WHITEPAPER MADONE SLR

Auteurs
Tim Hartung
Paul Harder
Alex Bedinghaus

SOMMAIRE

3 INTRODUCTION

4 PERFORMANCES AÉRODYNAMIQUES

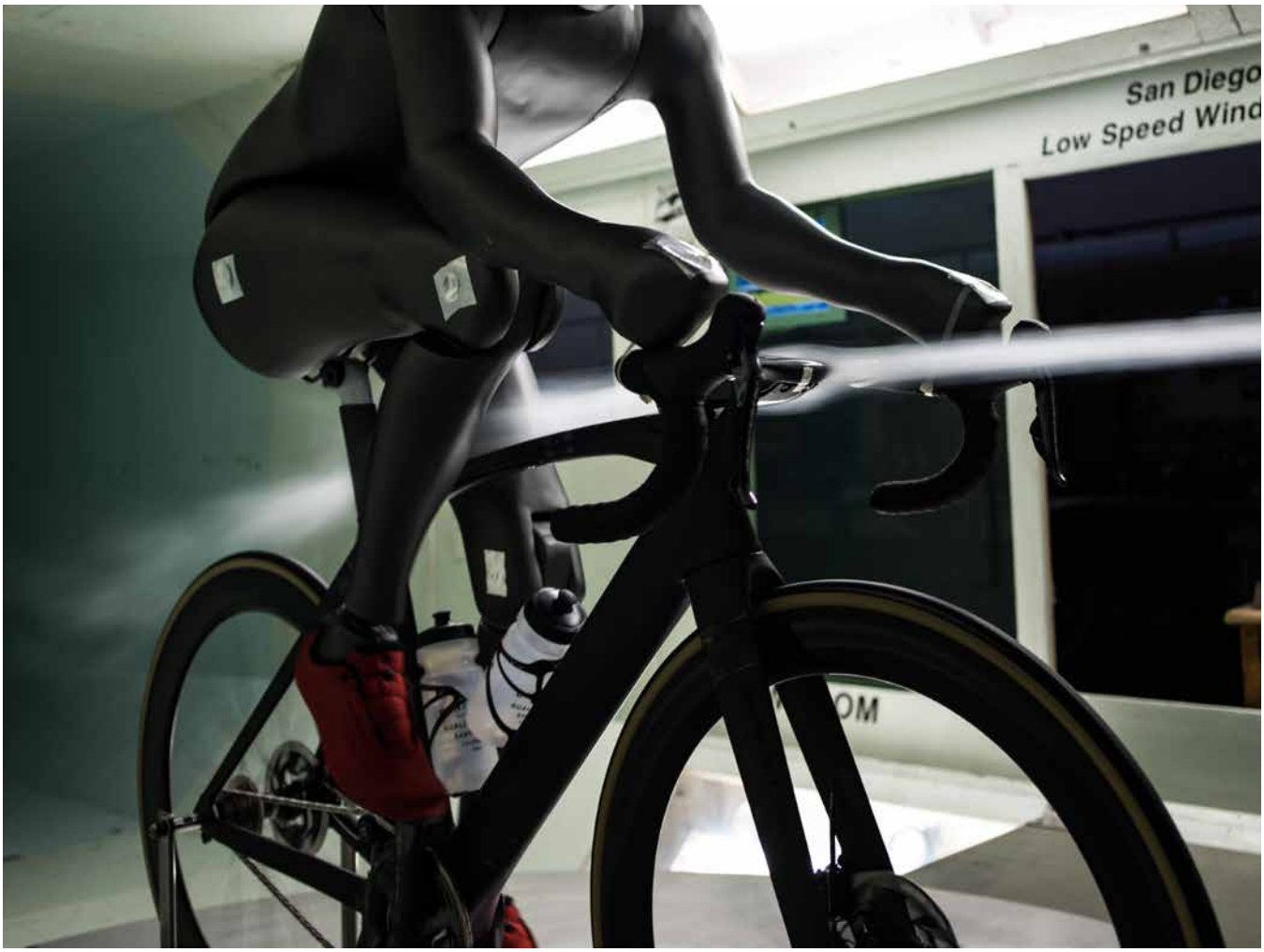
6 POIDS DU VÉLO

11 ADJUSTABLE COMPLIANCE TECHNOLOGY
(TECHNOLOGIE DE FLEXIBILITÉ RÉGLABLE) MADONE

19 AJUSTEMENT DU VÉLO

21 AFFINEMENT ET INTÉGRATION

27 ANNEXE



INTRODUCTION

Créer un vélo de course aérodynamique requiert un équilibre délicat de nombreuses variables. Si vous modifiez une variable dans une direction, vous devrez faire un compromis sur une ou plusieurs autres variables. Pour créer un vélo de course exceptionnel, qui soit à la fois aérodynamique et polyvalent, les variables qui importent sont avant tout l'aérodynamisme et le poids. Ce ne sont cependant pas les seules : il faut tenir compte du confort, de la géométrie, de la maniabilité, de la rigidité du cadre, de l'esthétique et de l'intégration. L'ambition du nouveau Madone est d'être le meilleur vélo de course polyvalent au monde et d'affiner le Madone actuel.

Le whitepaper du Madone actuel décrivait de façon détaillée les processus de Trek en matière de mécanique des fluides numérique (Computational Fluid Dynamics ou CFD) et de conception itérative, en privilégiant également les processus d'affinement sur le terrain des résultats obtenus en laboratoire (« ride-tuned performance »). Trek a de nouveau employé ces mêmes méthodologies et techniques sur le nouveau Madone. Ce whitepaper examine les performances aérodynamiques et les poids des différents équipements du vélo comparés au Madone actuel. Seront en outre évoquées en détail toutes les améliorations qui ont été apportées en matière de confort, de géométrie, d'intégration et de raffinement par rapport au Madone actuel et qui optimisent l'expérience du cycliste.

L'attention apportée par Trek aux détails sur le tout nouveau modèle Madone est unique. Le nouveau Madone a été conçu en intégrant de façon unique la R&D et l'esthétique de sorte à délivrer une performance globale et à inspirer les cyclistes qui auront la chance de l'utiliser.

L'AÉRODYNAMIQUE

Trek privilégie plusieurs indicateurs lors des analyses de CFD afin d'identifier les possibilités de minimiser la traînée et d'améliorer ou de maintenir ainsi les performances aérodynamiques. Bien que la priorité soit de réduire les chiffres de la force de traînée, les éléments ci-dessous sont également étudiés afin d'indiquer aux ingénieurs design les domaines à améliorer. Tendance à un décollement de l'écoulement en surface, turbulences à faible énergie près de la surface du vélo, importance de la turbulence de sillage, force ponctuelle et cumulée sur la roue, la fourche, le cadre et les composants (Figure 1). Ce sont aussi les façons dont Trek utilise la CFD pour comprendre et développer les composants aérodynamiques. En prenant en compte de toutes mesures et en étalonnant rigoureusement les modèles de CFD par rapport aux résultats de soufflerie, Trek obtient une précision de CFD de +/- 3 % par rapport aux résultats expérimentaux[1].

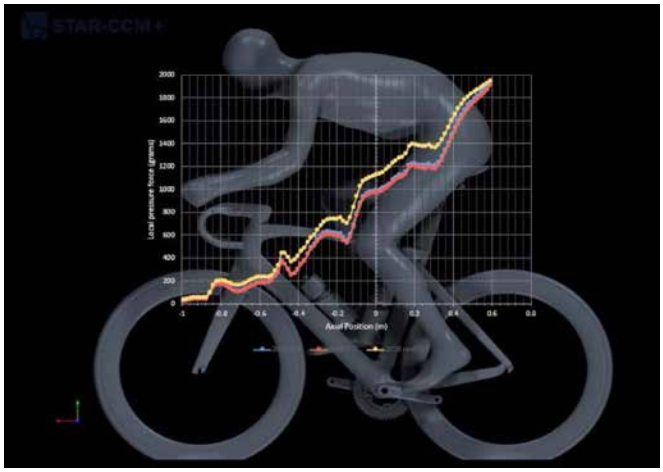


Figure 1. Simulation CFD (force ponctuelle et cumulée par rapport à la position axiale), montrant le processus de conception itérative de la première révision à la dernière révision (en jaune : première itération du nouveau Madone - en bleu : Madone actuel - en rouge : dernière itération du nouveau Madone).

L'objectif de Trek pour le nouveau Madone était de maintenir les performances en matière de traînée aérodynamique du Madone actuel (écart de moins de 30 g) pour une fourchette d'angles de lacet moyens de -12,5° à +12,5°. Se fondant sur des études compilant toute une série de données du monde réel.[2] Trek considère que cette fourchette correspond aux angles de lacet les plus couramment subis par un cycliste. Avec l'ajout de freins à disque à la gamme, les nouvelles exigences concernant les géométries, les nouvelles technologies en matière de confort, l'amélioration de l'esthétique des composants et la création de l'un des vélos aéro les plus légers du marché, Trek était encore confronté à un défi important pour maintenir les performances aérodynamiques. L'amélioration de la conception itérative de Trek est résumée en Figure 1. Les premiers dessins étaient plus lents que le Madone actuel, mais au moment où Trek a commencé à réaliser les outils de production, il était assumé que les performances seraient légèrement supérieures à celles du Madone actuel.

Les résultats expérimentaux recueillis au San Diego Low Speed Wind Tunnel sont exposés en Figure 2. Les chiffres définitifs du nouveau Madone montrent une moyenne de 3 216 g pour une fourchette d'angles de lacet de -12,5° à +12,5°contre 3 202 g pour le Madone actuel. Une différence de 14 g correspond à l'objectif que s'était fixé Trek et se situe dans la marge d'erreur expérimentale en soufflerie.

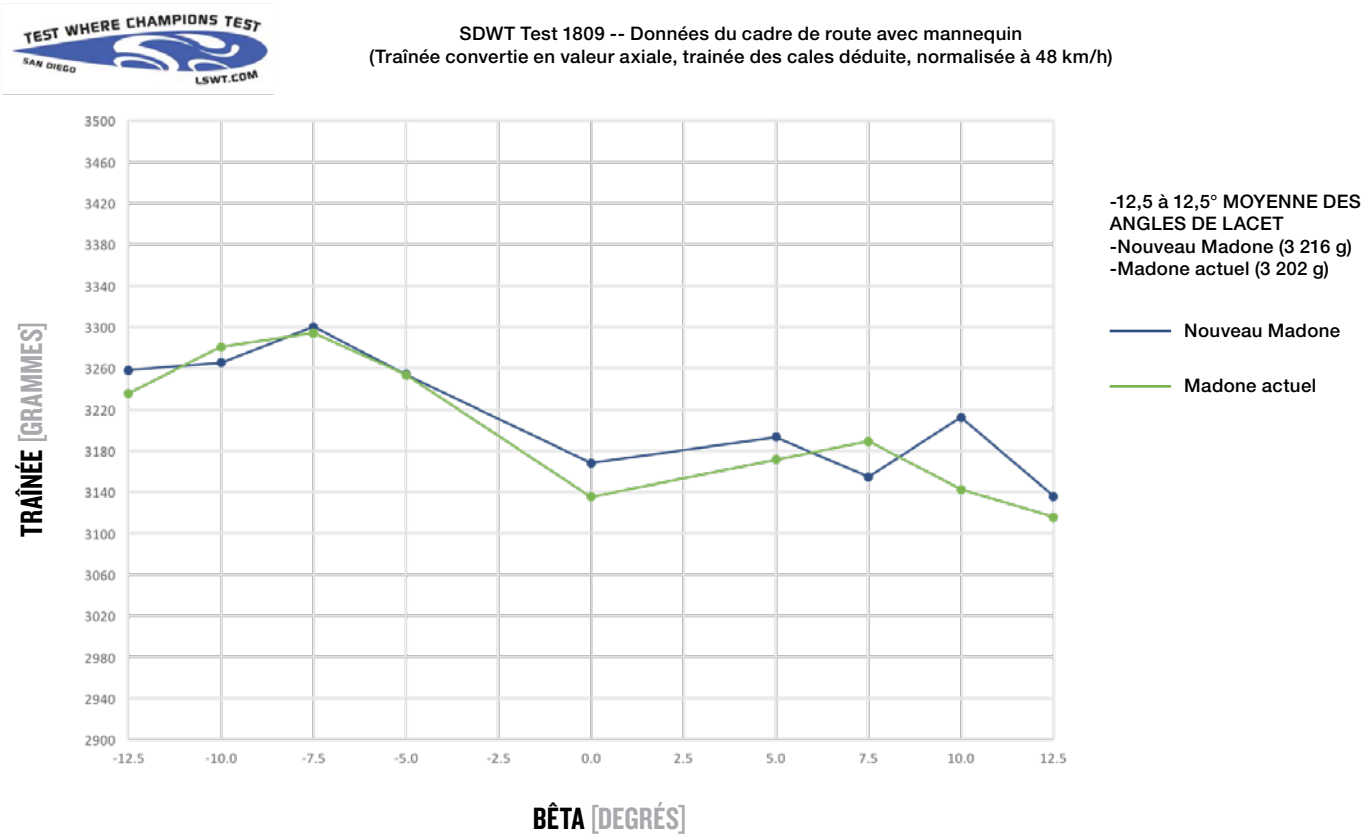


Figure 2. Résultats de soufflerie (SD LSWT, avril 2018) Nouveau Madone run 101 (bleu) comparé à Madone actuel run 107 (vert), vélos avec mannequin pédalant + 2 bidons.

[2] Trek 2014 Speed Concept White Paper, Section 3.2 « Mesures aérodynamiques dans le monde réel »

POIDS

Le poids du vélo est un élément tangible auquel les champions et les consommateurs prêtent une grande attention. Créer l'un des meilleurs vélos de course aérodynamiques et polyvalents requiert un équilibre délicat entre l'aérodynamisme, la rigidité du cadre et, découlant de ces deux variables, le poids du vélo.

Les profils en forme de goutte d'eau sont en général une option médiocre en ce qui concerne la rigidité du cadre et le poids. Lorsque ces tubes sont utilisés dans un cadre de vélo en vue de procurer un avantage aérodynamique, leurs caractéristiques transversales ne contribuent pas idéalement à la rigidité du cadre ni au budget poids du vélo, du fait des principales contraintes de charge exercées sur un cadre de vélo. Les charges subies au pédalage sont latérales par nature et les propriétés de flexion transversale des cadres aérodynamiques s'exercent dans la direction la moins efficace pour compenser ces charges. En général, un cadre de vélo offre une plus grande rigidité et un poids minimisé lorsque les tubes présentent une forme symétrique et sont plus larges. En revanche, un cadre de vélo offre de meilleures propriétés aérodynamiques lorsque les tubes sont plus étroits. Un vélo de course aérodynamique et polyvalent requiert un équilibre délicat entre ces deux caractéristiques opposées. Favorisant l'aérodynamisme et la rapidité du vélo, un cadre plus lourd est généralement la solution pour obtenir un vélo rigide au comportement agréable. Favorisant la légèreté du vélo, un cadre plus lent est généralement dû à un choix de tubes plus larges qui augmentent la traînée aérodynamique et qui affectent ainsi négativement la vitesse du vélo.

Les objectifs de Trek pour le nouveau Madone étaient de maintenir les performances aérodynamiques du Madone actuel et de réduire ou maintenir le poids de la version à freins sur jantes, tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités. L'Adjustable Compliance Technology (technologie de flexibilité réglable), un amortisseur de rebond, un cintre et une potence séparés, et une esthétique redessinée ne sont que quelques-unes des nouvelles fonctionnalités qui font du nouveau Madone le meilleur vélo de course polyvalent. L'objectif de poids assigné à la version à freins à disque était de 7,5 kg avec les mêmes fonctionnalités que celles listées ci-dessus.

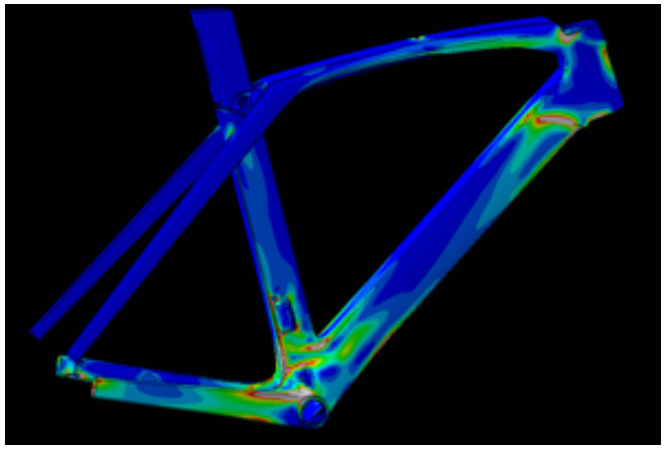
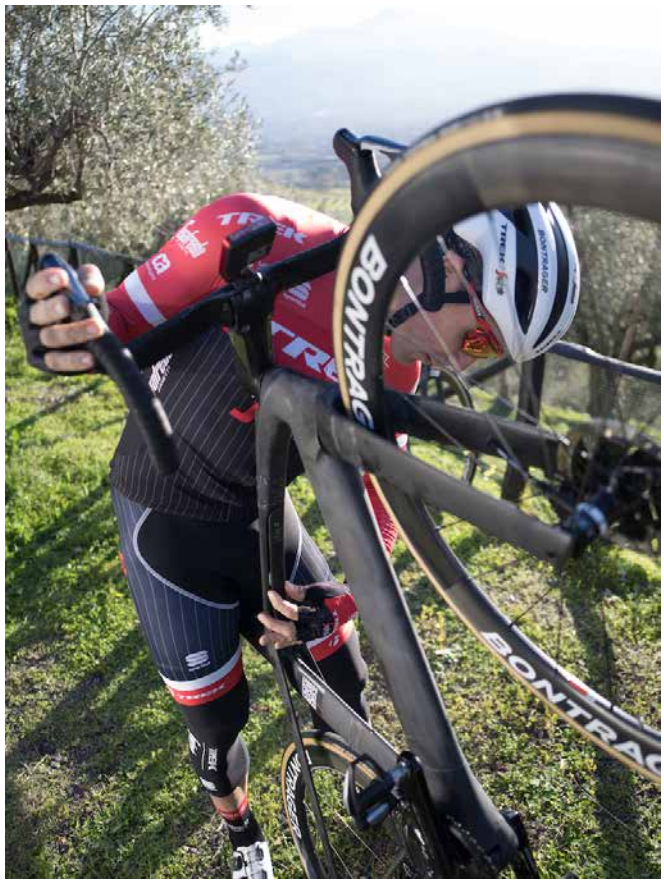


Figure 3. Simulation FEA (densité d'énergie de déformation) - Une des nombreuses itérations montrant les zones de déformation élevée, aidant ainsi nos ingénieurs design à améliorer l'efficacité structurelle.



Pour relever ce défi, Trek s'est efforcée de concevoir le nouveau cadre du Madone de sorte à ne pas augmenter le budget poids, voire à le réduire, par rapport au Madone actuel. De nombreux modèles de produits finis ont été analysés afin d'affiner les différents aspects du cadre et économiser le plus de poids possible, sans sacrifier aux exigences aérodynamiques. Une fois les ingénieurs Trek satisfaits des résultats des simulations et des projections, il était temps de voir ce qui était faisable en matière de fabrication de tous les composants en carbone du vélo.

Trek a travaillé en étroite collaboration avec les fournisseurs afin de s'assurer que chaque détail des éléments stratifiés des nouveaux composants carbone du Madone avait été examiné en vue d'atteindre les objectifs de poids du vélo. Ces efforts ont permis d'obtenir un vélo qui propose plus de fonctionnalités au cycliste et qui est aussi rapide et léger que le Madone actuel. La version à freins sur jante égale le Madone actuel (7,1 kg) et le tout nouveau modèle avec freins à disque affiche un poids d'environ 7,5 kg selon le type de peinture. Les trois tableaux ci-dessous détaillent le poids des vélos en fonction des différents équipements : Shimano Di2 Disc, Sram Red eTap HRD et Shimano Di2 Rim

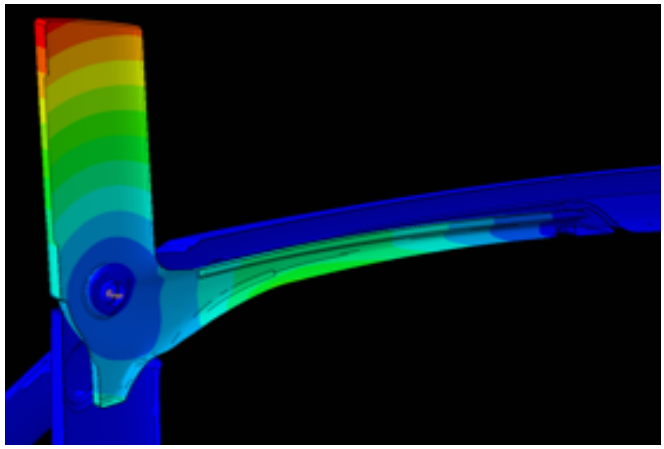


Figure 4. Simulation FEA (flexibilité verticale) -Une des nombreuses itérations montrant comment le mât de selle réagit lorsqu'une charge verticale est appliquée au niveau de la selle.

Tableau 1. Poids du nouveau Madone, équipé du groupe Shimano Disc Brake Dura-Ace Di2
(Avertissement : vélo non peint, potence sans entretoise, entretoises du jeu de direction non comptabilisées dans le total)

	COMPOSANTS	**SPÉC.**	
Roue avant	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Disc Clincher	740,2
	Blocage rapide	DT RWS [12 x 124]	51,0
	Disque + bague de serrage	SM-RT900-S [160 mm]	126,6
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
Roue arrière	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Disc Clincher	858,6
	Blocage rapide	DT RWS [12 x 124]	59,6
	Disque + bague de serrage	SM-RT900-S [160 mm]	126,6
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
	Cassette avec bague de serrage	CS-R9100 [11-28T]	193,0
Boitier de pédalier	Pédalier	FC-R9100 [170 mm 53-39T]	621,0
	Pédalier	NSK avec joints & Axle Shield	52,7
Poste de pilotage / direction	Roulement de jeu de direction (partie supérieure)	513538 [MR031S]	24,5
	Roulement de jeu de direction (partie inférieure)	540243 [MR006]	22,5
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	15 mm [561913/4]	11,7
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	5 mm [561911/2]	4,4
	Capuchon/vis et expandeur de jeu de direction	566031	39,8
	Bague de compression	563834	7,6
	Cuvette supérieure de roulement de jeu de direction	561910 [SRP]	23,8
	Potence	110 mm x -7 degré - visserie et bride de serrage du cintre	207,0
	Cintre	42 cm VRCF	276,0
	Chatertone électrique	3M Super 33+ [200 mm]	1.3
	Ruban et bouchons de cintre	Bontrager Gel Cork [534772 -Noir]	62,0
	Butée de direction + vis	565905 / 318529	1.4
	Levier de frein/dérailleur (gauche)	ST-R9170	158,0
	Levier de frein/dérailleur (droite)	ST-R9170	158,0
	Fourche	(sans entretoise = 196 mm)	421,0
Selle / Tige de selle	Selle	Bontrager Montrose Pro [138 mm]	169,0
	Tige de selle + visserie cale	Courte x 25 [visserie incluse]	234,8
	Rubber Tail tige de selle	557630	8,0
Frein	Frein avant + plaquettes résine + gaine standard	BR-9170-F	162,1
	Frein arrière + plaquettes résine + gaine standard	BR-9170-R	165,5
	Adaptateur frein arrière 160 mm		11,8
	Œillet de gaine de frein arrière	330578	1.8
Transmission	Dérailleur avant	FD - R9150	104,0
	Vis + rondelle carbone de dérailleur avant	531901 + 543903	5,8
	Dérailleur arrière	RD - R9150	198,0
	Port de charge	Shimano Di2 EW-RS910	10,4
	Batterie interne	Shimano Di2	50.0
	Kit câbles électriques	JC130-MM [550/50/550], 350, JC200, 700, 550, 650, 150	50.0
	Chaîne	CN-HG901-11	247,0
	Guide-chaîne avec rondelle et vis	566021 + 321693 & 521137	16,5
	Port de connexion DT	561882 + 510973 et 2 colliers de serrage	44,1
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur avant	440697	0,5
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur arrière	317292	0,5
Cadre	Cadre	1478U0519 - SRP	870,0
	Mât de selle	564480 -SRP	151,0
	Pâte de dérailleur arrière avec vis	524884 + 524188	11,7
	Capot DuoTrap	521455	3,0
	Amortisseur	564027 - Charriot, logement, butoir, 2 boulons de montage, vis de pré-charge	17,4
	Boulon de serrage + butée	564444 + 568099	4,7
	Curseur de réglage	564294	3,9
	Visserie IsoSpeed	569265 -Boulon, écrou, rondelle, rondelle crantée, 2 bagues, 1 bague intérieure	26,0
	Capot IsoSpeed [externe]	565903 - SRP	7,6
	Capot IsoSpeed [interne]	565904	8,0
Total		**Total**	**7,405 kg**

Tableau 2. Poids du nouveau Madone, équipé SRAM Red eTap HRD
(Avertissement : vélo non peint, potence sans entretoise, entretoises du jeu de direction non comptabilisées dans le total)

	COMPOSANTS	**SPÉC.**	
Roue avant	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Disc Clincher	740,2
	Blocage rapide	DT RWS [12 x 124]	51,0
	Disque + bague de serrage	Centerline Centerlock [160 mm]	124,6
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
Roue arrière	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Disc Clincher	858,6
	Blocage rapide	DT RWS [12 x 124]	59,6
	Disque + bague de serrage	Centerline Centerlock [160 mm]	124,6
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
	Cassette avec bague de serrage	XG-1190 [11-28T]	169,0
Boitier de pédalier	Pédalier	Red [GXP 170 mm 53-39T]	609,0
	Pédalier	NSK avec joints & Axle Shield	52,7
Poste de pilotage / direction	Roulement de jeu de direction (partie supérieure)	513538 [MR031S]	24,5
	Roulement de jeu de direction (partie inférieure)	540243 [MR006]	22,5
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	15 mm [561913/4]	11,7
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	5 mm [561911/2]	4,4
	Capuchon/vis et expandeur de jeu de direction	566031	39,8
	Bague de compression	563834	7,6
	Cuvette supérieure de roulement de jeu de direction	561910 [SRP]	23,8
	Potence	110 mm x -7 degré - visserie et bride de serrage du cintre	207,0
	Cintre	42 cm VRCF	276,0
	Chatertone électrique	3M Super 33+ [200 mm]	1.3
	Ruban et bouchons de cintre	Bontrager Gel Cork [534772 -Noir]	62,0
	Butée de direction + vis	565905 / 318529	1.4
	Levier de frein/dérailleur (gauche)	Cf. Frein	0,0
	Levier de frein/dérailleur (droite)	Cf. Frein	0,0
	Fourche	Noter la longueur du pivot (sans entretoise = 196 mm)	421,0
Selle / Tige de selle	Selle	Bontrager Montrose Pro [138 mm]	169,0
	Tige de selle + visserie cale	Courte x 25 [visserie incluse]	234,8
	Rubber Tail tige de selle	557630	8,0
Frein	Levier avant + frein avant + plaquettes résine + gaine standard	Sram Red eTap HRD	390,2
	Levier avant + frein avant + plaquettes résine + gaine standard	Sram Red eTap HRD	380,1
	Œillet de gaine de frein arrière	330578	1.8
Transmission	Dérailleur avant	Dérailleur avant + batterie	164,0
	Vis + rondelle carbone de dérailleur avant	531901 + 543903	5,8
	Dérailleur arrière	Dérailleur arrière + batterie	236,0
	Chaîne	Red 22 [114 maillons]	246,0
	Guide-chaîne avec rondelle et vis	566021 + 321693 & 521137	16,5
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur avant	440697	0,5
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur arrière	317292	0,5
	Guide-chaîne avec rondelle et vis	566021 + 321693 & 521137	16,5
	Port de connexion DT	561882 + 510973 et 2 colliers de serrage	44,1
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur avant	440697	0,5
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur arrière	317292	0,5
Cadre	Cadre	1478U0519 - SRP	870,0
	Mât de selle	564480 -SRP	151,0
	Pâte de dérailleur arrière avec vis	524884 + 524188	11,7
	Capot DuoTrap	521455	3,0
	Amortisseur	564027 - Charriot, logement, butoir, 2 boulons de montage, vis de pré-charge	17,4
	Boulon de serrage + butée	564444 + 568099	4,7
	Curseur de réglage	564294	3,9
	Visserie IsoSpeed	569265 -Boulon, écrou, rondelle, rondelle crantée, 2 bagues, 1 bague intérieure	26,0
	Capot IsoSpeed [externe]	565903 - SRP	7,6
	Capot IsoSpeed [interne]	565904	8,0
Total			**7,423kg**

Tableau 3. Poids du nouveau Madone, équipé du groupe Shimano Rim Brake Dura-Ace Di2
(Avertissement : vélo non peint, potence sans entretoise, entretoises du jeu de direction non comptabilisées dans le total)

	COMPOSANTS	**SPÉC.**	
Roue avant	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Clincher	712,1
	Blocage rapide	Race Lite (came interne 100 mm)	55,0
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
Roue arrière	Roue avec fond de jante	Bontrager Aeolus 6 Clincher	861,7
	Blocage rapide	Race Lite Road (came interne, 130 mm)	60,0
	Pneu	Bontrager R4 320 TPI 25C	230,0
	Une chambre à air	Bontrager Lightweight [valve 80 mm]	65,0
	Cassette avec bague de serrage	CS-R9100 [11-28T]	193,0
BB	Pédalier	FC-R9100 [170 mm 53-39T]	621,0
	Pédalier	NSK avec joints & Axle Shield	52,7
Poste de pilotage / direction	Roulement de jeu de direction (partie supérieure)	513538 [MR031S]	24,5
	Roulement de jeu de direction (partie inférieure)	540243 [MR006]	22,5
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	15 mm [561913/4]	11,7
	Entretoises de jeu de direction [Droite/Gauche]	5 mm [561911/2]	4,4
	Capuchon/vis et expandeur de jeu de direction	566031	39,8
	Bague de compression	563834	7,6
	Cuvette supérieure de roulement de jeu de direction	561910 [SRP]	23,8
	Potence	110 mm x -7 degré - visserie et bride de serrage du cintre	207,0
	Cintre	42 cm VRCF	276,0
	Chatertone électrique	3M Super 33+ [200 mm]	1.3
	Ruban et bouchons de cintre	Bontrager Gel Cork [534772 -Noir]	62,0
	Butée de direction + vis	565905 / 318529	1.4
	Levier de frein/dérailleur (gauche)	ST-R9150	113,0
	Levier de frein/dérailleur (droite)	ST-R9150	113,0
	Fourche	Noter la longueur du pivot (sans entretoise = 196 mm)	378,0
Selle / Tige de selle	Selle	Bontrager Montrose Pro [138 mm]	169,0
	Tige de selle + visserie cale	Courte x 25 [visserie incluse]	234,8
	Rubber Tail tige de selle	557630	8,0
Frein	Frein avant avec cale	559499	119,8
	Cache de frein avant	562717 - SRP	27,6
	Butée de frein avant	562098	4,6
	Gaine + câble	Shimano BC-9000	32,0
	Frein arrière avec cale et capot	559758	154,3
	Butée de frein arrière avec ferrule	516820	4,5
	Gaine + câble + tube mousse [5,7]	Shimano BC-9000	72,0
Transmission	Dérailleur avant	FD - R9150	104,0
	Vis + rondelle carbone de dérailleur avant	531901 + 543903	5,8
	Dérailleur arrière	RD - R9150	198,0
	Port de charge	Shimano Di2 EW-RS910	10,4
	Batterie interne	Shimano Di2	50.0
	Kit câbles électriques	JC130-MM [550/50/550], 350, JC200, 700, 550, 650, 150	50.0
	Chaîne	CN-HG901-11	247,0
	Guide-chaîne avec rondelle et vis	566021 + 321693 & 521137	16,5
	Port de connexion DT	561882 + 510973 et 2 colliers de serrage	44,1
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur avant	440697	0,5
	Œillet de sortie du câble électrique de dérailleur arrière	317292	0,5
Cadre	Cadre	1477U0519 - SRP	885,0
	Mât de selle	564480 -SRP	151,0
	Pâte de dérailleur arrière avec vis	315464 + 318604	12,4
	Capot DuoTrap	521455	3,0
	Amortisseur	564020 - Charriot, logement, butoir, 2 boulons de montage, vis de pré-charge	17,1
	Boulon de serrage + butée	564444 + 568099	4,7
	Curseur de réglage	564294	3,9
	Visserie IsoSpeed	569265 -Boulon, écrou, rondelle, rondelle crantée, 2 bagues, 1 bague intérieure	26,0
	Capot IsoSpeed [externe]	565903 - SRP	7,6
	Capot IsoSpeed [interne]	565904	8,0
Total			**7,087**

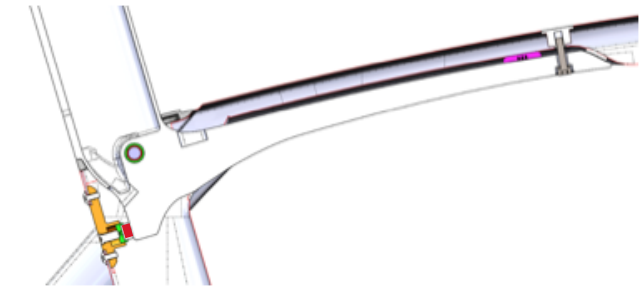
ADJUSTABLE COMPLIANCE TECHNOLOGY MADONE

ISOSPEED RÉGLABLE TUBE HORIZONTAL

Le nouveau Madone s'appuie sur l'Adjustable Compliance Technology de Trek équipant le réputé TREK Domane SLR. L'Adjustable Compliance Technology du Madone consiste en deux éléments du cadre intégrés l'un à l'autre, comme sur le Domane SLR, sauf qu'ils ont été basculés dans le tube horizontal pour un meilleur résultat aérodynamique. Cette méthode permet également d'obtenir une flexibilité plus uniforme pour toutes les tailles de cadre. Enfin, Trek a intégré à l'arrière du tube de selle un dispositif qui apporte des caractéristiques d'amortissement de rebond.

Les deux éléments du cadre sont connectés entre eux par le découpleur IsoSpeed (cf. Figure 5) et le joint vissé à l'avant. Dans l'espace libre situé entre les deux éléments du cadre, un curseur d'ajustement peut être déplacé sur toute la longueur. L'élément du mât de selle utilise le découpleur IsoSpeed pour transformer la déflexion vers l'arrière de la section aéro supérieure du mât de selle en déflexion vers le haut de l'élément inférieur du mât de selle. L'espace libre permet à la partie inférieure du mât de selle d'être incliné vers l'avant tandis que l'élément du tube horizontal du triangle avant reste indépendant de la partie inférieur du mât de selle. Le curseur est en contact avec l'élément inférieur du mât de selle et l'élément du tube horizontal du triangle avant pour limiter la déflexion vers le haut de la partie inférieure du mât de selle selon les préférences du cycliste. Si le curseur est placé vers l'avant du cadre, le cycliste bénéficiera de plus de flexibilité du fait que l'espace libre plus important permet une déflexion supérieure de la partie inférieure du mât de selle. Si le curseur est placé vers l'arrière du cadre, du côté du découpleur IsoSpeed, le cycliste bénéficiera de moins de flexibilité du fait que le curseur empêche la déflexion dans l'espace libre à l'avant.

Des procédures de validation, telles que des essais subjectifs sur route, des essais instrumentés sur route et des tests en laboratoire, ont permis de confirmer que cette nouvelle méthode d'Adjustable Compliance Technology répondait aux attentes de Trek en matière d'efficacité et permettait au cycliste de régler la flexibilité verticale au niveau de la selle.



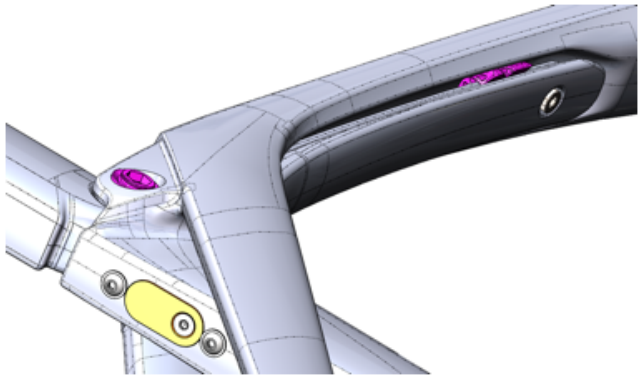


Figure 5. Nouveau Madone - Modélisation CAO de la technologie de flexibilité réglable (illustration du haut – vue transversale plane de la partie centrale du cadre,

illustration du bas - vue isométrique de la partie inférieure du tube horizontal et de la zone IsoSpeed).

Les tests de rigidité verticale réalisés dans le laboratoire de test montrent que pour un cadre de taille 56, la flexibilité varie d'environ 119 N/mm à 175 N/mm tout au long de la plage de réglage du curseur, comme illustré en Figure 6. Le Madone actuel a une rigidité d'environ 144 N/mm. Cela signifie que le nouveau Madone offre à la fois plus de flexibilité (+17 %) et moins de flexibilité (-22 %) que son prédécesseur.

Les déplacements du curseur entre la position la plus avancée et la position médiane ont une plus grande incidence sur la flexibilité tandis que les déplacements du curseur entre la position médiane et la position la plus reculée ont une moindre incidence sur la flexibilité

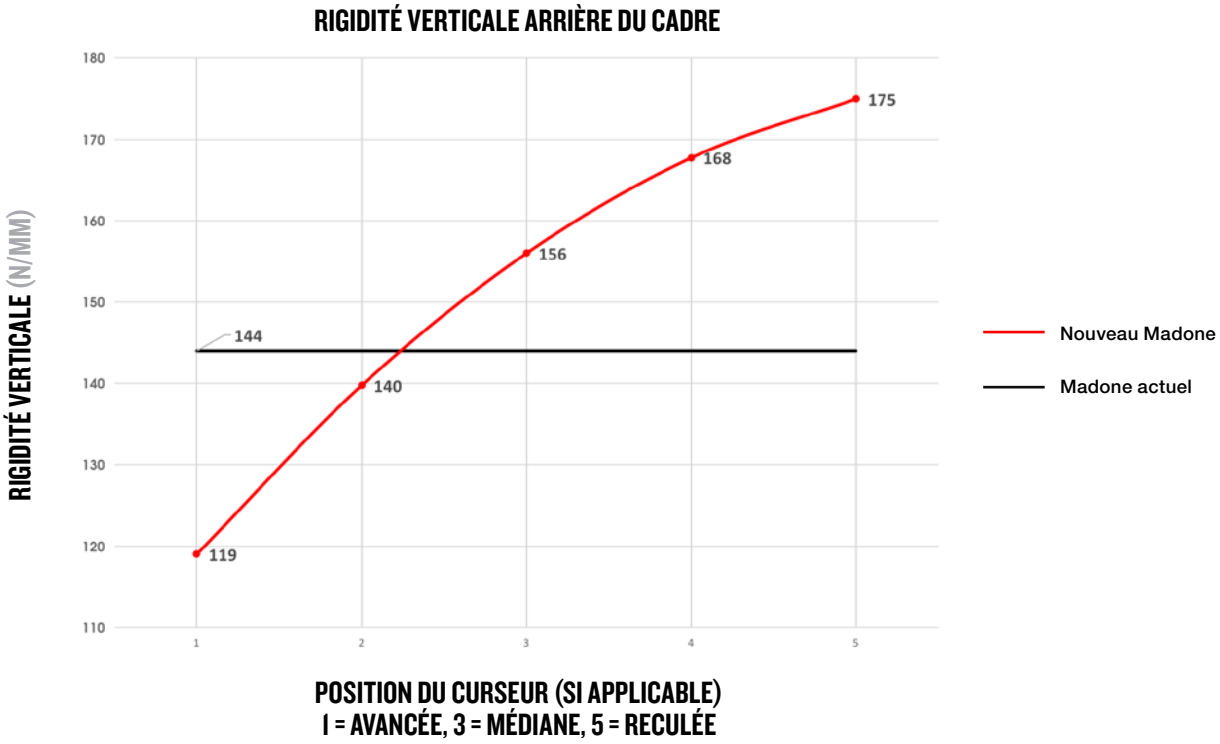


Figure 6. Rigidité verticale de l'arrière du cadre.

Un autre avantage de cette technologie est la possibilité d'homogénéiser les valeurs de flexibilité verticale sur l'ensemble des tailles de cadre. Cela est dû au fait que l'élément amovible du mât de selle a pratiquement la même longueur dans toutes les tailles de cadre. Sur les vélos de route classiques, les valeurs de flexibilité verticale traduisent une rigidité supérieure sur les petites tailles de cadre et une rigidité qui diminue progressivement dans les plus grandes tailles. Ce phénomène est dû à un principe de flexion de base qui veut que les tubes de vélo les plus longs ont généralement des valeurs de déflexion supérieures, et vice versa pour les tubes les plus courts. Prenez entre vos mains un tube de métal long et fin. Il sera beaucoup plus facile de le plier en deux qu'un tube court qu'il sera très difficile de fléchir. Puisque les éléments du mât de selle ont la même longueur quelle que soit la taille du cadre, les valeurs de flexibilité verticale de toutes les tailles de cadre sont beaucoup plus uniformes avec cette nouvelle technologie.

La Figure 7 montre les valeurs de flexibilité verticale mini / maxi dans toutes les tailles. La rigidité verticale a légèrement tendance à décroître au fur et à mesure que la taille du cadre augmente. Cela est dû au fait que le tube horizontal s'allonge en parallèle à l'augmentation de la taille. Sur un vélo traditionnel, il est courant de relever des différences de valeur allant jusqu'à 30 % ou 40 % entre les tailles les plus petites et les plus grandes. Sur le nouveau Madone, la différence entre les tailles extrêmes est de 3 % à 6 %. Si l'on compare seulement les cadres (actuels et nouveaux) de 50 cm, le nouveau Madone affiche une capacité à être 27 % plus flexible que le modèle actuel.

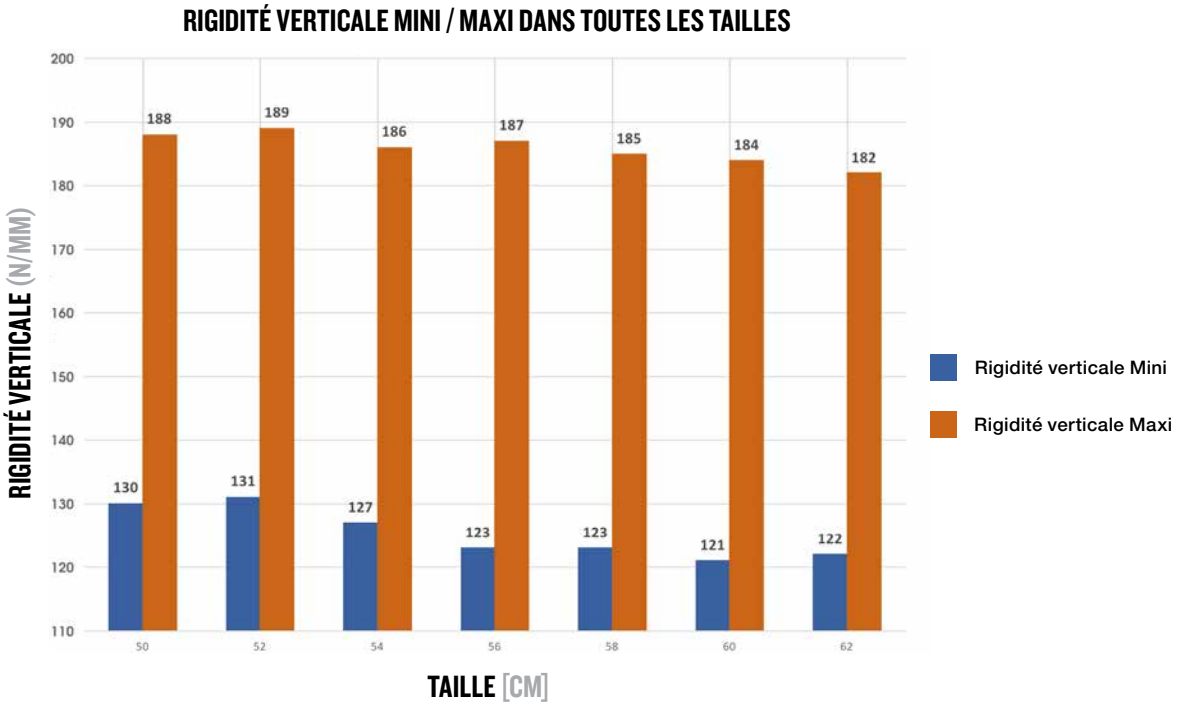


Figure 7. Rigidité verticale de l'arrière du cadre (maxima et minima), dans toutes les tailles de cadre.

AMORTISSEUR

Pour la première fois dans l'histoire de l'IsoSpeed de Trek, Trek introduit un amortisseur dans le système pour mieux contrôler le rebond du mât de selle. Lorsqu'une excitation importante (impact) était appliquée sur les précédents modèles de cadre bénéficiant de l'IsoSpeed, le principal avantage technologique ressenti par le cycliste était une déflexion importante du mât de selle et l'avantage de confort en découlant. Ce mouvement était en grande partie déconnecté des caractéristiques du triangle principal, alors que sur un cadre classique celles-ci auraient bloqué ou bloqué le comportement du cadre soumis à la même excitation. Cependant, lors de la phase de rebond consécutive à cet impact (c'est-à-dire lorsque le mât de selle commence à reprendre sa position initiale), la soudaineté de la réaction limitait le contrôle du cycliste alors qu'il pourrait avoir la sensation de décoller de la selle.

Cette sensation peut être inconfortable et gênante, du fait qu'elle peut nécessiter de réajuster sa position sur la selle et cela peut être générateur de fatigue sur la durée pour le cycliste. L'importance du rebond dépend de l'importance de l'excitation. En intégrant un amortisseur dans le système IsoSpeed, Trek est à même de contrôler et de réduire le rebond ainsi subi par les cyclistes.

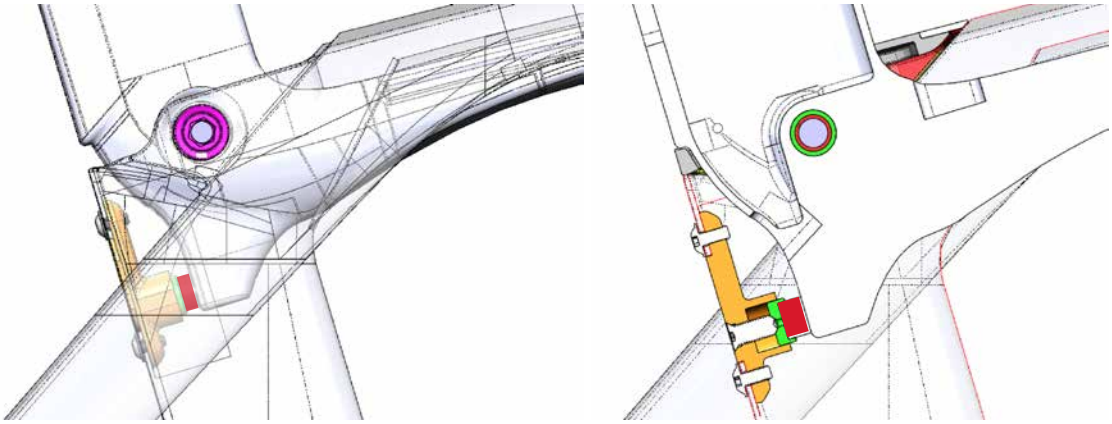


Figure 8. Madone - Modélisation CAO de l'amortisseur (illustration de gauche – vue de côté avec le triangle avant en transparence, illustration de droite – vue transversale plane de la partie centrale du cadre).

L'amortisseur est composé de trois parties principales : élastomère (rouge), logement de l'élastomère (vert) et platine du cadre (orange). Ces pièces sont montées sur le triangle avant en carbone, à l'arrière du tube de selle et sur une interface comportant un embossement sur l'élément du mât de selle tel que décrit dans la Figure 8 ci-dessus. Le triangle avant est représenté en transparence pour une meilleure visualisation. Dans l'illustration considérée et dans l'état initial du cadre, l'élastomère est pré-chargé en compression par une vis de réglage appliquée sur le mât de selle. Cette vis de réglage permet au cycliste de décomprimer l'élastomère de sorte à pouvoir repositionner le curseur de réglage lorsqu'il le souhaite. Une fois le curseur positionné selon le réglage souhaité, la dernière étape consistera à pré-charger à nouveau l'élastomère au moyen de la vis de réglage jusqu'à ce qu'il soit complètement écrasé par la platine d'amortisseur. C'est un réglage de type on/off, non prévu pour faire des micro-ajustements.

Lorsque l'élément du mât de selle est comprimé lors d'un impact au niveau de la selle, il crée un mouvement de rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre selon la perspective de la Figure 8 ou vu depuis le côté chaîne du vélo. Ce mouvement décomprime légèrement l'amortisseur et le prépare pour la phase de rebond. Lorsque le mât de selle commence sa rotation pour reprendre sa position initiale, l'élastomère est de nouveau comprimé, ce qui ralentit cette rotation et absorbe l'énergie du rebond.

TEST SUR TAPIS ROULANT

Trek ne se contente pas des tests statiques en laboratoire pour comprendre le comportement du vélo dans une configuration dynamique. Ce qui se produit lors d'un test statique en laboratoire ne reproduit ou ne représente pas toujours ce qu'un cycliste pourra ressentir selon l'état de la route. Pour faciliter ce processus et réduire autant que possible le nombre de variables environnementales entrant en jeu, Trek a effectué des essais instrumentés sur un tapis roulant récemment mis au point afin de valider la technologie de flexibilité réglable et d'amortissement. Ce tapis roulant permet à Trek de modifier les surfaces et de reproduire ainsi les différentes conditions de la route. Se prendre un nid de poule ou une bosse, rouler sur un joint de chaussée, du gravier ou des pavés, telles sont quelques-unes des différentes conditions que Trek est à même de reproduire dans un environnement contrôlé. Se reporter aux Figures A1-A4 en Annexe pour voir la configuration de test. Des accéléromètres tri-axiaux et des capteurs de déplacement linéaire ont été placés aux endroits stratégiques pour saisir les différences entre le Madone actuel et le nouveau Madone. Ils mesurent la déflexion entre l'axe arrière et la selle, ce qui constitue effectivement une mesure de la course de la suspension arrière du vélo.

Trek a entrepris de recueillir des données pour montrer l'incidence de la nouvelle technologie de flexibilité réglable et d'amortissement sur le cycliste, et ce que cela signifie pour lui en termes de confort. Un plan de tests a été élaboré, impliquant trois cyclistes testeurs internes et cinq types de revêtement routier sur le tapis roulant, et donnant lieu à 37 séries de tests individuels dans différentes configurations. Le plan de tests a pris en compte un certain nombre de variables, dont par exemple la vitesse du tapis roulant et le positionnement du curseur de réglage IsoSpeed.

La figure 9 ci-dessous indique l'ampleur moyenne des déflexions axe arrière / selle observées. Imaginez la compression de la selle en direction de l'axe arrière. Nous voyons que les tests sur la bosse isolée et la bordure de trottoir sont les plus conformes aux résultats des tests statiques en laboratoire indiqués plus haut en Figure 6. La Figure 9 montre que la flexibilité dynamique du Madone actuel se situe dans la plage de réglage de la flexibilité dynamique du nouveau Madone. Une étude légèrement plus approfondie montre une modification généralement homogène de la compression selon le positionnement du curseur de réglage, où la position 1 du curseur correspond à la flexibilité maximale et la position 3 à la flexibilité minimale. Dernier point, l'efficacité du curseur est d'autant plus évidente que la taille des bosses augmente. Ceci est particulièrement important parce que cela donne au cycliste un supplément de flexibilité dynamique lorsqu'il en a le plus besoin.

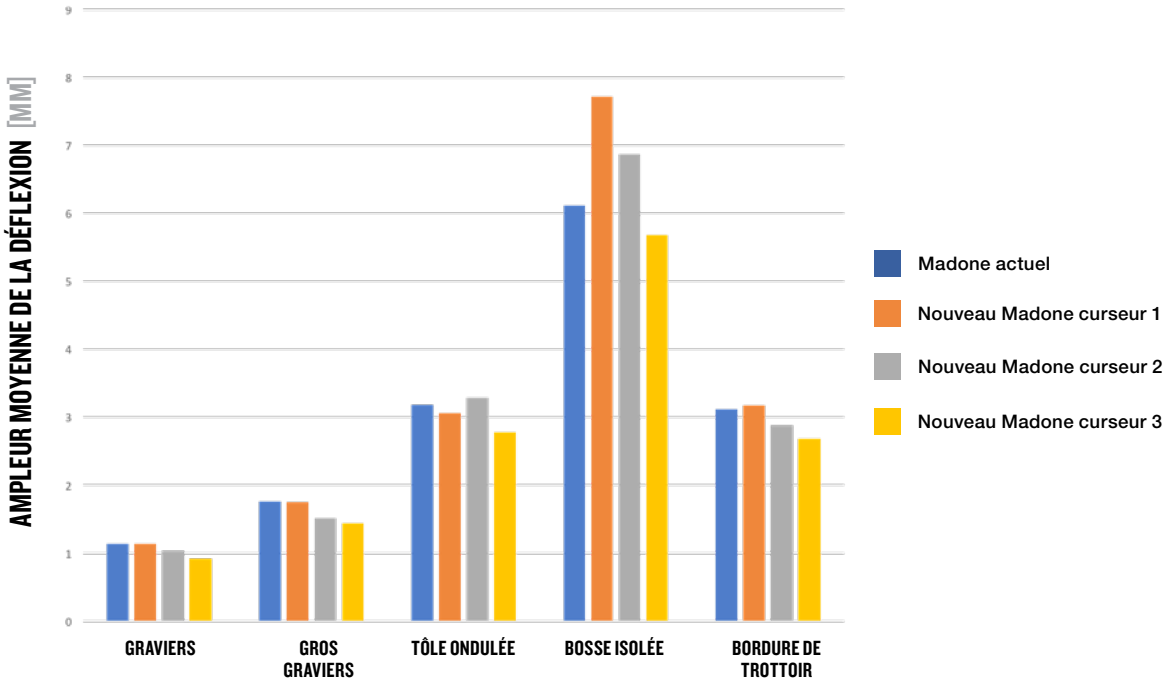


Figure 9. Ampleur des déflexions - Nouveau Madone comparé au Madone actuel (Curseur 1 = configuration la plus flexible - Curseur 2 = flexibilité médiane, Curseur 3 = configuration la moins flexible).

La Figure 10 ci-dessous montre les courbes d'impulsion du nouveau Madone selon les différents paramétrages du curseur de réglage dans les conditions de bosse isolée. Les courbes sont générées en calculant la moyenne d'un grand nombre d'impacts sur bosse isolée mesurés pendant un test et en les superposant en normalisant l'affaissement juste avant l'impact. Une fois encore, nous voyons la tendance indiquée à la Figure 9 d'une manière différente à même de mieux représenter visuellement l'incidence du positionnement du curseur sur le nouveau Madone. L'intérêt principal de la Figure 10 est de montrer ce que la composante amortissement apporte au cycliste. Rappelons que l'objectif de cette composante est de réduire ce qu'un cycliste subit après un impact et d'intégrer un contrôle de la flexibilité dans le système. Si nous faisons un gros plan sur la zone juste après l'impact (Figure 11), nous voyons une séparation entre les positions du curseur et entre les configurations avec et sans amortisseur. Cela montre que l'amortisseur réduit l'amplitude du rebond après impact jusqu'à 13 %.

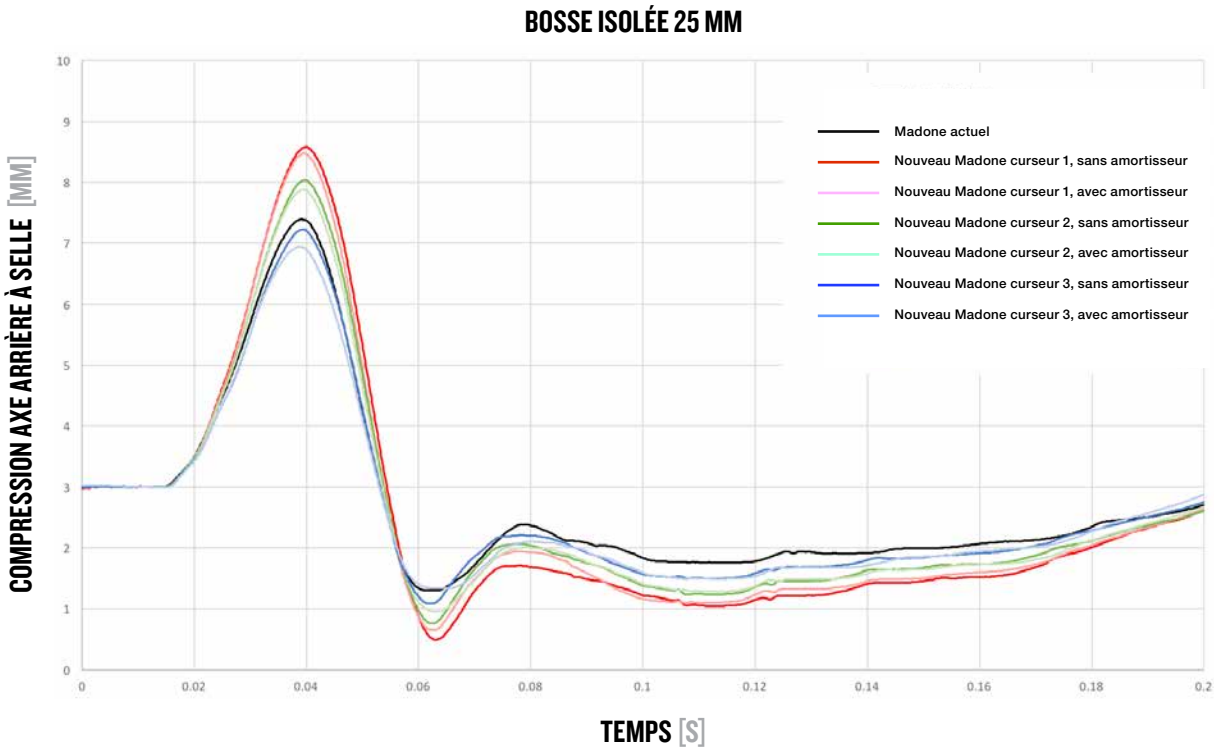


Figure 10. Courbes des impulsions sur une bosse isolée de 25 mm - Nouveau Madone (positions du curseur 1 à 3 - avec/sans amortisseur) (Curseur 1 = configuration la plus flexible - Curseur 2 = flexibilité médiane, Curseur 3 = configuration la moins flexible).

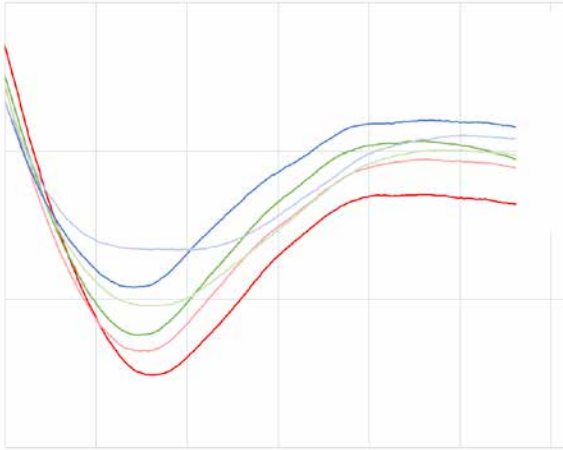


Figure 11. Gros plan sur la courbe de la Figure 10 au point de rebond après impact (Curseur 1 = configuration la plus flexible - Curseur 2 = flexibilité médiane, Curseur 3 = configuration la moins flexible).

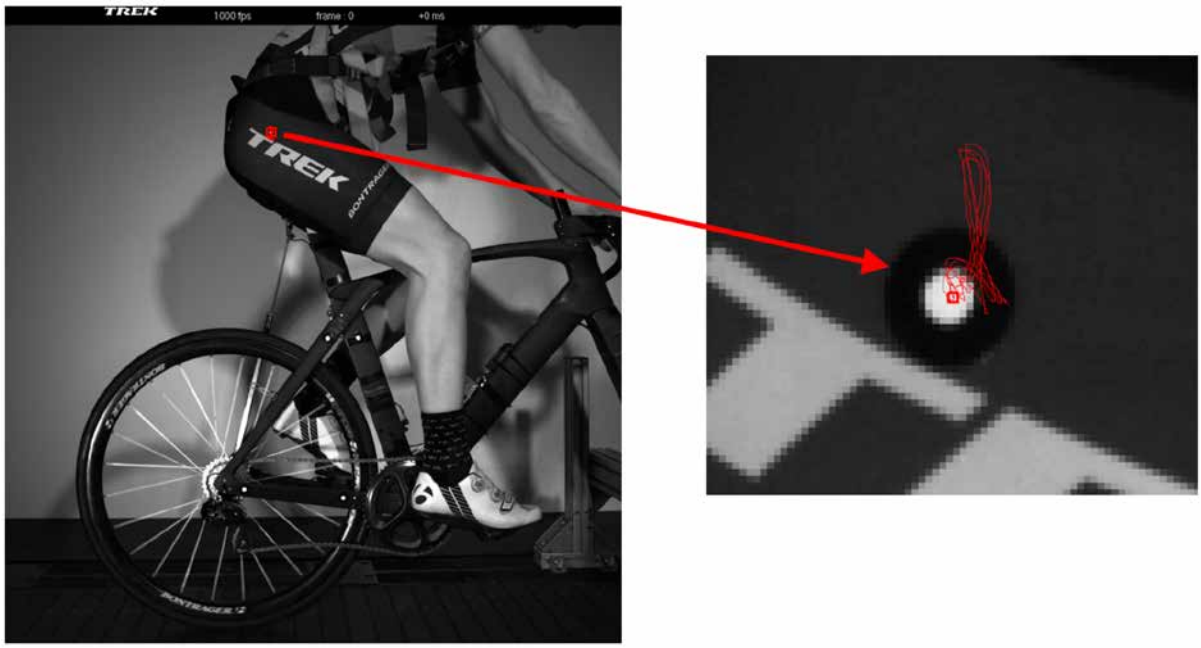


Figure 12. Suivi des mouvements de la hanche à l'aide d'une caméra haute vitesse.

Cette réduction peut également être quantifiée en suivant les mouvements de la hanche d'un cycliste, comme cela a été effectué dans le laboratoire Trek à l'aide d'une caméra haute vitesse (Figure 12). L'analyse comparée du mouvement vertical (Figure 13) sur le nouveau Madone (curseur en position 1, avec amortisseur) et sur le Madone actuel révèle que ces réglages permettent de réduire significativement les vibrations subies par le corps du cycliste, ce qui est le but ultime de toute technologie de suspension.

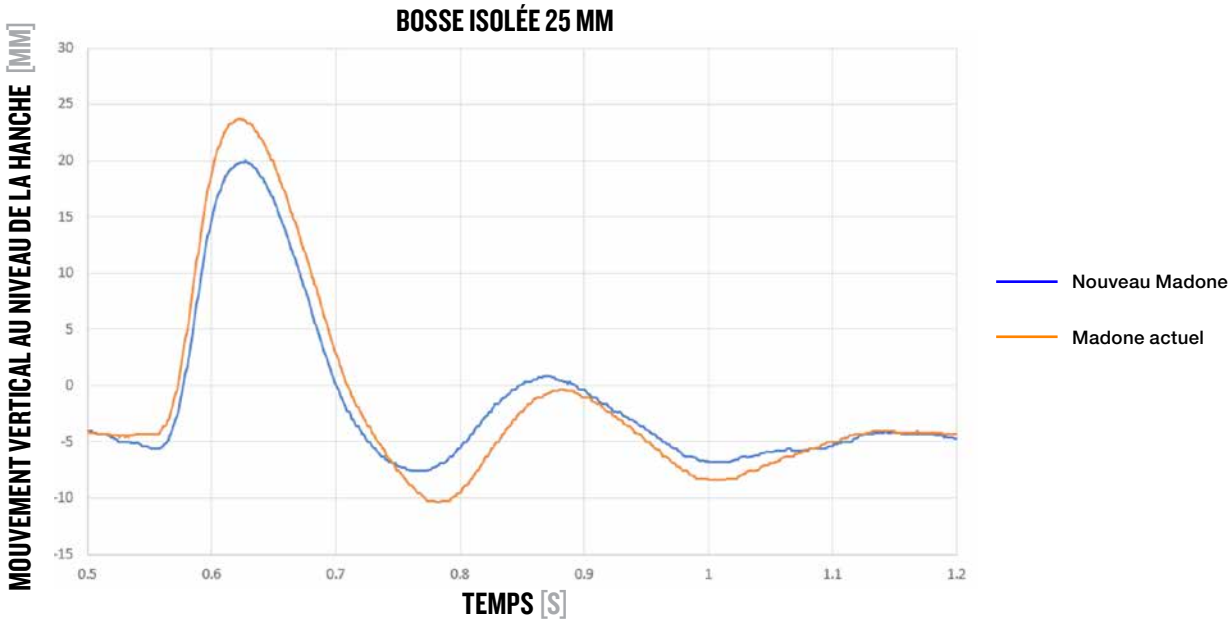


Figure 13. Nouveau Madone comparé au nouveau Madone - Suivi des mouvements de la hanche lors d'un impact sur une bosse isolée de 25 mm.

Enfin, Trek a entrepris de définir comment le nouveau Madone se comporte comparativement au Madone actuel en termes de ratio d'amortissement. Le taux d'amortissement (« damping ratio ») est une grandeur adimensionnelle caractérisant l'évolution et la décroissance au cours du temps des oscillations après une excitation. En d'autres termes, la rapidité avec laquelle une oscillation décroit entre deux points hauts consécutifs. Imaginez que vous ayez une balle de basket-ball et que vous la faites tomber d'une hauteur donnée et la laisser rebondir jusqu'à ce qu'elle reste immobile. Chaque rebond de la série est inférieur à celui qui l'a précédé. La Figure 13 montre un exemple de ce type d'oscillation, où chaque pic de la série est moins haut que le précédent. Dans le contexte d'un vélo roulant sur une grosse bosse, nous voulons que les mouvements successifs de la selle et du cycliste décroissent et reprennent leur position initiale le plus rapidement possible après cette bosse. Cela a pour effet de mieux contrôler le confort et de limiter la fatigue lors des sorties longues. Des taux d'amortissement faibles traduisent des temps de décroissance plus longs et inversement, des taux d'amortissement élevés traduisent des temps de décroissance plus court.

La Figure 14 ci-dessous compare les taux d'amortissement du nouveau Madone avec différentes positions du curseur à ceux du Madone actuel. Ces taux ont été calculés selon la méthode du décrément logarithmique, brièvement décrite dans l'Annexe. La Figure 14 montre que le nouveau Madone permet d'augmenter le taux d'amortissement de l'ordre de 44 % à 61 %.

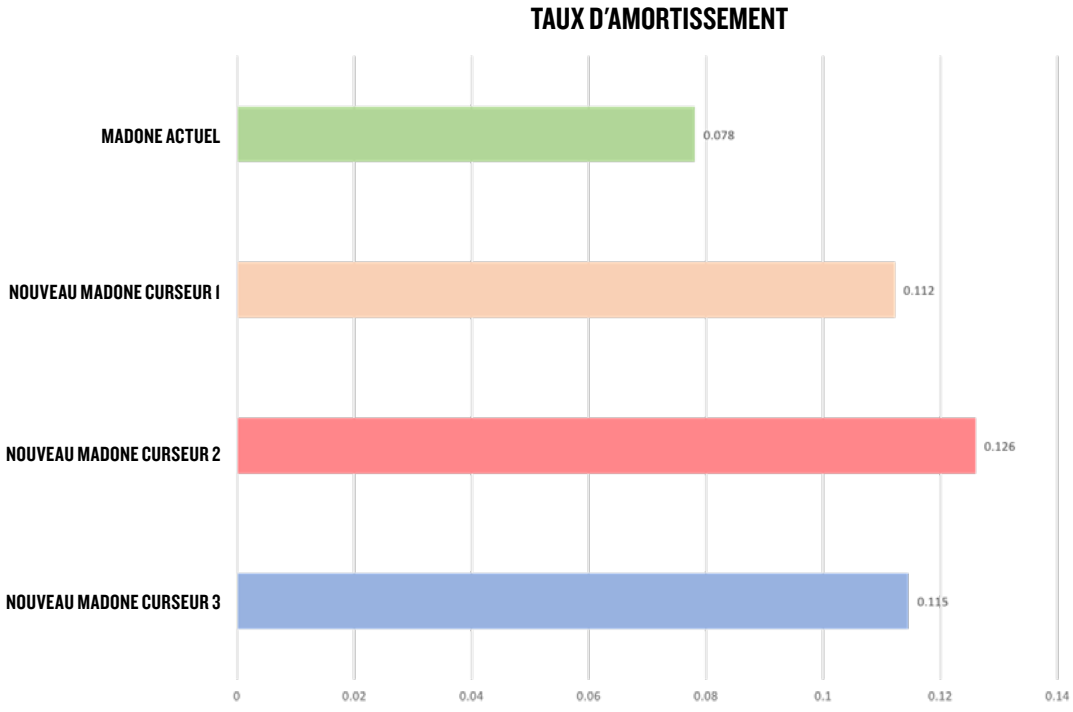


Figure 14. Taux d'amortissement comparé du nouveau Madone avec différentes positions du curseur et du Madone actuel.(Curseur 1 = configuration la plus flexible - Curseur 2 = flexibilité médiane, Curseur 3 = configuration la moins flexible).

--- L'Annexe montre également les effets positifs du nouveau Madone comparé au Madone actuel sur les revêtements de type tôle ondulée. ---

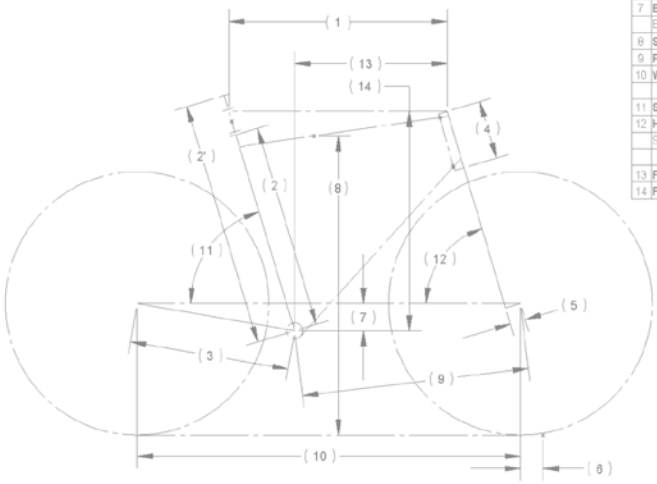
GÉOMÉTRIE

Trek proposait précédemment les vélos Madone selon les géométries de cadre H1 et H2, le choix de l'ensemble intégré cintre / potence et la possibilité d'ajouter des entretoises de jeu de direction venant compléter les options du cycliste en ce qui concerne le poste de pilotage. Du fait de la nature intégrée des combinaisons cintre / potence des Madone de la génération précédente , les options de taille étaient quelque peu limitées et changer d'ensemble / potence était un investissement coûteux, comparé par exemple aux options offertes aux clients sur d'autres modèles route de Trek, comme l'Emonda ou le Domane. Trek a vu cela comme une opportunité d'améliorer et d'élargir sa gamme de géométries, tout en conservant le caractère intégré du poste de pilotage du Madone à l'identique de ce qui était fait fait précédemment et de ce qui est devenu un must.

Trek a introduit la géométrie de cadre H1.5, plus d'options de potences, une taille de cintre supplémentaire et une inclinaison du cintre de +/-5 degrés sur le nouveau Madone. Grâce à ces nouvelles possibilités de réglage, Trek offre aux cyclistes hommes et femmes l'un des plus larges éventails de réglages avec poste de pilotage intégré.

Plutôt que de produire des Madone dans les géométrie H1 et H2 disponibles en version à freins à disque et sur jante (soit 28 cadres différents), Trek a privilégié ce qui lui semblait mieux convenir à ses clients et a divisé ce nombre par deux en proposant une géométrie unique (H1.5) pour chaque type de freins. Hauteur du cadre, longueur du cadre et taille de la douille de direction sont les trois caractéristiques importantes qui ont été modifiées. La nouvelle géométrie n'a modifié aucun des autres attributs qui caractérisaient la géométrie des cadres Madone de la génération précédente et qui ont contribué à l'exceptionnelle qualité et à la réputation des modèles Madone. Avec l'ajout des freins à disque à la panoplie et le maintien des modèles à freins sur jante, les ingénieurs Trek ont pu consacrer plus de temps à l'analyse de la traînée aérodynamique et à la réduction du poids sur un nombre moindre de cadres. Les tailles de cadre s'échelonnent de 50 cm à 62 cm pour chaque type de freinage. La Figure 15 ci-dessous présente la charte des cotes du nouveau Madone. Le meilleur attribut offert par cette géométrie est une plus grande flexibilité avec la possibilité de modifier les réglages grâce à un nouveau choix de potences, de cintres, et d'inclinaison du cintres.

H1.5 Madone Frame Geometry



#	Frame Size	50 CM	52 CM	54 CM	56 CM	58 CM	60 CM	62 CM
1	EFFECTIVE TT	521.4	534.2	543.6	559.9	573.2	586.1	598.0
2	SEAT TUBE (c-t)	453	483	496	525	553	573	593
2'	SEAT MAST (c-t)	545	575	600	630	650	670	690
3	CHAIN STAYS (c-c)	410	410	410	410	411	411	412
4	HEAD TUBE	111	121	131	151	171	191	211
	HEADSET LSH	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	TIRE DIAMETER	676	676	676	676	676	676	676
	FORK, AXLE-RACE	374	374	374	374	374	374	374
5	FORK OFFSET	45	45	45	40	40	40	40
6	TRAIL	61.9	57.5	56.3	58.4	56.5	56.1	55.7
7	BB DROP	72	72	70	70	68	68	68
	BB Height	266	266	268	268	270	270	270
8	STAND OVER, MAX	711.3	732.1	743.6	768.1	792.9	811.1	829.4
9	FRONT-CENTER	575	577.4	581	583	590	599	607
10	WHEELBASE	974	977	981	983	992	1001	1010
11	ST-GROUND Angle	74.6°	74.2°	73.7°	73.3°	73.0°	72.8°	72.5°
12	HT-GROUND Angle	72.1°	72.8°	73.0°	73.5°	73.8°	73.9°	73.9°
	ST-CS Angle	64.5°	64.1°	63.9°	63.5°	63.5°	63.2°	63.0°
13	Frame REACH	378.1	383.2	385.8	391.0	395.5	399.6	402.5
14	Frame STACK	520.6	532.5	540.7	563.0	581.2	600.6	620.0

Figure 15. Nouveau Madone - Cotes du cadre H1.5

Le cintre et la potence Trek ont été séparés pour constituer un ensemble plus traditionnel mais toujours exclusif à Trek. La Figure 16 montre une vue éclatée de la manière dont les différentes pièces séparées sont désormais assemblées. Ce nouveau montage offre 40 configurations possibles contre 26 auparavant avec les cadres H1 / H2. Les cyclistes ont également la possibilité de jouer sur l'inclinaison du cintre (+/- cinq degrés) et d'affiner ainsi leur position sur le vélo.

Le tableau 4 montre les options de cintre et de potence qui étaient proposées avec le Madone actuel et qui sont désormais proposées avec le nouveau Madone. Les potences -7deg offrent l'angulation proposée en standard sur la plupart des vélos, tandis que les potences -14deg permettront aux cyclistes qui possèdent le Madone actuel dans la géométrie H1 de retrouver la même position sur le nouveau modèle et offriront plus de possibilités aux nouveaux consommateurs. Les potences sont offertes en longueurs de 90 mm à 130 mm de longueur et avec une angulation de -7° et de -14°. Le cintre bénéficie d'une largeur supplémentaire, de 38cm à 44cm, et est proposé dans la configuration Variable Radius Compact Flare (VRCF). Avec ces nouvelles options, il est désormais plus facile et moins coûteux de modifier sa position.

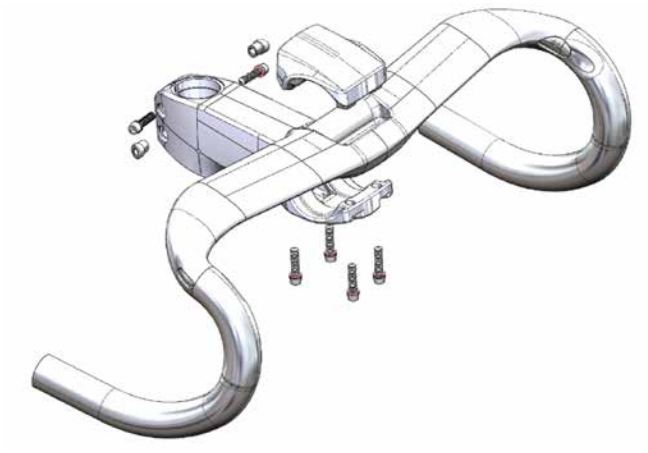


Figure 16. Nouveau Madone - Modélisation CAO du cintre et de la potence

Current Madone	
Stem Length (mm) [all -7 deg]	Bar Width (cm) [VRCF]
90	40
	42
	44
100	40
	42
	44
110	40
	42
	44
120	40
	42
	44
130	42

New Madone			
Stem Length (mm) [-7 deg]	Stem Length (mm) [-14 deg]	Bar Width (cm) [VRCF]	Bar Roll (deg)
90	90	38	+/- 5
		40	
		42	
		44	
100	100	38	
		40	
		42	
		44	
110	110	38	
		40	
		42	
		44	
120	120	38	
		40	
		42	
		44	
130	130	38	
		40	
		42	
		44	

Tableau 4. Choix de cintres et potences du nouveau Madone, comparés aux combinaisons Cintre / Potence du Madone actuel.

AFFINEMENT ET INTÉGRATION

FREINS SUR JANTE

Les nouveaux freins sur jante ont été redessinés, proposant de nouvelles fonctionnalités et privilégiant la facilité de montage et de réglage. Les bras d'étrier de frein utilisent des vis de réglage de la tension du ressort indépendantes pour centrer les patins de frein, ajuster de façon précise les patins au fur et à mesure qu'ils s'usent, et régler la force à appliquer sur le levier selon le ressenti souhaité. En jouant sur les vis d'écartement, il est possible de monter indifféremment des jantes de 23 mm à 28,5 mm de large sans toucher au réglage de la cale centrale.

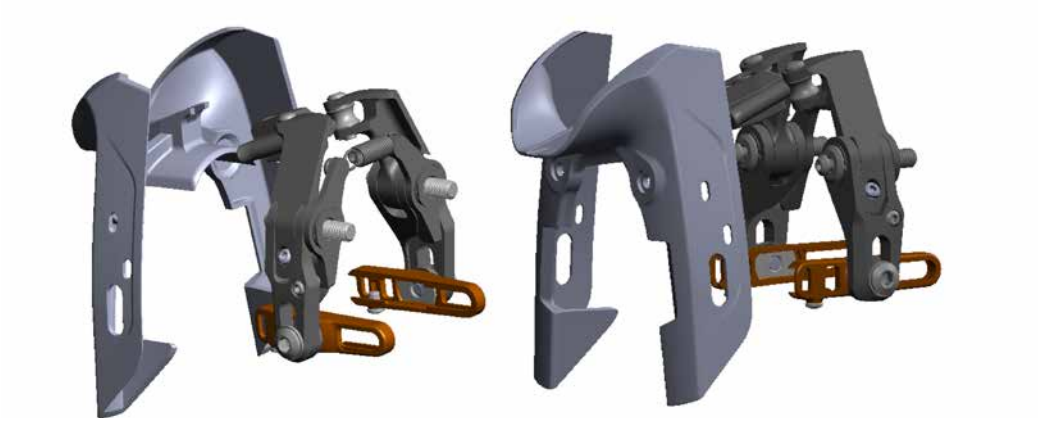


Figure 17. Nouveau Madone - Modélisation CAO des freins sur jante avant

La modification la plus importante apportée au freins sur jante par rapport au Madone actuel est le positionnement du frein avant. Trek a saisi l'opportunité d'améliorer encore les qualités aérodynamiques du Madone en plaçant le frein avant à l'arrière de la fourche de sorte qu'il s'intègre complètement à la fourche et au tube diagonal. Le capot de frein avant est désormais conçu pour être d'une couleur assortie à celle du cadre et de la fourche. Utilisant une conception de tirage centrale similaire à celle du Madone actuel, la gaine de frein avant passe par l'avant du pivot de fourche, traverse la base du pivot de fourche et le roulement inférieur de la douille de direction et ressort à l'arrière de la fourche. Utilisant la même conception de tirage centrale et la même forme, la gaine de frein arrière passe à travers le tube horizontal avec une butée située sur la platine d'amortisseur à l'arrière du tube de selle, minimisant ainsi la longueur de câble de frein offrant une résistance à l'air.

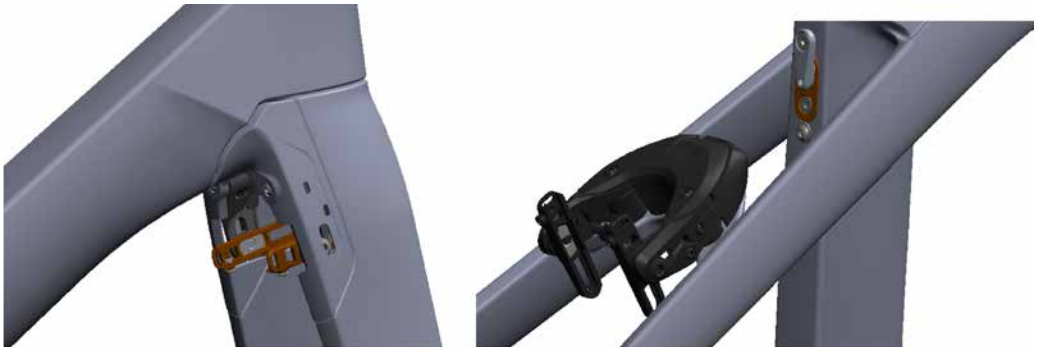


Figure 18. Nouveau Madone - Modélisation CAO du frein sur jante avant et du frein sur jante arrière, assemblés au cadre de façon intégrée.

Le frein avant (frein, capot non peint, et butée) pèse 152 g, soit environ 5 g de moins que le Madone actuel. Le frein arrière (frein et butée) pèse 152 g, soit le même poids que le Madone actuel. Le dégagement des pneus est conçu pour des pneus 25C standard afin d'être conforme aux normes ISO en matière de dégagement des pneus.

FREINS A DISQUES

L'adoption de freins à disque a été un élément critique de la phase de recherche et développement du nouveau Madone. L'aérodynamisme et le routage des gaines de frein ont constitué deux aspects qui ont nécessité d'être étudiés avec soin. En ce qui concerne l'aérodynamisme, les freins à disque sont devenus une préoccupation lors de la prise en côte des vents latéraux venant du côté opposé à la chaîne. Trek a conçu des modèles CFD détaillés des étriers des freins à disque et des disques en utilisant un logiciel de numérisation 3D interne. Conserver un routage interne intégral des gaines a obligé Trek à explorer des façons uniques de faire passer les câbles de frein sur jante et de freins à disque via le roulement inférieur de la douille de direction. La solution que Trek a trouvée et qui fonctionne avec les deux types de freins a consisté à faire passer les câbles dans le pivot de fourche au-dessus du roulement inférieur de la douille de direction, chaque câble suivant à partir de là un chemin séparé.

Cependant, dans le cas des freins à disque, il s'est avéré plus difficile de faire passer la gaine de frein du pivot de fourche au fourreau gauche de la fourche. Pour surmonter cet obstacle, Trek à inséré un guide pour pouvoir faire monter, facilement et sans outil, la gaine de frein du fourreau de fourche jusqu'au pivot de fourche.

Les freins à disque autorisent également des diamètres de pneu plus larges. Le dégagement des pneus du cadre et de la fourche de la nouvelle version à frein à disque du Madone est conçu pour des pneus 28C standard afin d'être conforme aux normes ISO en matière de dégagement des pneus.

TIGE DE SELLE / SUPPORT D'ÉCLAIRAGE

Comme sur le Madone actuel et désormais sur le nouveau Madone avec plus de raffinement aérodynamique, le système IsoSpeed permet de libérer la tige de selle et d'utiliser la technologie éprouvée KVF, associant ainsi un profil de tube de selle aéro à une flexibilité verticale inégalée. Le chariot de selle utilise toujours un boulon de serrage indépendant et un système de serrage des rails de selle permettant un nombre de réglages infini de l'inclinaison et du recul de la selle.

En outre, la nouveauté concernant la tige de selle est un concept de cale interne intégrée (Figure 20) qui fluidifie d'un point de vue esthétique l'arrière du mât de selle. Il n'y a plus de serrage de cale externe et désormais, la partie arrière du mât de selle sera entièrement peint. La tige est désormais proposée dans quatre couleurs différentes, et il est possible de la personnaliser complètement via le programme P1 de Trek. Enfin, de manière à intégrer la sécurité dans le design, un support d'éclairage Flare R a été conçu pour être fixé à l'arrière du chariot de selle et offrir ainsi un look épuré et intégré (Figure 19). Le support de réflecteur s'intègre de façon transparente dans une fente à l'arrière de la tige de selle offrant de nouveau un look épuré et intégré.

Figure 19. Tige de selle du nouveau Madone avec support d'éclairage intégré

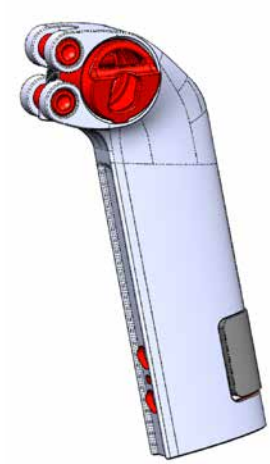


Figure 20. Tige de selle du nouveau Madone avec caler interne

CINTRE / POTENCE

Comme nous l'avons vu précédemment, l'élargissement de la plage de réglage du Madone a constitué l'une des principales priorités des ingénieurs Trek. Si la séparation de l'ensemble cintre / potence en deux parties était la solution la meilleure solution et la plus évidente, Trek devait également maintenir ses exigences aérodynamiques. Le résultat est une plateforme au look aérodynamique, épuré et intégré. De plus, le cintre dispose désormais d'une partie supérieure incurvée sur l'arrière permettant un placement des mains ergonomique et optimisés lorsque vous roulez les mains au guidon. La Figure 21 ci-dessous permet de comparer le cintre du Madone actuel à celui du nouveau madone.

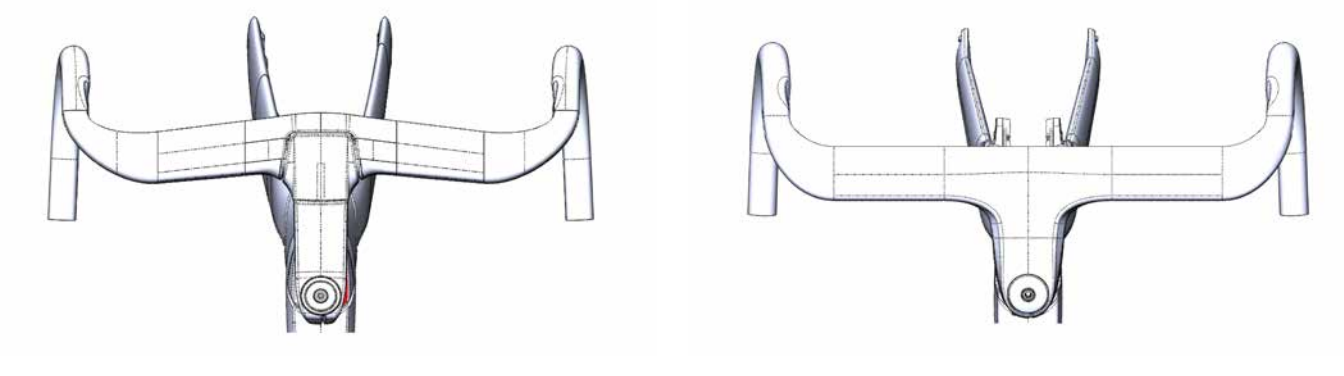


Figure 21. Cintre du nouveau Madone (à gauche) avec sa forme incurvée vers l'arrière plus ergonomique, comparé au cintre du Madone actuel (à droite)

Les entretoises du jeu de direction utilisent toujours un design en coquille en deux parties, de sorte à pouvoir les retirer ou en ajouter une nouvelle facilement, sans avoir à repasser des câbles ou des gaines une fois le vélo monté. Les entretoises ont été améliorées de sorte à rendre moins visibles les jointures entre les différentes parties. Elles bénéficient également d'un tout nouveau système de verrouillage qui facilite l'assemblage du vélo ainsi que deux hauteurs proposées, 5 mm et 15 mm. Enfin, la cuvette supérieure du roulement bénéficie d'une amélioration de sa forme mono-pièce ainsi que d'une autre amélioration qui a consisté à supprimer la découpe côté gauche qui permettait de faire passer le câble du frein sur jante arrière du Madone actuel. Se reporter à la Figure 22 pour une vue comparée

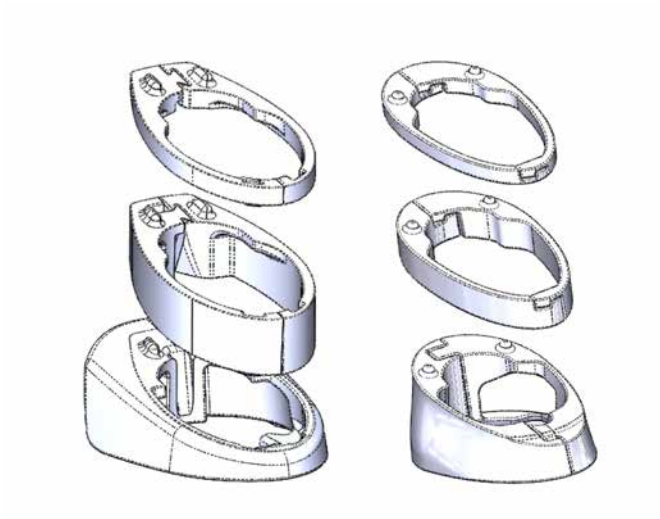


Figure 22. Entretoises de jeu de direction du nouveau Madone (à gauche) comparées à celles du Madone actuel (à droite)

CENTRE DE COMMANDE

Le centre de commande a été amélioré pour supporter toutes les spécifications des équipements à partir d'une pièce unique (Figure 23) et il a été repositionné au niveau du porte-bidon du tube diagonal afin d'optimiser l'aérodynamisme. Le porte-bidon est lui-même vissé au-dessus du centre de commande. Dans le cas de transmissions mécaniques, le centre de commande abrite les gaines des câbles des dérailleurs avant et arrière. Il n'y a plus de molette pour régler le dérailleur avant du fait des améliorations faites par les fabricants d'équipement d'origine. Dans le cas de transmissions électroniques, le centre de commande abrite la batterie Di2 et le boîtier de connexion B ; par contre, la prise de charge qui s'y trouvait auparavant a été repositionnée à l'extrémité du cintre. Le centre de commande abrite également la gaine de frein à disque arrière afin qu'elle ne vibre pas à l'intérieur du tube diagonal.

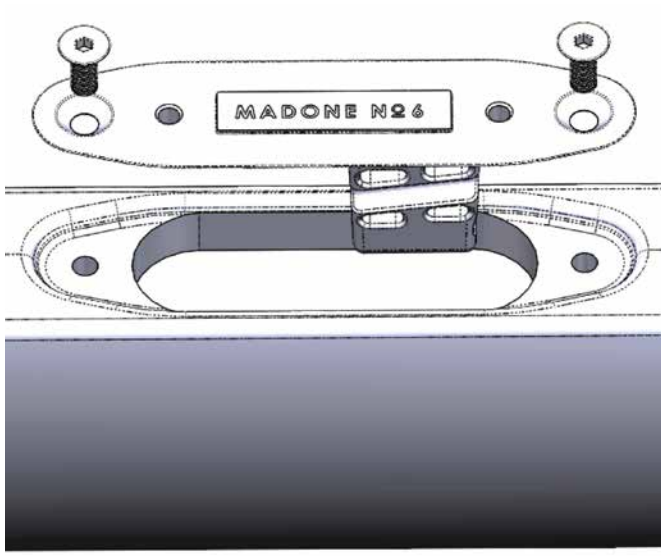


Figure 23. Centre de commande du nouveau Madone

VALIDATION TREK SEGAFREDO

L'équipe Trek Segafredo a été mise à contribution à plusieurs reprises tout au long du processus de développement du nouveau Madone, afin de s'assurer que le vélo procurait aux champions et aux consommateurs un réel avantage par rapport à ses concurrents, et par rapport au Madone actuel. En décembre 2017, l'équipe a roulé sur les premiers prototypes Madone en Sicile. Ce premier test important mettait à disposition de l'équipe deux versions stratifiées différentes du nouveau Madone et lui permettaient de tester les performances du vélo sous toutes les coutures, en montée, en virage, dans les sprints et en matière de confort, par rapport au Madone actuel. Le feedback obtenu a permis de réaliser une version plus aboutie combinant les deux types de stratification testés précédemment d'approfondir encore le concept de flexibilité réglable et d'améliorer l'interface cintre / potence.

Un deuxième essai important a eu lieu à Barcelone en janvier 2018. Le feedback de l'équipe sur les prototypes Madone améliorés confirmait que l'amélioration de la stratification se traduisait par une maniabilité du vélo exceptionnelle et que la nouvelle géométrie H1.5 s'avérait optimale.

Cet essai montrait également que les améliorations technologiques et fonctionnelles aboutissaient à un vélo qui dépassait en tout point le Madone actuel. Cela témoignait de façon évidente de la capacité de l'équipe ingénierie de Trek à créer et à améliorer des produits existants qui étaient déjà les meilleurs dans leur catégorie et démontrait de façon irréfutable l'intérêt pour un fabricant de cycles d'avoir sa propre équipe pro.

ANNEXE

CHIFFRES ET INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR LES TESTS SUR TAPIS ROULANT

Figure A1. Le laboratoire de test sur tapis roulant

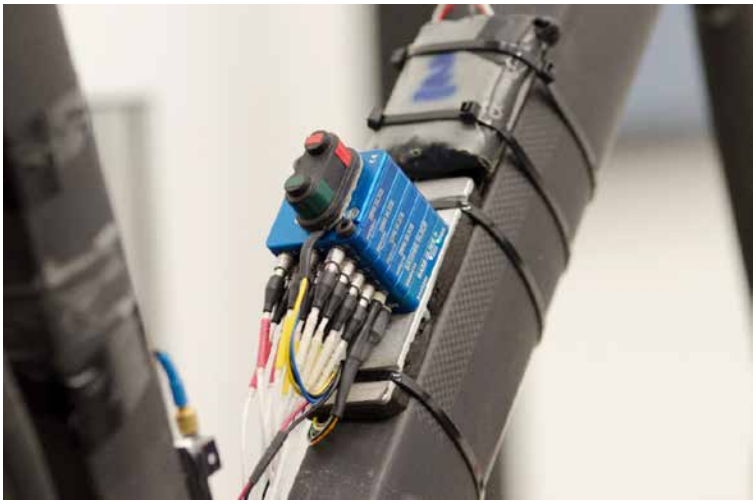


Figure A2. Système d'acquisition de données sur le tube diagonal.

ANNEXE

CHIFFRES ET INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR LES TESTS SUR TAPIS ROULANT

Figure A3. Capteur de déplacement linéaire.

Figure A4. Répartition de l'accéléromètre tri-axial.

ANNEXE

CHIFFRES ET INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR LES TESTS SUR TAPIS ROULANT

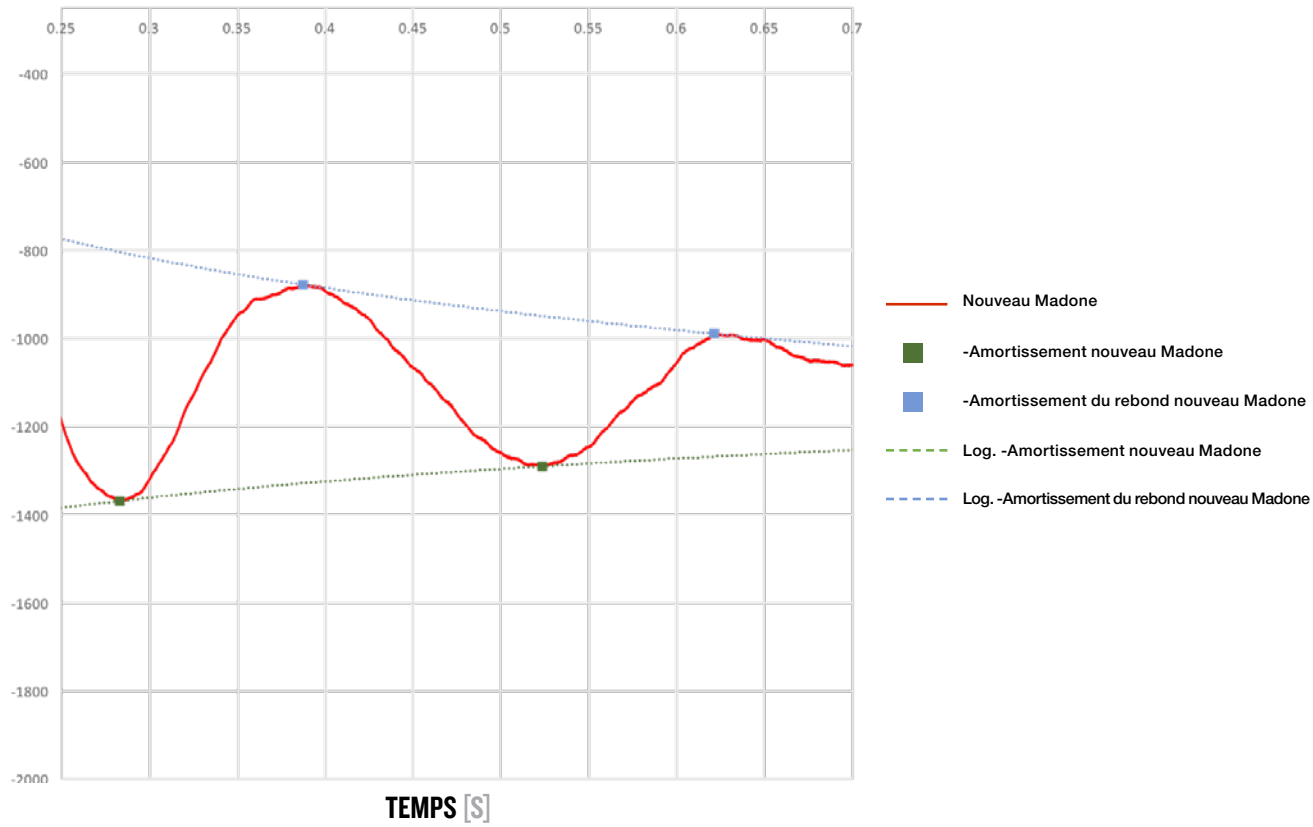


Figure A5. Exemple d'une courbe oscillatoire utilisée pour calculer le taux d'amortissement via la méthode de décrément logarithmique.

Dans le cas de systèmes sous-amortis qui affichent un mouvement oscillatoire, le taux d'amortissement peut être calculé au moyen de la méthode de décrément logarithmique. Il est défini comme le logarithme naturel du ratio de deux amplitudes successives tel qu'indiqué à la Figure A5. Le taux d'amortissement est alors calculé selon par la formule suivante, où zêta (ζ) est le taux d'amortissement et delta (δ) représente le décrément logarithmique.

$$\zeta = \frac{\delta}{2\pi} \qquad \text{where} \qquad \delta \triangleq \ln \frac{x_1}{x_2}$$

ANNEXE

CHIFFRES ET INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR LES TESTS SUR TAPIS ROULANT

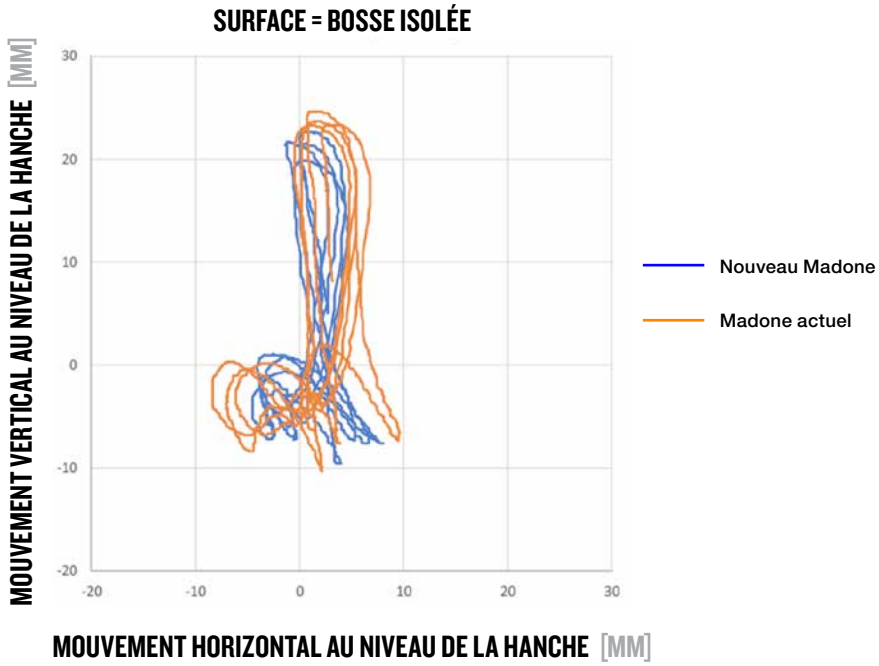


Figure A6. Graphique de suivi des mouvements de la hanche (Figure 12) en cas de répétition de plusieurs bosses.

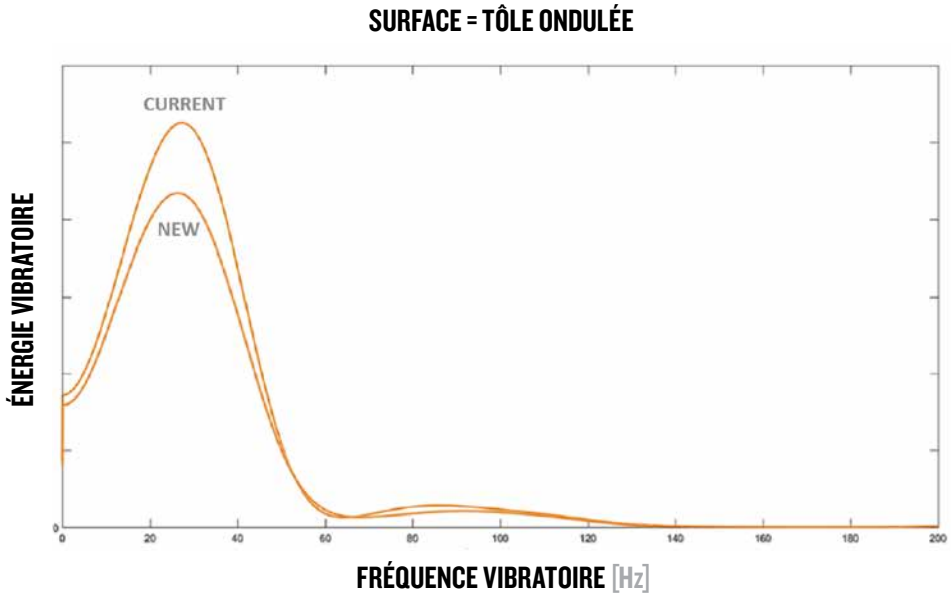


Figure A7. Analyse de la densité spectrale de la puissance montrant la réduction de l'amplitude d'accélération lors des tests sur surface de type tôle ondulée.