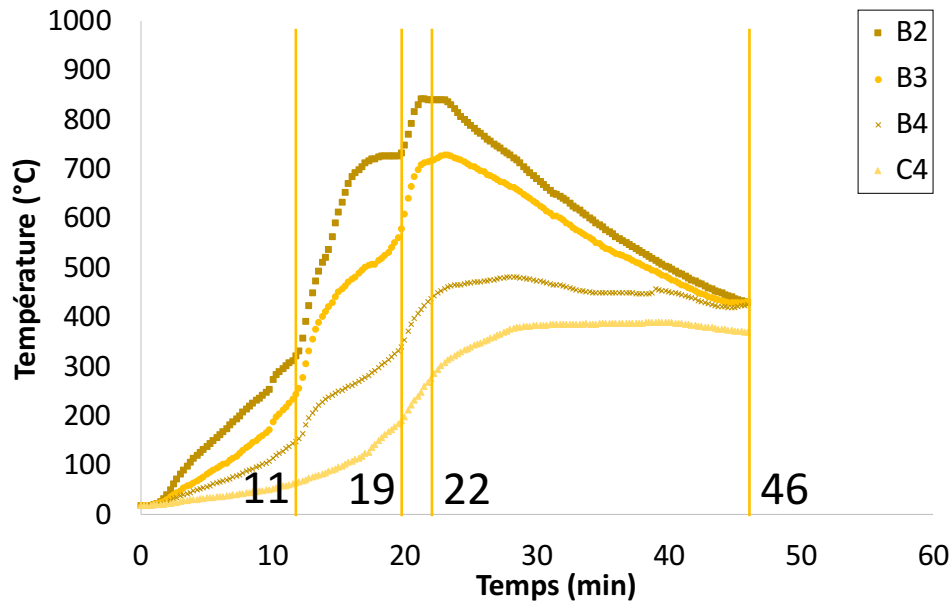
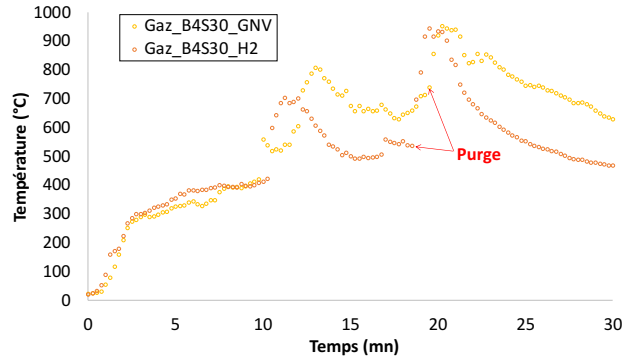
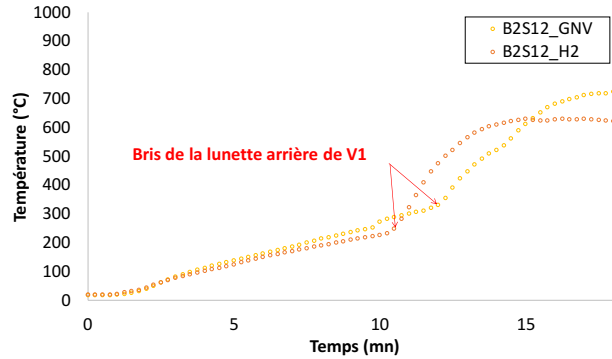
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV



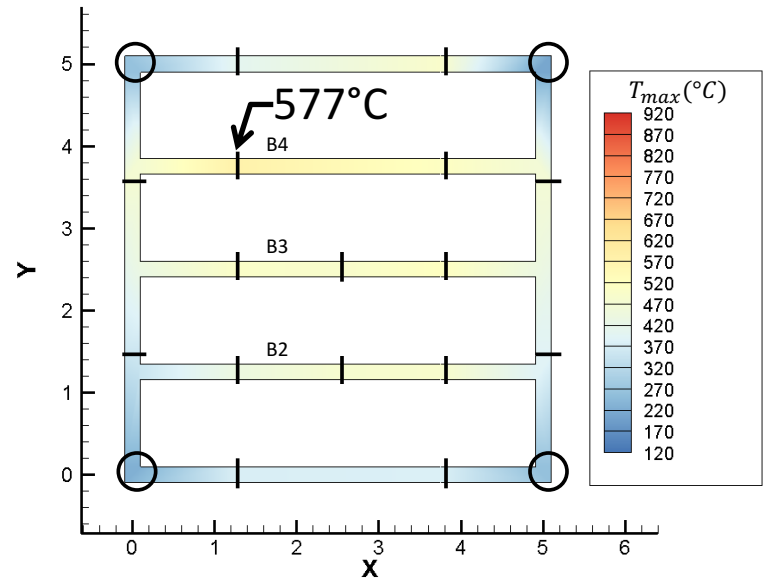
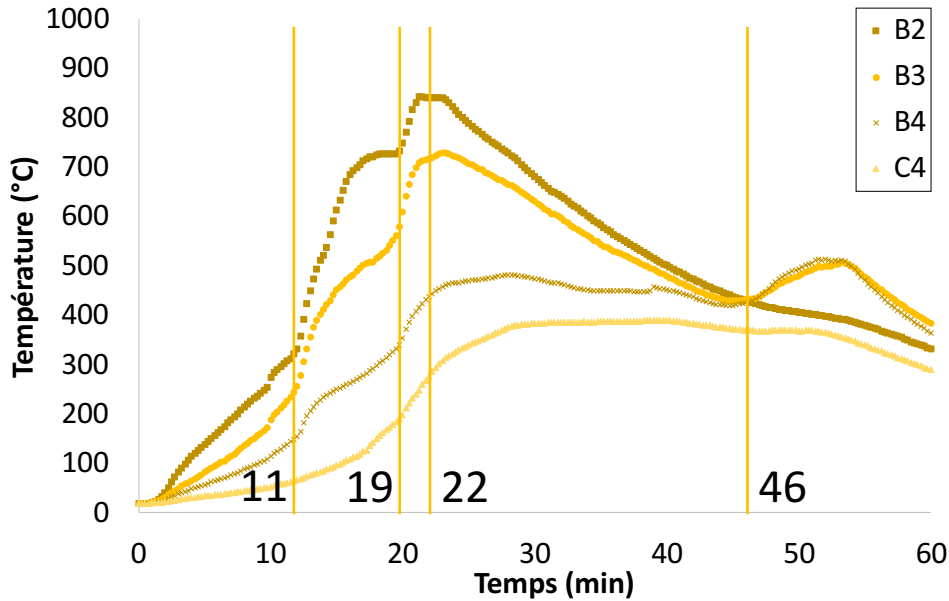
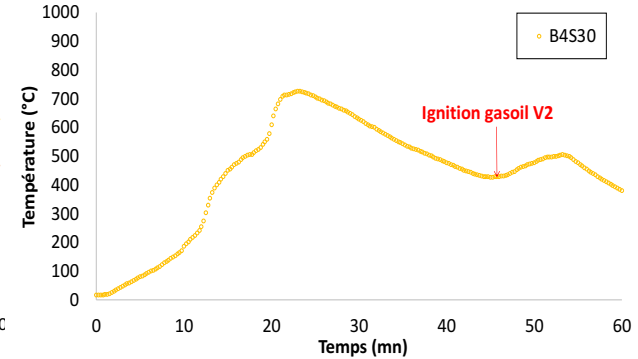
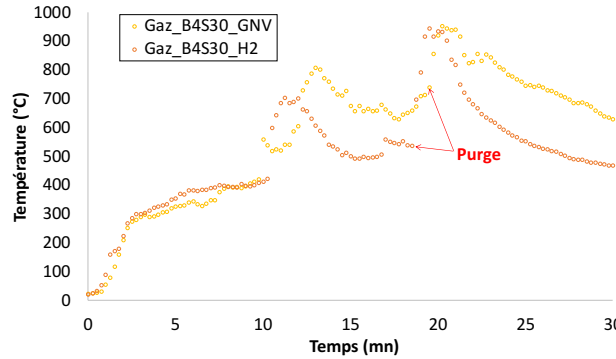
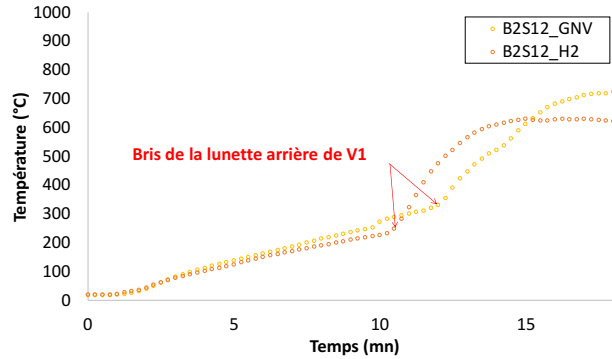
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV



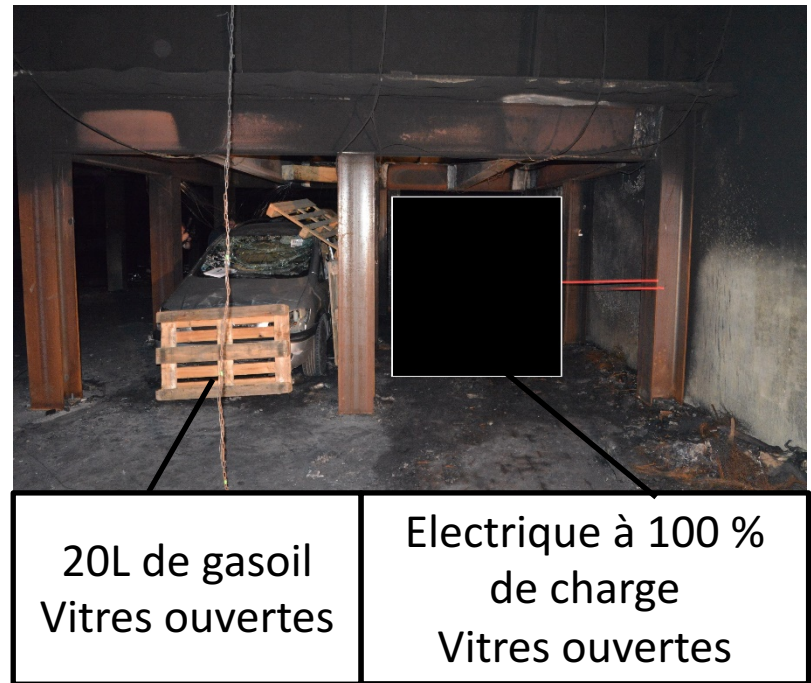
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GNV



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI ÉLECTRIQUE

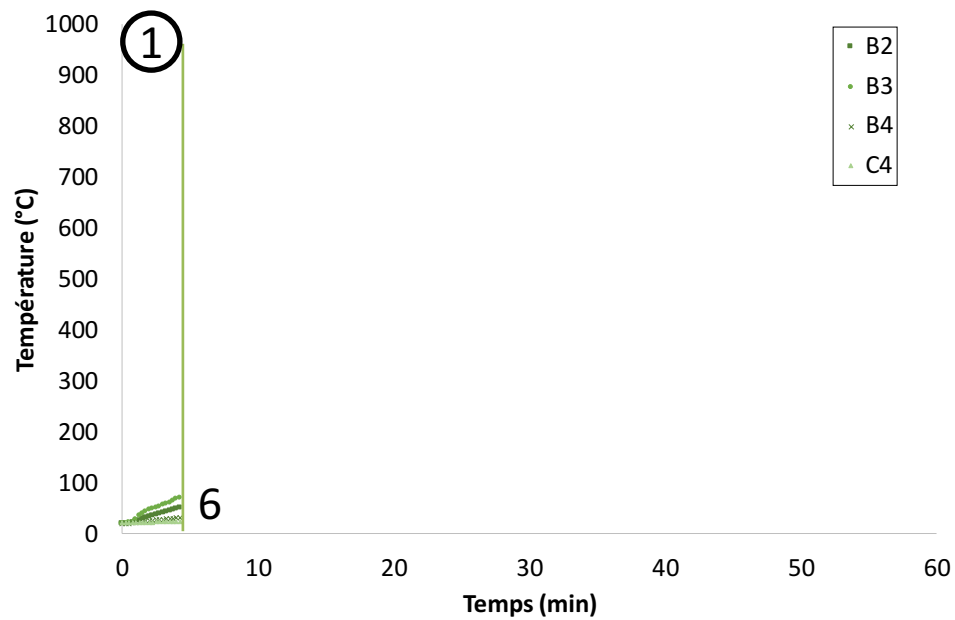
➤ 5 essais réalisés:

- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI ÉLECTRIQUE

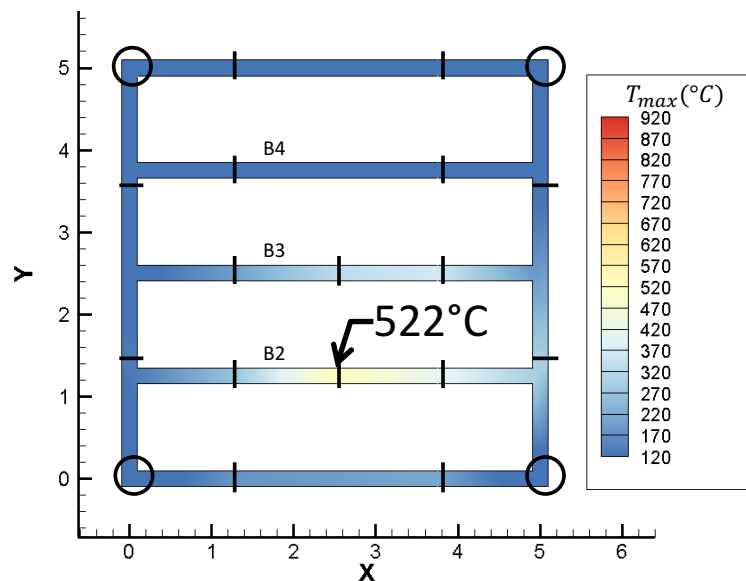
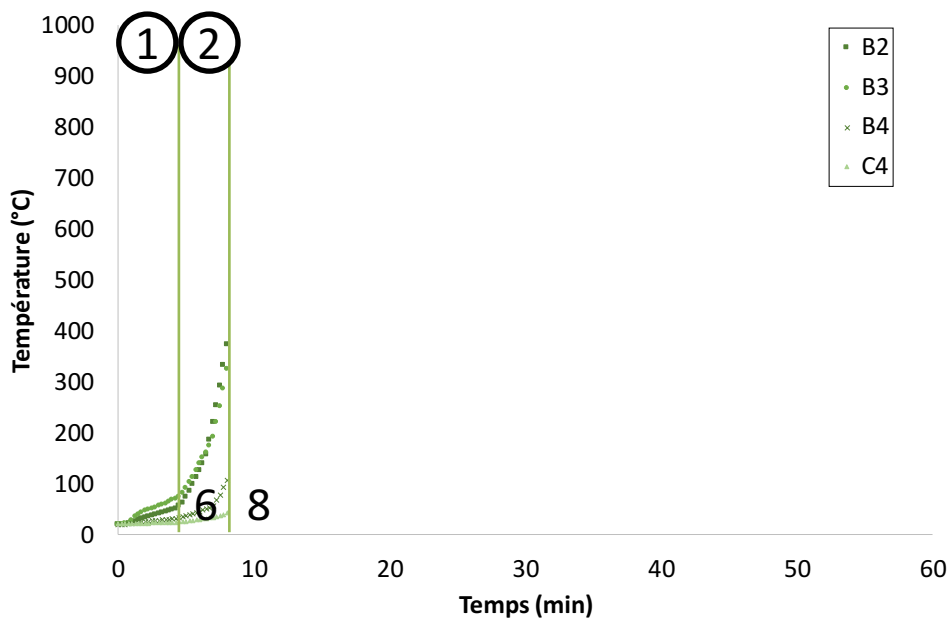
Développement



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI ÉLECTRIQUE

Développement

Bris lunette arrière V1

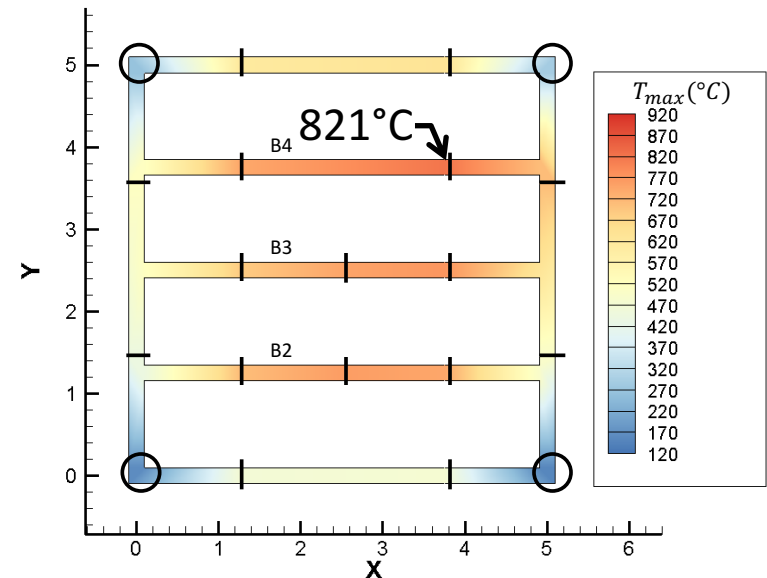
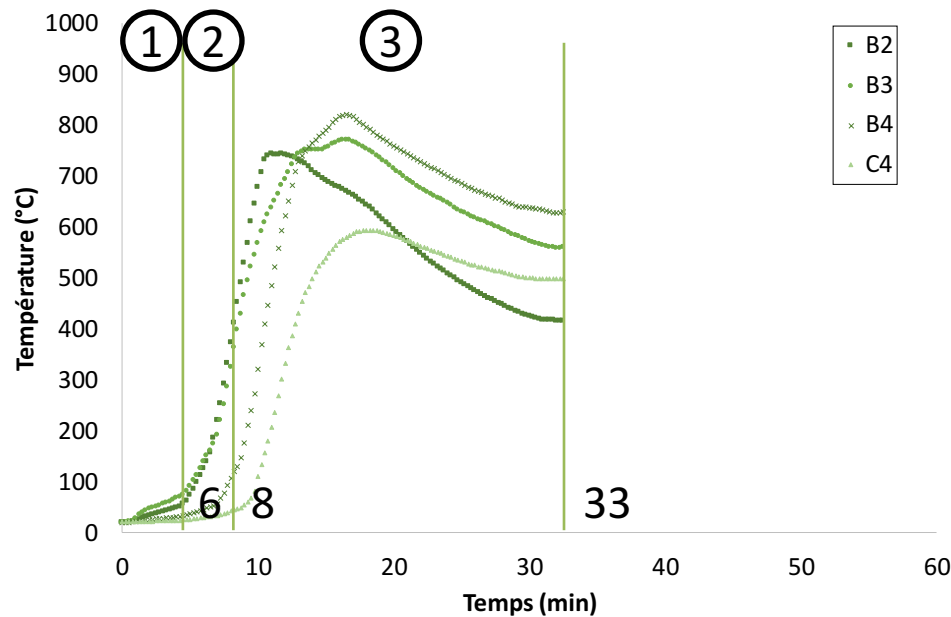


DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI ÉLECTRIQUE

Développement

Bris lunette arrière V1

Propagation à V2



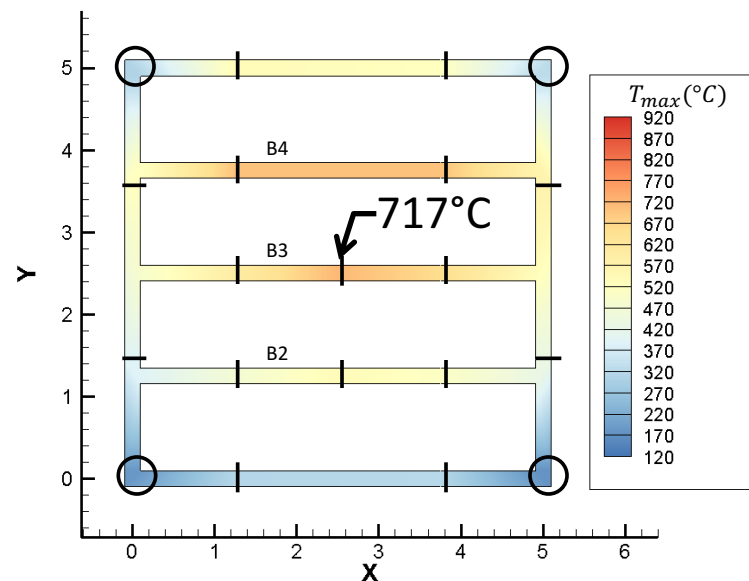
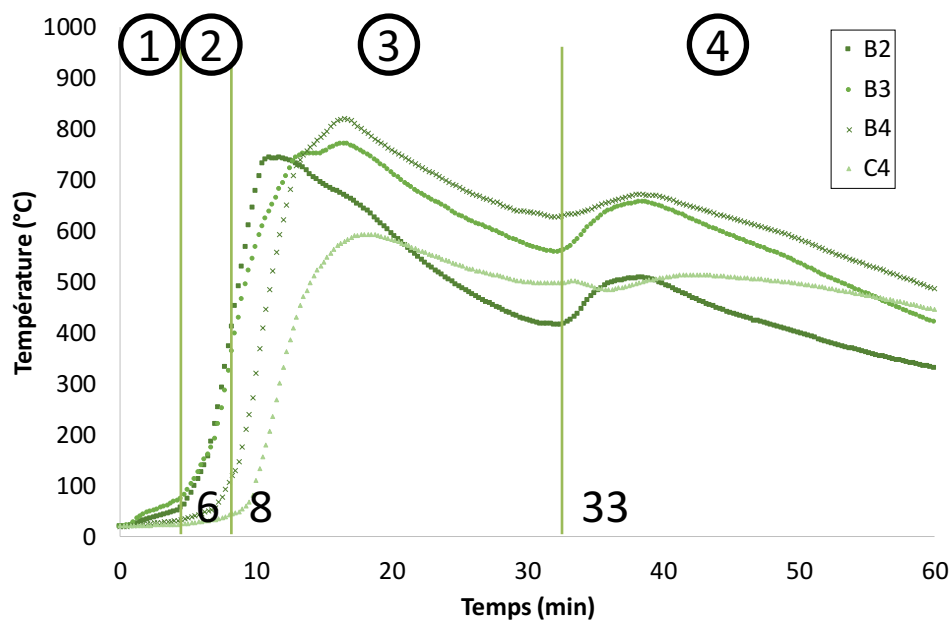
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI ÉLECTRIQUE

Développement

Bris lunette arrière V1

Propagation à V2

Combustion gasoil V2



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GPL

➤ 5 essais réalisés:

- ✓ Deux véhicules thermiques (référence)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule à hydrogène
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GNV (gaz naturel de ville)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule électrique (batterie LMP)
- ✓ Véhicule thermique + Véhicule GPL (Gaz de pétrole liquéfié)



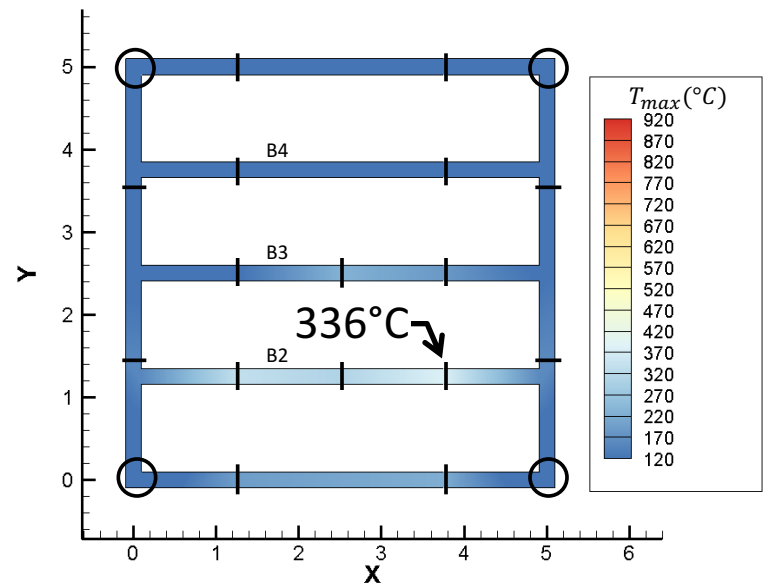
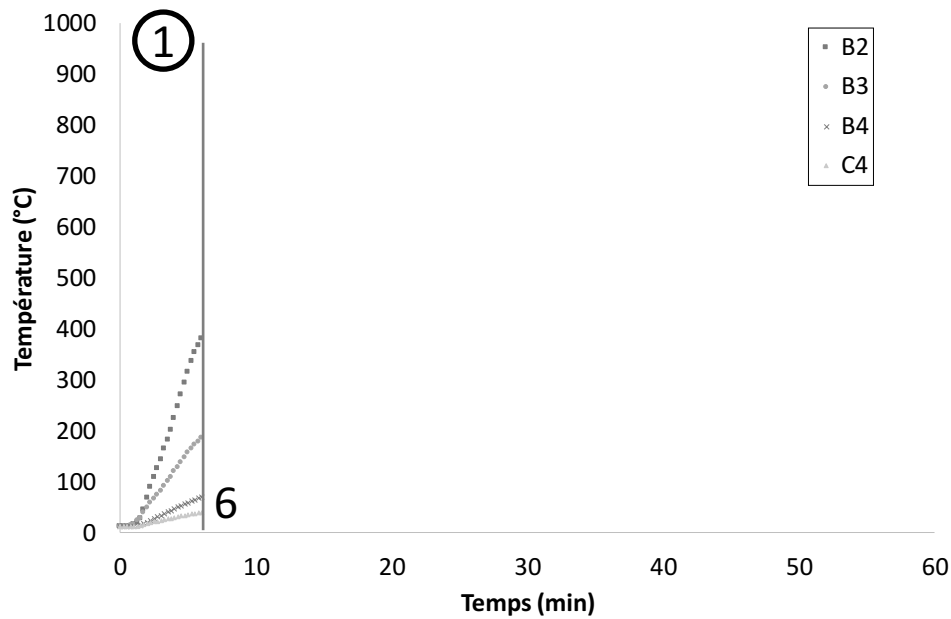
20L de gasoil
Entièrement
clos

36L de GPL
20L de gasoil
Lunette arrière et
Vitres ouvertes

Double sécurité : Fusible thermique + valve de surpression

DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GPL

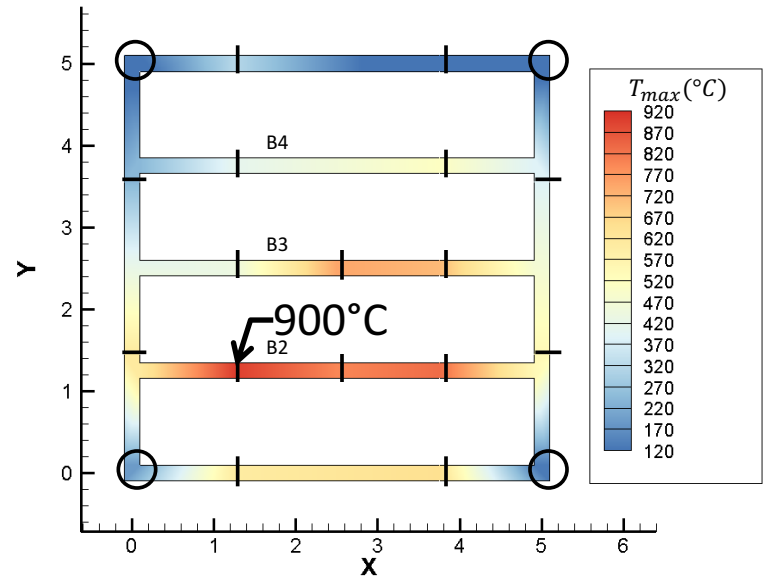
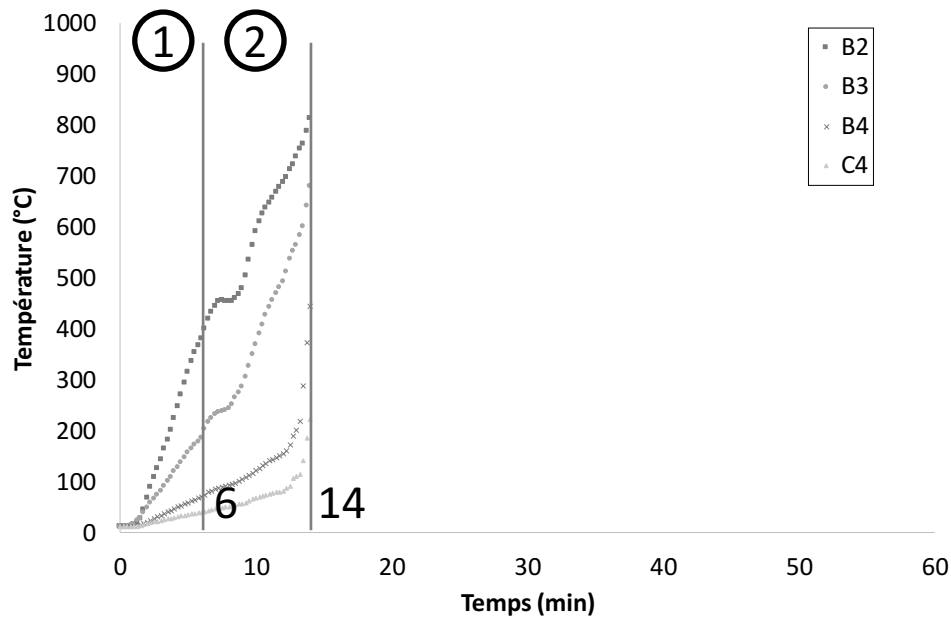
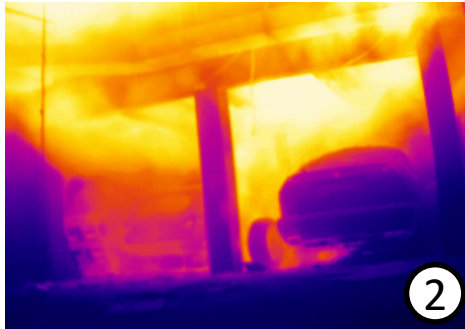
Développement



DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GPL

Développement

Purges

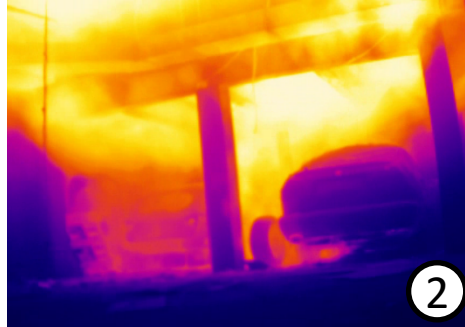


DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GPL

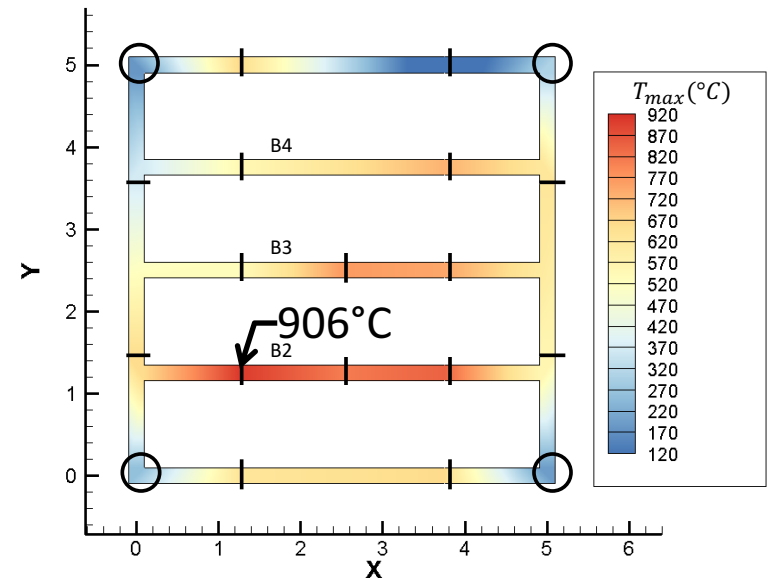
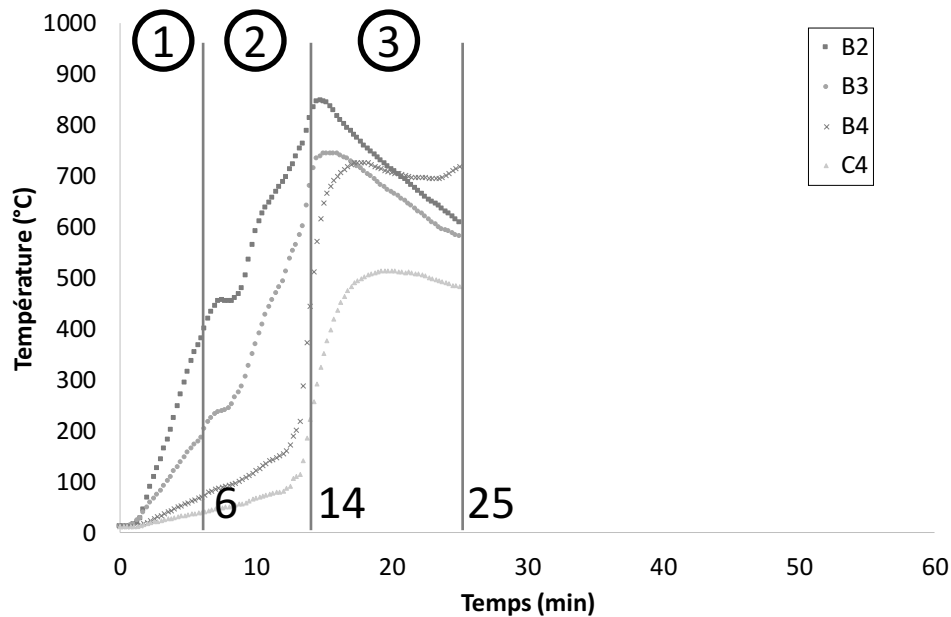
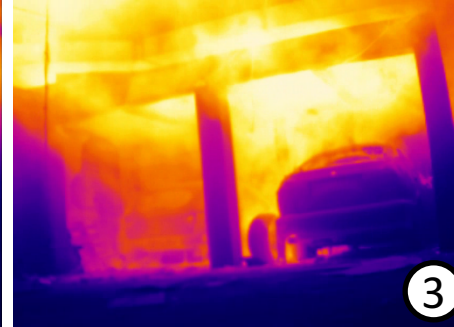
Développement



Purges



Propagation à V2

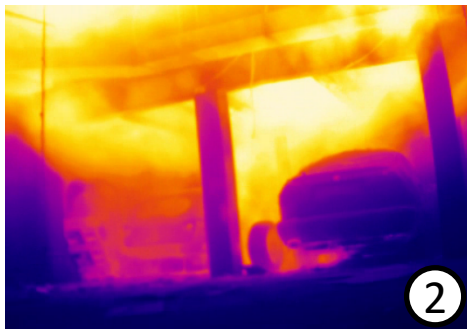


DYNAMIQUE DE CHAUFFE : ESSAI GPL

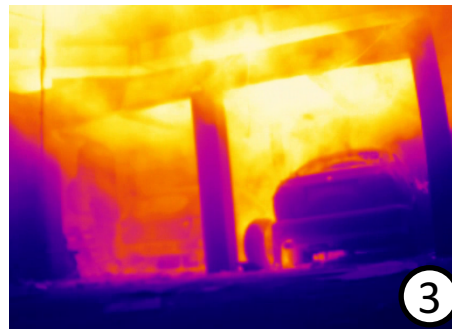
Développement



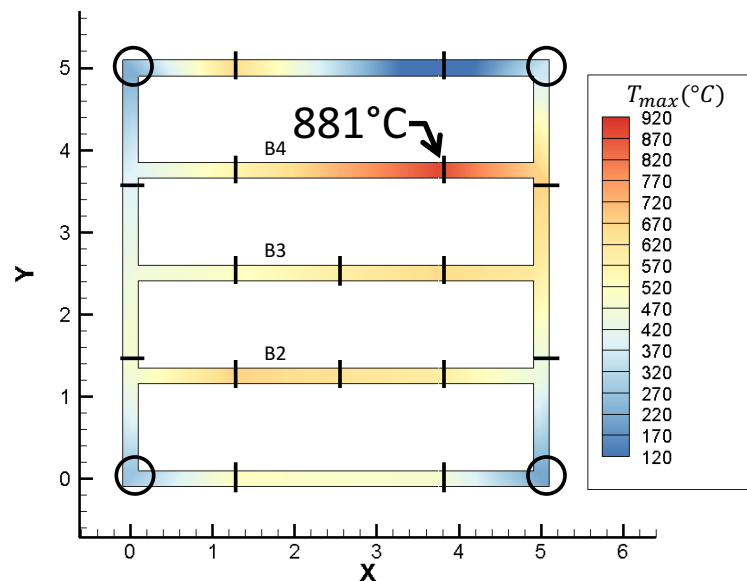
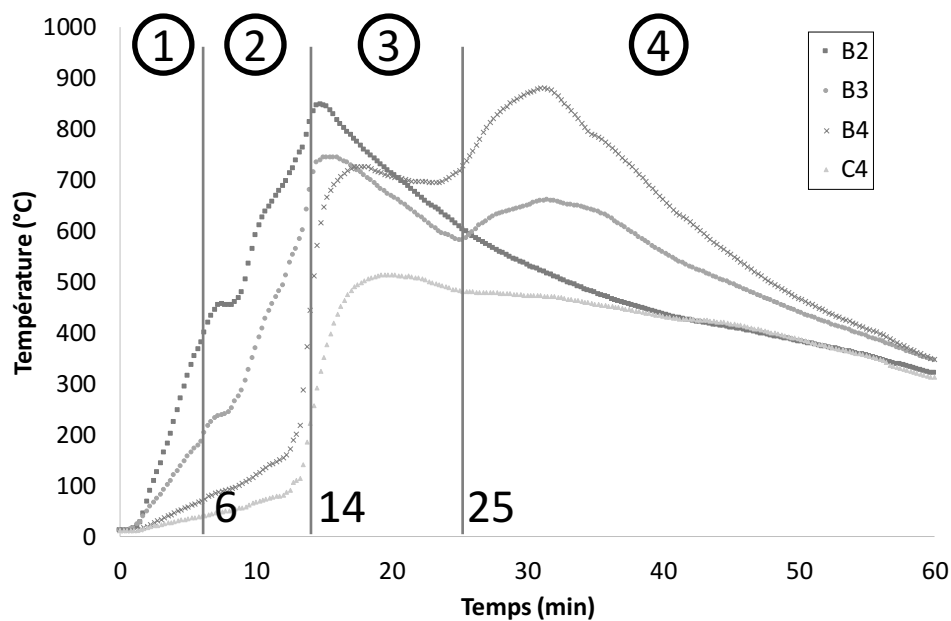
Purges



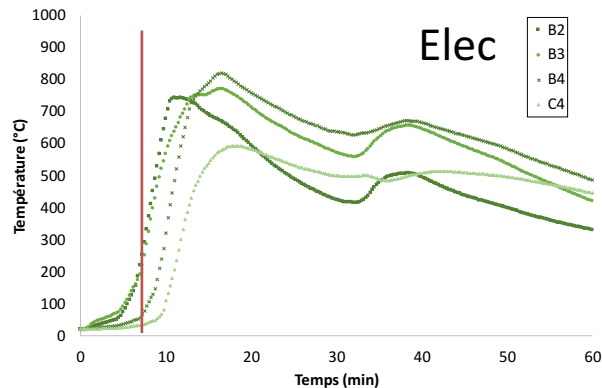
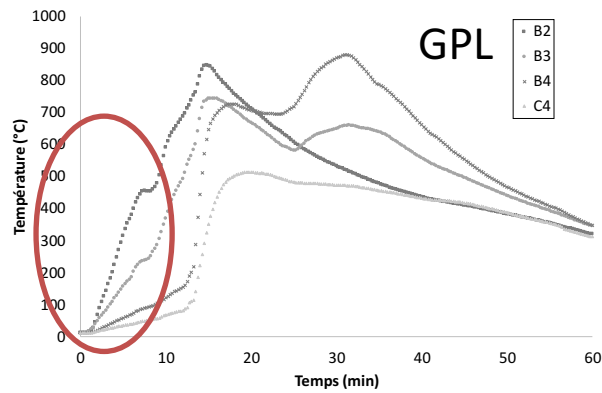
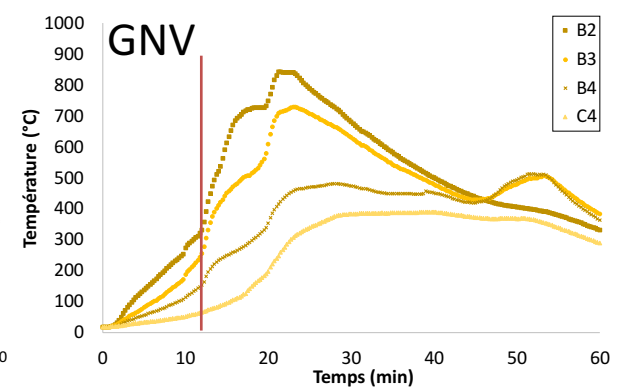
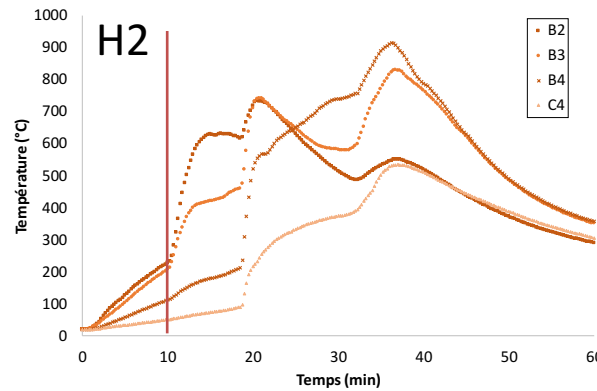
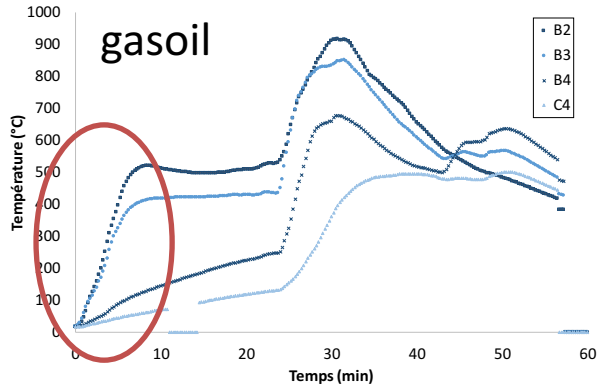
Propagation à V2



Combustion gazoil V2



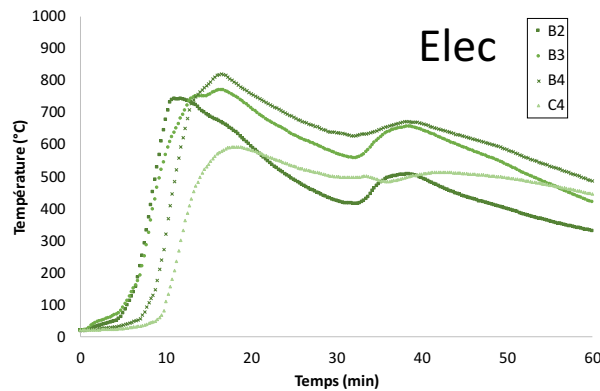
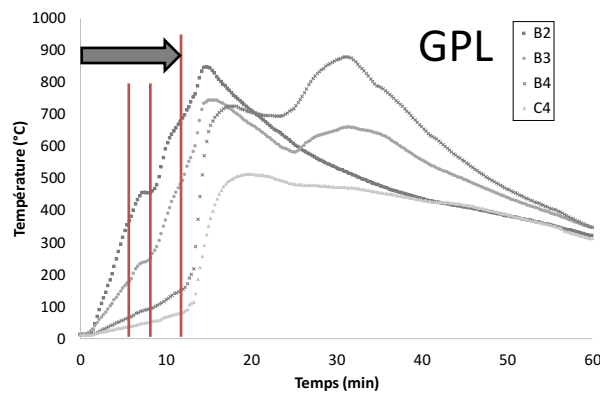
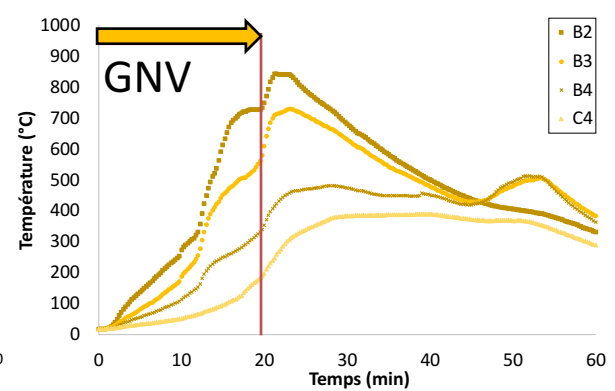
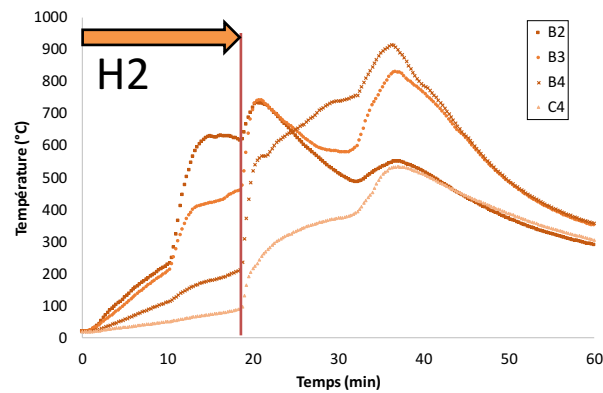
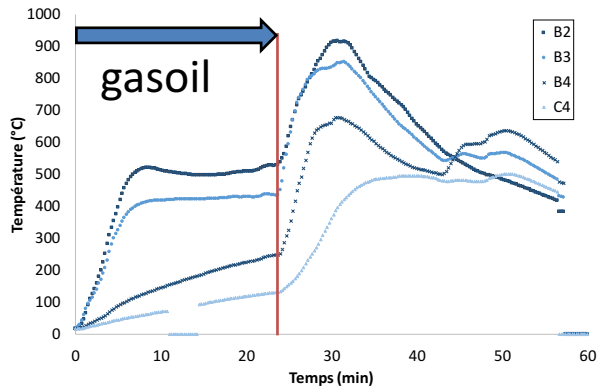
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : GLOBALE



4 évènements majeurs :

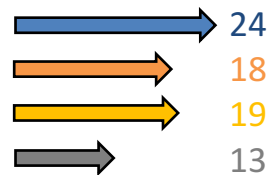
- Bris de la lunette arrière de V1
 - ✓ Augmentation d'aménagé d'air
 - ✓ Augmentation du débit calorifique
- Développement rapide quand la lunette est absente

DYNAMIQUE DE CHAUFFE : GLOBALE



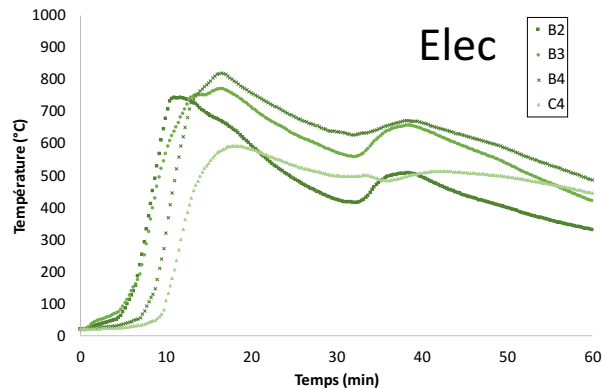
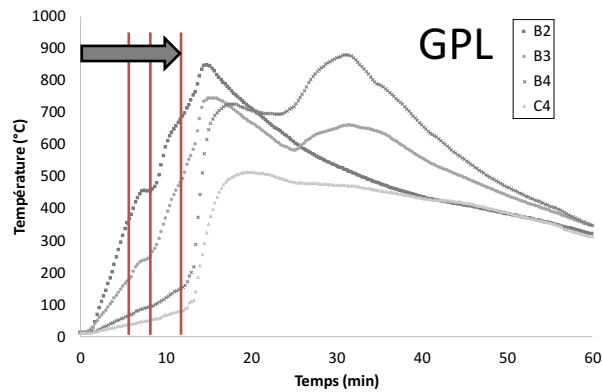
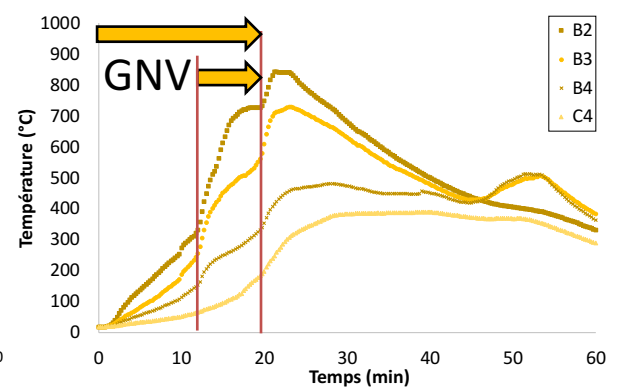
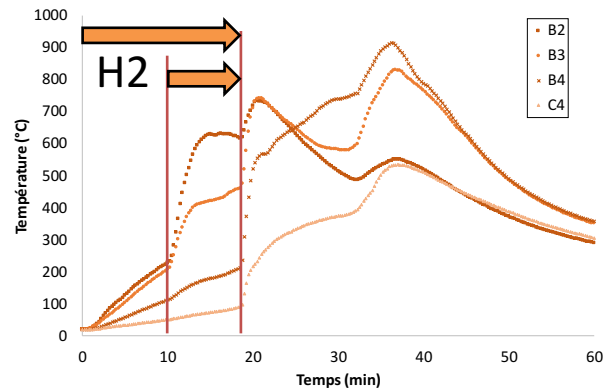
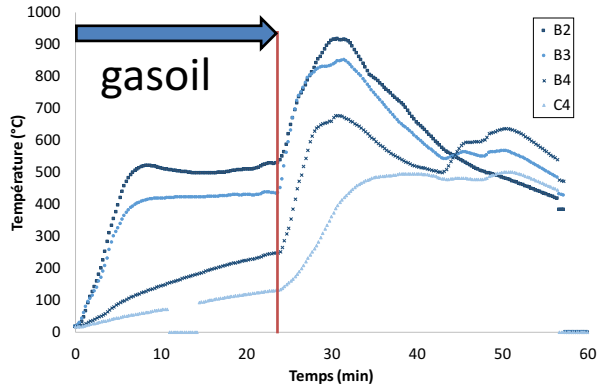
4 évènements majeurs :

- Bris de la lunette arrière de V1
- Inflammation du carburant de V1



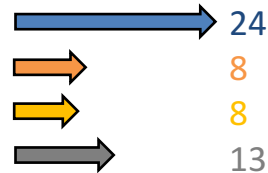
Délais d'inflammation du carburant de V1

DYNAMIQUE DE CHAUFFE : GLOBALE



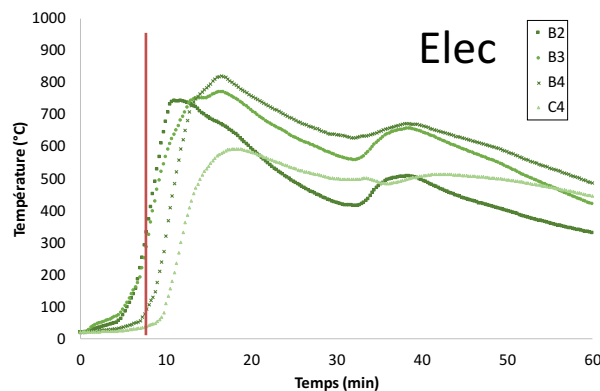
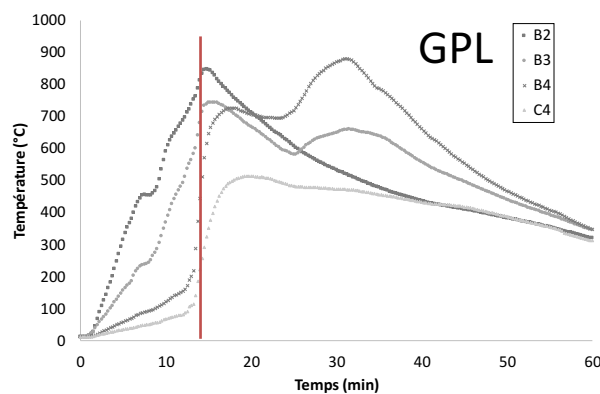
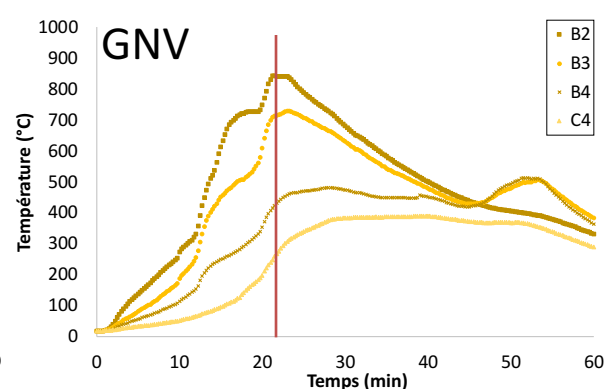
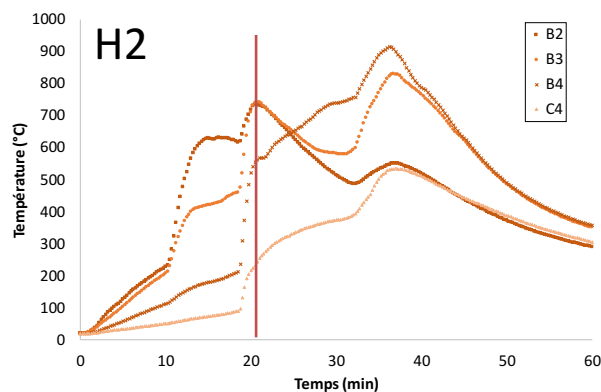
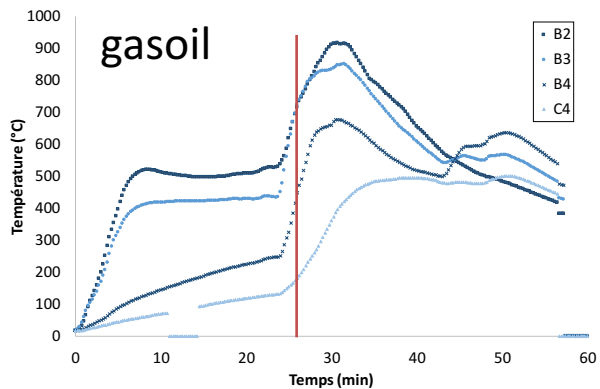
4 évènements majeurs :

- Bris de la lunette arrière de V1
- Inflammation du carburant de V1



Délais d'inflammation du carburant de V1 après bris de la lunette arrière

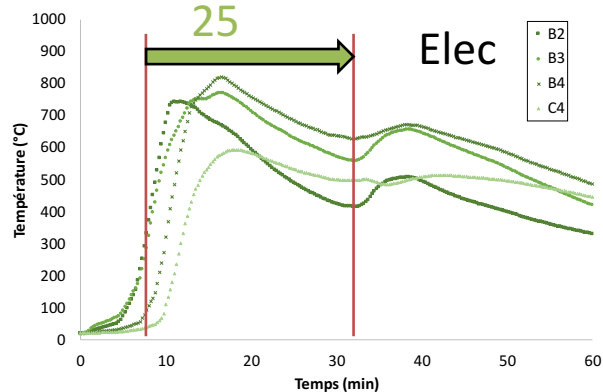
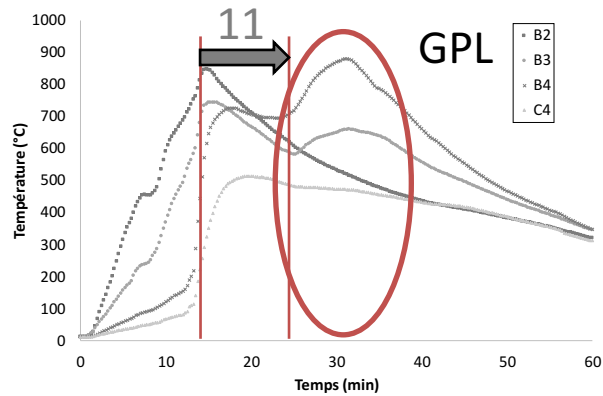
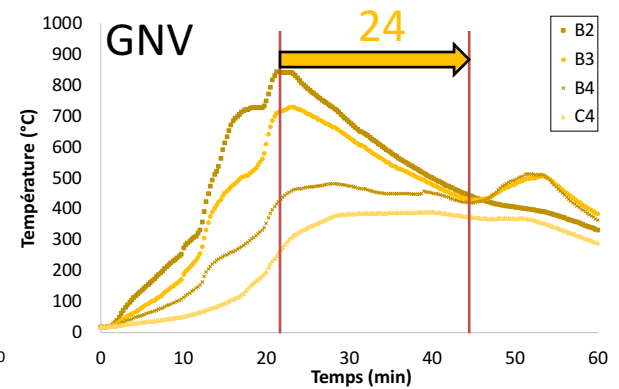
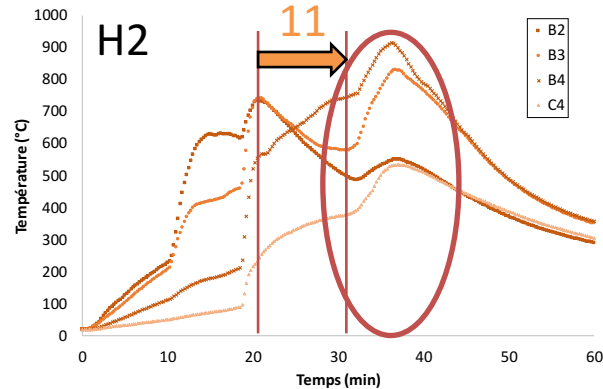
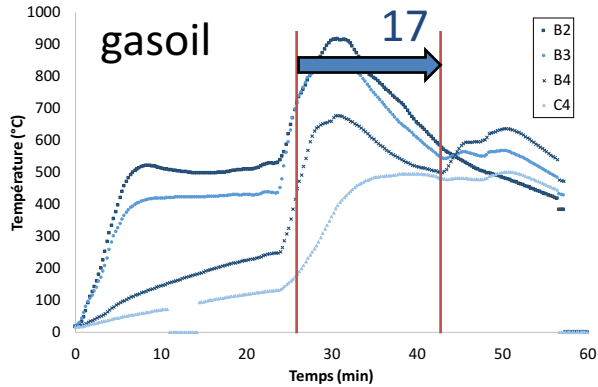
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : GLOBALE



4 évènements majeurs :

- Bris de la lunette arrière de V1
- Inflammation du carburant de V1
- Propagation à V2
 - ✓ Effet progressif
 - ✓ Peu visible
 - ✓ Temps entre l'inflammation du carburant et de V2 ≤ 2 minutes

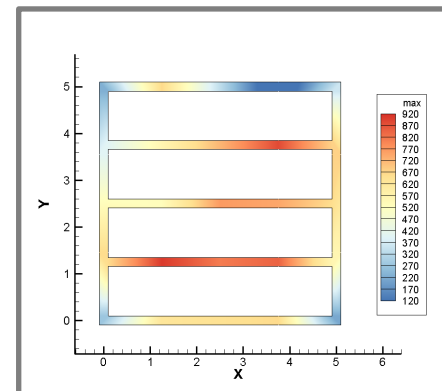
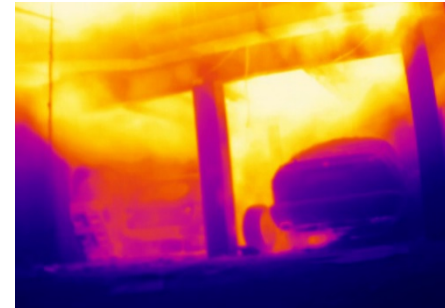
DYNAMIQUE DE CHAUFFE : GLOBALE



4 évènements majeurs :

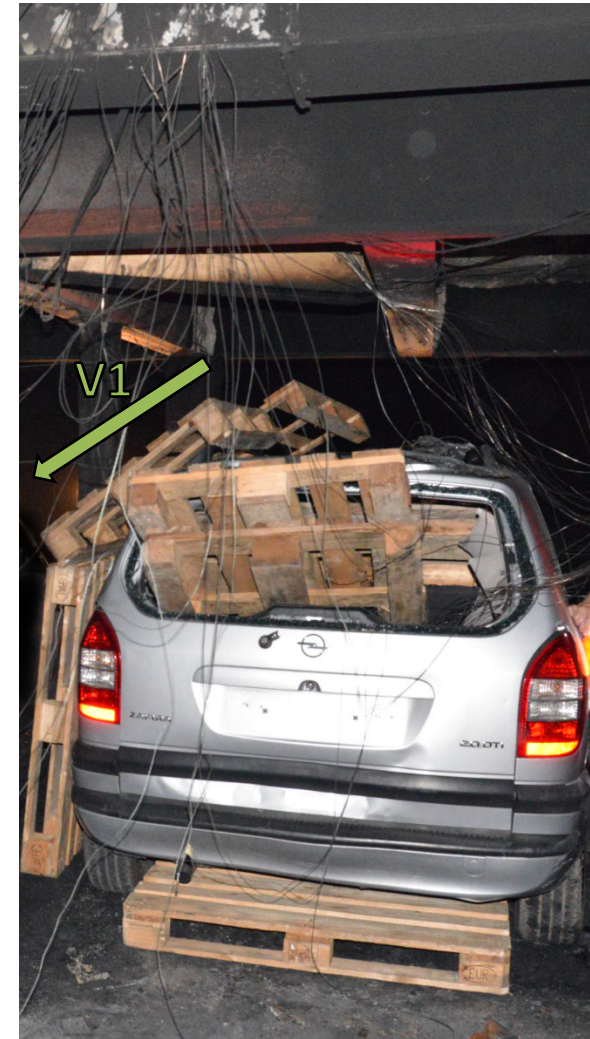
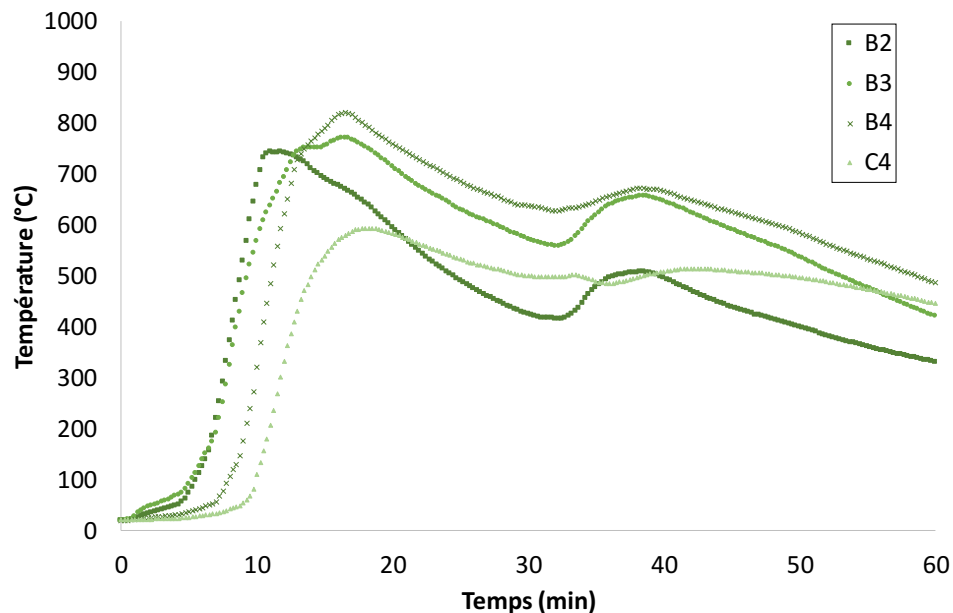
- Bris de la lunette arrière de V1
- Inflammation du carburant de V1
- Propagation à V2
- Inflammation gasoil de V2
 - ✓ Echauffements importants pour les temps courts

- Contexte
- Matériel et méthode
- Dynamiques de chauffe
- Cas du véhicule électrique
- Températures maximales
- Conclusion



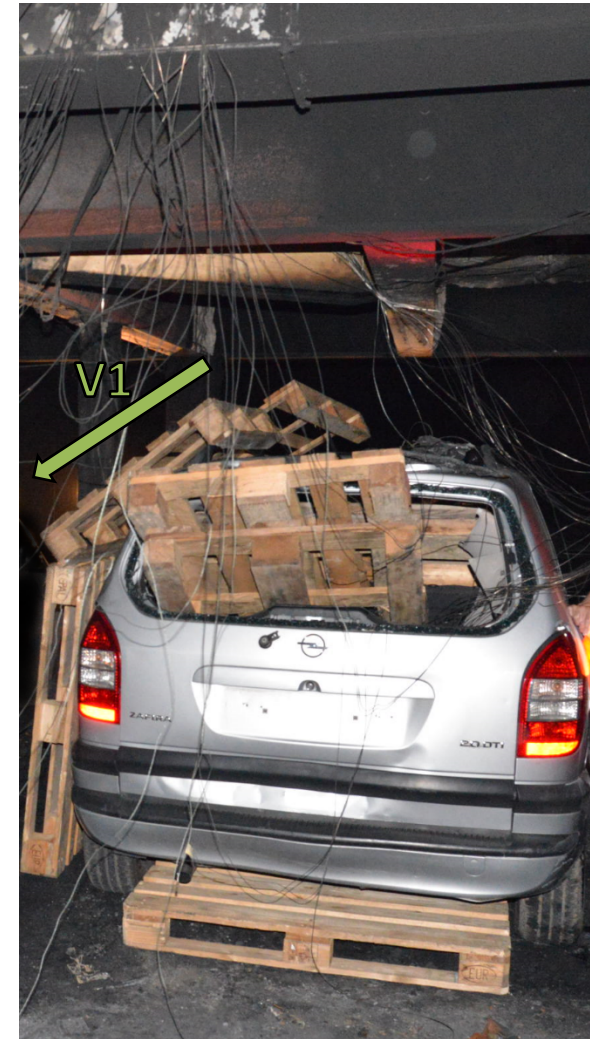
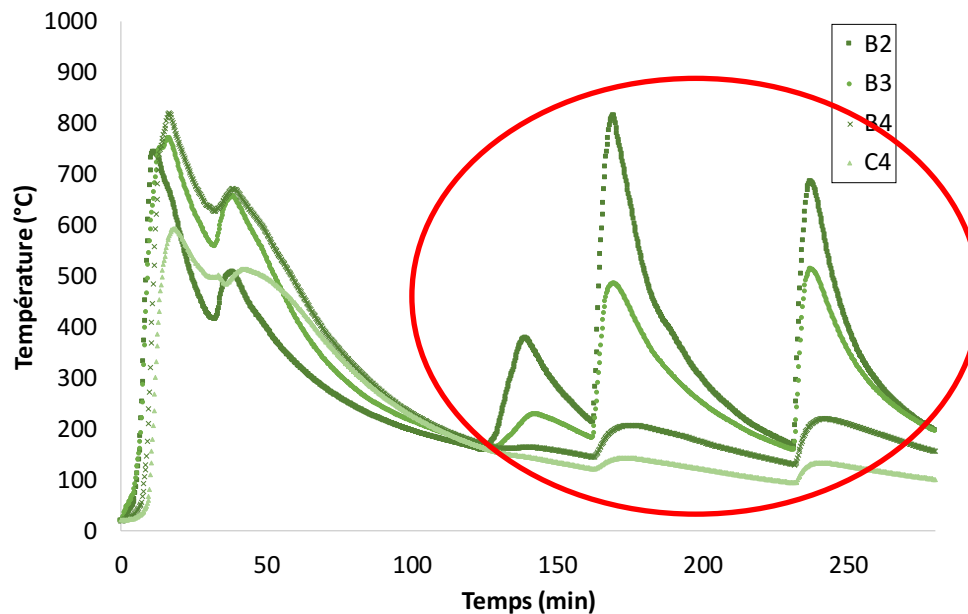
CAS DE L'ESSAI ÉLECTRIQUE

- Quantité non négligeable de palettes de bois (3000 MJ)
- Contribution de la batterie difficilement identifiable
- Propagation rapide au véhicule thermique (9 minutes)
 - ✓ Propagation à l'habitacle du véhicule thermique par les palettes de bois



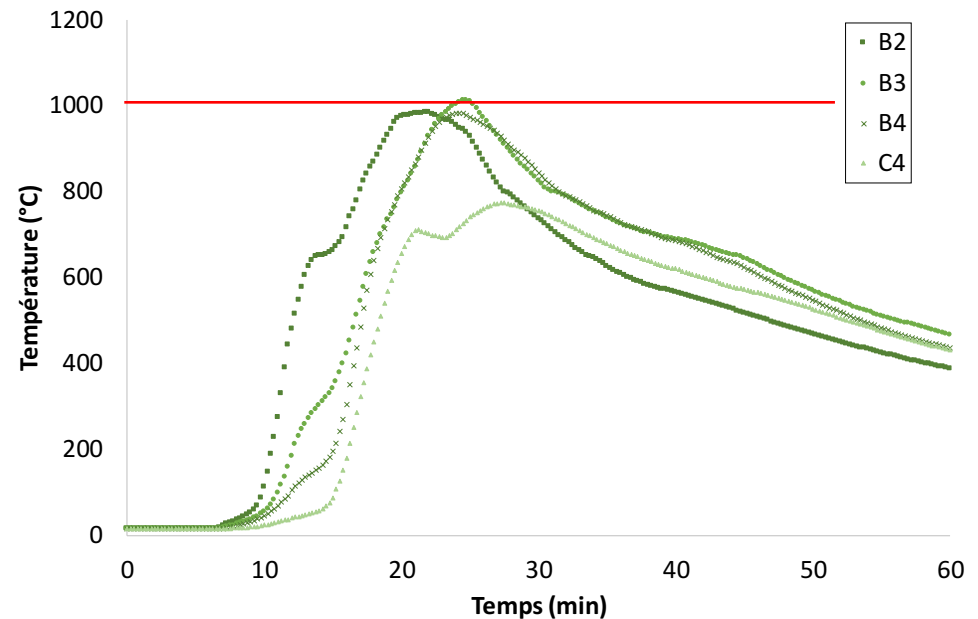
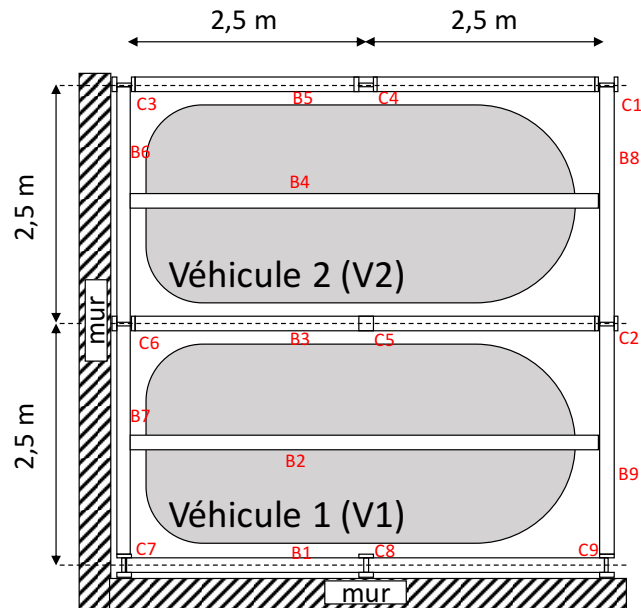
CAS DE L'ESSAI ÉLECTRIQUE

- Ajout de charges combustibles supplémentaires à 120, 160 et 230 minutes
- Emballement thermique de la batterie LMP non observé



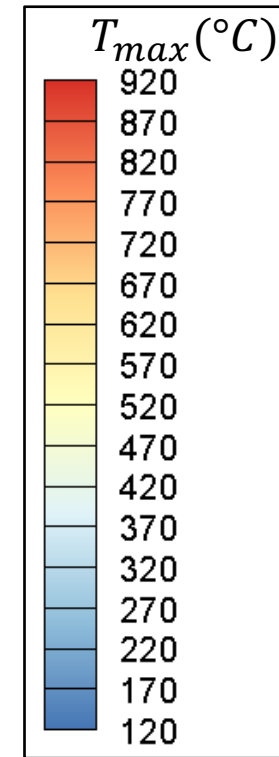
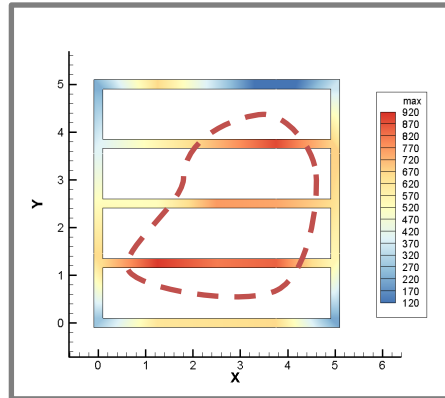
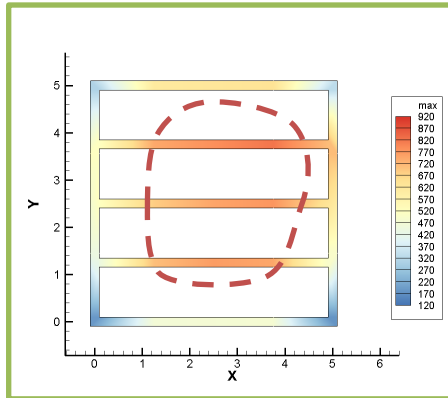
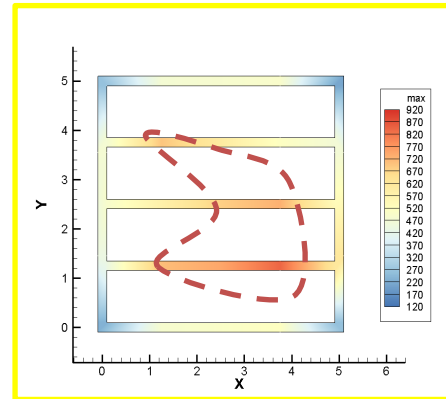
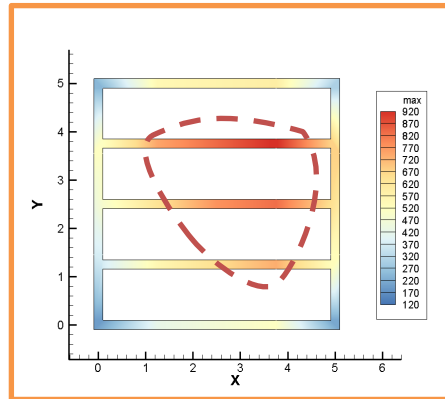
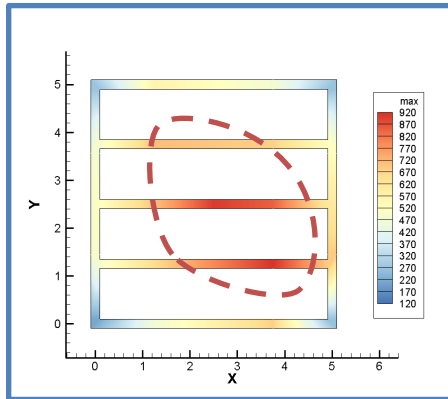
CAS DE L'ESSAI ÉLECTRIQUE

- Second essai véhicule électrique
 - ✓ Ajout d'un mur à l'arrière des véhicules
 - ✓ Présence d'une quantité importante de combustible additionnel
- Températures importantes des éléments de structure
- **Emballement thermique de la batterie LMP non observé**



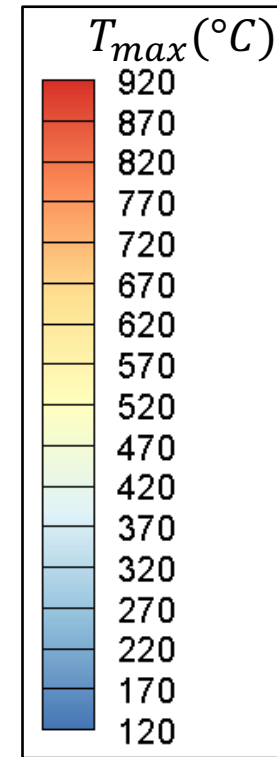
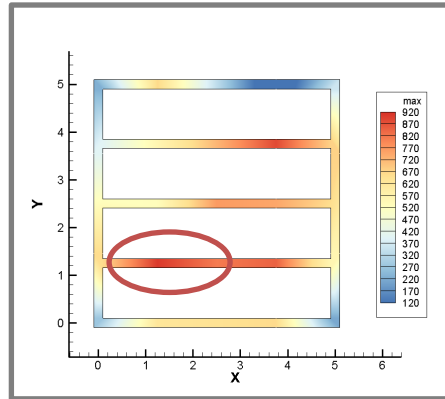
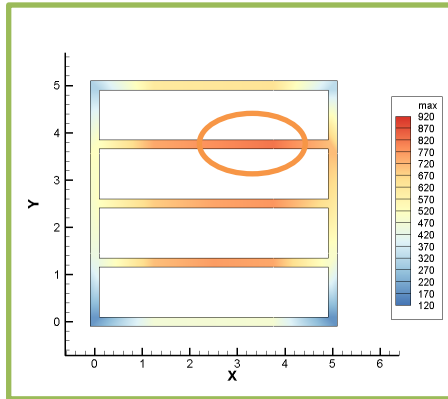
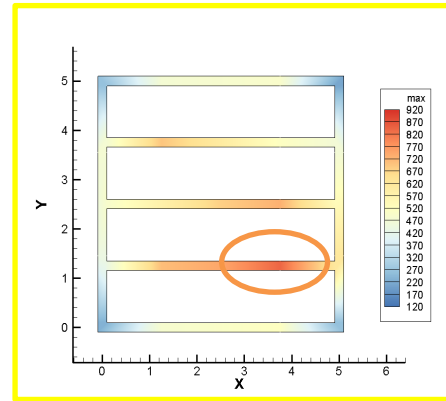
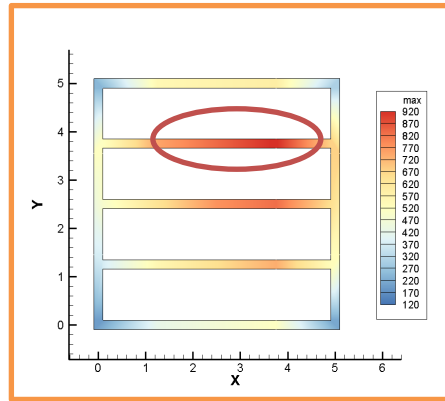
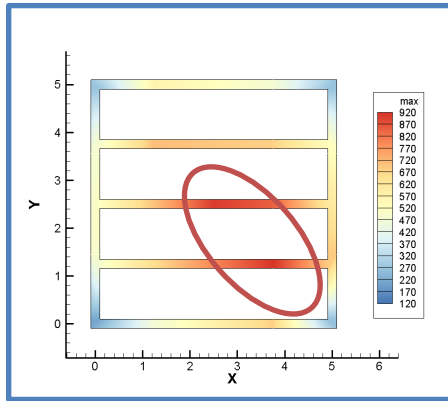
- Contexte
- Matériel et méthode
- Dynamiques de chauffe
- Cas du véhicule électrique
- **Températures maximales**
- Conclusion

TEMPÉRATURES MAXIMALES



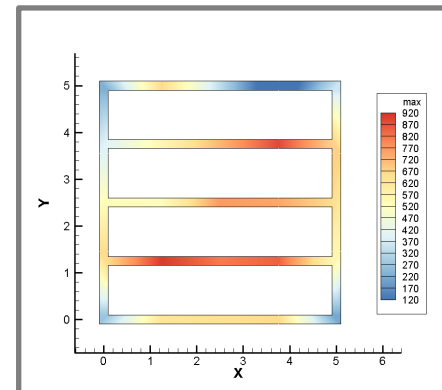
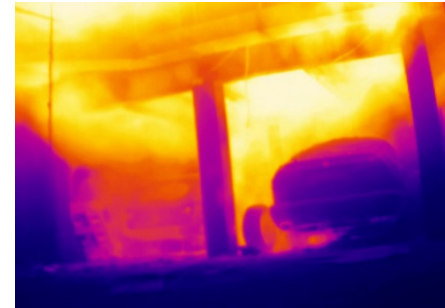
- Plus grand échauffement obtenu pour les poutres au-dessus des véhicules
 - ✓ Champs de températures différent suivant la dynamique de chauffe

TEMPÉRATURES MAXIMALES



- Températures maximales de l'ordre de 900°C : référence, H2 et GPL
- Températures maximales supérieures à 800°C : GNV et électrique
 - ✓ GNV : Combustion tardive du gasoil de V2
 - ✓ Electrique : Echauffement uniforme des poutres au-dessus des véhicules

- Contexte
- Matériel et méthode
- Dynamiques de chauffe
- Cas du véhicule électrique
- Températures maximales
- Conclusions



CONCLUSIONS

- 5 types de motorisation testés :
 - ✓ Diesel
 - ✓ Pile à combustible (H₂)
 - ✓ Gaz naturel de ville (GNV)
 - ✓ Electrique
 - ✓ GPL (Gaz de pétrole liquéfié)
- 4 évènements majeurs influencent la montée en température des éléments
 - ✓ Bris de la lunette arrière -> augmentation d'amené d'air
 - ✓ Combustion du carburant de V1 -> propagation au second véhicule
 - ✓ Propagation au véhicule thermique -> effet progressif
 - ✓ Combustion du gasoil de V2 -> apparition d'un second pic de température
- Températures maximales des poutres de l'ordre de 900°C au-dessus des véhicules
 - ✓ Echauffements similaires pour l'ensemble des essais
- **Pas d'emballlement thermique de la batterie LMP dans cette configuration**

Merci pour votre attention

REMERCIEMENTS





**PARC TECHNOLOGIQUE
L'ORME DES MERISIERS
IMMEUBLE APOLLO
91193 SAINT AUBIN**

**Tél. : + 33 (0)1.60.13.83.00
Fax. : + 33 (0)1.60.13.13.03
Courriel : cticm@cticm.com**