



**HAL**  
open science

## La conduction osseuse : une technologie au service du progrès des nageurs en natation de vitesse ?

Éric Hermand, Guillaume Paya, Valentin Bourlois, Gilles Vanlerberghe

### ► To cite this version:

Éric Hermand, Guillaume Paya, Valentin Bourlois, Gilles Vanlerberghe. La conduction osseuse : une technologie au service du progrès des nageurs en natation de vitesse ?. STAPS: Revue internationale des sciences du sport et de l'éducation physique, 2024, Pub. anticipées, pp.I98-XIII. 10.3917/sta.pr1.0098 . hal-04564999

**HAL Id: hal-04564999**

**<https://hal.science/hal-04564999>**

Submitted on 1 May 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 1 **La conduction osseuse : une technologie au service du progrès des nageurs** 2 **en natation de vitesse ?**

3  
4 **Éric HERMAND\***

5 Université Littoral Côte d'Opale, Université Artois, Université Lille, CHU Lille, ULR 7369 –  
6 URePSSS-Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Dunkerque, France  
7 Université Sorbonne Paris Nord, UMR INSERM U1272 Hypoxie & Poumon, Bobigny,  
8 France

9  
10 **Guillaume PAYA\***

11 Université du Littoral Côte d'Opale : département S.T.A.P.S, 50 rue Ferdinand Buisson 62100  
12 Calais France  
13 guillaume.paya@ univ -littoral .fr

14  
15 **Valentin BOURLOIS**

16 Université Littoral Côte d'Opale, Université Artois, Université Lille, CHU Lille, ULR 7369 –  
17 URePSSS-Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Dunkerque, France

18  
19 **Gilles VANLERBERGHE**

20 Université du Littoral Côte d'Opale : département S.T.A.P.S, 50 rue Ferdinand Buisson 62100  
21 Calais France

22  
23 \* Les deux auteurs ont contribué de façon égale à la rédaction de cet article.

24  
25 **Résumé** : Si les apprentissages moteurs requièrent des retours d'information (feed-back) pour  
26 l'apprenant, l'enseignant (ou l'entraîneur) ne possède pas toujours les outils adaptés pour les  
27 transmettre en situation. Cela est d'autant plus vrai en natation, dans des piscines bruyantes et  
28 mal insonorisées. La transmission par conduction osseuse peut s'avérer être un outil pertinent  
29 pour faire évoluer les pratiques d'enseignement selon ces contraintes spécifiques. Cet article a  
30 pour objectif d'évaluer les effets de l'usage d'un casque à conduction osseuse (groupe EXP)  
31 sur l'indice de nage (IN) et la longueur de coulée (LCoul) en crawl, durant une période  
32 d'entraînement en distance de sprint, chez de jeunes nageurs adultes, comparé avec un feed-  
33 back traditionnel en différé (groupe NORM). Alors que ce dernier a permis des améliorations  
34 de IN ( $P=0,008$ ) et de LCoul ( $P<0,001$ ), le feed-back par conduction osseuse n'a pas eu  
35 d'effet sur IN ( $P=0,191$ ) et seulement une tendance sur LCoul ( $P=0,069$ ). Plus précisément,  
36 les progrès ont été plus importants chez des nageurs dont l'indice de nage était plus faible au  
37 départ dans le groupe NORM (IN :  $P=0,034$  ; LCoul :  $P=0,031$ ) mais pas dans le groupe EXP.  
38 Il sera pertinent de poursuivre les recherches sur les effets de ce type d'appareil de  
39 communication en direct pour des distances plus longues (400 m et au-delà) et sur des  
40 périodes d'entraînement plus longues (plusieurs mois). Cet outil utilisé en première intention  
41 pourrait ainsi permettre d'optimiser les premiers stades de construction du nageur (étape du  
42 corps projectile). Il aurait cependant moins d'impact chez les nageurs de niveau plus avancé :  
43 suivant leurs progrès, l'intervenant pourrait alors diminuer progressivement la fréquence des  
44 feed-back pour favoriser la construction de repères internes et ainsi éviter le phénomène de  
45 dépendance.

46  
47 **Mots clés** : conduction osseuse, feed-back, natation, efficacité, enseignement, entraînement

48  
49  
50  
51  
52  
53  
54

## 56 **Introduction**

57 L'enseignement de la natation pose des problèmes dans la transmission des feed-back qui  
58 découlent du contexte original dans lequel se déroule cette activité. V. Nicaise et G. Cogérino  
59 (2008) parlent de feed-back pour désigner toute information fournie à l'acteur de toute action,  
60 à propos de sa prestation. Le feed-back intrinsèque représente l'information fournie comme  
61 conséquence naturelle de la réalisation d'une action tandis que le feed-back extrinsèque,  
62 nommé aussi feed-back augmenté, se compose d'informations données en sus souvent par  
63 l'intervention verbale de l'enseignant.

64 Cependant, les environnements aquatiques bruyants et la configuration des bassins de 25 ou  
65 50 mètres avec des couloirs de nage parfois éloignés du bord peuvent rendre la production  
66 verbale inefficace lors des interactions enseignant/élèves. De ce fait, dans les leçons scolaires  
67 traditionnelles de natation, on retrouve régulièrement une structure typique d'action nommée  
68 « présentation de l'exercice et lancement de la file indienne » (Gal-Petitfaux et al., 2010) : le  
69 professeur réunit les élèves en bout de couloir, transmet les consignes de travail, organise les  
70 départs échelonnés, puis se décale sur le bord de la piscine pour superviser sans pouvoir  
71 toujours corriger individuellement les nageurs. De plus, la vision et l'audition des apprenants  
72 sont perturbées car leur tête est souvent immergée durant la nage.

73 Ces dernières années, le développement des TICE (technologies de l'information et de la  
74 communication pour l'enseignement) a fait émerger des outils, d'une part facilitant l'accès  
75 aux retours d'informations et d'autre part augmentant leur fréquence d'émission et diminuant  
76 les délais de leur perception chez les élèves, mais pas toujours adaptés au milieu aquatique.

77

## 78 **Délais de perception du feed-back et fréquence d'émission**

79 Selon Potdevin et al. (2013), trois variantes de délai sont évoquées dans la littérature pour  
80 quantifier l'intervalle de temps entre l'action motrice et la présentation du feed-back : de  
81 manière « simultanée » pendant la réalisation de l'action, de manière « instantanée » à la fin  
82 de l'action, ou après une période de latence suivant l'action (feed-back « délayé »). En  
83 natation, le feed-back est le plus souvent de type « délayé » à l'issue de chaque longueur  
84 nagée.

85 Des expérimentations utilisant le bouclage bio-rétroactif (biofeedback) soulignent que la  
86 possibilité pour le sujet d'avoir un retour d'information pendant la tâche, c'est-à-dire en temps  
87 réel, et donc de percevoir des informations préalablement inaccessibles ont un effet positif sur  
88 la propulsion en natation : Chollet (1997) a pu observer une amélioration de l'amplitude de  
89 nage pour des nageurs équipés de plaquettes de nage munies de capteurs de forces et de  
90 vitesse reliés à des émetteurs acoustiques permettant la mise en relation en temps réel des  
91 variations de ces deux paramètres. Schaffert et al. (2019) ont présenté l'intérêt d'un dispositif  
92 de feed-back en temps réel, « Sofiswim », sur les ondulations sous-marines du nageur,  
93 lesquelles peuvent représenter chez les nageurs élites 30 à 60 % de la distance nagée dans les  
94 épreuves de nage-libre, dos et papillon. Ce système, composé d'un accéléromètre à la hanche  
95 et couplé à des écouteurs, transmet en direct l'ensemble des informations au nageur sous  
96 forme de sons variant en hauteur et en rythme selon les accélérations enregistrées : les feed-  
97 back directs, sonores, se rapportant à la vitesse, la fréquence et le rythme des ondulations ont  
98 permis une nette amélioration de leurs performances motrices. Toutefois, cette étude invite à  
99 la prudence compte tenu de la taille de l'échantillon (11 nageurs de niveau national).  
100 L'expérimentation de ces dispositifs rejoint les conclusions d'une étude antérieure (Swinnen  
101 et al., 1997), montrant qu'un feed-back simultané favoriserait les apprentissages liés aux  
102 coordinations segmentaires et serait plus efficace que les feed-back instantanés et délayés  
103 pour les apprentissages à court terme et à long terme.

104 Enfin, la fréquence du feed-back reste encore à déterminer. Comme nous le rappellent  
105 Potdevin et al. (2013) : « La fréquence du feed-back extrinsèque correspond à sa planification  
106 en fonction des essais. Si l'émission du feed-back a lieu à l'issue de chaque essai, la fréquence  
107 est dite "totale" ou "absolue". Si le feed-back est émis lors d'un essai sur x, la fréquence est  
108 dite "relative". Si le feedback rend compte de la moyenne des résultats après un bloc d'essais,

109 il est qualifié de “moyenné” ». Il semble que l’augmentation de cette fréquence ait des effets  
110 bénéfiques sur l’apprentissage jusqu’à une certaine limite (Wulf et al., 1993).

111

### 112 **Une piste innovante : la conduction osseuse**

113 Les modalités courantes de feed-back sonore empruntent les voies naturelles des conduits  
114 auditifs mais la propagation des sons peut être entravée par l’eau environnante. De nouvelles  
115 technologies sont ainsi récemment apparues pour contourner ce problème, notamment par  
116 transmission sonore osseuse.

117 Par définition, la conduction osseuse ou ostéophonie désigne la propagation du son jusqu’à  
118 l’oreille interne via les os du crâne. D’après Noble H. Kelley (1937), cette découverte daterait  
119 du XVI<sup>e</sup> siècle et Phillipus Ingrassia, médecin anatomiste italien et docteur à Padoue en  
120 1537, fut l’un des premiers à évoquer la possibilité d’entendre des sons par l’intermédiaire des  
121 dents. Au XIX<sup>e</sup> siècle, Beethoven, alors au sommet de sa carrière, cherchait des aides  
122 auditives en raison d’un début de surdité et aurait ainsi adopté un système ingénieux qui  
123 consistait à serrer une baguette en bois entre les dents qu’il appuyait sur la caisse du piano, lui  
124 permettant d’entendre les sons par conduction osseuse (Cudennec et al., 1985).

125 Les vibrations mécaniques se propagent ainsi par les os crâniens jusqu’au liquide de l’oreille  
126 interne, mobilisant alors la membrane et les cellules ciliées, qui transforment ensuite la  
127 vibration en signal électrique. Lors d’une écoute par ostéophonie, les ondes sonores se  
128 propageant à travers les os de la boîte crânienne sont transmises directement à la cochlée (en  
129 contact avec l’os) sans utiliser les oreilles externe et moyenne, puis sont ensuite envoyées au  
130 cerveau pour y être traitées.

131 Les appareils utilisant cette technologie de la conduction osseuse se multiplient aujourd’hui et  
132 peuvent être classés en trois groupes :

133 – les aides auditives dont la première description date de 1923 : l’Osophone, réalisé par Hugo  
134 Gernsback (1923) ;

135 – les produits de communication spécialisés utilisés dans des environnements très bruyants  
136 par des corps de métiers liés à la sécurité, par exemple le système de communication dans le  
137 programme militaire FELIN (Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrées) ;

138 – les produits ordinaires tels que les casques, kit mains libres ou écouteurs qui se développent  
139 notamment sur le marché des produits sportifs.

140 Il faut également noter que la transmission des sons par conduction osseuse est utilisée en  
141 plongée sous-marine (Gontier, 2010) grâce à des tubas et des embouts buccaux spécifiques.

142 Pour les nageurs ayant la tête immergée, l’usage de casques ostéophoniques peut leur  
143 permettre, grâce à des émetteurs vibrants posés devant chaque oreille, d’entendre parfaitement  
144 la voix de l’enseignant, équipé d’un talkie-walkie (figure 1). Des appareils similaires basés sur  
145 un système smartphone / Bluetooth sont également en cours de développement (figure 1).

146

Figure 1. Schéma du dispositif des casques aquatiques à conduction osseuse



147  
148

149 Si l'utilisation de tels casques semble présenter de nombreux avantages pour les éances de  
150 natation (délai de perception réduit et fréquence d'émission plus élevée des feed-back), son  
151 efficacité demeure empirique si l'on s'en réfère aux expériences et aux discours positifs des  
152 entraîneurs de haut niveau ou des éducateurs utilisant cet outil (« Les piscines de Chambéry  
153 vont passer à l'Aquatalk », 2020) et peu d'études existent dans la littérature.

154 Les résultats de l'étude de Altavilla et al. (2018) ont révélé que la communication  
155 ostéophonique avec les nageurs à l'aide de la rétroaction vocale en temps réel entraînait une  
156 amélioration significative de leur rythme de nage et pouvait aider les athlètes à nager avec un  
157 rythme précis et constant. Par ailleurs et d'après Tate et al. (2012), la diffusion de musique par  
158 conduction osseuse durant les entraînements peut améliorer les performances sur 50 et 800  
159 mètres chez des nageurs élités.

160

### 161 **Hypothèses**

162 Dans cette étude dépourvue d'un groupe contrôle (sans intervention ni entraînement), nous  
163 posons ici l'hypothèse générale suivante : au cours d'un travail technique orienté sur  
164 l'efficacité de nage en crawl sur 50 m sprint, les feed-back simultanés vont améliorer de  
165 façon plus importante l'efficacité de nage par rapport à des feed-back décalés.  
166 Corollairement, nous étudierons également l'effet du niveau initial du nageur sur les progrès  
167 éventuels dans chaque condition.

168

### 169 **Méthode**

#### 170 **Population et tâches**

171 Vingt-neuf jeunes adultes (8 femmes et 21 hommes), étudiants en STAPS à l'Université du  
172 Littoral Côte d'Opale, se sont portés volontaires pour cette étude dans le cadre de leur  
173 pratique de polyvalence en natation, sans que ce protocole interfère avec leur cursus. La  
174 constitution de groupes homogènes s'est appuyée sur des tests initiaux (séance 1, S1) inclus  
175 dans la progression des cours en natation, sur un 50 m crawl en bassin de 25 mètres (départ  
176 dans l'eau, virage pivoté). Trois observateurs collectaient les temps intermédiaires, le temps  
177 final, le nombre de cycles de bras par 25 m et la longueur de la coulée (LCoul) (figure 2). De  
178 ces données étaient ainsi calculés l'indice de nage (IN, voir section suivante), la vitesse ( $V$ ,  
179  $m.s^{-1}$ ) et l'amplitude ( $Amp.cycle^{-1}$ , m).

180

**Figure 2. Fiche de recueil des données pour le test de 50 m crawl**

50 m départ dans l'eau					
NOM :		PRÉNOM :			
OBSERVATEUR 1 :					
OBSERVATEUR 2 :					
Distance	Nage : Crawl : C Autre : A	Endroit de la reprise de nage		Temps (au centième près)	
50 m					
Nombre de cycles	1 <sup>er</sup> 25 m		2 <sup>e</sup> 25m		
Taille					
Poids					
Envergure					
Spécialité sportive					
Niveau :					
Sans club = 0					
Département = 1					
Région = 2					
Inter-région = 3					
National = 4					
International = 5					

181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194

### Design

Pendant un mois, à raison d'une séance hebdomadaire menée par le même enseignant, les nageurs ont suivi 5 séances de natation de vitesse, chacune avec un temps effectif de pratique de 45 minutes.

Les casques à conduction osseuse ont été mis à disposition par le centre d'accèsion et de formation de natation de Dunkerque (8 casques et 1 émetteur). Cette technologie encore coûteuse (environ 1500 euros pour un ensemble émetteur + 10 écouteurs) est pertinente pour la communication dans des environnements bruyants (Zimpfer et al., 2016).

Ainsi, un groupe expérimental (EXP) de 13 étudiants, équipés de casques, et un groupe témoin (NORM) de 16 étudiants, sans casque, ont été constitués, en veillant à une homogénéité de taille, d'envergure, de sexe et d'IN initial entre les groupes (tableau 1).

**Tableau 1. Caractéristiques des participants**

	Groupe témoin (GT, n = 16)	Groupe expérimental (GE, n = 13)
Sexe (Hommes/Femmes)	12/4	9/4
Envergure moyenne (cm)	175,4 ± 9,7	174,2 ± 11,5
Taille moyenne (cm)	173,7 ± 8,0	174,4 ± 8,7
In initial (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .cycle <sup>-1</sup> )	1,82 ± 0,42	1,79 ± 0,44

195  
196  
197  
198  
199  
200  
201

Les groupes ont effectué 3 séances d'apprentissage (S2, S3, S4) dont les consignes étaient prioritairement centrées sur 1) la réduction des résistances à l'avancement par la construction du corps projectile (Catteau et al., 2008) et 2) l'amélioration de la propulsion (longueur du trajet moteur, orientation et accélération des appuis) (Chollet, 1997).

202 **Efficienc** : indice de nage

203 Les progrès de chaque nageur ont été évalués à partir des longueurs de coulée en mètre et de  
 204 l'indice de nage (IN), prenant en compte la vitesse (V, m.s<sup>-1</sup>) et l'amplitude de nage (Amp,  
 205 m.cycle<sup>-1</sup>), selon la formule :

206  $(m^2 \cdot s^{-1} \cdot cycle^{-1})$  (Costill et al., 1985)

207 Les parties non nagées (coulées) ont été incluses, impliquant des valeurs d'IN plus élevées  
 208 mais reflétant la construction du corps projectile, en optimisant les résistances à l'avancement  
 209 et les actions propulsives, de façon plus pertinente à ce niveau de pratique (Pelayo & Rozier,  
 210 1998). Nous avons choisi d'écarter le travail portant sur les problèmes respiratoires,  
 211 secondaires sur ces courtes distances.

212 Les feed-back de l'enseignant, enregistrés à l'aide d'un dictaphone, ont été ainsi donnés selon  
 213 les besoins individuels pour chacun des nageurs, en temps réel via les casques pour le groupe  
 214 EXP et en différé pour le groupe NORM. L'indice de nage ayant été évalué pour tous les  
 215 nageurs, deux sous-groupes ont été formés dans chaque groupe EXP et NORM, en fonction  
 216 du niveau initial, autour de la médiane des valeurs d'indices de nage : EXP1 (n=6) et NORM1  
 217 (n=8), avec un indice de nage initial plus faible (IN < 1,7), et EXP2 (n=7) et NORM2 (n=8)  
 218 avec un indice de nage initial plus élevé (IN > 1,7). Les nageurs ont enfin effectué un test  
 219 final d'évaluation (séance 5, S5) selon les mêmes modalités que le test initial S1.  
 220

Tableau 2. Répartition du discours de l'enseignant sur la première séance d'apprentissage (S2) : groupe expérimental

Thème : réduction résistance ; amélioration propulsion	Prescriptif : Exécution du mouvement (s : spatial ; t : temporel)				
	P (propulsion)	I (information)	R (respiration)	O (orientation)	G (gestion)
Groupe CASQUE	Finir bras tendus derrière à la fin du mouvement(S), va chercher loin devant(S) Finir bras tendus derrièreX2(S), pousse plus loin derrière avec le bras gauche(S) Touche pouce-pouce(S), loin devant(S), pousse loin derrière bras tendus(S), bras gauche vers ton oreille(S) Pousse plus loin derrièreX3(S), finir bras tendusX5(S) Pousse jusqu'au bout avec le bras droit(S) Allez chercher loin devant avec les brasX2(S), étirez les bras(S), touche pouce-pouce devant(S), touche pouce-cuisse derrièreX2(S), nagez ample(S), finir le mouvement vers l'arrière-bras tendusX2(S)			Bras tendus(S)X2, allonge les brasX4(S), Rentre ta têteX2(S), menton-poitrine(S), regard au fond de l'eau(S), mains l'une sur l'autreX2(S) Rentre ta tête : elle dépasse trop(S), menton-poitrine(S) Tête fixeX2(S), finir bras tendus derrière(S) Rentre ta tête sous les bras(S), menton-poitrine(S) Allonge et étire les bras(S), tête rentrée(S) Mains l'une sur l'autreX3(S), tête fixe(S), menton-poitrine(S) Rentre ta tête sous les brasX4(S), menton-poitrineX2(S), regard au fond de l'eau(S), mains l'une sur l'autre(S), se placer avant de pousser(S) Mains l'une sur l'autreX3(S), Rentre ta tête sous les brasX3(S), menton-poitrine(S), bras tendus(S), regard au fond et pas devant(S), se placer avant de pousser(S), tête fixe(S) Rentrez ta tête sous les brasX6(S), menton-poitrine X3(S), regardez le fond du bassinX3(S) Étirez, allongez les bras : coudes non pliés(S), mains l'une sur l'autre pour les couléesX2(S)	
Total : 88	27 (soit 30,7 % des FB prescriptifs délivrés)			61 (soit 69,3 % des FB prescriptifs délivrés)	

221  
222

223 **Analyse statistique**

224 En fonction de la normalité des données, des tests non paramétriques (tests de Mann-Whitney  
 225 et de Wilcoxon) et paramétriques (tests de Student non appariés, analyses de variance à  
 226 mesures répétées à une voie) ont été effectués pour comparer les indices de nage et les  
 227 longueurs de coulée entre S1 et S5, et entre les groupes EXP et NORM (ainsi qu'entre les  
 228 différents sous-groupes). Les tailles d'effet (d de Cohen) ont été calculées pour chaque test  
 229 (0,2 : effet faible ; 0,5 : moyen ; 0,8 : fort ; 1,3 : très fort) (Cohen, 2009). Le seuil de  
 230 significativité a été fixé à p<0,05. Les tests statistiques ont été effectués sous le logiciel  
 231 Jamovi 2.3.21.0.  
 232

233 **Résultats**

234 Le verbatim de l'enseignant montre que 69 % des feed-back prescriptifs délivrés au groupe  
 235 expérimental lors de la première séance d'apprentissage (S2) relèvent des repères spatiaux  
 236 permettant la construction du corps projectile (tableau 2). En outre, sur l'ensemble des  
 237 séances S2, S3 et S4, 51 % des feed-back sont focalisés pour le groupe casqué sur cette même

238 problématique si l'on regroupe les retours de l'enseignant liés à l'orientation et à la prise  
239 d'information des nageurs (tableau 3).  
240

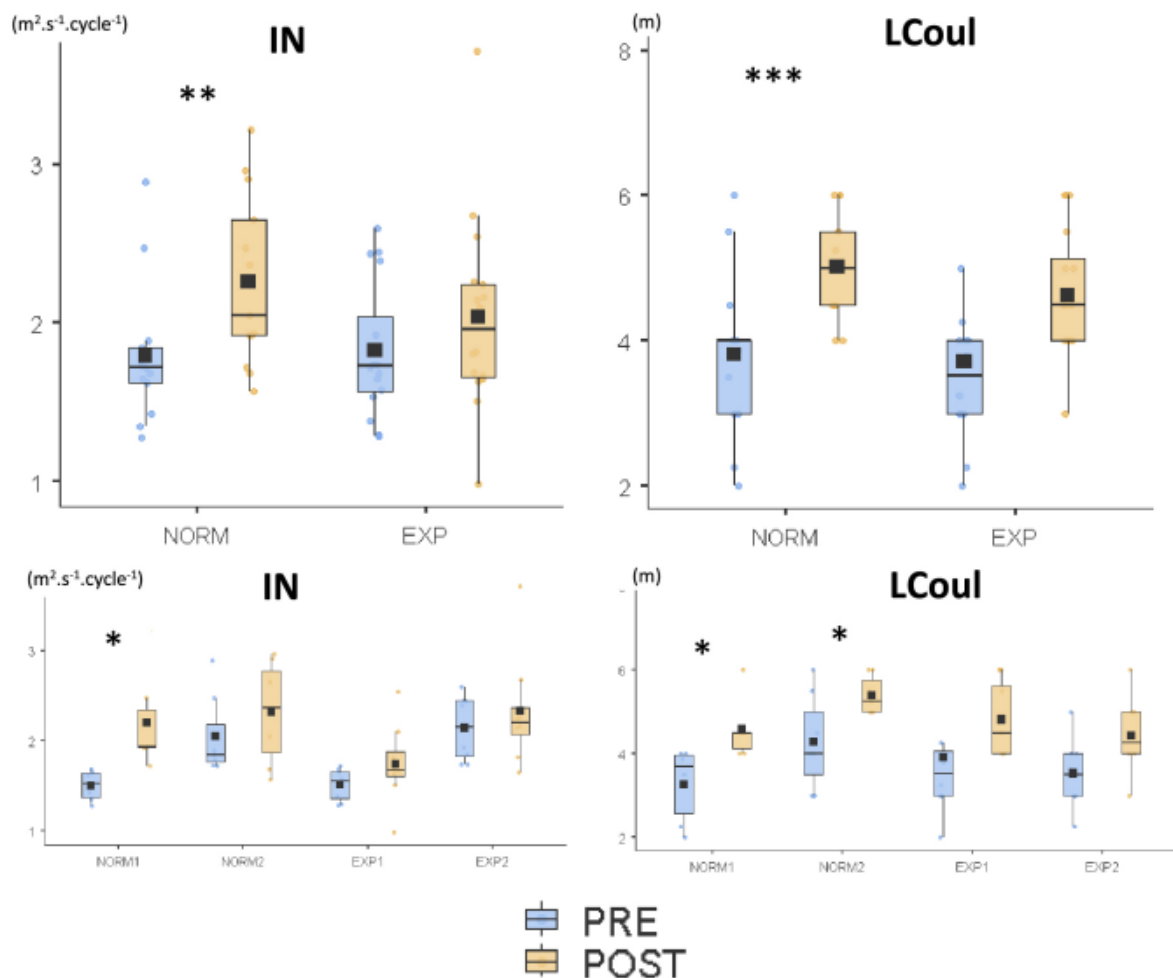
**Tableau 3. Analyse du verbatim de l'enseignant sur les  
3 séances d'apprentissage S2, S3, S4 : nombre et catégories  
de feed-back prescriptifs (groupe expérimental)**

Nombre total de FEED-BACK D'ACTION sur les 3 séances (Prescriptif : Exécution du mouvement)					
Total	P (propulsion)	I (information)	R (respiration)	O (orientation)	G (gestion)
FB : 198	85 (42,9 %)	10 (5 %)	11 (5,6 %)	92 (46,5 %)	0 (0 %)

241  
242 Il n'existait pas de différence de valeurs de IN et de LCoul entre les groupes NORM et EXP,  
243 entre les groupes NORM1 et EXP1 et entre les groupes NORM2 et EXP2.  
244 Nous avons d'abord observé un effet bénéfique de l'entraînement dans les deux conditions,  
245 sur les paramètres étudiés : IN (+20,9 %,  $p < 0,01$ ,  $d = 0,63$ ), LCoul (+40,4 %,  $p < 0,001$ ,  
246  $d = 0,98$ ), V (+7,5 %,  $p < 0,01$ ,  $d = 0,41$ ) et Amp (+11,8 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,61$ ).  
247 Plus spécifiquement, ces paramètres ont augmenté pour le groupe NORM (IN : +29,6 %,  
248  $p < 0,01$ ,  $d = 0,94$  ; LCoul : +40,9 %,  $p < 0,001$ ,  $d = 1,27$  ; V : +8,6 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,34$  ; Amp :  
249 +18,6 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 1,06$ ) tandis que pour le groupe EXP, seules une meilleure vitesse  
250 (+6,5 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,34$ ) et une tendance pour LCoul (+39,9 %,  $p = 0,069$ ,  $d = 0,78$ ) ont été  
251 constatées.  
252  
253



**Figure 3. Indice de nage (IN, panneau de gauche) et longueur de coulée (LCoul, panneau de droite) dans les différentes conditions (NORM : feed-back traditionnel ; LCoul : feed-back par condition osseuse), avant et après la période d'entraînement (PRE : bleu ; POST : ocre)**



PRE vs. POST : \*,  $P < 0,05$  ; \*\*,  $P < 0,01$  ; \*\*\*,  $P < 0,001$

254  
255

256 Encore plus spécifiquement, ces améliorations ont été observées chez les nageurs de plus  
257 faible niveau initial du sous-groupe NORM1 (IN : +48,0 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 1,68$  ; LCoul :  
258 +49,5 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 1,59$  ; V : +13,9 %,  $p < 0,01$ ,  $d = 0,76$  et une tendance pour Amp : +30,3 %,  
259  $p < 0,064$ ,  $d = 0,48$ ) mais seulement pour V +10,7 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,86$ ) dans son correspondant  
260 EXP1. Chez des nageurs déjà expérimentés, seules une augmentation de LCoul dans le groupe  
261 NORM2 (+33,5 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 1,27$ ) et une tendance dans le groupe EXP2 (+33,4 %,  $p = 0,072$ ,  
262  $d = 1,02$ ) ont été observées.

263 En ce qui concerne l'évolution des paramètres entre S1 et S5, Lcoul a plus augmenté chez les  
264 athlètes NORM1 que chez les athlètes NORM2 (+49,5 % vs +33,5 %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,39$ ) alors  
265 qu'une tendance est observée pour IN (+48,0 % vs +13,8 %,  $p = 0,073$ ,  $d = 1,05$ ). De même,  
266 entre les athlètes EXP1 et EXP2, aucune différence entre les progressions, si existantes, n'a  
267 été observée. Enfin, en comparant les groupes de niveau (NORM1 vs EXP1 et NORM2 vs  
268 EXP2), aucune différence de progrès, si existantes, n'a également été observée.

269 Enfin, aucune interaction entre le groupe (NORM vs. EXP) et l'évolution du score (S1 vs S5)  
270 n'a été trouvée pour IN ( $p = 0,247$ ), Lcoul ( $p = 0,605$ ), V ( $p = 0,541$ ) et Amp ( $p = 0,229$ ).

271  
272

## 273 **Discussion**

274 Cette étude préliminaire consistait à évaluer l'efficacité d'un feed-back innovant, via  
275 conduction osseuse, par rapport à une transmission « traditionnelle », en différé, à des nageurs  
276 nageant sur courte distance (50 m), et sur une progression étalée sur 5 séances.

277 En préambule, parmi les deux méthodes ici évaluées, seul le feed-back différé,  
278 traditionnellement utilisé, a eu des effets bénéfiques sur la performance finale. Cela vient en  
279 contradiction avec les rares études centrées sur l'utilisation de feed-back en temps réel  
280 (Altavilla et al., 2018). Cependant, les modalités sont sensiblement différentes, puisque  
281 l'étude d'Altavilla portait sur l'adéquation à un rythme de nage imposé en fonction de  
282 3 modes de feed-back sur des distances plus longues (3×400 m), alors que le protocole de la  
283 présente étude concerne une distance de sprint et que la technologie ostéophonique est  
284 envisagée dans son utilisation didactique, durant l'entraînement et non en situation  
285 d'évaluation/compétition : les temps en S5 auraient pu ainsi être différents en cas d'une  
286 utilisation de feed-back direct, bien que la distance soit un peu courte (sprint 50 m) et que son  
287 emploi en compétition reste à ce jour proscrite (World Aquatics, 2023). Nous pourrions ici  
288 suggérer d'utiliser cet appareil sur une plus longue période dont les modalités resteraient à  
289 poser, en dehors de la distance concernée : durée (2 mois et plus), nombre de séances par  
290 semaine (2 et plus), alternance ou non avec un mode traditionnel de feed-back, etc. Par  
291 corollaire se pose la question des athlètes concernés : le protocole présent incluait des  
292 étudiants en Sciences du Sport, par définition polyvalents et non spécialistes de natation, dans  
293 le cadre de leur curriculum universitaire. Dans une perspective d'utilisation en club ou en  
294 niveau régional/national, il serait pertinent d'en évaluer l'usage chez une population de  
295 nageurs confirmés ou de haut niveau.

296 Ce dernier point nous amène à considérer les effets du type feed-back direct selon le niveau  
297 initial des nageurs. Les feed-back ont montré plus de progrès des différents paramètres chez  
298 des nageurs moins rapides initialement que les autres (NORM1 : IN/LCoul/V vs NORM2 :  
299 LCoul ; EXP1 : V vs EXP2 : --). Cela nous permet de déduire que : 1) les nageurs de niveau  
300 inférieur (NORM1 et EXP1) bénéficient plus du feed-back, quelle que soit sa nature, que des  
301 nageurs déjà rapides (NORM2 et EXP2) ; et 2) qu'un feed-back traditionnel reste plus  
302 efficace qu'un feed-back direct par conduction osseuse dans ces modalités d'expérience  
303 (NORM vs EXP, 5 séances, 50 m en bassin de 25 m). Pour des entraîneurs de club ou  
304 enseignants de natation, cela permettrait de cibler les populations ou les groupes qui  
305 bénéficieraient le plus d'un feed-back oral direct par conduction osseuse. À l'instar des rares  
306 études centrées sur ce type de matériel (Altavilla et al., 2018 ; Tate et al., 2012), nous pouvons  
307 envisager que les plus longues distances (400, 800, 1500, eau libre...) seraient les plus à  
308 même de bénéficier de ce matériel innovant, en permettant à l'entraîneur de traiter en direct,  
309 sur les longues séries, les facteurs limitants de la performance sur ces distances, comme le  
310 corps-projectile et la propulsion (Holmer, 1992 ; Zamparo et al., 2005). À ce titre, dans le  
311 cadre d'une épreuve de vitesse, cet intervalle de temps très court n'a pas toujours permis à  
312 l'enseignant d'être efficace dans la transmission « en direct » des feed-back. L'utilisation des  
313 casques pourrait ainsi être plus appropriée aux longues distances comme le demi-fond et l'eau  
314 libre, comme l'ont souligné Schaffert et al. (2019) par les limites du feed-back audio en direct  
315 dans l'amélioration des ondulations sous-marines sur des phases courtes (une dizaine de  
316 secondes). Néanmoins, ce dispositif pourrait se révéler être utile pour corriger des erreurs  
317 techniques sur de plus longues distances nagées.

318 Ainsi, malgré des effets encore limités en courte distance, le casque à conduction osseuse  
319 semble être un outil prometteur en particulier pour aider les nageurs les plus faibles dans les  
320 premières étapes de leur construction. En ce sens, nous rejoignons Schmidt (1997) qui  
321 préconise un feed-back atténué, c'est-à-dire une réduction progressive de la quantité et de la  
322 fréquence du feed-back au cours de l'entraînement pour renforcer la performance en  
323 proposant de délivrer 100 % de feed-back au départ puis 50 % pour ajuster enfin selon les  
324 progrès.

325 Enfin, notre étude comporte des limites. Le nombre limité de nageurs inclus dans l'étude la  
326 place comme une recherche exploratoire en vue d'une future étude qui en impliquera un

327 nombre plus élevé. D'autre part, il serait intéressant d'étudier l'effet que l'intégration des  
328 nouvelles technologies peut produire sur un plus long terme (plusieurs semaines à plusieurs  
329 mois), en rendant les nageurs plus actifs dans le processus d'acquisition des connaissances  
330 (Bozeman & Baumbach, 1995 ; Sandholtz et al., 1997). Il serait utile d'évaluer les effets de ce  
331 système chez des enfants ou des nageurs plus jeunes, à une période où les schèmes moteurs  
332 commencent à se mettre en place (Chen & Rovegno, 2000 ; Light & Lémonie, 2012). Enfin,  
333 comme nous l'évoquions précédemment, l'expérimentation du dispositif sur des distances de  
334 plus en plus longues impliquant la résolution des problèmes respiratoires limitant la  
335 performance (placement de la tête lors de l'inspiration, fréquence respiratoire / nombre de  
336 cycles de coups de bras...) serait également susceptible d'accélérer les apprentissages et la  
337 progression du nageur.

338

### 339 **Conclusion**

340 À l'heure où l'utilisation des technologies d'information et de communication dans  
341 l'enseignement (TICE) et la recherche de pratiques innovantes occupent une place de choix  
342 dans le monde de l'éducation (Eduscol, 2023), l'usage des casques à conduction osseuse en  
343 natation en EPS ne semble pas encore être aujourd'hui un outil pertinent permettant de  
344 faciliter les progrès dans l'efficacité en crawl sur des distances de sprint pour des nageurs,  
345 débutant ou non, par rapport à des feedback traditionnels. Les premières données de cette  
346 étude princeps semblent pointer une efficacité dépendant du niveau initial des nageurs, mais  
347 orienteraient surtout une utilisation au long cours, par exemple sur un trimestre entier, ou sur  
348 des distances plus longues. Cet outil pourrait notamment servir à l'individualisation de  
349 l'enseignement, à la facilitation de la distanciation sociale lors de la pratique dans un contexte  
350 pandémique mais aussi à l'inclusion des publics spécifiques comme certaines personnes  
351 atteintes de déficience auditive. Une étude ultérieure pourra également confirmer que  
352 l'utilisation régulière de ce système permettrait d'augmenter sensiblement le temps  
353 d'engagement moteur effectif des nageurs et par conséquent avoir un effet positif sur les  
354 apprentissages.

355

356

357

358

359

### 360 **Bibliographie**

361 Altavilla, C., Cejuela, R., & Caballero-Pérez, P. (2018). Effect of Different Feedback  
362 Modalities on Swimming Pace : Which Feedback Modality is Most Effective? *Journal of*  
363 *Human Kinetics*, 65, 187-195. [https:// doi .org/ 10 .2478/ hukin -2018 -0026](https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0026)

364 Bozeman, W. C., & Baumbach, D. J. (1995). Educational technology : Best practices from  
365 America's schools. *Eye on Education*.

366 Catteau, R., Fauquet, C., & Müller, C. (2008). La natation de demain : Une pédagogie de  
367 l'action. L'activité natatoire... conquête, réussite, progrès outil multimédia à l'intention des  
368 éducateurs, entraîneurs, animateurs. *FSGT Atlantica*.

369 Chen, W., & Rovegno, I. (2000). Examination of Expert and Novice Teachers' Constructivist-  
370 Oriented Teaching Practices Using a Movement Approach to Elementary Physical Education.  
371 *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(4), 357-372. [https:// doi .org/ 10 .1080/  
372 02701367 .2000 .10608919](https://doi.org/10.1080/02701367.2000.10608919)

373 Chollet, D. (1997). Natation sportive, approche scientifique : bases biomécaniques, techniques  
374 et psychophysiologiques, apprentissage, évaluation et correction des techniques de nage (2e  
375 éd). Vigot.

376 Cohen, J. (2009). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2d ed., reprint).  
377 Psychology Press.

378 Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy  
379 Expenditure During Front Crawl Swimming : Predicting Success in Middle-Distance Events.  
380 International Journal of Sports Medicine, 6(5), 266-270. [https:// doi .org/ 10 .1055/ s -2008 -](https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849)  
381 1025849

382 Cudennec, Y., Buffe, P., & Soubeyrand, L. (1985). Essai sur la surdité de Ludwig van  
383 Beethoven. Histoire des sciences médicales, 19(1), 35-43.

384 Eduscol. (2023, mai). Acquérir des ressources numériques pour l' cole. Ministère de  
385 l'éducation nationale et de la Jeunesse. [https:// eduscol .education .fr/ 211/ acquerir -des -](https://eduscol.education.fr/211/acquerir-des-ressources-numeriques-pour-l-ecole)  
386 [ressources -numeriques -pour -l -ecole](https://eduscol.education.fr/211/acquerir-des-ressources-numeriques-pour-l-ecole)

387 Gal-Petitfaux, N., Sève, C., Cizeron, M., & Ad , D. (2010). Activité et expérience des acteurs  
388 en situation : les apports de l'anthropologie cognitive. In E. R. EPS (dir.), M. Musard, G.  
389 Carlier & M. Loquet (dir.). Sciences de l'intervention en EPS et en sport (pp. 67-85). [https://](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143635)  
390 [hal .archives -ouvertes .fr/ hal -01143635](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143635)

391 Gernsback, H. (1923). Science and Invention. Vol. XI.

392 Gontier, S. (2010). Audition et plongée : Moyens de communication des plongeurs, effets  
393 auditifs liés à la pratique de la plongée. UHP Nancy – Université Henri Poincaré.

394 Holmer, I. (1992). Swimming Physiology. The Annals of Physiological Anthropology, 11(3),  
395 269-276. [https:// doi .org/ 10 .2114/ ahs1983 .11 .269](https://doi.org/10.2114/ahs1983.11.269)

396 Kelley, N. H. (1937). Historical aspects of bone conduction. The Laryngoscope, 47(2), 102-  
397 109. [https:// doi .org/ 10 .1288/ 00005537 -193702000 -00005](https://doi.org/10.1288/00005537-193702000-00005)

398 Les piscines de Chambéry vont passer à l'Aquatalk. (2020, février). Le magazine de Grand  
399 Chambéry, 22.

400 Light, R., & L monie, Y. (2012). Constructivisme et pédagogie dans l'enseignement de la  
401 natation. eJRIEPS. Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport,  
402 26, Article 26. [https:// doi .org/ 10 .4000/ ejrieps .3331](https://doi.org/10.4000/ejrieps.3331)

403 Nicaise, V., & Cog rino, G. (2008). Les feed-back émis par l'enseignant(e) d'EPS et perçus  
404 par les élèves : quelle similarité ? Staps, 81(3), 35-53. Cairn.info. [https:// doi .org/ 10 .3917/](https://doi.org/10.3917/sta.081.0035)  
405 [sta .081 .0035](https://doi.org/10.3917/sta.081.0035)

406 Pelayo, P., & Rozier, D. (1998). Natation : nager plus vite en crawl. Revue EPS, 273, 14-18.

407 Potdevin, F., Bernaert, F., Huchez, A., & Vors, O. (2013). Le feed-back vidéo en EPS : une  
408 double stratégie de progrès et de motivations. Le cas de l'Appui Tendu Renversé en classe de  
409 6 e . Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport -eJRIEPS, 30.  
410 [https:// doi .org/ 10 .4000/ ejrieps .2409](https://doi.org/10.4000/ejrieps.2409)

411 Sandholtz, J. H., Ringstaff, C., & Dwyer, D. C. (1997). Teaching with technology : Creating  
412 student-centered classrooms. Teachers College Press.

413 Schaffert, N., Engel, A., Schl ter, S., & Mattes, K. (2019). The sound of the underwater  
414 dolphin-kick : Developing real-time audio feed-back in swimming. Displays, 59, 53-62.  
415 [https:// doi .org/ 10 .1016/ j .displa .2019 .08 .001](https://doi.org/10.1016/j.displa.2019.08.001)

416 Schmidt, R. A. (1997). Apprentissage moteur et performance. Paris : Vigot.

417 Swinnen, S. P., Lee, T. D., Verschueren, S., Serrien, D. J., & Bogaerds, H. (1997). Interlimb  
418 coordination : Learning and transfer under different feed-back conditions. Human Movement  
419 Science, 16(6), 749-785. [https:// doi .org/ 10 .1016/ S0167 -9457\(97\)00020 -1](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(97)00020-1)

420 Tate, A. R., Gennings, C., Hoffman, R. A., Strittmatter, A. P., & Retchin, S. M. (2012). Effects  
421 of bone-conducted music on swimming performance. Journal of Strength and Conditioning  
422 Research, 26(4), 982-988. [https:// doi .org/ 10 .1519/ JSC .0b013e31822dcdaf](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dcdaf)

423 World Aquatics. (2023). Competition Regulations.

424 Wulf, G., Schmidt, R. A., & Deubel, H. (1993). Reduced feed-back frequency enhances  
425 generalized motor program learning but not parameterization learning. *Journal of*  
426 *Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1134-1150. [https:// doi](https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.5.1134)  
427 [.org/ 10 .1037/ 0278 -7393 .19 .5 .1134](https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.5.1134)

428 Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F., & Capelli, C. (2005).  
429 Energy cost  
430 of swimming of elite long-distance swimmers. *European Journal of Applied Physiology*,  
431 94(5), 697-704. [https:// doi .org/ 10 .1007/ s00421 -005 -1337 -0](https://doi.org/10.1007/s00421-005-1337-0)

432 Zimpfer, V., Hamery, P., Blanck, G., & Rosier, J. (2016). Étude des chemins acoustiques  
433 prépondérants lors d'une écoute avec un émetteur ostéophonique. 13 e Congrès français  
434 d'acoustique, Le Mans, France, 2683-2689.

435