

Analyse audio comparative

Intitulé : Annexe au résultat des essais cigarette et propagation

Rappel sur les tests réalisés et sur les sources de captation audio disponibles :

Six essais incluant un départ de feu dans une boîte O2 ont été réalisés :

- Trois tests réalisés dans une boîte O2 ajourée pour illustrer la séquence de dégradation par le feu de l'ensemble boîte+masque O2,
- Trois tests de feu de rangement latéral pour analyser la propagation du feu aux éléments environnants la boîte O2.

Durant ces essais les sources de captation sonores étaient composées :

- du micro du masque O2,
- d'un micro boomset (placé à la proximité de la boîte O2),
- d'un microphone d'ambiance (CAM),
- une ou plusieurs caméras d'action (Gopro)

Note : les signaux des micros masque O2, boomset, et CAM étaient enregistrés par un CVR

L'ensemble de ces essais a été réalisé avec une alimentation en O2 de 5 bar.

Description des tests (conditions et déroulement succinct):

Test « Cigarette_00 »¹ :

Une boîte O2 ajourée contient un groin de masque O2 équipé de son microphone. Un flexible « ouvert » remplace le flexible original du masque O2 (i.e le régulateur du masque O2 n'est pas connecté à l'arrivée d'O2. Le flexible « ouvert » reproduit une fuite dans la boîte en amont du masque). La porte est ouverte puis refermée, et l'arrivée d'O2 interrompue par l'électrovanne. Une cigarette est introduite dans la boîte O2 et le flux d'oxygène est à nouveau admis pour créer une fuite permanente. La combustion de la cigarette - accélérée par le flux continu d'O2 - provoque un endommagement rapide des éléments environnants et la propagation du feu à l'ensemble boîte O2+masque.

Tests « Cigarette_03 » et « Cigarette_04 »:

Une boîte O2 ajourée contient un masque O2 équipé de son microphone. Le masque est connecté à la sortie de la vanne de la boîte O2. Un appui prolongé sur le bouton de Press To Test de la boîte O2 assure l'enrichissement en oxygène de la boîte O2. Une cigarette est ensuite introduite dans la boîte O2 et sa combustion provoque l'inflammation d'un élément puis la propagation du feu à l'ensemble boîte O2+masque.

Test « Propagation_01 » :

Un rangement latéral équipé de deux boîtes O2 (avec leurs masques à l'intérieur) est connecté à l'arrivée d'O2 commandée par une électrovanne. Une des deux boîtes O2 est modifiée (en position permanente « non resettée ») et le masque qu'elle contient est positionné en EMERGENCY. La boîte O2 est enrichie en oxygène par une commande d'arrivée d'O2 de 5s. Une flamme est produite² à l'intérieur de la boîte puis l'électrovanne est ensuite à nouveau commandée pour autoriser l'arrivée permanente d'O2 (via le masque EMERGENCY) dans l'enceinte de la boîte. Les éléments de l'ensemble boîte+masque s'enflamment et l'incendie se propage à leur environnement (rangement latéral).

¹ Ce test n'est pas mentionné dans l'étude

² Au moyen d'un dispositif commandé à distance

Test « Propagation_02 » :

Un rangement latéral équipé d'une boîte O2 (avec son masque à l'intérieur) est connecté à l'arrivée d'O2 commandée par une électrovanne placée en position ouverte. La porte gauche de la boîte O2 est ouverte puis refermée sans appui sur le PushToTest de la boîte (i.e pas de reset). La boîte O2 est enrichie en oxygène par deux appuis sur le rotacteur du masque O2 pour une durée cumulée de 8s³. Une flamme est ensuite produite à l'intérieur de la boîte et les éléments de l'ensemble boîte+masque s'enflamment successivement. Le feu provoque la rupture d'un élément et par conséquent une fuite continue d'oxygène. L'incendie se propage à l'environnement immédiat. Un extincteur est percuté et vidé en totalité pour tenter d'éteindre l'incendie.

Test « Propagation_03 » :

Un vide poche équipé de deux boîtes O2 (avec son masque à l'intérieur) est connecté à l'arrivée d'O2 commandée par une électrovanne placée en position ouverte. La porte gauche de la boîte O2 est ouverte puis refermée sans appui sur le PushToTest de la boîte (i.e pas de reset). La boîte O2 est enrichie en oxygène par un appui de 7s sur le rotacteur du masque O2. Une flamme est ensuite produite à l'intérieur de la boîte et les éléments de l'ensemble boîte+masque s'enflamment successivement. Le feu provoque la rupture d'un élément et par conséquent une fuite continue d'oxygène. L'incendie se propage à l'environnement immédiat. L'arrivée d'O2 est stoppé et un extincteur est percuté et vidé en totalité.

Définition:

Bruit de fuite : Bruit large bande réparti sur toute la bande passante du microphone qui assure la capture sonore.

Emballlement sonore : Présence de bosses de bruit - bosses d'énergie large bande - dont la fréquence augmente rapidement pour se concentrer autour de 1,2 et 2kHz (le phénomène pourrait être décrit de manière psychoacoustique comme un « sifflement montant »). L'emballement sonore s'accompagne d'une hausse du niveau sonore global.

³ 6s puis 2s

Analyse des données :

Les séquences sonores capturées durant ces essais ont été analysées et comparées à la séquence du vol MS804 :

- La page #1 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (signal du micro du masque O2 et signal du micro d'ambiance) réalisé durant le test « Cigarette_00 » et les séquences d'images associées. En situation de fuite établie d'O2 la cigarette introduite s'enflamme immédiatement et embrase très rapidement l'ensemble de la boîte et son contenu (masque O2). Un bruit d'emballage sonore est présent 2,5s après l'introduction de la cigarette et le micro du masque O2 a cessé de fonctionner 3,5s après l'embrassement du masque.
- La page #2 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (signal du micro du masque O2 et signal du micro boomset) réalisé durant le test « Cigarette_03 » et les séquences d'images associées. La cigarette introduite dans la boîte enrichie en oxygène a endommagé progressivement le flexible du masque à oxygène (28s de bruits de crépitements sont présents durant lesquelles est visible la combustion de la protection tressée) jusqu'au percement de l'âme du flexible. Le percement se traduit par l'émission d'un bruit large bande suivi 1s plus tard d'un bruit d'emballage sonore. L'incendie qui suit immédiatement le percement du flexible embrase très rapidement l'ensemble de la boîte et son contenu (masque O2). Le micro du masque O2 a cessé de fonctionner 6s après l'embrassement du masque.
- La page #3 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (signal du micro du masque O2 et signal du micro boomset) réalisé durant le test « Cigarette_04 » et les séquences d'images associées. La cigarette introduite dans la boîte enrichie en oxygène a endommagé progressivement le flexible du masque à oxygène (22s de bruits de crépitements sont présents durant lesquelles est visible la combustion de la protection tressée) jusqu'à percement de l'âme du flexible. Le percement se traduit par l'émission d'un bruit large bande suivi 0,5s plus tard d'un bruit d'emballage sonore. L'incendie qui suit le percement du flexible embrase très rapidement l'ensemble de la boîte et son contenu (masque O2). L'alimentation en oxygène a été interrompue 5s après le début d'embrassement du masque, et avant que le microphone du masque O2 ne soit endommagé.
- La page #4 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (bande son de la caméra d'ambiance (Gopro)) réalisé durant le test « Propagation_01 » et les séquences d'images associées. Une fumée et des flammes sont apparues sortant de la boîte O2 5s après l'inflammation à distance d'une ouate placée au fond de la boîte O2. Le percement probable du flexible du masque est survenu 18s après le déclenchement du feu. Il s'est traduit par l'émission d'un bruit large bande suivi immédiatement d'un bruit d'emballage sonore. L'incendie qui a suivi le percement du flexible s'est rapidement propagé aux éléments environnants. Le bruit de fuite s'est soudainement interrompu pour une durée de 0,5s - sans intervention des opérateurs de l'essai - 50s après le percement probable du flexible du masque. Cette courte interruption de la fuite a précédé un bruit de détonation, la reprise de la fuite et l'enrichissement du feu.
- La page #5 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (signal du micro du masque O2 et signal du micro d'ambiance) réalisé durant le test « Propagation_02 » et les séquences d'images associées. Une fumée et des flammes sont apparues sortant de la boîte O2 6s après la réactivation à distance d'un feu de ouate placée au fond de la boîte O2⁴. Le percement probable du flexible du masque est survenu 13s après la réactivation du feu. Il est précédé sur la même période de bruits de crépitements captés par le microphone du masque O2. Le percement probable du

⁴ L'inflammation initiale n'a pas perduré; le feu ne s'était pas développé dans la boîte.

flexible s'est traduit par un bruit large bande. Le bruit d'emballlement sonore décrit sur les tests précédents n'a pas été perçu. L'incendie qui a suivi le percement du flexible s'est rapidement propagé aux éléments environnants. Le bruit de fuite a été ininterrompu jusqu'à la coupure de l'alimentation en O2 du dispositif d'essai. Le micro du masque O2 a cessé de fonctionner 5s après le percement probable du flexible du masque O2.

- La page # 6 montre la forme d'onde de l'enregistrement audio (signal du micro du masque O2 et signal du micro d'ambiance) réalisé durant le test « Propagation_03 » et les séquences d'images associées. Une fumée et des flammes sont apparues sortant de la boîte O2 7s après l'inflammation à distance d'une ouate placée au fond de la boîte O2. Le percement probable du flexible du masque est survenu 14s après le déclenchement du feu. Il est précédé sur la même période de bruits de crépitements captés par le microphone du masque O2. Le percement probable du flexible s'est traduit par un bruit large bande suivi 0,5s du bruit d'emballlement sonore. L'incendie qui a suivi le percement du flexible s'est rapidement propagé aux éléments environnants. La coupure de l'alimentation en O2 - qui a précédé l'usage de l'extincteur - a interrompu le bruit de fuite.
- La page #7 montre à titre de comparatif la forme d'onde de l'enregistrement audio CVR du MS804 (signal du micro du masque O2 du F/O et signal du micro d'ambiance).

Résultats :

Les observations réalisées lors de ces essais montrent :

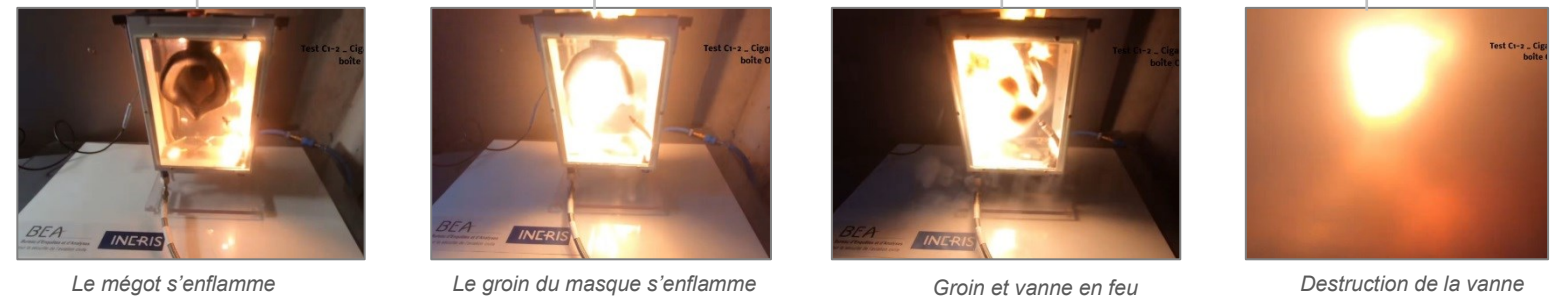
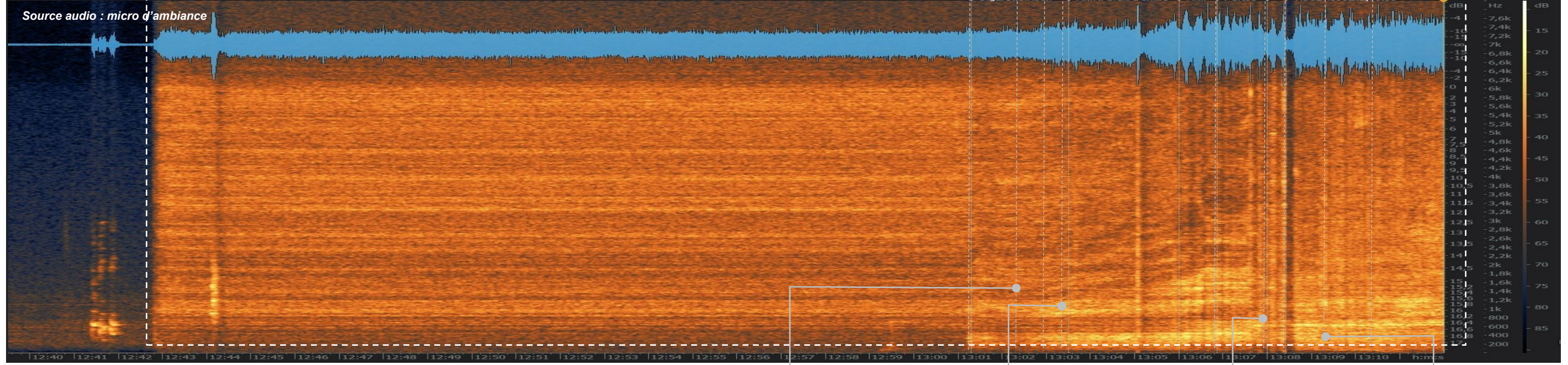
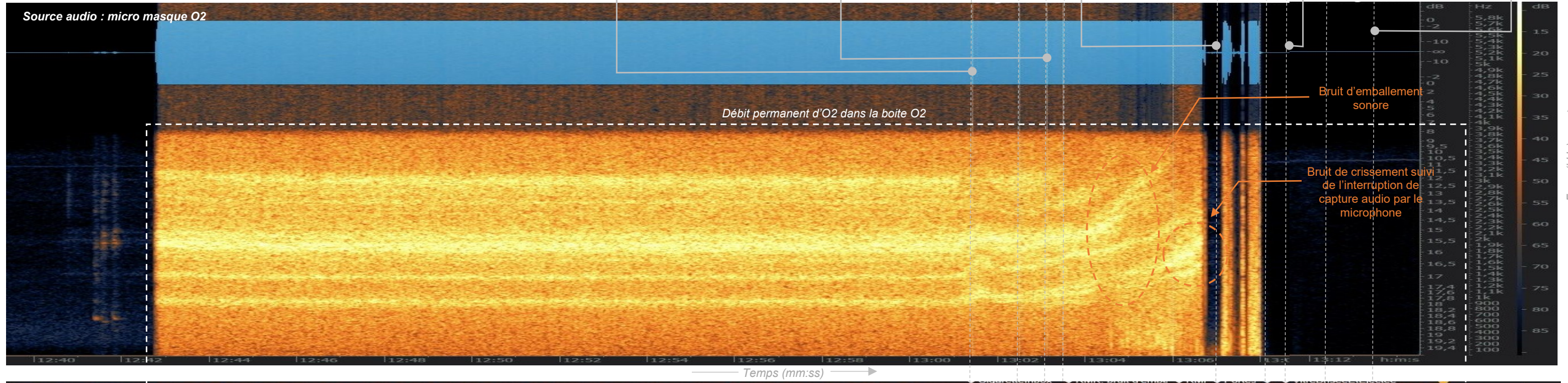
- Que l'introduction dans la boîte O2 d'un élément extérieur, incandescent ou enflammé, provoque une combustion lente des éléments de protection des flexibles de distribution de l'O2 de l'ensemble; le percement du flexible intervient au minimum entre 13 et 28s après l'introduction de l'élément extérieur de l'ensemble O2 du PNT (boîte et masque O2). Cette combustion lente est accompagnée de bruits caractéristiques de crépitements,
- Qu'un bruit d'emballlement sonore est présent lorsque l'ensemble du masque s'embrase,
- Qu'un bruit de crissement peut précéder la perte de signal provenant du microphone du masque O2,
- Que le mécanisme de dégradation produit par la propagation du feu à l'environnement des boîtes O2 (rangement latéral) semble présenter des variations notables et incontrôlées; ces variations se traduisent par des différences de phénomènes audio avec des variations aléatoires du niveau et du timbre sonore. Durant ces essais un cas inexplicable d'interruption du bruit de fuite durant 0,5s suivi d'une détonation a été reproduit.

Comparatif avec l'enregistrement CVR du vol MS804 :

- Aucun bruit de crépitements n'est perceptible dans l'enregistrement du micro O2 du F/O,
- Un emballlement sonore est présent sur les voies micro O2 du copilote et CAM à 00h25m31s (EVT6). Ce bruit est vraisemblablement attribué à l'embrassement du masque O2 du F/O,
- Le bruit de crissement qui précède la perte du signal du micro O2 du copilote à 00h25m33s (EVT7) est vraisemblablement produit par la destruction du microphone du masque par les flammes,
- L'interruption momentanée (510ms) de la fuite d'oxygène à 00h25m42 (EVT8) est vraisemblablement produite par un endommagement de l'ensemble O2⁵ situé dans et/ou sous le rangement latéral.

⁵ Té et flexibles de distribution de l'arrivée d'O2 sur les deux boîtes O2 (F/O et 3rd)

1 — Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Cigarette_00 »



#2 Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Cigarette_03 »

La cigarette chute au fond de la boîte O2



La cigarette semble s'éteindre / l'enveloppe du flexible est rougeoyant



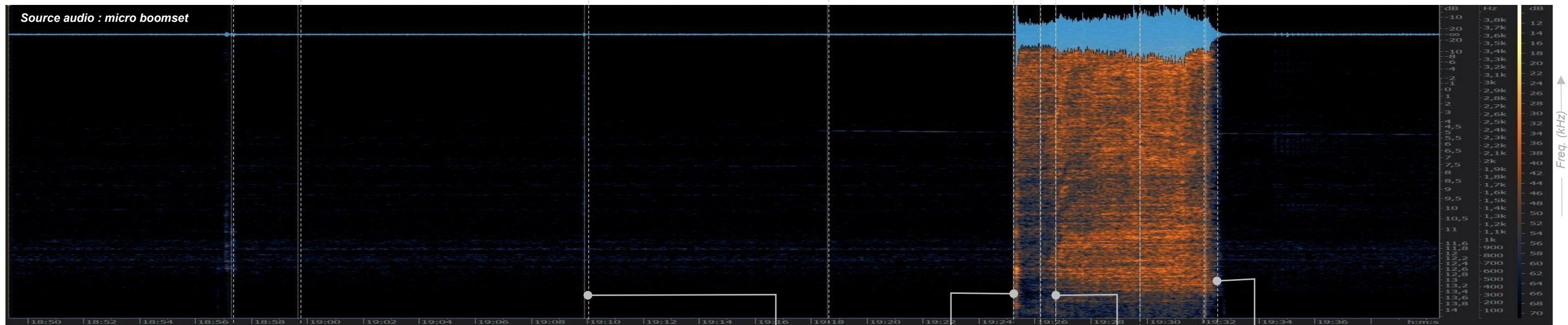
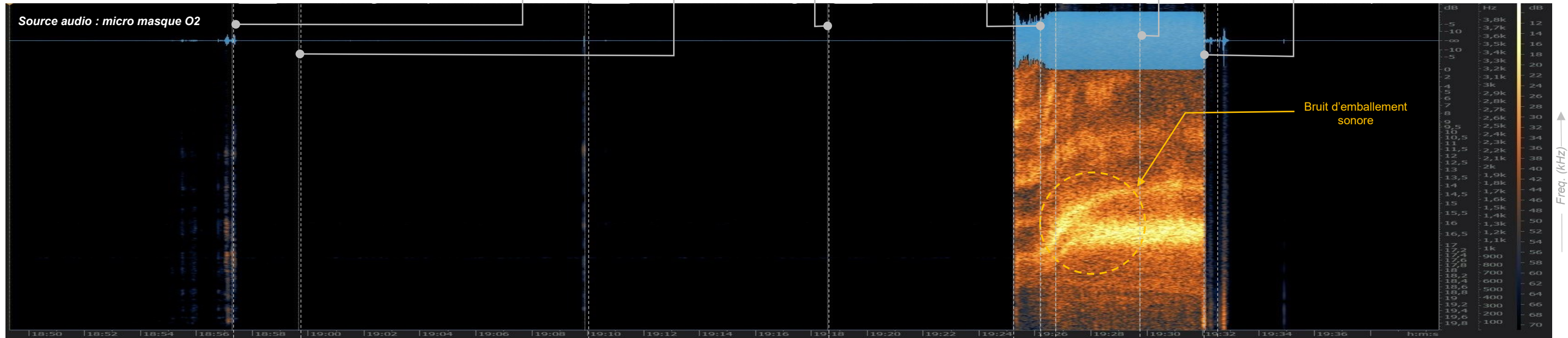
Embrassement du masque



Le feu sort de la boîte O2



Fin de la capture audio par le microphone du masque O2



La cigarette se consume au fond de la boîte O2



Percement du flexible du masque O2



Embrassement de l'ensemble de la boîte O2

Coupure de l'alimentation en oxygène de la boîte O2

3 — Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Cigarette_04 »

La cigarette chute au fond de la boîte O2



Le feu se propage au harnais et à la protection en Nomex du flexible



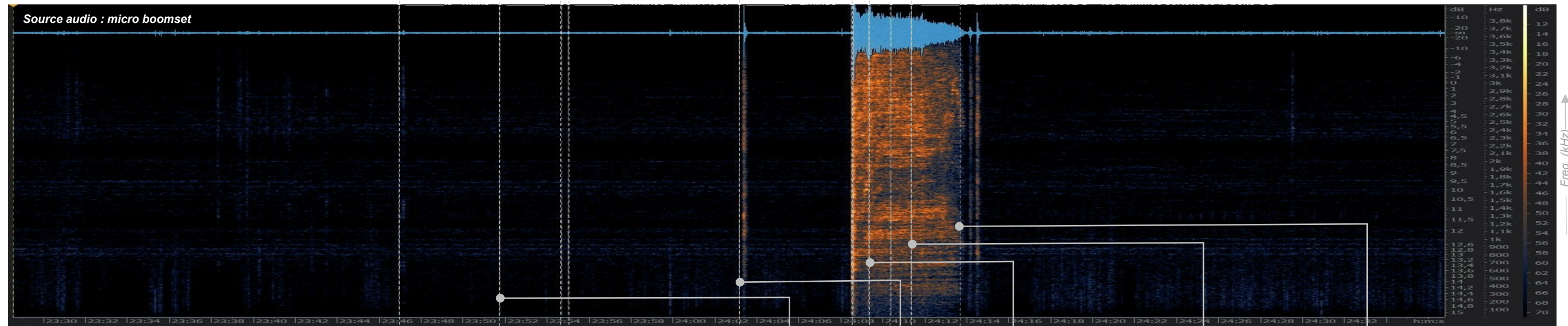
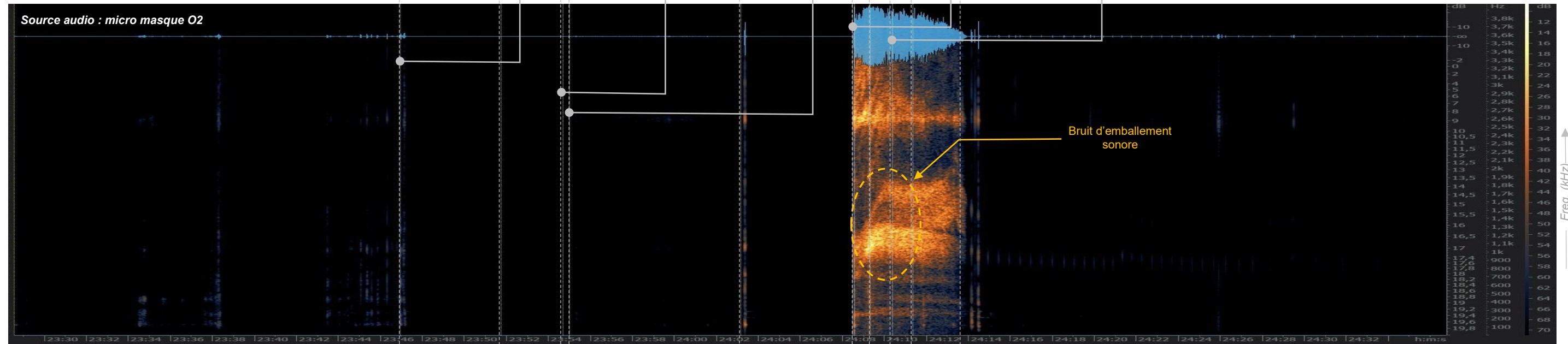
Percement du flexible du masque O2



Embrassement de l'ensemble de la boîte O2



Léger bruit de crépitements / combustion de l'enveloppe du flexible d'O2 du masque



La cigarette se consume au fond de la boîte O2

L'écran vitré se fissure



Embrassement du masque



Le feu sort de la boîte O2

Coupure de l'alimentation en oxygène de la boîte O2

4 ___ Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Propagation_01 »



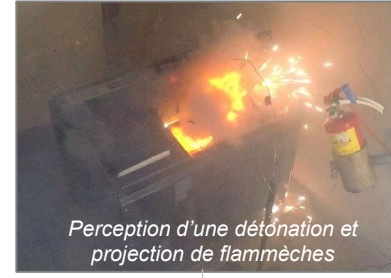
Enrichissement en O2 (durée : 5s)



Percement probable du flexible dans la boîte O2



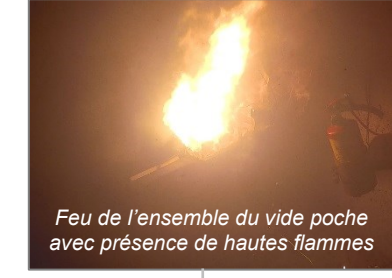
Les flammes réapparaissent



Perception d'une détonation et projection de flammèches



Les flammes sont projetées par le dessus de la boîte O2



Feu de l'ensemble du vide poche avec présence de hautes flammes



Les flammes sortent de la boîte O2



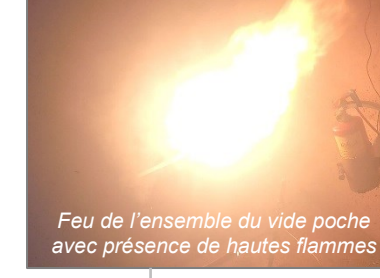
La hauteur de flamme se réduit



Lueur de flamme visible dans la boîte O2 Production d'une épaisse fumée



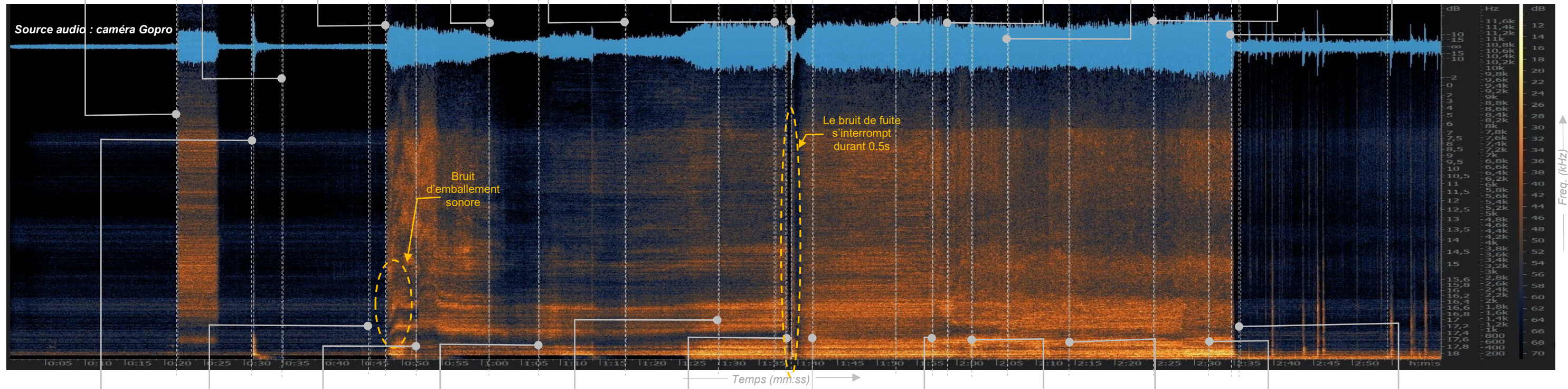
Les flammes se développent sous les boîtes O2 et dans le vide poche



Feu de l'ensemble du vide poche avec présence de hautes flammes



L'alimentation en oxygène est stoppée



Télé-allumage d'une flamme dans la boîte O2



De hautes flammes sortent de la boîte O2



Les flammes disparaissent à nouveau, accompagnées d'une épaisse fumée



Flammes visibles au pourtour de la boîte O2



Embrasement des boîtes O2 et de l'ensemble du vide poche



Le capot du vide poche se referme



Le feu se propage dans la boîte O2



Les flammes ne sont plus visibles



Arrêt momentané du bruit de fuite



Le feu se propage sous le vide poche

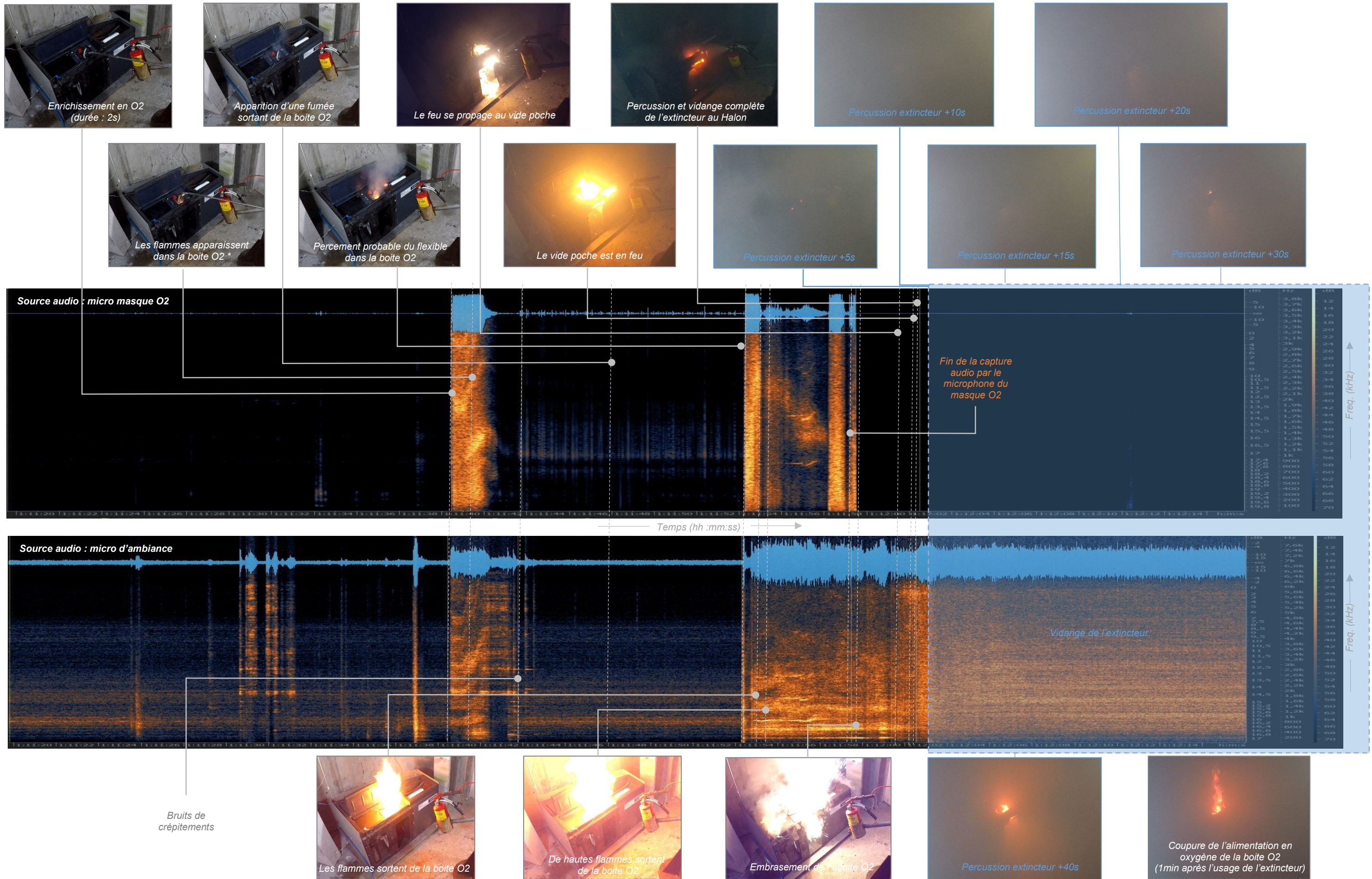


Feu de l'ensemble du vide poche avec présence de hautes flammes



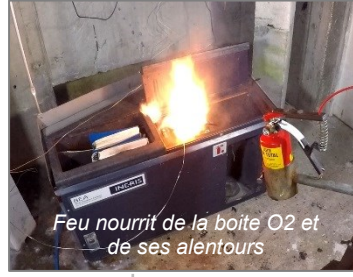
L'espace d'essai (10m3) est rempli d'une fumée très opaque

#5 ___ Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Propagation_02 »



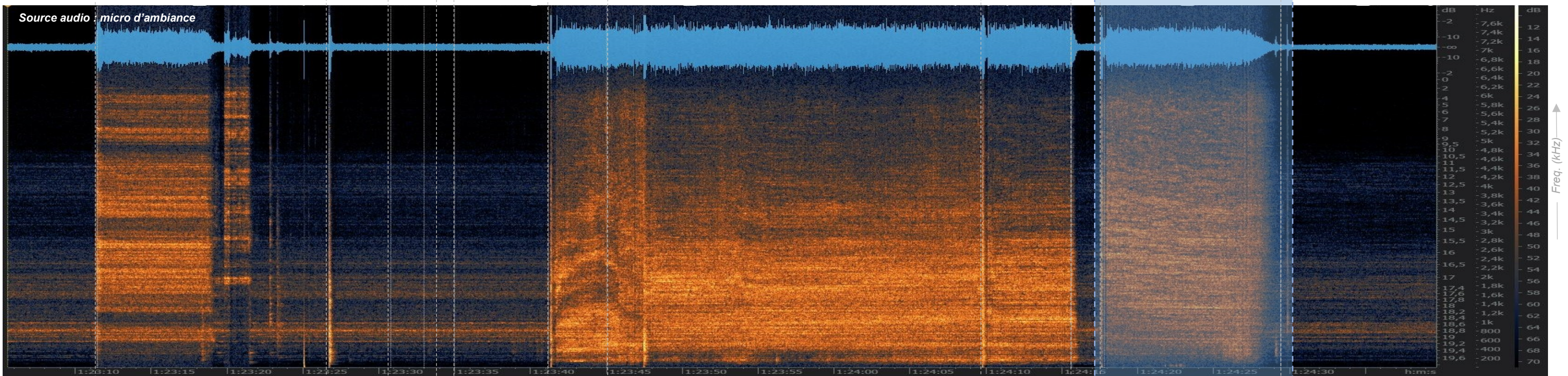
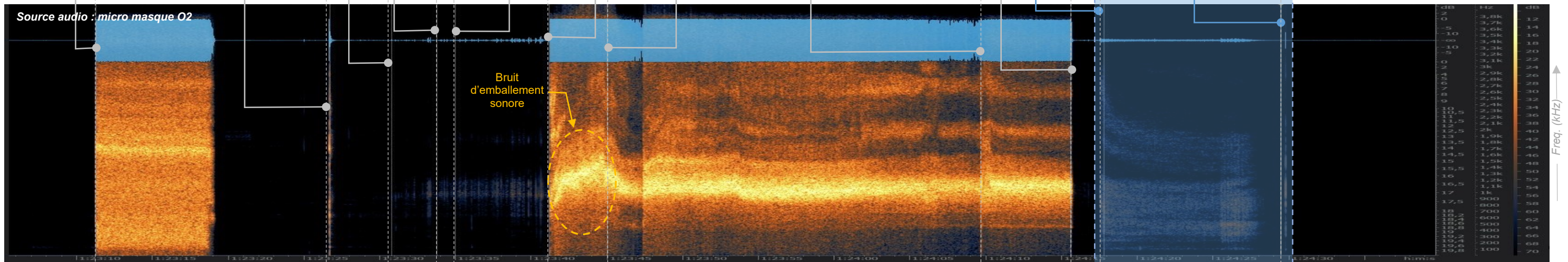
* : les braises résiduelles résultantes d'un précédent télé-allumage avorté sont réactivées

6 ___ Spectre et forme d'onde de l'enregistrement audio de l'essai « Propagation_03 »



Bruits de crépitements

Bruit
d'emballement
sonore



7 ___ Spectre et forme d'onde de l'évènement enregistré sur le CVR du MS804

